

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Kemiantekniikan koulutusohjelma  
Kemiantekniikka ja ympäristötekniikka  
Mirka Ruotsalainen

Opinnäytetyö

## **Painoväriin ankkuroinnin testimenetelmän kehittäminen ja toistettavuuden parantaminen**

Työn ohjaaja  
Työn teettäjä  
Tampere 4/2009

Lehtori Anne Ojala  
UPM Raflatac Oy, ohjaajana DI Eija Siekinen

Tekijä	Mirka Ruotsalainen
Työn nimi	Painoväriin ankkuroinnin testimenetelmän kehittäminen ja toistettavuuden parantaminen
Sivumäärä	80 + 12 liitettä
Valmistumisaika	04/2009
Työn ohjaaja	Lehtori Anne Ojala
Työn tilaaja	UPM Raflatac Oy, ohjaajana DI Eija Siekkinen

---

## TIIVISTELMÄ

Opinnäytetyön tarkoituksena oli määrittää testipainolaitteeseen sopivat paineasetukset sen telojen välille ja kehittää painoväriin ankkuroinnin eli adheesio testimenetelmää. Työn ensimmäisenä tavoitteena oli tutustua UPM Raflatac Oy:n tutkimus- ja tuotekehityslaboratorion käyttämän RK Flexiproof 100 -testipainolaitteeseen ja määrittää sopivat paineasetukset testipainolaitteen telojen välille. Paineasetuksia haluttiin tutkia, koska nykyisen RK Flexiproof 100 -testipainolaitteen käytössä olevat paineasetukset vaikuttivat olevan liian suuria. RK Flexiproof 100 -testipainolaitteella tehdään painatuksia painoväriin ankkuroinnin tutkimista varten. Laitteen käyttö on lähes päivittäistä tuotekehitystoiminnassa.

Toisena tavoitteena oli tutkia painoväriin ankkuroinnin testimenetelmän toistettavuutta. Painoväriin ankkuroinnin nykyisen testimenetelmän, teippitestin, toistettavuudessa on ollut ongelmia, ja siksi sitä haluttiin tutkia.

Kolmantena tavoitteena oli kehittää painoväriin ankkuroinnin analysointi- ja testimenetelmiä. Tarkoituksena oli kehittää jo käytössä olevaa menetelmää ja kokeilla uusien menetelmien soveltuvuutta painoväriin ankkuroinnin tutkimisessa. Myös painoväriin ankkuroinnin tulosten analysointitapaa haluttiin kehittää toimivammaksi, tarkemmaksi ja helpommaksi, jotta se soveltuisi paremmin tuotekehitystoimintaan.

Opinnäytetyössä sovellettiin erilaisia adheesio testimenetelmiä, joihin tutustuttiin adheesio tutkimiseen liittyvien standardien avulla. Standardien adheesio testimenetelmiä käytettiin sellaisenaan ja sovellettiin tässä opinnäytetyössä. Myös uusia testimenetelmiä kehitettiin ja niiden toimivuutta tutkittiin.

Paineasetuksia haettaessa RK Flexiproof 100 -testipainolaitteeseen ja adheesio testimenetelmiä tutkittaessa käytettiin erilaisina painatusmateriaaleina PE- ja PP-muoveja.

RK Flexiproof 100 -testipainolaitteen telojen välille löydettiin uudet, sopivat paineasetukset, joita käytetään tästä lähtien UPM Raflatac Oy:n tutkimus- ja tuotekehityslaboratoriossa testipainolaitteella painettaessa. Tulokseksi saatiin myös, että teippitestin toistettavuutta täytyy parantaa, mutta uusia menetelmiä teippitestin tilalle ei löydetty. Parannusehdotuksia teippitettiin sen sijaan saatiin ja näitä tullaankin todennäköisesti tutkimaan lisää tulevaisuudessa.

Writer	Mirka Ruotsalainen
Thesis	Developing and improving of repeatability of ink adhesion test methods
Pages	80 + 12 attachments
Graduation time	04/2009
Thesis Supervisor	Lecturer Anne Ojala
Co-operating Company	UPM Raflatac Oy, supervisor Eija Siekkinen, Master of Science in Technology

---

## **ABSTRACT**

The topic of this thesis was to set pressures between the rollers of test printing machine and develop test methods of ink adhesion. The first aim was to explore the test printing machine RK Flexiproof 100, which is used in UPM Raflatac research and developing unit, and find suitable pressures between the rollers. The test printing machine RK Flexiproof 100 is used to making printings which are used to explore the adhesion of the inks.

The other aim was to research how repeatability the current ink adhesion testing method is. There have been some problems in repeatability with the current test method, called tape test method, and that is why the repeatability was explored.

The third aim was to develop the ink adhesion analyzing and test methods. The purpose was to develop the current ink adhesion method and try to find if there are new, applicable testing methods for testing ink adhesion. To analyzing the results of ink adhesion was also one thing which wanted to be developed more functioning and easier, so that the analyzing method could more suitable to the research and development operation.

In this thesis there were applied different ink adhesion test methods. In those methods was explored by the standards which contained the test methods of adhesion.

When finding the suitable pressures between the rollers of test printing machine and developing the different adhesion test methods were PE and PP plastics used as a printing materials.

The suitable pressures between rollers of the test printing machine RK Flexiproof 100 were found. These pressures are going to be used in UPM Raflatac research and developing unit. There was also found that the repeatability of the tape test method should be better. Any new test methods were not found but some improvements were received.

---

Keywords

Painovärin adheesio, RK Flexiproof 100 -testipainolaite, adheesion testimenetelmät, teippitesti

## **Esipuhe**

Tämä opinnäytetyö tehtiin kevään 2009 aikana UPM Raflatac Oy:n tutkimus- ja tuotekehitysosastolle. Olen erittäin kiitollinen UPM Raflatac Oy:lle, että sain mahdollisuuden tehdä opinnäytetyön mielenkiintoisesta ja haastavasta aiheesta.

Haluan suuresti kiittää koko UPM Raflatac Oy:n tutkimus- ja tuotekehitysosastoa, sillä teidän kaikkien apu ja tuki on ollut tarpeen. Erityisesti haluan kiittää ohjaajaani Eija Siekkistä, joka on ollut aina valmis auttamaan ja ohjaamaan työn eri vaiheissa.

Kiitän myös UPM Lappeenrannan tutkimuskeskuksen henkilöitä, erityisesti Juha Lahtista, jotka auttoivat minua tämän työn tutkimuksissa.

Kiitän ohjaajaani lehtori Anne Ojalaa kaikesta opinnäytetyöhön liittyvistä toimenpiteistä.

Olen kiitollinen kaikille työhöni osallistuville henkilöille. Erityiskiitoksen haluan osoittaa kihlatulleni, joka on tukenut ja kannustanut minua tämän opinnäytetyön tekemisessä.

Tampereella huhtikuussa 2009

Mirka Ruotsalainen

## Sisällysluettelo

1 Johdanto .....	7
2 UPM Raflatac Oy .....	10
2.1 Tarralaminaatti .....	10
2.2 Painatuksen kehittäminen UPM Raflatac Oy:ssä.....	11
3 Painatus .....	12
4 RK Flexiproof 100 -testipainolaite .....	14
4.1 RK Flexiproof 100 -testipainolaitteen toimintaperiaate.....	15
4.2 Painolaatat .....	18
4.3 Telojen väliset paineet.....	19
5 Adheesio.....	22
5.1 Adheesio merkitys painatuksessa.....	22
5.2 Painopinnan esikäsittely.....	23
5.3 Adheesio testimenetelmiin liittyvät standardit.....	23
5.3.1 FINAT-testimenetelmä numero 21 .....	23
5.3.2 FINAT-testimenetelmä numero 22 .....	24
5.3.3 ASTM D 3359.....	25
5.3.4 ASTM F 1842 .....	26
5.3.5 SFS-EN ISO 2409 .....	28
5.4 Työssä käytetyt adheesio testimenetelmät .....	29
5.4.1 Teippitesti.....	29
5.4.2 ReliaPull-teippitestikone .....	30
5.4.3 Hilaristikkotesti .....	31
5.4.4 Taber-laite .....	31
6 Käytetyt materiaalit.....	32
6.1 Painatusmateriaalit .....	32
6.2 Teipit .....	32
7 Tutkimustyö .....	34
7.1 Osio I.....	34
7.1.1 RK Flexiproof 100 -testipainolaitteen paineasetukset .....	34
7.1.2 Teippitestin toistettavuus .....	42
7.2 Osio II .....	44
7.2.1 Tulosten analysointimenetelmän kehittäminen.....	44

7.2.2 Teippitestin kehittäminen.....	45
7.2.3 Painoväriin ankkuroinnin muut testimenetelmät .....	49
8 Tulokset.....	52
8.1 RK Flexiproof 100 -testipainolaitteen paineasetukset .....	52
8.2 Teippitestin toistettavuus .....	55
8.3 Tulosten analysointimenetelmän kehittäminen.....	57
8.3.3 Uusi visuaalinen analysointimenetelmä.....	57
8.3.4 Muiden kokeiltujen analysointimenetelmien tulokset .....	60
8.4 Teippitestin kehittäminen.....	62
8.5 Uusien painoväriin ankkuroinnin testimenetelmän kokeilu.....	67
9 Tulosten analysointi .....	69
9.1 RK Flexiproof 100 -testipainolaitteen paineasetukset .....	69
9.2 Teippitestin toistettavuus .....	71
9.3 Tulosten analysointimenetelmän kehittäminen.....	72
9.4 Teippitestin kehittäminen.....	73
9.5 Uuden teippitestimenetelmän tutkiminen .....	75
10 Päätelemät ja mahdolliset lisätutkimukset.....	77
Lähteet.....	79
Liitteet .....	81
Liite 1: Tulokset.....	81
Liite 2: RK Flexiproof 100 -testipainolaitteen telojen välisten paineiden vaikutus painoväriin ankkurointiin .....	91

## **Erityissanasto**

Densiteetti

Luku, joka ilmaisee värin optisen tummuuden

Gage R&R	Ohjelma, jota voidaan käyttää jonkin menetelmän ongelmakohtien tunnistamisessa ja luotettavuuden tutkimisessa
High speed release (HSR) mittalaite	Laite, jolla mitataan tarralaminaatin taustamateriaalin irrotusvoima pintamateriaalista
HP Photosmart Premier	Kuvankäsittelyohjelma
MiniTab	Tilastollisten analyysien käsittelyohjelma
m.p.m. (meters per minute)	Nopeuden yksikkö, m/min
Taguchi	Kokeellinen suunniteluohjelma, jonka avulla voidaan määrittää eri muuttujien vaikutus samanaikaisesti sekä tulosten keskiarvoon että hajontaan.

## **1 Johdanto**

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli määrittää RK Flexiproof 100 -testipainolaitteen telojen väliset paineasetukset sopiviksi ja kehittää painoväriin ankkuroinnin eli adheesioanalysointi- ja testimenetelmää. Kyseisellä testipainolaitteella tehdään UPM Raflatac Oy:n tutkimus- ja tuotekehityslaboratoriossa painatuksia painoväriin ankkuroinnin eli adheesioanalysointia varten.

Tämä opinnäytetyö jakaantuu kirjallisuus- ja tutkimusosioihin. Kirjallisuusosiossa tutustutaan RK Flexiproof 100 -testipainolaitteen toimintaan sekä adheesioanalysointia erilaisiin testimenetelmiin ja näihin liittyviin standardeihin.

Tutkimustyön ensimmäisessä osassa on selvitetty, mitkä paineasetukset olisivat parhaimmat mahdolliset paineasetukset RK Flexiproof 100 -testipainolaitteen telojen välille, jos painettavan materiaalin paksuus muuttuu. Sopivimmat paineasetukset valittiin lähinnä painojäljen ulkonäön ja painoväriin ankkuroinnin tulosten perusteella. RK Flexiproof 100 -testipainolaitteella painettiin myös tätä opinnäytetyötä varten painatuksia. Näiden painatuksien painoväriin ankkuroinnin tuloksia verrattiin oikealla fleksopainokoneella painettujen painoväriin ankkuroinnin tuloksiin. Näiden molempien painatusten avulla tutkittiin painoväriin ankkuroinnin nykyisen testimenetelmän, teippitestin, toistettavuutta.

Tutkimustyön toisessa osassa on kehitetty painoväriin ankkuroinnin tulosten analysointimenetelmää ja itse teippitestimenetelmää. Myös uusien adheesioanalysointimenetelmien soveltuvuutta painoväriin ankkuroinnin tutkimiseen kokeiltiin. Tutkimusosiossa painatus- ja tutkimusmateriaaleina käytettiin ainoastaan muovikalvoja tai muovipintaisia laminaatteja.





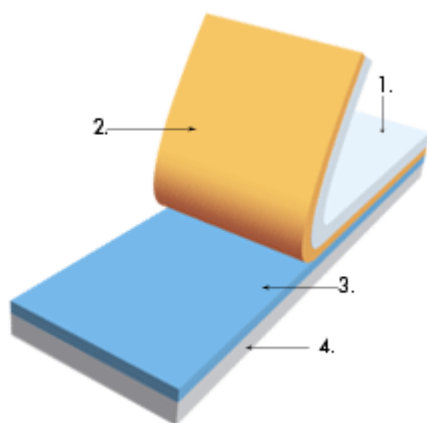
## 2 UPM Raflatac Oy

UPM Raflatac Oy on yksi johtavimmista itseliimautuvien tarramateriaalien toimittajista ja maailman johtava RFID (radio frequency identification) -tarrojen tuottaja. UPM Raflatac Oy:llä on maailmanlaajuinen verkosto. Se koostuu 14 tehtaasta viidessä eri maanosassa. Suomen tehtaot sijaitsevat Tampereella (tarralaminaatti) ja Jyväskylässä (RFID). Eri puolilla maailmaa UPM Raflatac Oy:llä on myyntipisteitä sekä leikkaus- ja varastoterminaleja. (UPM Raflatac.)

UPM Raflatac Oy on osa UPM -konsernia. Tällä hetkellä UPM Raflatac Oy työllistää noin 2700 työntekijää. Liikevaihto ylitti yhden miljardin (€) vuonna 2007. (UPM Raflatac.)

### 2.1 Tarralaminaatti

Kuviossa 1 on esitetty tarralaminaatin rakenne. Tarralaminaatti koostuu pintamateriaalista (1), liimasta (2), silikonikerroksesta (3) ja taustamateriaalista (4). Pinta- ja taustamateriaaleina voi olla joko muovi- tai paperimateriaali. Tarralaminaatista valmistetaan etikettejä erilaisiin loppukäyttökohteisiin, kuten elintarvike-, lääke- ja kemianteollisuuteen, hygienia tuotteisiin sekä logistiikan ja liikennöinnin käyttöön. (UPM Raflatac.)



Kuvio 1: Tarralaminaatin rakenne (UPM Raflatac)

## **2.2 Painatuksen kehittäminen UPM Raflatac Oy:ssä**

UPM Raflatac Oy valmistaa tarralaminaatteja painotaloihin ja -konttoreihin, joissa laminaatin pintaan painetaan loppukäyttäjän tarkoituksiin soveltuva painatus. (UPM Raflatac.) UPM Raflatac Oy:ssä ei tehdä painatuksia tuotteisiin.

Tarraetikeille yksi tärkeimmistä ominaisuuksista onkin painatuksen laatu. (Siekinen Eija. 2008a.) Painatuksen tulee olla hyvän ulkonäön lisäksi hyvin kiinnittynyt pintamateriaaliin. Painatuksen tarttuvuus pintamateriaaliin, eli painoväriin ja pintamateriaalin välinen adheesio, on hyvin tärkeä sekä laadunvalvonnassa että tuotekehityksessä testattava ominaisuus. Painatuksen ulkonäön tarkastelu on myös tärkeää.

Painatuksen tai toisin sanoen painoväriin ja pintamateriaalin välisen adheesio- tutkiminen on tärkeää UPM Raflatac Oy:n tutkimus- ja tuotekehitysosastossa, jotta voidaan kehittää yhä parempia tuotteita, joihin painatuksia tehdään. UPM Raflatac Oy:ssä painoväriin tarttuvuuden tutkimista varten painatuksia tehdään RK Flexiproof 100 -testipainolaitteella. Painoväriin tarttuvuuden testimenetelmänä on nykyisin käytössä teippitestimenetelmä. UPM Raflatac Oy:n tutkimus- ja tuotekehitysosastolla painoväriin ja pintamateriaalin välistä adheesiota kutsutaan painoväriin ankkuroinniksi (Kollanen Päivi. 2008a).

### **3 Painatus**

Erilaisissa tuotteissa tulee olla näyttävä tuotemerkki eli etiketti, joka luo mielikuvaa laadukkaasta tuotteesta ja antaa tuotteesta tietoa. Tätä varten esimerkiksi muovituotteille on erilaisia pintaviimeistelymenetelmiä, joista yksi on painatus. Painatuksen ansiosta muovikalvon pintaan voidaan painaa tuotteeseen sopiva teksti tai kuva. Erilaisia muovipinnan painatustekniikoita ovat silkki-, offset-, tampo- ja fleksopaino. (Kurri ym. 2002, 165.) Näistä UV-fleksopainatus on tässä opinnäytetyössä käytetty painatustekniikka. UV-fleksopainatus on kuin normaali fleksopainatus, mutta painatuksen kuivaaminen tapahtuu UV-kuivaimella.

#### **Fleksopainatus**

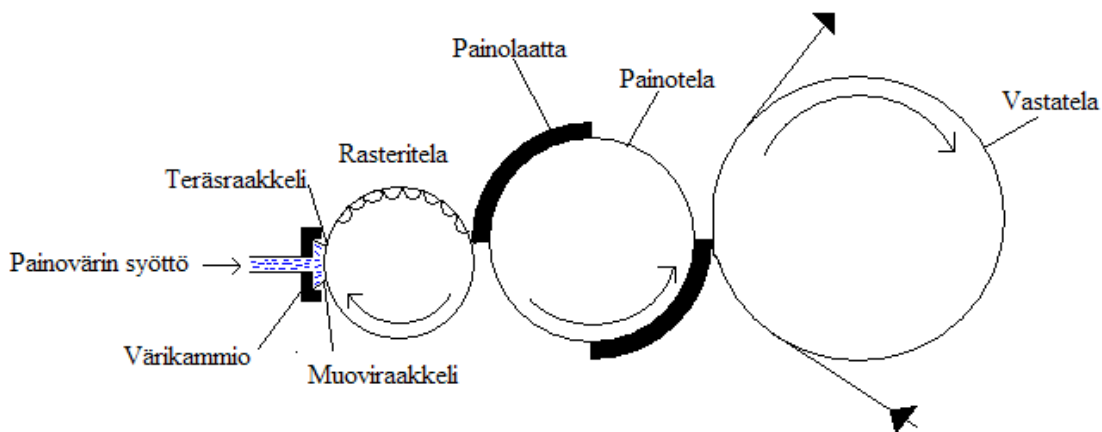
Fleksopainatuksesta on tullut muovien tärkein painatusmenetelmä vasta 1950-luvulta lähtien polyeteenin tullessa mukaan pakkausalalle. Flexopainatus on kuitenkin jo lähes 100-vuotias kohopainomenetelmä. (Kurri ym. 2002, 166.)

Fleksopainomenetelmän etuna on sen soveltuvuus muovi- ja vahapintaisten materiaalien painamiseen. Painoelementit voivat olla joko kumiteloja tai kumi- ja muovilaattoja. Muovilaatat ovat materiaaliltaan kulutusta kestäviä fotopolymeerilaattoja. (Herkama ym. 1993, 34–35.)

Fleksopainatuksessa painopinnan valmistuskustannukset ovat kohtuulliset ja myös pienten painosmäärien painaminen kannattaa. Flexopainomenetelmällä painetaan monia päivittäisiä kulutustavarapakkauksia, kuten esimerkiksi maito- ja mehutölkkejä, joten sen painosmäärät ovat kuitenkin lähes poikkeuksetta suuria. Muita flexopainomenetelmällä painettuja tuotteita ovat muun muassa muovipussit ja -kassit, muovi- ja paperisäkit, muovi- ja paperikääreet, foliot, kertakäyttöt tuotteet, aalto- ja voimapahvilaatikot sekä tapetit. (Herkama ym. 1993, 34–35.)

### Fleksopainokoneen väriyksikkö

Kuviossa 2 on esitetty fleksopainokoneen väriyksikkö. Painokuvaan tuleva väri tarvitsee väriyksikön, joka koostuu erilaisista teloista. Telojen välityksellä painoväri siirtyy painopinnalle. (Kurri ym. 2002, 167.) Telat pyörivät kuviossa 2 olevien nuolien suuntaisesti.



Kuvio 2: Flexopainokoneen väriyksikkö

Painoväri syötetään pumpun avulla värikammioon, josta väri siirtyy rasteritelaa. Väri määrä pysyy vakiona raakkeliensa ansiosta, jotka raapivat ylimääräistä väriä rasteritelalta. Väri kulkeutuu rasteritelaa välityksellä painotelaan ja tästä vastatelaan. (Kurri ym. 2002, 167.)

Rasteritelaa pinnassa on kuppimaisia syvennyksiä, rasterikuppeja. Tämän perusteella voidaan ilmoittaa rasteritelalle niin kutsuttu rasteritiheys, l/cm (linjaa senttimetrillä), joka määrää painoväriä määrän näytteeseen. (Kurri ym. 2002, 167.) Rasterikupit täyttyvät värillä ja väri siirtyy niiden avulla painolaatan pintaan. Painolaatalla muodostunut tasainen värikerros siirtyy materiaalin pintaan painotelaa ja vastatelaa välisen puristuksen ansiosta. Puristusvoimakkuus voidaan säätää sopivaksi paino- ja vastatelojen välistä etäisyyttä muuttamalla. (Herkama ym. 1993, 34.) Rasteritelaa voidaan kutsua myös aniloxtelaksi.

## 4 RK Flexiproof 100 -testipainolaite

UPM Raflatac Oy:n tutkimus- ja tuotekehityslaboratoriossa painatukset tehdään RK Flexiproof 100 -testipainolaitteella, joka on kuviossa 3. Tässä opinnäytetyössä painatukset on tehty samalla testipainolaitteella. Painatuksia tehdessä RK Flexiproof 100 -testipainolaite toimii fleksopainomenetelmällä. (RK Print coat instruments. 2006, 7.) Testipainolaite soveltuu käytettäväksi vesiliukoisten painovärien, liuotin- tai UV-aniliinipainovärien kanssa. (TMI, Testing machines inc.)



Kuvio 3: RK Flexiproof 100 -testipainolaite

#### 4.1 RK Flexiproof 100 -testipainolaitteen toimintaperiaate

Kuviossa 4 on esitetty RK Flexiproof 100 -testipainolaitteen sivuprofiili ja sen eri osat numeroituna. Kuvion 4 alapuolelle on listattu RK Flexiproof 100 -testipainolaitteen tärkeimmät ja oleelliset osat tätä opinnäytetyötä ajatellen sekä niitä vastaava numero kuviossa 4. Testipainolaitteen toimintaperiaatteesta kerrottaessa on sen osista mainittaessa sulkuihin merkitty numero. Tämä numero vastaa kuvion 4 mukaisia osien numeroita.

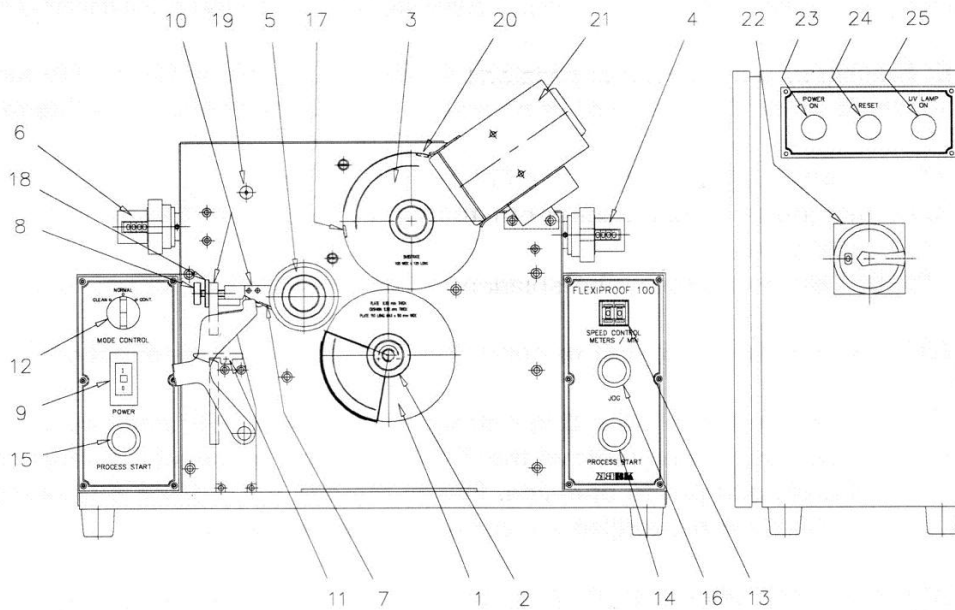


FIG 3  
GENERAL MACHINE LAYOUT

Kuvio 4: RK Flexiproof 100 testipainolaitteen sivuprofiili ja sen osat numeroituna (RK Print coat instruments. 2006, 12.)

- 1=fleksolaattatela, jossa on painolaatta
- 3=materiaalitelä, johon kiinnitetään näyte
- 4=tähtiratas, jolla muutetaan fleksolaatta- ja materiaalitelojen välistä etäisyyttä/ painetta
- 5=anilox- eli rasteritelä, jossa on painoväri
- 6= tähtiratas, jolla muutetaan fleksolaatta- ja aniloxtelojen välistä etäisyyttä/ painetta
- 7=raakkeli, joka pitää värimäärän vakiona
- 8=ruuvi, jolla voidaan muuttaa raakkelin ja aniloxtelan välistä painetta
- 14 & 15=prosessin käynnistyspainikkeet (RK Print coat instruments. 2006, 13–15.)

Painatusta aloitettaessa asetetaan RK Flexiproof 100 -testipainolaitteeseen oikeat paineasetukset. Paineita voidaan muuttaa tähtirataksista, joilla muutetaan telojen välisiä etäisyyksiä. Etäisyyden muuttuessa painekin muuttuu. Oikeanpuoleisesta tähtirataksesta (4) voidaan muuttaa painetta fleksolaatta- ja materiaalitelojen välillä ja vasemmanpuoleisesta tähtirataksesta (6) voidaan muuttaa fleksolaatta- ja aniloxtelojen välistä painetta. (RK Print coat instruments. 2006, 14.)

Kun paineasetukset ovat kohdallaan, lisätään pyörivään aniloxtelaan (5) painoväri. RK Flexiproof 100 -testipainolaitteen aniloxtelassa on kaksi eri rasteritiheyttä. Toinen näistä on 200 l/cm, joka vastaa 5 cm<sup>3</sup> painoväriä m<sup>2</sup>:ssä. Toinen rasteritiheys on 160 l/cm, joka vastaa 6 cm<sup>3</sup> painoväriä m<sup>2</sup>:ssä. (RK Print coat instruments. 2006.) Siten painettaessa saadaan kaksi värimäärältään erilaista painatusta. Aniloxtelassa ilmoitetut rasteritiheydet ovat teoreettisia arvoja, joten värimäärä ei ole käytännössä kaikissa painetuissa materiaaleissa samat kuin telan antamat teoreettiset arvot ovat. Raakkelin (7) tehtävänä on pitää värimäärä vakiona painatuksen ajan (Kurri ym. 2002, 167).

Kun paineasetukset on laitettu oikeiksi ja väri lisätty aniloxtelaan, kiinnitetään materiaalitelaa (3) näyte, johon painatus tehdään. Kiinnitystä varten materiaalitelassa on kaksipuoliteippiä. Näytteen tulee olla leveydeltään 105 mm ja pituudeltaan 125 mm. (RK Print coat instruments. 2006, 13.)

Kun näyte on kiinnitetty oikealle paikalle, voidaan painaa käynnistyspainikkeita (14 & 15). Näiden vaikutuksesta sekä fleksolaatta- (1) että materiaalitela (3) pyörähtävät yhden kierroksen, kumpikin eri suuntaan. Telojen kehänopeutta voidaan muuttaa välillä 45–99 m.p.m. (meters per minute). Yksikkö m.p.m. tarkoittaa metriä minuutissa. (RK Print coat instruments. 2006, 13 & 15.) Aniloxtelalta painoväri siirtyy fleksolaattatelan painolaattaan. Painolaatasta painoväri siirtyy materiaalitelaaan, ja näytteen pintaan muodostuu painolaatan antama painojälki.



Kun näyttöeseen on tehty painatus, se kuivataan erillisellä UV-kuivaimella (kuvio 5). Kuviossa 5 on esitetty UPM Rafatac Oy:n laboratorioissa käytetty UV-kuivain, jota käytettiin tässä opinnäytetyössä tehtyjen painatusten kuivaamiseen. Painetut näytteet asetetaan lasilevyn päällä kuivaimen hihnalle. Näytteet kuivataan kuivaimen läpi kahdesti. Kuivaimen hihnan nopeudeksi on mitattu noin 0,3–0,4 m/s.



Kuvio 5: Erillinen UV-kuivain

RK Flexiproof 100 sisältää myös oman UV-kuivaimen, mutta sitä ei käytetä tässä työssä, koska sen kuivausteho ei riitä muovimateriaaliin painattaessa. Kuviossa 4 UV-kuivainta vastaa numero 21.

## 4.2 Painolaatat

RK Flexiproof 100 -testipainolaitteen painolaatta on muovinen fotopolymeerilaatta. (RK Print coat instruments. 2006.) Testipainolaitteella painettaessa näytteitä painovärin ankkuroinnin tutkimista varten käytetään kahden suorakaiteen muotoisen kuvion antavaa painolaattaa (kuvio 6). Painatuksen pituus on noin 10 cm ja leveys noin 3 cm.



Kuvio 6: Kahden suorakaiteen muotoisen painolaatan antama painojälki painettuna PE-2-näytteeseen

Tässä opinnäytetyössä käytettiin kuvion 6 mukaisen painojäljen antavan painolaatan lisäksi kuviollista ja tekstiä sisältävää painolaattaa, joka antoi kuvion 7 mukaisen painatuksen. Kuviollista painolaattaa käytettiin, kun etsittiin sopivia paineasetuksia RK Flexiproof 100 -testipainolaitteen telojen välille. Kuviollista painolaattaa käytettiin, koska sillä saatiin tarkempi painojälki, josta oli helpompi määrittää, miten hyvin painatus oli onnistunut. Molempien painolaattojen paksuudet ovat samat, joten painolaatan vaihtaminen ei vaikuta paineasetuksiin ja painojälkeen.

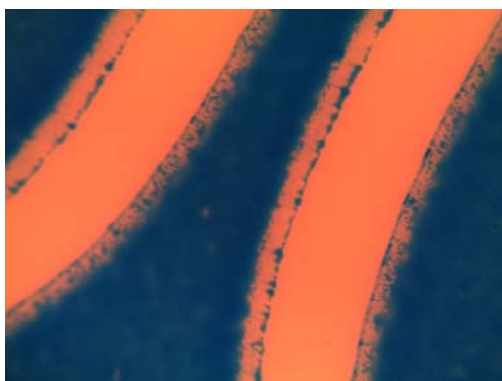


Kuvio 7: Kuviollisen ja tekstiä sisältävän painolaatan antama painojälki painettuna PE-2-näytteeseen

### 4.3 Telojen väliset paineet

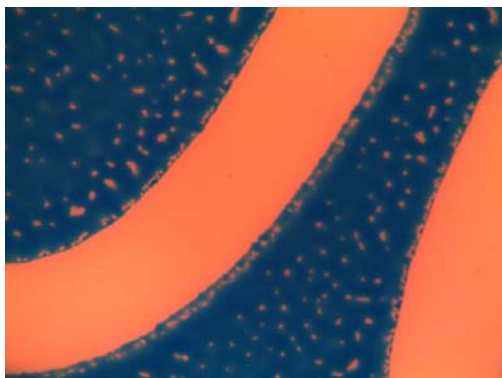
RK Flexiproof 100 -testipainolaitteessa voidaan muuttaa sekä fleksolaatta- ja materiaalitelosten että anilox- ja fleksolaattatelosten välisiä paineita. Flexolaatta- ja materiaalitelosten välisellä paineella on suuri merkitys painatuksen laatuun. Liian suuri paine aiheuttaa painatuksen leviämisen yli painoalueen. Jos paine taas on liian pieni, painoväriä ei tule riittävästi näytteen pintaan. (Kollanen Päivi. 2008b.)

Kuviossa 8 on esitetty mikroskooppikuva painatuksesta, jossa fleksolaatta- ja materiaalitelosten välinen paine on ollut liian suuri. Liian suuren paineen vaikutuksesta kuviossa 8 olevan painatuksen reunat ovat levinneet, eivätkä ne ole selkeät.



Kuvio 8: Painatus, jossa fleksolaatta- ja materiaalitelosten välinen paine on ollut liian suuri

Kuvion 8 painatusta voidaan verrata kuvion 9 painatukseen, jossa fleksolaatta- ja materiaalitelosten välinen paine on ollut sopiva. Vertaamalla kuviota 8 ja 9 keskenään voidaan nähdä paineen vaikutus painatuksen laatuun. Jos paineasetukset ovat sopivat, painatuksen reunat ovat selkeät, kuten kuviossa 9 olevassa painatuksessa on ollut.



Kuvio 9: Painatus, jossa fleksolaatta- ja materiaalitelosten välinen paine on ollut sopiva

**Paineasetusten merkintätapa**

RK Flexiproof 100 -testipainolaitteen paineasetukset ilmoitetaan numeromerkinnöin, esimerkiksi luvuin 90/130. Ensimmäinen numero ilmoittaa anilox- ja fleksolaattatelojen välisen etäisyyden ja toinen numero fleksolaatta- ja materiaalitelojen välisen etäisyyden. (RK Print coat instruments. 2006, 14 & 24.) Vaikka siis käytetään nimitystä testipainolaitteen paineasetuksista, numerot eivät kuvaa paineen suuruutta vaan telojen välisiä etäisyyksiä.

Muutettaessa etäisyyttä tähtirataksesta yhden luvun verran, esimerkiksi luvusta 130 lukuun 131, se vastaa noin neljän mikrometrin etäisyyden muutosta anilox- tai materiaalitelan ja fleksolaattatelan välillä (RK Print coat instruments. 2006, 14). On otettava huomioon, että etäisyyksien kasvaessa eli numeron suurentuessa paine pienenee telojen välillä.

Kokemus on osoittanut, että on havainnollisempaa puhua telojen välisistä paineasetuksista kuin niiden etäisyyksistä, joten tässäkin opinnäytetyössä käytetään etäisyyden sijaan painetta. Myös RK Flexiproof 100 -testipainolaitteen käyttöohjeessa telojen väliset asetukset ilmaistaan painearvoina etäisyyksien sijaan (RK Print coat instruments. 2006, 14).

**Paineasetusten muuttaminen**

Fleksolaatta- ja materiaalitelojen paineasetuksia on muutettava vain siinä tapauksessa, jos painolaatta, näyte tai näiden paksuudet muuttuvat. Anilox- ja fleksolaattatelojen välistä painetta ei tarvitse muuttaa, ellei painolaatan paksuus muutu. Näytteen paksuus vaikuttaa siis ainoastaan fleksolaatta- ja materiaalitelojen väliseen paineeseen. (RK Print coat instruments. 2006, 14.)

Paineasetukset on asetettu RK Flexiproof 100 -testipainolaitteelle jo tehtaassa, jossa se on valmistettu. Kyseiset paineasetukset on säädetty käyttäen standardi RK 90 g.s.m. - koevedospaperia. Paineasetukset olivat tälle materiaalille 90/130. Näitä paineasetuksia tulee RK Flexiproof 100 -testipainolaitteen käyttöohjeen mukaan muuttaa vain, jos näytteen tai painolaatan paksuus muuttuu. (RK Print coat instruments. 2006, 14 & 24.) RK 90 g.s.m. -koevedospaperin paksuudeksi mitattiin noin 90 µm.

Myös painetta raakkelin ja aniloxtelan välillä voidaan muuttaa. Tämäkin paine on asetettu RK Flexiproofille 100 -testipainolaitteelle jo tehtaassa. Painetta raakkelin ja aniloxtelan välillä muutetaan vain, mikäli raakkeli kuluu. (RK Print coat instruments. 2006, 14.)

## **5 Adheesio**

Adheesiolla tarkoitetaan toisiaan koskettavien materiaalien kykyä tarttua toisiinsa kiinni. (Kurri, Malén, Sandell & Virtanen. 2002, 214.) Jos adheesio materiaalien välillä on hyvä, ne pysyvät paremmin kiinni toisissaan. Jos adheesio on heikko, materiaalit pysyvät heikosti kiinni toisissaan tai voivat jopa irrota toisistaan.

### **Painoväriin adheesio eli ankkurointi**

Ankkuroitumisella tarkoitetaan jonkin pinnoitteen ja runkomateriaalin välistä kiinnittymistä toisiinsa eli näiden välistä adheesiota. Runko- eli pintamateriaali voi olla esimerkiksi muovi- tai paperimateriaali. (Kollanen Päivi. 2008a.) Kuten jo aikaisemmin on mainittu, kutsutaan UPM Raflatac Oy:n tutkimus- ja tuotekehitysosastolla painoväriin ja pintamateriaalin välistä adheesiota painoväriin ankkuroinniksi. Ankkuroinnin tutkimisen testimenetelmänä käytetään UPM Raflatac Oy:n tutkimus- ja tuotekehitysosastossa teippitestimenetelmää.

Painoväriin ankkuroinnin tutkimisen tarkoituksena on määrittää painoväriin pysyminen pintamateriaalissa. (Kollanen Päivi. 2008a.) Tämän johdosta voidaan tutkia pintamateriaalin painatusominaisuuksia. Jos ankkuroituminen on huono, painoväri irtoaa pintamateriaalista ja pintamateriaalin painatusominaisuudet ovat huonot. Jos taas ankkuroituminen on hyvä, painoväri pysyy pintamateriaalissa ja pintamateriaalilla on hyvät painatusominaisuudet.

### **5.1 Adheesio merkitys painatuksessa**

Ilman riittävää adheesiota pinnoitteen ja materiaalien välillä pinnoitteen tekeminen, kuten painatus, on turhaa. (Zorll Ulrich. 2006, 1.) Kun materiaalin pintaan tehdään painatus, on tärkeää, että painatus tarttuu ja pysyy kiinni kunnolla painettavassa materiaalissa. Ilman riittäviä adheesio-ominaisuuksia painoväriin ja pintamateriaalin välillä painatus irtoaa pintamateriaalista.

## 5.2 Painopinnan esikäsittely

Jotta painoväri täyttää tehtävänsä, täytyy sen kiinnittyä painettavan materiaalin pintaan. Materiaalilla ja sen pintaominaisuuksilla on suuri merkitys painoväriin adheesiossa. (ASTM International. ASTM F1842-02.)

Muovimateriaalin pintaominaisuuksien esikäsittelyllä voidaan parantaa painoväriin tarttuvuutta painettavaan materiaaliin pintaan. Esikäsittely voi tapahtua esimerkiksi primerilla, liekityksellä tai sähkökoronalla. Esikäsittelymenetelmien tarkoituksena on saada aikaan pintamateriaalien muovimolekyylien polarisoituminen, jonka ansiosta painoväri pysyy paremmin kiinni painettavassa materiaalissa. Polarisoitumisaste heikkenee pitkäaikaisen varastoinnin yhteydessä (Kurri ym. 2002, 169), paitsi ei primeroinnissa.

## 5.3 Adheesion testimenetelmiin liittyvät standardit

Adheesion testimenetelmiin liittyviä standardeja ovat muun muassa FINAT -testimenetelmät numero 21 ja 22, ASTM F 1842, ASTM D 3359 sekä SFS-EN ISO 2409. Näiden kaikkien mainittujen standardien mukaisia testimenetelmiä on joko kokeiltu sellaisenaan tai sovellettu tässä opinnäytetyössä.

Standardi ASTM F 1842 pohjautuu standardiin ASTM D 3359, mutta siihen on tehty muutoksia, jotta adheesion tutkiminen muovipinnoilta olisi sopivampaa. ASTM F 1842 onkin tarkoitettu pinnoitteiden ja muovipintojen välisen adheesion määrittämiseen. (ASTM International. ASTM F 1842-02.) ASTM D 3359 taas soveltuu lähinnä muiden materiaalien, kuten esimerkiksi pinnoitteiden ja metallien välisen adheesion määrittämiseen. (ASTM International. ASTM D 3359-08.) SFS-EN ISO 2409 ja ASTM D 3359 ovat hieman saman kaltaisia, mutta joitakin eroja on, esimerkiksi näiden standardien arvosteluasteikossa.

### 5.3.1 FINAT-testimenetelmä numero 21 (FINATa. 2001, 53–54.)

UPM Raflatac Oy:n tutkimus- ja tuotekehitysosaston käyttämä teippitestimenetelmä perustuu suurimmaksi osaksi FINAT-testimenetelmän numeroon 21. Tämä on painoväriin adheesion tutkimiseen liittyvä standardi, jonka testimenetelmä antaa nopean arvion painoväriin adheesiosta. Painoväriin adheesion testimenetelminä tässä standardissa ovat teippitesti ja mekaaniset menetelmät, joita ovat raapaisu- ja kumitesti.

Tutustuttaessa raapaisu- ja kumitesteihin päätettiin, että niitä ei käytetä tässä opinnäytetyössä, joten niistä ei ole tarpeellista kertoa.

FINAT-testimenetelmän numero 21 mukaan teippi kiinnitetään painatuksen päälle käyttäen FINATin telaa. Teippi kiinnitetään telalla liikuttaen sitä kahdesti edestakaisin teipin päällä. Ilmakuplia ei saa jäädä teipin ja painoväriin väliin. Teippi täytyy irrottaa näytteestä 20 minuutin sisällä kiinnityksestä ensin hitaasti vakionopeudella ja sen jälkeen nopeasti ja kiihtyvästi. Mitä nopeammin irrotus tapahtuu, sitä aggressiivisempi testi on. Teippeinä tämän standardin mukaan voidaan käyttää esimerkiksi Tesan 7475- tai 7476- tai Scotchin 810-teippejä.

Painoväriin adheesion arvostelu perustuu painoväriin määrään, joka on jäänyt painomateriaaliin teipin irrottamisen jälkeen. Arvostelua varten näytteitä verrataan kontrollinäytteisiin, jotka on arvosteltu aikaisemmin. Arvostelu voidaan suorittaa antamalla arvosana 1–5 seuraavan asteikon perusteella:

- arvosana 1 painoväriä ei ole irronnut (hyvä adheesio)
- arvosana 2 painoväriä on irronnut alle 10 %
- arvosana 3 painoväriä on irronnut 10–30 %
- arvosana 4 painoväriä on irronnut 30–60 %
- arvosana 5 painoväriä on irronnut yli 60 % (huono adheesio).

Testejä suoritettaessa tulee FINAT-testimenetelmän numero 21 mukaan huoneen lämpötilan olla  $23\text{ °C} \pm 2\text{ °C}$  ja kosteuden  $50\% \text{ RH} \pm 5\% \text{ RH}$ . Testattavien materiaalien täytyy olla vähintään neljä tuntia ennen testien tekemistä näissä olosuhteissa.

### **5.3.2 FINAT-testimenetelmä numero 22 (FINATb. 2001, 55–56.)**

FINAT-testimenetelmän numero 22 on suunniteltu digitaalisen painatuksen adheesion tutkimiseen. Teippeinä voidaan käyttää samoja kuin FINAT-testimenetelmässä numero 21, joita olivat Tesan 7475- tai 7476- teipit tai Scotchin 810-teippi. FINAT-testimenetelmän numero 22 kaltaista menetelmää ei suoranaisesti käytetty tässä työssä, mutta siitä saatiin ideoita testimenetelmien kehittämiseen.



FINAT-testimenetelmässä numero 22 teippi kiinnitetään FINATin telalla kaksi kertaa edestakaisin rullaten teipin päältä. Suurimpana erona tässä menetelmässä on edelliseen menetelmään verrattuna irrotus- ja arvostelutapa. FINAT-testimenetelmässä numero 22 teipin irrotus tapahtuu vetotestauslaitteella, joka vetää teipin nopeudella 300 mm/min 180°:n kulmassa. Painoväriä sisältävän näytteen tulee olla mitoiltaan 30 x 175 mm.

Vetotestauslaite antaa keskiarvon voimasta (N/25 mm). Keskiarvo on viittaus voimasta, joka on vaikuttanut painoväriin. Näytteen painoväri mitataan ennen ja jälkeen teippitestin spektrofotometrillä. Tulos ilmaistaan ennen ja jälkeen mittausten erotuksena  $\Delta E$  seuraavan taulukon mukaisesti:

$\Delta E=0-3$	täydellinen
$\Delta E=3-5$	todella hyvä
$\Delta E=5-10$	hyvä
$\Delta E=10-15$	hyväksyttävä
$\Delta E=15-20$	huono
$\Delta E=20-25$	ei hyväksyttävä

Testejä suoritettaessa tulee FINAT -testimenetelmän numero 22 mukaan huoneen lämpötilan olla  $23\text{ °C} \pm 2\text{ °C}$  ja kosteuden  $50\% \text{ RH} \pm 5\% \text{ RH}$ . Testattavien materiaalien täytyy olla vähintään neljä tuntia ennen testien tekemistä näissä olosuhteissa.

### 5.3.3 ASTM D 3359 (ASTM International. ASTM D 3359-02)

Standardissa ASTM D 3359 on kaksi adheesion testimenetelmää, jotka soveltuvat adheesion määrittämiseen esimerkiksi pinnoitettujen kalvojen tai metallinäytteiden välillä. Nämä kaksi menetelmää ovat X-leikkausteippitesti (testimenetelmä A) ja viiltoleikkuu- eli hilaristikkoteippitesti (testimenetelmä B). Tässä opinnäytetyössä suoritetaan testejä testimenetelmän B kaltaisella menetelmällä. Testimenetelmää A ei käytetty, joten siitä ei ole tarpeellista kertoa.

Hilaristikkoteippitestissä käytetään hilaristikkoviiltolaitetta, jossa on joko kuusi tai 11 leikkaavaa terää. Viiltolaitteella on tarkoitus vetää noin 20 mm:n pituinen suora viilto yhdellä vedolla. Viiltoja tehtäessä käytetään riittävää painetta. Viiltolaitetta ei

kuitenkaan saa painaa testattavaa materiaalia vasten liian kovalla voimalla. Paine on riittävä, kun viillot läpäisevät pinnoitteen ja siten ulottuvat pintamateriaaliin. Kun ensimmäiset viillot on tehty, poistetaan pinnoitteen viiltämisestä aiheutuneet roskat näytteestä harjalla ja tehdään uudet viillot edellisten viiltojen päälle. Uudet viillot tehdään 90°:n kulmassa vanhoihin viiltoihin nähden. Viiltojen jäljiltä muodostuu ristikko. Näyte puhdistetaan harjalla.

Tämän jälkeen ristikon päälle laitetaan teippi sormella kiinnittäen. ASTM D 3359 -standardin mukaan teipin tulee olla Permacel 99-teippi. Jotta kosketus teipin ja näytteen välillä on riittävä, hangataan teippiä pyyhekumilla. Väri teipin alla toimii hyvänä osoituksena siitä, miten hyvin teippi on kiinnittynyt materiaaliin. Teippi tulee irrottaa nopealla vedolla näytteestä  $90 \pm 30$  sekunnin kuluttua kiinnityksestä 180°:n kulmassa.

Teipin vetämisen johdosta ristikon neliöistä saattaa irrota pinnoitetta. Arvostelua varten näytettä tutkitaan luupilla. Näyte voi saada arvosanan 0–5, jossa arvosana 5 tarkoittaa, ettei ristikon ruuduista ole irronnut yhtään pinnoitetta. Arvosana 0 taas tarkoittaa, että enemmän kuin 65 % ristikon neliöistä on irronnut pinnoitetta.

Arvosteluasteikko on samankaltainen kuin standardissa ASTM F 1842, josta on kerrottu seuraavaksi. Koska ASTM F 1842 -standardi soveltuu paremmin tähän opinnäytetyöhön, on arvostelusta kerrottu tarkemmin luvussa 5.3.4.

#### **5.3.4 ASTM F 1842 (ASTM International. ASTM F 1842-02)**

Kuten aikaisemmin on todettu, ASTM F 1842 -standardi pohjautuu ASTM D 3359 -standardiin. Standardiin ASTM F 1842 on tehty muutoksia, jotta hilaristikkoteippitesti soveltuisi paremmin muovinäytteille. Tämä testimenetelmä soveltuu sellaisten värien ja pinnoitteiden adheesion määrittämiseen, joiden paksuus on alle 125 µm.

ASTM F 1842 ja ASTM D 3359 muistuttavat hyvin paljon toisiaan. Yhtenä erona näissä kahdessa ASTM -standardissa on teipin kiinnitysaika. ASTM F 1842 -standardissa käytetään adheesion määrittämiseen soveltuvaa hilaristikkoviiltolaitetta, jossa on kuusi terää.

Hilaristikkoviiltolaitteella vedetään ristikon muotoinen kuvio samalla tavalla, kuin standardissa ASTM D 3359 on kerrottu. Ristikkoa tehtäessä näyte asetetaan tasaiselle ja kovalle alustalle. Tämän jälkeen tehdään noin 20 mm:n viillot siten, että näytteen pintaan muodostuu ristikko. Hilaristikkoviiltolaitetta ei saa painaa näytettä vasten, vaan paineen täytyy olla juuri riittävä, jotta viillot yltävät näytteen pintaan viiltäen pinnoitteen pinnan.

Ristikon päälle asetetaan teippi ristikon toisten suorien suuntaisesti. Teippi kiinnitetään käsin, ei pyyhekumilla kuten standardissa ASTM D 3359. Jotta kosketus teipin ja näytteen välillä on riittävä, painetaan teippi läpikotaisin tiukasti kiinni näytteeseen. Väri teipin alla toimii hyvänä osoituksena siitä, miten hyvin teippi on kiinnittynyt materiaaliin. Erona ASTM D 3359 -standardin kiinnitysaikaan, tulee standardissa ASTM F 1842 teippi irrottaa näytteestä  $90 \pm 15$  sekunnin kuluttua kiinnittämisestä. Teippi vedetään nopeasti  $180^\circ$ :n kulmassa tekijästä pois päin.

ASTM F 1842 -standardin mukaan teipin vedon jälkeen näyte voi saada arvosanan väliltä 0-5 siten, että 5 on hyvä ja 0 on huono. Näyte tulee arvioida luuppia apuna käyttäen. Asteikosta ja sen arvosanoista on kerrottu tarkemmin seuraavaksi:

- |            |  |
|------------|--|
| arvosana 5 | yhtään pinnoitetta ei ole irronnut ristikon kulmista   |
| arvosana 4 | pieniä palasia pinnoitetta on irronnut ristikon leikkauskohdista, vähemmän kuin 5 % ristikosta on vaurioitunut                       |
| arvosana 3 | pieniä palasia pinnoitetta on irronnut sekä ristikon leikkauskohdista että kulmista, ristikosta 5–15 % on vaurioitunut               |
| arvosana 2 | palasia pinnoitetta on irronnut ristikon kulmista ja ruuduista, ristikosta 15–35 % on vaurioitunut                                   |
| arvosana 1 | pinnoitetta on irronnut paljon leikkauskulmista laajoina liouskoina ja ruudut ovat vaurioituneet, ristikosta 35–65 % on vaurioitunut |
| arvosana 0 | palasia pinnoitetta on irronnut enemmän kuin arvosanan ollessa 1 ja näyte on vaurioitunut enemmän kuin 65 %.                         |

ASTM F 1842 -standardin mukaan näytteiden tulee olla 24 tuntia ennen testejä lämpötilassa  $23\text{ °C} \pm 2\text{ °C}$ . Kosteuden tulee olla välillä 20 % RH ja 80 % RH.

### **5.3.5 SFS-EN ISO 2409 (Suomen standardisoimisliitto)**

SFS-EN ISO 2409 standardin testimenetelmä soveltuu maalipinnoitteiden irtoamiskestävyyden arvioimiseen. Tämän standardin testimenetelmässä käytetään yksi- tai kuusiteräistä leikkuria, jolla piirretään samanlainen ristikko kuin kahdessa edellä mainitussa ASTM standardeissa. Tämä testimenetelmä soveltuu alle 250 µm:n paksuisille pinnoitteille.

Testiä aloitettaessa näyte asetetaan tukevalle ja tasaiselle alustalle. Leikkuria pidetään viiltojen tekemisen ajan terät kohtisuorassa näytettä vasten. Terien tulee ulottua pinnoitteen läpi pintamateriaaliin. Leikkurilla piirretään samanlainen ristikon muotoinen kuvio kuin esimerkiksi standardissa ASTM D 3359.

Pinnoitteen arvostelua varten ristikkoa voidaan harjata kevyesti pehmeällä harjalla useita kertoja eteen- ja taaksepäin ristikkokuvion kummankin lävistäjän suuntaisesti. Jos pinnoite on kovaa, eikä ristikosta irtoa pinnoitetta harjattaessa, voidaan ristikon päälle kiinnittää teippi. Teipin, jota suositellaan käytettäväksi, tarttuvuus tulisi olla välillä 6 N...0 N/ 25 mm. Jotta kosketus on pinnoitteeseen riittävä, hangataan teippi tiukasti kiinni materiaaliin sormin. Pinnoitteen väri teipin alla toimii hyvänä osoituksena siitä, miten hyvin teippi on kiinnittynyt näytteeseen. Teippi kiinnitetään ristikon päälle ristikon toisten urien suuntaisesti. Teippi poistetaan viiden minuutin kuluessa kiinnityksestä noin 60 °:n kulmassa nopeasti 0,5...1 sekunnissa.

Arvostelussa käytetään samankaltaista asteikkoa kuin kahdessa aikaisemmassa ASTM -standardissa, mutta asteikko on päinvastainen. Arvosanaksi näyte voi saada arvon väliltä 0-5 siten, että 0 on hyvä ja 5 huono. Arvostelussa voidaan apuna käyttää suurennuslasia. Arvostelu voidaan suorittaa pehmeillä materiaaleilla heti harjaamisen jälkeen ja kovilla materiaaleilla teipin vedon jälkeen.

Testien aikana lämpötilan tulee SFS-EN ISO 2409 standardin mukaan olla  $23\text{ °C} \pm 2\text{ °C}$  ja kosteuden 50 % RH  $\pm$  5 % RH. Näitä olosuhteita tulee noudattaa, mikäli toisin ei ole sovittu.

## 5.4 Työssä käytetyt adheesion testimenetelmät

Adheesion voimakkuutta täytyy seurata ja kontrolloida pinnoitteen tekemisen jälkeen. Tähän tarkoitukseen täytyy olla riittävän tehokkaita testimenetelmiä mahdollisten epäonnistumisien havaitsemiseksi. (Zorll Ulrich. 2006, 1.) Testaustapojen täytyy olla myös riittävän tehokkaita, jotta saadaan eroja hyvienkin pinnoitemateriaalien välillä ja voidaan edelleen kehittää parempia pinnoitemateriaaleja.

Adheesion testaukseen käytettäviä menetelmiä ovat esimerkiksi erilaiset teippi- ja hilaristikkotestimenetelmät. Näiden testimenetelmien lisäksi tässä opinnäytetyössä testataan eräänlaista hankaustestimenetelmää Taber-laitteella. Taber-laite on tarkoitettu materiaalin hankauskulutuskestävyyden määrittämiseen.

### 5.4.1 Teippitesti

Seuraavaksi on kerrottu kahdesta, tässä opinnäytetyössä käytetyistä teippitestimenetelmistä.

#### **UPM Raftac Oy:n teippitesti (Kollanen Päivi. 2008a.)**

Teippitesti on tällä hetkellä UPM Raftac Oy:n tutkimus- ja tuotekehityslaboratorion käyttämä testimenetelmä painoväriin ankkuroinnin tutkimisessa. Tämä teippitestimenetelmä perustuu suurimmaksi osaksi FINAT -testimenetelmään numero 21. Painoväriin ankkuroinnin testaukseen käytetään neljää eri teippiä, jotka ovat Tesan 4204-, 4104- ja 4124- sekä Scotchin 810-teippi. Painatukset tehdään RK Flexiproof 100 -testipainolaitteella.

Ankkuroinnin testaus suoritetaan kiinnittämällä teippi käsin painojäljen päälle. Teippi kiinnitetään painoväriin konesuunnan mukaisesti eli näytteen pidemmän sivun suuntaisesti. Kiinnitys tapahtuu peukalolla teippiä hangaten 10 kertaa. Tämän jälkeen teippi repäistään noin 10 sekunnin kuluttua kiinnityksestä irti nopealla liikkeellä 130 °:n kulmassa. Testi tehdään samalla tavalla kaikilla neljällä teipillä.

Tuloksen tulkintaa varten on asteikko 0–5, joista 5 osoittaa parasta adheesiota runkomateriaalin ja painoväriin välillä, kun taas 0 on huonoin arvosana. Arvosanan ollessa 5 ei yhtään painoväriä ole irronnut teipin repäisyn johdosta. Muut asteikon arvosanat tulee arvioida irronneen painoväriin pinta-alan suhteena pinta-alaan, joka jää

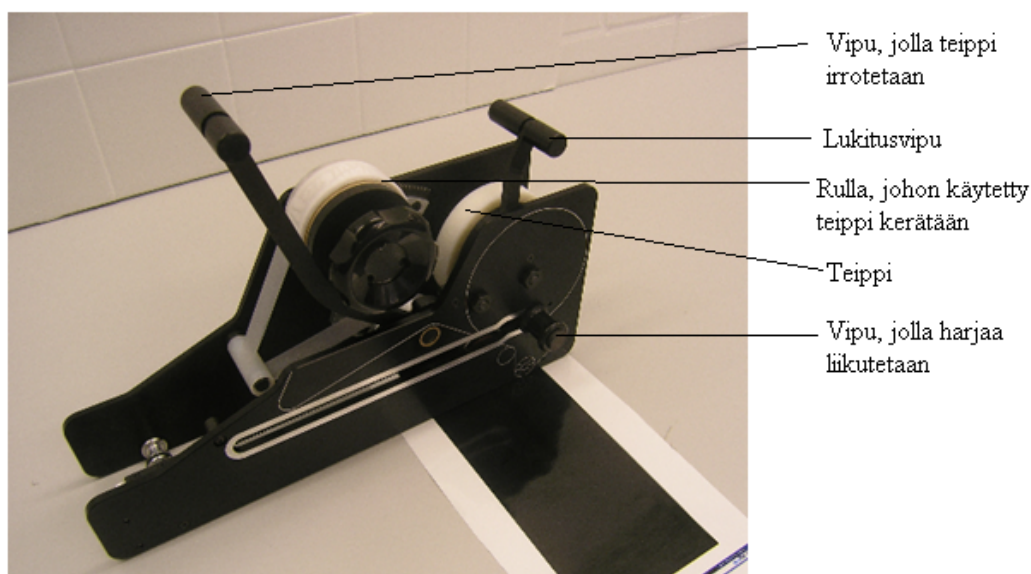
runkomateriaaliin. Arvosana 3 tarkoittaa, että noin puolet painoväristä on irronnut ja arvosanalla 0 kaikki painoväri on lähtenyt irti. Numeron lisäksi arvosteluun voi ottaa mukaan merkinnät +, - tai ½. Arvostelu on täysin visuaalista.

### DSM-teippitesti

DSM-teippitestissä teipin kiinnitys ja irrotus tapahtuvat käsin. Erona aikaisemmin kerrottuihin standardeihin ja UPM Raflatac Oy:n tutkimus- ja tuotekehityslaboratorion käyttämään teippitestiin on teipin irrotustapa. DSM-teippitestissä teippi vedetään nykien irti näytteestä.

#### 5.4.2 ReliaPull-teippitestikone (Random Logic LLC. 4)

Tässä opinnäytetyössä koekäytettiin kuvion 10 mukaista ReliaPull-teippitestikonetta. Kyseistä teippitestikonetta ei ollut UPM Raflatac Oy:n tutkimus- ja tuotekehityslaboratoriossa, vaan se tilattiin laitteen toimittajalta koekäyttöön.



Kuvio 10: ReliaPull-teippitestikone

Teippitestikoneessa teipin kiinnitys tapahtuu harjan avulla. Teippitestikone asetetaan painojäljen päälle ja harjan avulla teippi kiinnitetään painojälkeen 9,3–11,1 N:n voimalla. Harjaa liikutetaan siihen tarkoitettulla vivulla (kuvio 10). Kuviossa 10 harjaa ei näy, koska se on laitteen alla, vivun kohdassa, jolla sitä liikutetaan.

Sopivan ajan jälkeen teippi irrotetaan painojäljestä vivun avulla nykäisten (kuvio 10). Vipu nykäistään alaspäin, kun se lukitusvivun avulla on vapautettu. Käytetty teippi kerääntyy rullaan automaattisesti.

### 5.4.3 Hilaristikkotesti

Hilaristikkotesti perustuu standardeihin ASTM D 3359, ASTM F 1842 ja SFS-EN ISO 2409. Tässä opinnäytetyössä käytettiin kuvion 11 mukaista Elcometer-hilaristikkoviiltolaitetta. Käytetyssä hilaristikkoviiltolaitteessa oli kuusi terää 1 mm:n välein. Hilaristikkoviiltolaitetta testattiin sekä ASTM F 1842- että SFS-EN ISO 2409-standardeissa olevien testimenetelmien tavoin.



Kuvio 11: Elcometer hilaristikkoviiltolaite

### 5.4.4 Taber-laite

Taber-laitetta käytetään erilaisten tasaisten ja kiinteiden materiaalien kulutuskestävyyden määrittämiseen. (Pinteco) Tässä opinnäytetyössä kokeiltiin, soveltuuko Taber-laite painovärin ankkuroinnin määrittämiseen. Taber-laitetta ei ollut UPM Raflatac Oy:n tutkimus- ja tuotekehitysosastolla, vaan mittaukset suoritettiin UPM Lappeenrannan tutkimuskeskuksessa.

Hangattava näyte kiinnitetään pyörivälle alustalle ja sitä hierretään pyörivällä kulutuslaikalla. Tuloksia voidaan tulkita joko visuaalisesti tai erilaisten muuttujien, kuten painohäviön määrittämisellä (Pinteco). Arvostelu voidaan suorittaa myös mittaamalla vaaleutta ja densiteettiä, niin kuin tässä opinnäytetyössä tehtiin.

## 6 Käytetyt materiaalit

Tässä opinnäytetyössä käytettiin testeihin joko itse RK Flexiproof 100 -testipainolaitteella painettuja materiaaleja tai oikealla, tehdasmittakaavan fleksopainokoneella painettuja materiaaleja. Kaikki painatukset on painokoneesta riippumatta painettu muovimateriaaleihin.

Painatuksia tehtäessä RK Flexiproof 100 -testipainolaitteella käytettiin koko ajan samaa UV-fleksopainoväriä. Teippitestejä tehtäessä käytettiin neljää erilaista teippiä.

### 6.1 Painatusmateriaalit

Painatusmateriaaleina käytettiin polyeteeniä (PE) ja polypropeenaa (PP), jotka olivat joko muovikalvoja tai muovipintaisia laminaatteja. Kaikkien käytettyjen materiaalien muovipinnat oli esikäsitelty painatusta varten joko korona- tai lakkapinnoitteella.

Osa käytetyistä materiaaleista oli oikealla fleksopainokoneella valmiiksi painettuja laminaatteja. Painatuksissa oli musta UV-fleksopainoväri. Painokoneella painetuista näytteistä toinen oli PE-pintainen ja toinen PP-pintainen laminaatti. Painokoneella painettuja näytteitä käytettiin tässä opinnäytetyössä, jotta painolaatu olisi varmasti tasaista testiä suoritettaessa.

Osa käytetyistä materiaaleista painettiin RK Flexiproof 100 -testipainolaitteella. Nämä materiaalit olivat joko muovikalvoja tai muovipintaisia laminaatteja. Tämän opinnäytetyön tutkimustyöosaan on taulukoituna mitä materiaaleja on käytetty kussakin erillisessä tutkimuksessa.

### 6.2 Teipit

UPM Raflatac Oy tutkimus- ja tuotekehityksen laboratorion teippitesteissä käytetään neljää eri teippiä, jotka ovat Tesan 4204-, 4104- ja 4124- sekä Scotchin 810-teippi. Näitä kaikkia teippejä käytettiin tässä opinnäytetyössä, mutta ei joka tutkimusosiossa. Tutkimustyön osioissa on mainittu, mitä teippejä on käytetty tutkimuksen yhteydessä.

Tesan 4204-, 4104- ja 4124-teipeissä on luonnonkumiliima. Erona näissä teipeissä toisiinsa verrattuna on niiden tartuntavoimakkuus eli adheesio pintamateriaaliin.



Tuoteselosteen mukaan teipin 4204 tarttuvuus teräkseen on 2 N/cm, teipin 4104 3,8 N/cm ja teipin 4124 on 3,2 N/cm. Kaikilla näillä teipeillä on PVC (polyvinyylikloridi) -tausta. (Tesa AG.) Scotchin 810-teippi on permanentti. (3M.) Tämä tarkoittaa, että se ei ole irrotettava vaan pysyy hyvin kiinni materiaalissa.

## 7 Tutkimustyö

Tutkimustyö on jaettu kahteen osaan. Ensimmäisessä osiossa oli tarkoitus saada selville, onko RK Flexiproof 100 -testipainolaitteen ja oikean fleksopainokoneen painettujen näytteiden painatuksen laadussa eroa. Jotta tämä saatiin selville, täytyi ensin löytää oikeat paineasetukset RK Flexiproof 100 -testipainolaitteen telojen välille. Tämän jälkeen voitiin verrata testipainolaitteella tehtyjä painatuksia oikealla painokoneella painettuihin näytteisiin ja tutkia onko niistä tehtyjen teippitestiä toistettavuudessa ja painoväriin ankkuroinnin tuloksissa eroja. Toisen osan tarkoituksena oli kehittää painoväriin ankkuroinnin testi- ja tulosten analysointimenetelmää, ja tutkia uusia mahdollisia painoväriin ankkuroinnin testimenetelmiä.

### 7.1 Osio I

Tavoitteena oli perehtyä RK Flexiproof 100 -testipainolaitteen toimintaan ja löytää oikeat paineasetukset sen telojen välille sen mukaan, minkä paksuisiin näytteisiin painatuksia tehtiin. Tämän jälkeen tutkittiin, saatiinko teippitesteillä samankaltaisia tuloksia sekä testipainokoneella painetuista että oikealla painokoneella painetuista näytteistä. Tarkoituksena oli selvittää, oliko teippitesti yhtä toistettava kaikilla materiaaleilla riippumatta painotavasta ja oliko RK Flexiproof 100 -testipainolaitteella painetut näytteet oikean painokoneen veroisia painatuksen suhteen.

#### 7.1.1 RK Flexiproof 100 -testipainolaitteen paineasetukset

RK Flexiproof 100 -testipainolaitteen nykyiset paineasetukset, joita UPM Raflatac Oy:n tutkimus- ja tuotekehityslaboratoriossa käytetään painatuksia tehtäessä, eivät perustu tarkasti testipainolaitteen käyttöohjeeseen. Tämän vuoksi haluttiin tutustua RK Flexiproof 100 -testipainolaitteen toimintaan tarkemmin ja löytää sopivat paineasetukset telojen välille, kun painatuksia tehdään eri paksuisille materiaaleille.

RK Flexiproof 100 -testipainolaitteen käyttöohjeen mukaan fleksolaatta- ja materiaalitelojen välistä painetta tulee muuttaa, jos näytteen paksuus muuttuu. Näytteen paksuuden ei pitäisi vaikuttaa anilox- ja fleksolaattatelojen väliseen paineeseen. (RK Print coat instruments. 2006, 14.) Nykyisin UPM Raflatac Oy:n tutkimus- ja tuotekehityslaboratoriossa painatukset on kuitenkin tehty samoilla paineasetuksilla

muoveille ja papereille riippumatta näytteen paksuudesta. Laminaatteja painettaessa paine on ollut hieman pienempi kuin pelkkiä kalvoja painettaessa.

UPM Raflatac Oy:n tutkimus- ja tuotekehityslaboratorion käyttämät paineasetukset ovat olleet muoveille ja papereille 50/50, clear on clear -laminaateille 60/60 ja muille laminaateille 65/65. RK Flexiproof 100 -testipainolaitteen käyttöohjeen mukaan sen paineasetukset olivat 90/130 90 µm:n paksuiselle koevedospaperille (RK Print coat instruments. 2006, 24). UPM Raflatac Oy:n tutkimus- ja tuotekehityksen käyttämät paineet telojen välillä vaikuttivatkin tämän perusteella olevan liian suurina painatuksia tehtäessä, sillä painettavat materiaalit voivat olla saman paksuisia tai jopa paljon paksumpia kuin koevedospaperi.

Väärin paineasetusten tiedettiin vaikuttavan painojäljen ulkonäköön. (Kollanen Päivi. 2008b.) Tavoitteena olikin saada selville, täytyi selvittää, millä paineasetuksilla saadaan paras mahdollinen painojälki eri paksuisille materiaaleille.

Paineasetuksia tutkittaessa täytyi ottaa huomioon, vaikuttivatko eri paineet telojen välillä painoväriin ankkurointiin. Painojälkeä tarkkailtiin luupin avulla ja painoväriin ankkuroitumista UPM Raflatac Oy:n tutkimus- ja tuotekehityksen laboratoriossa käytetyn teippitestimenetelmän avulla. Painojäljen selkeyden, optisen tummuuden, tarkkuuden ja painoväriin ankkuroinnin vaikutuksen perusteella valittiin paras paineasetus fleksolaatta- ja materiaalitelojen sekä fleksolaatta- ja aniloxtelojen välille.

### Testimateriaalit

Sopivia paineasetuksia telojen välille haettiin yhdeksälle eri paksuiselle materiaalille. Materiaalit ja niiden paksuudet on esitetty taulukossa 1. Muovien ja laminaattien paksuudet on mitattu UPM Raflatac Oy:n tutkimus- ja tuotekehityslaboratorion työohjeen mukaan A4-kokoisesta arkista paksuusmittarilla. Arkista tehtiin yhteensä 15 mittausta, joista laskettiin keskiarvo.

Taulukko 1: Käytetyt materiaalit ja niiden paksuudet

Materiaali	Paksuus / $\mu\text{m}$
PE-1	59
PE-2	92
PE-3	136
PE-1 laminaatti	132
PE-2 laminaatti	164
PE-3 laminaatti	205
PP	51
PP laminaatti, PET	94
PP laminaatti, paperi	116

Käytetyistä materiaaleista eripaksuisia PE-kalvoja oli kolme kappaletta. Nämä kalvot olivat keskenään samaa PE-kalvoa, mutta vain eripaksuisia. Laminaatteja, joissa oli samaa PE-muovia pintana, oli myös kolme kappaletta. PE-muovien pinnat olivat koronoitu. Näillä kaikilla PE-kalvoilla ja PE-pintaisilla laminaateilla oli siis samanlaiset pintaomaisuudet painettavuuden suhteen. PE-materiaalit valittiin, jotta saatiin eroja materiaalien paksuuksissa ja siten paineasetuksia etsittäessä saatiin mukaan mahdollisimman paljon eri paksuisia materiaaleja. PE-pintaisilla laminaateilla oli kaikilla paperitausta.

PP-kalvoja oli käytössä yksi ja PP-pintaisia laminaatteja oli kaksi kappaletta. Näissä laminaateissa oli pintana sama PP-muovi kuin pelkkä PP-kalvokin oli. PP-muovissa oli lakkapäällyste. Näillä kaikilla PP-materiaaleilla oli siis samat pintaomaisuudet painamisen suhteen, ainoastaan niiden paksuudet ovat erilaisia. Toisessa näistä PP-pintaisista laminaateista oli paperi- ja toisessa kirkas PET-tausta.

Eripaksuisia materiaaleja haluttiin riittävästi, jotta paineasetuksia etsittäessä oli tarpeeksi monta erilaista paksuutta kokeiltavana. Näin saatiin monelle eri paksuudelle sopivat paineasetukset telojen välille. Materiaaleiksi valittiin kaksi eri muovia, PE ja PP, koska näillä on erilaiset pintaominaisuudet painamisen suhteen. Nämä muovit oli myös esikäsitelty eri menetelmin: PE-muovi oli korononoitu ja PP-muovissa oli lakkapinnoite.

### **Fleksolaatta- ja materiaalitelojen välinen paine**

Ensin etsittiin sopiva paine fleksolaatta- ja materiaalitelojen välille. Tällöin pidettiin fleksolaatta- ja aniloxtelojen välinen paine vakiona. Parasta painetta fleksolaatta- ja materiaalitelojen välille etsittiin ensin PE-2-materiaalille taulukon 2 mukaisilla testipaineasetuksilla. PE-2-materiaalin tulosten perusteella etsittiin muille kahdeksalle materiaalille sopivia paineasetuksia.

Taulukko 2: RK Flexiproof 100 -testipainolaitteen paineasetukset käytetyille materiaalille

Materiaali	Paksuus / µm	Fleksolaatta-/ aniloxtela	Fleksolaatta-/ materiaalitela										
			40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140
PE-1	59	90	x	x	x	x	x	x	x				
PE-2	92	90	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
PE-3	136	90				x	x	x	x	x	x	x	x
PE-1-laminaatti	132	90				x	x	x	x	x	x	x	x
PE-2-laminaatti	164	90					x	x	x	x	x	x	x
PE-3-laminaatti	205	90					x	x	x	x	x	x	x
PP-1	51	90	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
PP-1-laminaatti, PET	94	90			x	x	x	x	x	x	x	x	x
PP-1-laminaatti, paperi	116	90				x	x	x	x	x	x	x	x

Taulukossa 2 on nähtävissä myös muiden materiaalien testipaineasetukset. Taulukkoon 2 on merkitty rastilla kunkin materiaalin kohdalle, mikä paine on ollut fleksolaatta- ja materiaalitelojen ja mikä fleksolaatta- ja aniloxtelojen välillä painatuksia tehtäessä. Nämä kaikki taulukon 3 mukaiset painatukset on tehty kuviollisella ja tekstiä sisältävällä painolaatalla.

Kustakin materiaalista tehtiin neljä rinnakkaista painatusta taulukon 3 mukaisilla paineasetuksilla. Näistä katsottiin luupilla painojälkeä. Luupilla pystyttiin erottamaan rasteritelan jättämät jäljet ja painojäljen kuvion tarkkuus. Rasteritelan jälkien tuli näkyä selkeästi, jos painatus oli onnistunut. Onnistuneen painojäljen rajojen tulee olla selkeät.

Vanhojen testipainatusten ja RK Flexiproof 100 -testipainolaitteen käyttöohjeen perusteella oikeaa painetta fleksolaatta- ja materiaalitelojen välille etsittiin väliltä 40–140. Fleksolaatta- ja aniloxtelojen välinen paine pysyi tässä vaiheessa vakiona ja täksi paineeksi valittiin 90, koska RK Flexiproof 100 -testipainolaitteen käyttöohjeen mukaan 90 µm:n paksuiselle koevedospaperille optimaalinen paine fleksolaatta- ja aniloxtelojen välille on 90. (RK Print coat instruments. 2006, 24.) PE-2-materiaalin paksuus oli 92 µm. Myös vanhojen testipainatusten perusteella 90 vaikutti sopivalta paineelta fleksolaatta- ja aniloxtelojen välillä.

Kaikilla materiaaleilla, niiden paksuudesta riippumatta, oli fleksolaatta- ja aniloxtelojen välinen paine sama haettaessa sopivia paineasetuksia fleksolaatta- ja materiaalitelojen välille. Näin toimittiin, koska fleksolaatta- ja aniloxtelojen välistä painetta RK Flexiproof 100 -testipainolaitteen käyttöohjeen mukaan ei tarvitse muuttaa näytteen paksuuden muuttuessa. (RK Print coat instruments. 2006, 24.)

Ennen sopiviin paineasetuksiin päätymistä, oli tärkeää tutkia, vaikuttaako paineen muutos telojen välillä painoväriin ankkurointiin. Painoväriin ankkurointia tutkittiin UPM Raflatac Oy:n tutkimus- ja tuotekehityslaboratorion teippitestimenetelmällä. Teippitesteissä käytettiin 2–4 teippiä, joita olivat Tesan 4204-, 4104- ja 4124- sekä Scocthin 810-teipit.

Tutkittaessa telojen välisten paineiden vaikutusta painovärin ankkurointiin painettiin 3–4 rinnakkaista näytettä taulukon 4 mukaisilla asetuksilla. Taulukkoon 3 on merkitty rastilla, mitä paineasetuksia fleksolaatta- ja materiaalitelojen välillä on käytetty painatuksia tehtäessä.

Taulukko 3: Painovärin ankkurointia varten painettujen näytteiden paineasetukset

Materiaali	Paksuus / $\mu\text{m}$	Fleksolaatta-/ aniloxtela	Fleksolaatta-/ materiaalitelä						
			70	80	90	100	110	120	130
PE-2	92	90	x		x			x	
PE-3	136	90	x		x			x	
PE-1-laminaatti	132	90	x		x			x	
PE-2-laminaatti	164	90	x		x			x	
PE-3-laminaatti	205	90		x			x		x
PP-1	51	90	x		x			x	
PP-1-laminaatti, PET	94	90	x		x			x	
PP-1-laminaatti, paperi	116	90	x		x			x	

Taulukon 3 mukaan tehdyt painatukset on tehty kuviollisella ja tekstiä sisältävällä painolaatalla. Tämän takia teippitestin tuloksia ei voitu arvostella antamalla arvosana samalla tavalla kuin UPM Raflatac Oy:n tutkimus- ja tuotekehityksen painovärin ankkuroinnin työohjeessa. Arvosana oli vaikea määrittää painatuksen kuvion vuoksi. Arvostelu oli siksi visuaalista ilman numerolla arvioimista.

Teippitestejä varten ei voitu myöskään vaihtaa toista, kahden suorakaiteen mukaista kuviota antavaa painolaattaa, koska painolaatan irrottaminen ja uudelleen kiinnittäminen olisi saattanut vaikuttaa painolaatan laatuun ja täten myös painojälkeen. Kuviollisesta ja tekstiä sisältävästä painojäljestä saatiin kuitenkin tarpeeksi hyvin selville telojen välisten paineiden mahdollinen vaikutus ankkurointiin. Teippitestit tehtiin kaikista muista materiaaleista paitsi materiaalista PE-1 tämän niukkuuden vuoksi.

### Anilox- ja fleksolaattatelojen välinen paine

Kun paineet fleksolaatta- ja materiaalitelosten välille oli löydetty, etsittiin sopivaa painetta fleksolaatta- ja aniloxtelosten välille. Myös tähän tarkoitukseen käytettiin ensin PE-2-materiaalia, jonka jälkeen etsittiin muille materiaaleille sopivat paineasetukset. Sopivaa painetta fleksolaatta- ja materiaalitelosten välille etsittäessä pidettiin fleksolaatta- ja materiaalitelosten välinen paine vakiona. Fleksolaatta- ja materiaalitelosten väliseksi paineeksi valittiin kullekin materiaalille aikaisemmin testattu ja sopivaksi havaittu paine.

Fleksolaatta- ja aniloxtelosten painetta muutettiin PE-2-materiaaliin painettaessa välillä 40–110. Taulukossa 4 on rastilla merkitty kunkin materiaalin kohdalle, mitä paineita on kokeiltu. Nämä kaikki painatukset on tehty kuviollisella ja tekstiä sisältävällä painolaatalla.

Taulukko 4: Flexiproofin paineasetukset kullekin materiaalille

Materiaali	Paksuus / $\mu\text{m}$	Fleksolaatta-/ materiaalitelat	Fleksolaatta- / aniloxtelat							
			40	50	60	70	80	90	100	110
PE-2	92	90	x	x	x	x	x	x	x	x
PE-3	136	120		x		x				
PE-1-laminaatti	132	120		x		x				
PE-2-laminaatti	164	120		x		x				
PE-3-laminaatti	205	130		x		x				
PP-1	51	110		x		x				
PP-1-laminaatti, PET	94	110		x		x				
PP-1-laminaatti, paperi	116	110		x		x				

Fleksolaatta- ja aniloxtelosten vaikutusta painojälkeen tutkittiin enimmäkseen materiaalilla PE-2 ja tämän tulosten perusteella painettiin muutama testipainatus myös muilla materiaaleilla. Rinnakkaisia painatuksia tehtiin materiaalista PE-2 kolme kappaletta ja muista materiaaleista tehtiin 2-3 rinnakkaista painatusta. PE-1-materiaalista ei tehty painatuksia sen niukkuuden vuoksi. Näistä näytteistä tarkkailtiin painojälkeä luupin avulla.



Haluttiin myös selvittää, oliko fleksolaatta- ja aniloxtelojen välisellä paineella vaikutus painoväriin ankkurointiin. Painoväriin ankkuroinnin testausta varten tehtiin taulukon 5 mukaiset painatukset kuviollisella ja tekstiä sisältävällä painolaatalla. Taulukkoon 5 on merkitty rastilla, mikä paine on ollut käytössä fleksolaatta- ja aniloxtelojen välillä, kun painatuksia on tehty.

Taulukko 5: Painoväriin ankkurointia varten painettujen näytteiden paineasetukset

Materiaali	Paksuus / $\mu\text{m}$	Fleksolaatta- /materiaalitela	Fleksolaatta-/aniloxtela		
			50	70	90
PE-2	92	90	x	x	x
PE-3	136	120	x	x	x
PE-1 laminaatti	132	120	x	x	x
PE-2 laminaatti	164	120	x	x	x
PE-3 laminaatti	205	130	x	x	x
PP-1	51	110	x	x	x
PP-1 laminaatti, PET	94	110	x	x	x
PP-1 laminaatti, paperi	116	110	x	x	x

Painatuksia tehtiin kolme rinnakkaista. Ankkurointia tutkittiin teippitestin avulla ja käytössä oli yksi teippi, joka oli Tesan 4204. Teippitesteissä käytettiin UPM Raflatac Oy:n tutkimus- ja tuotekehitysosaston teippitestimenetelmää.

### **Densiteettimittaukset ja painojäljen tasaisuuden tarkastelu**

Kun oli löydetty suuntaa-antavat paineasetukset telojen välille materiaalin paksuuden mukaan, vaihdettiin täysin uusi, kahden suorakaiteen muotoisen painatuksen antava painolaatta. Tämä painolaatta vaihdettiin, koska painatuksen painoväriin pinta-ala oli tässä painojäljessä suurempi ja siitä oli helpompi mitata densiteetti eli optinen tummuus ja tutkia painojäljen tasaisuutta tarkemmin. Painoväriin pinta-alan suuruuden vuoksi painojäljestä pystyttiin näkemään paremmin, antaako painolaatta tasaisen sinisen painojäljen vai onko painojälki joltain osin haaleampi tai onko painoväri jäänyt tarttumatta jostakin kohdin materiaalin pintaan.

Painolaatta vaihdettiin myös siksi, koska kahden suorakaiteen mukaisen painojäljen antavaa painolaattaa käytetään UPM Raflatac Oy:n tutkimus- ja tuotekehityslaboratoriossa RK Flexiproof 100 -testipainolaitteella painettaessa. Kun tällä painolaatalla tehtiin painatuksia, varmistettiin, että paineasetukset, jotka vaikuttivat

parhailta kuviollisella painolaataalla painettaessa, olivat hyvät myös uudella kahden suorakaiteen muotoisen kuvion antavalla painolaatalla painattaessa.

Painojäljen tarkastelua ja densiteettimittauksia varten tehtiin taulukon 6 mukaiset testipainatukset. Taulukkoon 6 on rastilla merkitty, mitkä paineasetukset telojen välillä on ollut käytössä, kun kullekin materiaalilla on tehty painatuksia. Painatuksia tehtiin kolme rinnakkaista. Näiden painatusten perusteella tehtiin lopulliset päätökset telojen välisten paineiden suhteen.

Taulukko 6: RK Flexiproof 100 testipainolaitteen paineasetukset

Materiaali	Paksuus / $\mu\text{m}$	Fleksolaatta-/ aniloxtelat	Fleksolaatta- / materiaalitelat				
			90	100	110	120	130
PE-1	59	90	x	x	x	x	
PE-2	92	90	x	x	x	x	
PE-3	136	90			x	x	x
PE-1 laminaatti	132	90		x	x	x	
PE-2 laminaatti	164	90			x	x	x
PE-3 laminaatti	205	90			x	x	x
PP-1	51	90		x	x	x	
PP-1 laminaatti, PET	94	90		x	x	x	
PP-1 laminaatti, paperi	116	90		x	x	x	

Painatuksista, jotka valittiin ulkonäön perusteella parhaiksi, mitattiin densiteetit. Densiteetit mitattiin, jotta nähtiin, oliko painoväri optinen tummuus materiaaleilla sama riippumatta paineasetuksista.

### 7.1.2 Teippitestin toistettavuus

Teippitestin toistettavuudessa on ollut ongelmia. Sen vuoksi haluttiin tutkia ja verrata, oliko painokoneella painettujen ja RK Flexiproof 100 -testipainokoneella painettujen näytteiden teippitestiin toistettavuudessa eroavaisuuksia ja mistä mahdolliset eroavaisuudet saattaisivat johtua. RK Flexiproof 100 -testipainolaitteella painattaessa käytettiin hyväksi havaittuja paineasetuksia.

## Materiaalit

Materiaalit, joita käytettiin teippitestin toistettavuuden tutkimisessa, ovat taulukossa 7. Taulukkoon 7 on merkitty näytteiden paksuudet, jotka on mitattu UPM Raflatac Oy:n tutkimus- ja tuotekehitysosaston työohjeen mukaisesti. Paksuudet on mitattu vain RK Flexiproof 100 -testipainolaitteella painettavista näytteistä, jotta tiedettiin valita oikea paine fleksolaatta- ja materiaalitelojen välille. Paksuuden lisäksi taulukossa 8 on painotapa sekä käytetyt paineasetukset.

Taulukko 7: Teippitestin toistettavuuden tutkimisessa käytetyt näytteet, niiden painotavat, paksuudet ja käytetyt paineasetukset

Näyte	Painotapa	Paksuus / $\mu\text{m}$	Paineasetukset
PE-1-kalvo	Flexiproof	92	90/110
PP-2-laminaatti	Flexiproof	129	90/120
PE-3-laminaatti	Painokone	-	-
PP-4-laminaatti	Painokone	-	-

## Työn kulku

RK Flexiproof 100 -testipainolaitteella tehtiin painatuksia kahteen eri materiaaliin, PE-1-kalvoon sekä PP-2-laminaattiin. PE-1-kalvon pinta oli koronoitu ja PP-2-laminaatin pinta oli lakattu. Painokoneella painetuista näytteistä molemmat olivat laminaatteja. Toisella näistä oli lakattu PE-pinta ja toisella lakattu PP-pinta. RK Flexiproof 100 -testipainolaitteella painetut ja painokoneella painetut näytteet eivät olleet täysin samoja PE- ja PP-muoveja.

Teippitestiä tehtiin nykyistä UPM Raflatac Oy:n tutkimus- ja tuotekehitysosaston teippitestimenetelmää käyttäen. RK Flexiproof 100 -testipainolaitteella painetuista näytteistä tehtiin teippitestiä 3 vuorokautta painatuksen painamisen jälkeen. Painokoneella tehdyt painatukset oli painettu aikaisemmin kuin testipainolaitteella tehdyt painatukset. Tämä ei kuitenkaan vaikuta painoväriin ankkuroinnin tuloksiin, sillä painoväriin ankkurointi ei muutu enää vuorokausi painamisen jälkeen.

Teippitestiä tehtiin neljällä eri teipillä, jotka olivat Tesan 4204, 4104 ja 4124 sekä Scotchin 810. Rinnakkaisia teippitestejä tehtiin 12 kappaletta yhtä teippiä kohti. Kaikissa teippitestin toistettavuuden tutkimiseen liittyvissä arvosteluissa on käytetty UPM Raflatac Oy:n tutkimus- ja tuotekehityksen painoväriin ankkuroinnin työohjeen

mukaista arvostelua, jossa arvosteluasteikko oli arvosanasta 0 arvosanaan 5. Näistä laskettiin keskiarvot ja hajonnat. Hajonnan perusteella voitiin määrittää teippitestin toistettavuus.

## **7.2 Osio II**

Toisen osion tarkoituksena oli kehittää painoväriin ankkuroinnin analysointi- ja testimenetelmää. Tässä osiossa oli kolme tavoitetta, joista ensimmäisessä oli tarkoitus kehittää ankkuroinnin analysointimenetelmää. Toisena tavoitteena oli kehittää nykyistä teippitestimenetelmää. Tämän jälkeen tutkittiin, löytyisikö painoväriin ankkurointiin jokin uusi testimenetelmä. Eri menetelmiä verrattiin keskenään.

### **7.2.1 Tulosten analysointimenetelmän kehittäminen**

Teippitestillä tehtyjen painovärien ankkuroinnin tulokset on nykyisen UPM Raflatac Oy:n tutkimus- ja tuotekehitysosaston teippitestimenetelmän työohjeen mukaan arvioitu visuaalisesti antamalla numeroarvo 0–5. Koska visuaalinen analysointi on analysoijan näköaistista riippuva, ei se ole kovinkaan helppo, luotettava eikä toistettava tapa analysoida. Visuaalisen analysoinnin tilalle yritettiin kehittää toimivampaa ja helpompaa tapaa analysoida näytteitä.

Uuden analysointimenetelmän täytyi olla tuotekehitystoimintaan soveltuva. Arvosteluasteikon tuli olla tarpeeksi kertova ja laaja, jotta mahdollisia eroja näytteiden välillä saataisiin esiin. Analysointimenetelmää kehiteltäessä käytettiin arvostelussa osion I näytteitä, jotka oli painettu teippitestin toistettavuuden tutkimista varten.

Uusia visuaalisen analysoinnin tilalle kehitettäviä analysointimenetelmiä, joiden soveltuvuutta painoväriin ankkuroinnin arvosteluun kokeiltiin, olivat painokuvion skannaus ja HP Photosmart Premier -kuvankäsittelyohjelman sekä densiteettimittalaitteen ja spektrofotometrin käyttö. Spektrofotometriä oli käytetty FINATin testimenetelmässä numero 22, joten siksi sen käyttöä ajateltiin. Spektrofotometrillä voidaan mitata optisia ominaisuuksia. Densiteetin mittausta käytetään yleisesti painojäljen laadun mittaamiseen. Densiteettimittalaitteella mitataan optista tummuutta.

Tulosten uudeksi analysointimenetelmäksi kokeiltiin HP Photosmart Premier -ohjelmaa. HP Photosmart Premier -ohjelman käyttöä varten näyte skannattiin. Tämän jälkeen skannatusta näytteestä valittiin testissä käytetyn teipin kokoinen alue. Tältä alueelta voitiin HP Photosmart Premier -ohjelman avulla laskea teipin aiheuttaman jäljen kohdasta painoväriin pisteet, jotka olivat teipin repäisyn jälkeen jääneet kiinni painettavaan materiaaliin. HP Photosmart Premier -ohjelman perusteella tulokseksi saatiin siis painoväriin määrä prosentuaalisesti tietyltä pinta-alalta. Tätä analysointimenetelmää varten analysoitiin yhteensä noin 90 näytettä.

Jo käytössä olevaa visuaalista analysointimenetelmää kehitettiin. Visuaaliseen tarkasteluun haettiin uutta ja laajempaa asteikkoa vanhan asteikon (0–5) tilalle, jotta näytteiden välille saataisiin selkeämpiä eroja. Erilaisia asteikkoja, joita ajateltiin vanhan asteikon tilalle, olivat joko 0–10 tai 0–100. Molemmissa asteikoissa oli kyseessä prosenttimäärä, joka kuvasi painoväriin määrää, joka teipin repäisystä oli jäänyt jäljelle. Näin siis esimerkiksi arvosanan 10 saanut näyte oli hyvä eli painoväristä oli jäänyt 100 % jäljelle. Arvosanan ollessa 5 oli puolet painoväristä irronnut eli 50 % oli jäänyt kiinni näytteeseen. Jos arvosana oli 0, näytteeseen ei ollut jäänyt teippitestin jälkeen tuskin yhtään painoväriä.

### **7.2.2 Teippitestin kehittäminen**

Teipin kiinnitys ja irrotus on tähän mennessä tapahtunut käsin. Käsin tehdyt kiinnitykset ja irrotukset vaikuttavat teippitestin tulokseen. Kiinnittäjän ja irrottajan vaikutusta on tutkittu aikaisemmin UPM Raflatac Oy:n tutkimus- ja tuotekehityslaboratoriossa suoritetussa työssä. Jo tehdyn työn tuloksena oli, että kiinnittäjällä näyttäisi olevan vaikutusta painoväriin ankkuroinnin tuloksiin.

FINAT-testimenetelmän numero 21 mukaan teippitesti on sitä rajumpi, mitä aggressiivisemmin teippi vedetään näytteestä irti. (FINATa. 2001, 53.) Tämän perusteella näyttäisi siltä, että myös irrottajalla saattaa olla vaikutusta painoväriin ankkuroinnin tuloksiin. Aikaisemman tehdyn tutkimuksen ja FINAT-testimentelmän numero 21 perusteella yritettiin löytää tasaisempia ja tekijästä riippumattomia tapoja suorittaa teippitesti.

Uutta teippitestin suoritustapaa kokeiltiin erilaisilla teipin kiinnitys- ja irrotustavoilla. Tarkoituksena oli löytää kiinnitys- ja irrotustavat, joihin ei tekijä voinut vaikuttaa.

Kiinnitystavoiksi valittiin käsi-, tela- ja nippikiinnitys. Irrotustavoiksi valittiin käsin irrotus, irrotus high speed release (HSR) -laitteella ja painon avulla repäisy. Myös vetotestauslaitteen toimivuutta teipin irrottamiseen kokeiltiin, mutta se ei ollut tarpeeksi tehokas.

Myös teipin kiinnitysajan vaikutusta haluttiin tutkia. Teipin kiinnitysajoiksi valittiin 0, 3 ja 10 minuuttia. Testimateriaalina käytettiin valmiiksi painokoneella painettua PE-3-laminaattia, jota on käytetty myös aikaisemmissa tutkimuksissa (taulukko 8).

Toistettavuudeltaan luotettavimman teippitestimenetelmän löytämisessä käytettiin avuksi MiniTab-ohjelman Taguchi-toimintoa.

Uuden menetelmän kehittämisessä ei kuitenkaan voitu kiinnittää huomioita ainoastaan siihen, millä menetelmällä saadaan pieni hajonta. Oli myös erityisen tärkeää, että menetelmä oli riittävän tehokas, jotta painoväri saatiin irtoamaan näytteestä. Toisaalta menetelmä ei saanut olla liian raju, jottei hyvistäkin näytteistä lähde painoväri irti ja täten mitään eroja ei saataisi aikaiseksi näytteiden välillä.

### **Kiinnitystavat**

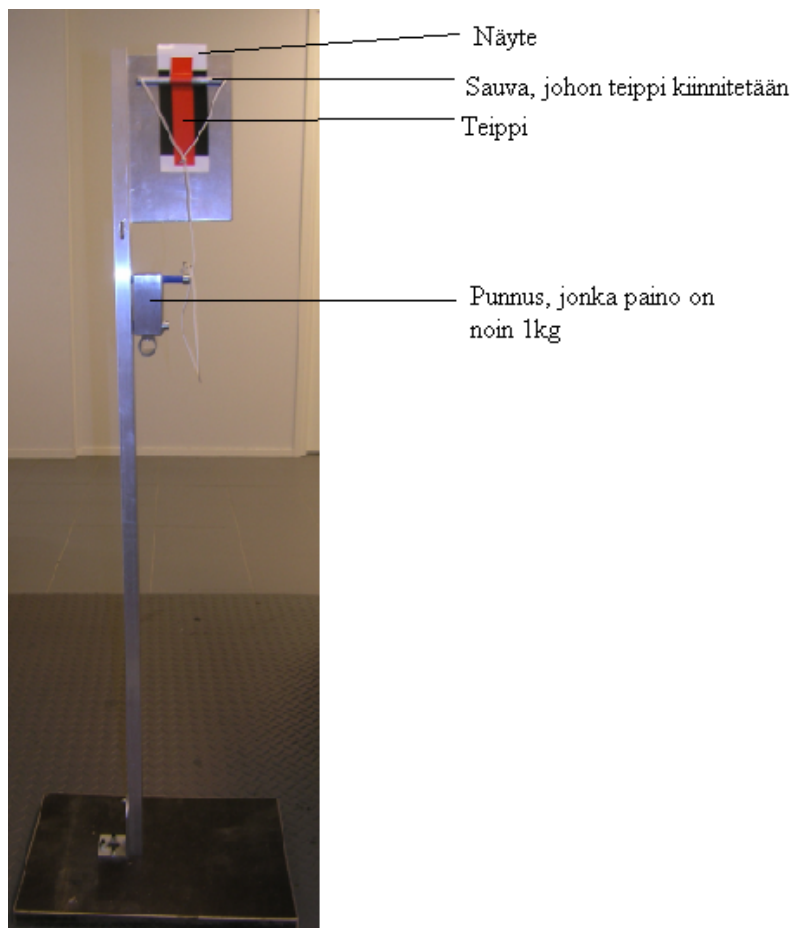
Erilaisia kiinnitystapoja, joita testattiin, olivat hankaus käsin sekä kiinnitys telalla ja nipillä. Nipillä kiinnitys tapahtui kiertämällä näyte, johon teippi oli hennosti käsin asetettu, nipin läpi kaksi kertaa. Käsin kiinnitys tapahtui UPM Raflatac Oy:n tutkimus- ja tuotekehityksen painovärin ankkuroinnin työohjeen mukaisesti noin 10 kertaa peukalolla hangaten teippiä vasten näytettä. Telalla teippi kiinnitettiin FINAT-testimenetelmien numero 21 ja 22 mukaisesti FINATin telalla kaksi kertaa edes takaisin teipin päältä rullaten.

### **Irrotustavat**

Irrotustapoja oli kolme kappaletta. Nämä tavat olivat käsin repäisy, high speed release (HSR) -laitteella irrotus sekä painon avulla repäisy. Irrotustavaksi kokeiltiin myös vetotestauslaitetta, joka oli käytössä FINAT-testimenetelmässä numero 22, mutta vetotestauslaite ei ollut tarpeeksi tehokas tapa, sillä painoväriä ei irronnut yhtään teippiä vedettäessä. Vetotestauslaitteen nopeutta ei voitu muuttaa tarpeeksi nopeaksi, jotta sillä olisi saatu irtoamaan painoväriä, joten sen käytöstä luovuttiin. Käsin repäisy tapahtui UPM Raflatac Oy:n tutkimus- ja tuotekehityksen painovärin ankkuroinnin työohjeen mukaisesti 130 °:n kulmassa teippi nopeasti repäisten.

HSR-laitteella mitataan irtoamisvoima, joka tarvitaan irrottamaan laminaatin tausta pintamaterialista. Irtoamisvoimaa mitattaessa HSR-laite vetää laminaatinäytteen taustan irti laminaatin pinnasta. HSR-laitetta sovellettiin teipin vetämisessä. Teippi kiinnitettiin HSR-laitteen leukojen väliin, ja teipistä vedettiin näyte irti HSR-laitteen avulla. HSR-laite valittiin, koska sillä irrotettaessa teippi irrotettaisiin aina samalla tavalla ja samalla nopeudella. HSR-laite veti teipin nopeudella 2 m/s 180 °:n kulmassa.

Painon avulla repäisy tapahtui kuvion 12 mukaisella laitteella. Tämä laite suunniteltiin itse ja se rakennettiin UPM Raflatac Oy:ssä. Laitteen suunnitteluvaiheessa narun pituutta vaihdeltiin. Narun pituus vaikuttaa siihen, kuinka kovan nopeuden punnus ehtii saamaan, kun se pääsee putoamaan. Punnuksen nopeus vaikuttaa siihen, millä nopeudella ja voimalla teippi lähtee irti näytteestä.



Kuvio 12: Teipin irrotuslaite painon avulla

Näyte kiinnitettiin metallilevyyn kaksipuoliteipillä. Näytteeseen kiinnitetyn teipin tuli olla tarpeeksi pitkä, jotta se voitiin kiinnittää narun päässä olevaan sauvaan. Naru oli toisesta päästä kiinni noin yhden kilon painoisessa punnuksessa. Kun punnus päästettiin tippumaan kiskoä pitkin, se repäisi teipin mukanaan noin 180 °:n kulmassa.

### **Taguchi – kokeellinen suunnittelu**

Sopivinta ja luotettavinta tapaa tehdä teippitesti analysoitiin MiniTab-ohjelman Taguchi-toiminnolla. Taguchin avulla voidaan määrittää eri muuttujien vaikutus samanaikaisesti sekä tulosten keskiarvoon että hajontaan. Taguchin avulla voidaan löytää tekijät, jotka maksimoivat suoritusarvon eli keskiarvon ja minimoivat samanaikaisesti häiriötekijät eli hajonnan. Ideana on siis parametrien optimointi. (Karjalainen 2007.)

Taguchi-toiminnon avulla voidaan vähentää työtä. Tämä tarkoittaa, että kaikkia muuttujien keskinäistä vaikutusta ei tarvitse kokeilla keskenään erikseen, vaan riittää, että tiettyjen muuttujien väliset vaikutukset tutkitaan keskenään. Taguchi-toiminto antaa matriisin, jonka mukaan tiettyjen muuttujien vaikutusta kokeillaan. Tämän jälkeen tulokset analysoidaan Taguchi-toiminnolla, joka määrittää muuttujien vaikutusta tuloksiin.

### **Työn kulku**

Kun mahdollisia kiinnitys- ja irrotustapojen toimivuutta oli testattu, valittiin toimivimmat tavat ja näistä tehtiin MiniTab-ohjelman Taguchi-toiminnolla matriisi, jonka mukaan teippitestit tehtiin. Taulukossa 8 on kyseinen matriisi, johon on merkitty eri kiinnitys- ja irrotustavat sekä kiinnitysaika.

Taulukko 8: Taguchin antama matriisi

Kiinnitys	Kiinnitysaika	Irrotus
käsin	0	käsin
käsin	3	HSR
käsin	10	paino
tela	0	HSR
tela	3	paino
tela	10	käsin
nippi	0	paino
nippi	3	käsin
nippi	10	HSR



Taulukosta 8 nähdään, että teippitestiin vaikuttavia tekijöitä eli muuttujia oli kolme kappaletta: kiinnitystapa, kiinnitysaika ja irrotustapa. Jokaista eri muuttujaa oli kolme kappaletta. Kiinnitystapoina olivat käsi-, tela- ja nippikiinnitys. Kiinnitysaikoina oli 0, 3 ja 10 minuuttia. Irrotustapoja olivat käsin, HSR-laitteella sekä painon avulla irrotus.

Taulukon 8 matriisia luetaan vaakatasossa, jotka muodostavat teippitesti yhdistelmiä, jolla kokeiltiin tehdä testejä. Esimerkiksi yksi teippitesti yhdistelmä matriisin mukaan on sellainen, jossa teippi kiinnitettiin käsin, kiinnitysaika oli 3 minuuttia ja teippi irrotettiin HSR-laitteella. Matriisissa on yhteensä yhdeksän erilaista teippitesti yhdistelmää, joista jokaisella tavalla tehtiin 13–14 rinnakkaista teippitestiä PE-3-laminaattiin. Teippeinä käytettiin Tesan 4124- ja 4104-teippejä.

Teippitesti tulokset arvioivat kaksi henkilöä. Tulosten arvostelussa käytettiin uutta parhaaksi todettua analysointimenetelmää. Arvostelun jälkeen tulokset analysoitiin Taguchi-toiminolla, jolla piirrettiin erilaisia kuvaajia. Taguchi pystyi määrittämään, mikä menetelmä on luotettavin.

Kaikki testit pyrittiin suorittaa vakio-olosuhteissa, jotka olivat 23 °C ja 50 % RH. Testiä, jossa näyte kiinnitettiin nipillä, annettiin olla kiinni 10 minuuttia ja irrotettiin painon avulla repäisten, ei suoritettu vakio-olosuhteissa. Testi, jossa näyte kiinnitettiin nipillä ja irrotettiin HSR-laitteella, tapahtuivat eri laboratorioissa, joten näytteiden siirtäminen paikasta toiseen tapahtui eri olosuhteissa, kuin testiolosuhteet muuten olivat.

### **7.2.3 Painovärin ankkuroinnin muut testimenetelmät**

Painovärin ankkuroinnin tutkimiseen kokeiltiin uusia testimenetelmiä. Uusia testattuja menetelmiä olivat hilaristikkoviiltolaitteen, teippitestikoneen ja Taber-laitteen käyttö sekä DSM-teippitesti menetelmä. Näistä kaikista tavoista on kerrottu aikaisemmin luvussa 5.4.

Testimateriaaleina käytettiin samoja valmiiksi painettuja laminaatteja, joita on käytetty myös tämän opinnäytetyön aikaisemmissa osioissa (taulukko 7). Testimateriaaleina käytettiin siis PE-3- ja PP-4-laminaatteja. Kaikki testit suoritettiin vakio-olosuhteissa, jotka olivat 23 °C ja 50 % RH.

### **ReliaPull-teippitestikone**

UPM Raflatc Oy:n tutkimus- ja tuotekehityslaboratoriossa ei ollut teippitestikonetta, mutta se saatiin toimittajalta testikäyttöön. Tarkoituksena oli saada selville teippitestikoneen soveltuvuus UPM Raflatc Oy:n tutkimus- ja tuotekehityslaboratorion käytössä ja näin voitiin päättää, olisiko teippitestikoneen hankinta järkevää.

Koska ReliaPull-teippitestikoneen työohjeessa ei ollut mainittu, miten kauan teippi tulee olla näytteessä kiinni, ennen kuin se nykäistään irti, täytyi sopivaa kiinnitysaikaa kokeilla. Testattaviksi kiinnitysajoiksi valittiin 10, 30 ja 60 sekuntia. Jokaisella kiinnitysaajalla tehtiin 5-10 teippitestiä PE-3- ja PP-4-laminaatteihin. Teippeinä käytettiin Tesan 4124- ja 4104-teippejä.

### **DSM teippitesti**

DSM-teippitestiä tehtiin 12 rinnakkaista testiä PE-3-laminaatille. Teippeinä käytettiin Tesan 4124- ja 4104-teippejä.

### **Hilaristikkoviiltolaite**

Hilaristikkoviiltolaitetta kokeiltiin hieman soveltaen hilaristikkotestiin liittyviä standardeja, joita olivat (ASTM D 3359), ASTM F 1842 ja SFS-EN ISO 2409 standardit. Testejä tehtiin 5–10 kappaletta sekä PE-3-laminattiin.

Edellä mainittujen standardien ASTM F 1842 ja SFS-EN ISO 2409 mukaan ristikot tehtiin samalla tavalla näytteisiin viiltolaitetta käyttäen. Näiden standardien mukaan myös teipit kiinnitettiin käsin, kuten standardissa. Koska ei SFS-EN ISO 2409- eikä ASTM F 1842 -standardissa ollut mainittu, miten teippiä tulee käsin hangata, kiinnitettiin teippi noin 10 kertaa peukalolla hangaten teipin päältä, kuten UPM Raflatc Oy:n tutkimus- ja tuotekehitysosaston painoväriin ankkuroinnin työohjeessa on ohjattu. Samalla katsottiin, miltä teipin alla oleva painoväri näyttää. Teipin alla olevaa väriä voitiin pitää osoituksena hyvästä kiinnityksestä teipin ja materiaalin välillä. Ensin hilaristikkoviiltolaitteella tehtiin ristikot molempiin materiaaleihin.

Teipit irrotettiin molempien standardien ohjeistuksen mukaisesti sekä 180 °:n kulmassa noin 90 sekunnin kuluttua kiinnityksestä (ASTM F 1842) että 60 °:n kulmassa noin viiden minuutin kuluttua (SFS-EN ISO 2409) kiinnityksestä. Rinnakkaisia testejä tehtiin 5–10 kappaletta PE-3- ja PP-4-laminaatteihin.

ASTM F 1842 -standardissa teipiksi oli valittu Permacel 99. Koska tätä teippiä ei ollut saatavilla, käytettiin teippeinä Tesan 4204-, 4104- ja 4124- sekä Scochtin 810-teippejä. Hilaristikkoviiltolaitteen mukana oli SFS-EN ISO 2409 -standardin suosittamaa teippiä, jota myös käytettiin.

### **Taber-laite**

Taber-laitetta ei ollut UPM Raflatac Oy:n tutkimus- ja tuotekehitysosastolla, joten Taber-laitteella tehdyt hankaukset suoritettiin UPM Lappeenrannan tutkimuskeskuksessa. Taber-laitteella hangatuista näytteistä mitattiin arvostelua varten densiteetti ja vaaleus. Myös nämä mittaukset suoritettiin UPM Lappeenrannan tutkimuskeskuksessa.

Taber-laitteessa voidaan muuttaa hankausten kierrosmäärää sekä kulutuslaikkaa, joka hankaa näytettä. Tässä opinnäytetyössä kierrosmääräksi valittiin 40, 80 ja 120 kierrosta ja kulutuslaikaksi CS-10. Kierrokset ja kulutuslaikka valittiin Valtion teknillisen tutkimuskeskuksen VTT:n ohjeen mukaisesti. VTT:n ohjeen mukaan painettuja näytteitä hangattiin 40 ja 80 kierrosta CS-10F-laikalla ja vastapainona oli 150 g (Siekkinen, Eija 2008b). Tässä opinnäytetyössä käytettiin siis lähes samaa laikkaa (CS-10) ja vastapainona oli 138 g.

Kaikilla kolmella kierrosmäärällä tehtiin 10 hankausta sekä PE-3- ja PP-4-laminaateille. Jokaisesta kymmenestä näytteestä mitattiin densiteetit. Rinnakkaisia densiteettimittauksia tehtiin yhdestä hankausnäytteestä 10. Densiteetti mitattiin sekä hangatusta että hankaamattomasta kohdasta.

Kymmenestä näytteestä viidestä mitattiin vaaleus spektrofotometrillä. Yhdestä hankausnäytteestä tehtiin kaksi rinnakkaista mittausta sekä hangatusta että hankaamattomasta kohdasta. Vaaleuden mittaaminen vei huomattavan paljon aikaa, joten siksi sen mittausten määrä on pienempi kuin densiteettejä mitattaessa.

## 8 Tulokset

### 8.1 RK Flexiproof 100 -testipainolaitteen paineasetukset

Sopivimmiksi paineasetuksiksi RK Flexiproof 100 -testipainolaitteen telojen välille saatiin taulukon 9 mukaiset asetukset. Taulukkoon 9 on merkitty kullekin materiaalille ja sen paksuudelle sopiva paine sekä fleksolaatta- ja aniloxtelojen että fleksolaatta- ja materiaalitelojen välille. Taulukon 9 tulosten perusteella voidaan päätellä, että näytteen paksuus vaikuttaa fleksolaatta- ja materiaalitelojen väliseen paineeseen, ja sitä kautta painojälkeen.

Taulukon 9 tulosten perusteella voidaan todeta, että UPM Raflatac Oy:n tutkimus- ja tuotekehityslaboratorion aikaisemmin käytetyt paineasetukset ovat olleet liian suuria. Tulos oli siten merkittävä, koska tämän opinnäytetyön johdosta paineasetukset ovat sopivammat kuin edelliset ja saadaan hyvä painojälki eri paksuisille materiaaleille.

Taulukko 9: Sopivat paineasetukset kullekin materiaalille

Materiaali	Paksuus / $\mu\text{m}$	Fleksolaatta-/ aniloxtela	Fleksolaatta-/ materiaalitela
PE-1	59	90	90
PE-2	92	90	110
PE-3	136	90	120
PE-1-laminaatti	132	90	120
PE-2-laminaatti	164	90	120
PE-3-laminaatti	205	90	130
PP-1	51	90	110
PP-1- laminaatti, PET	94	90	120
PP-1- laminaatti, paperi	116	90	120

Merkittävä tulos oli myös se, että telojen väliset paineet eivät vaikuttaneet painovärin ankkuroinnin tuloksiin. Siksi sopivimpiin paineasetuksiin telojen välille päädyttiin visuaalisen tarkastelun sekä densiteettimittausten pohjalta. Painojäljestä näkyi luupin avulla, mikä paine oli ollut fleksolaatta- ja materiaalitelojen välillä sopivin.

Densiteetit on mitattu näytteistä, jotka on painettu taulukon 9 mukaisilla paineasetuksilla. Densiteettimittausten tulosten perusteella saatiin selville, oliko painoväri optinen tummuus samaa luokkaa materiaalien kesken.

Densiteettimittausten keskiarvot ja hajonnat on koottu taulukkoon 10. Liitteen 1 taulukoissa 21 ja 22 on kaikki densiteettimittausten tulokset. Koska densiteettimittauksissa ei ollut suuria eroja, voitiin olla tyytyväisiä valittuihin paineasetuksiin. Densiteettimittauksia verrattiin erikseen PE- ja PP-materiaalien kesken.

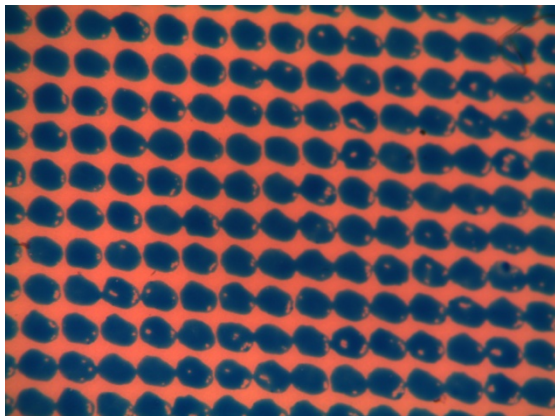
Taulukko 10: Densiteettimittausten tulokset

Materiaali	6 cm <sup>3</sup> /m <sup>2</sup>		5 cm <sup>3</sup> /m <sup>2</sup>	
	keskiarvo	hajonta	keskiarvo	hajonta
PE-1	0,857	0,005	0,785	0,011
PE-2	0,884	0,005	0,798	0,011
PE-3	0,866	0,017	0,802	0,012
PE-1 laminaatti	0,868	0,014	0,794	0,011
PE-2 laminaatti	0,873	0,013	0,794	0,012
PE-3 laminaatti	0,870	0,010	0,793	0,012
PP-1	0,794	0,017	0,708	0,031
PP-1 laminaatti, PET	0,823	0,010	0,748	0,007
PP-1 laminaatti, paperi	0,818	0,017	0,733	0,009

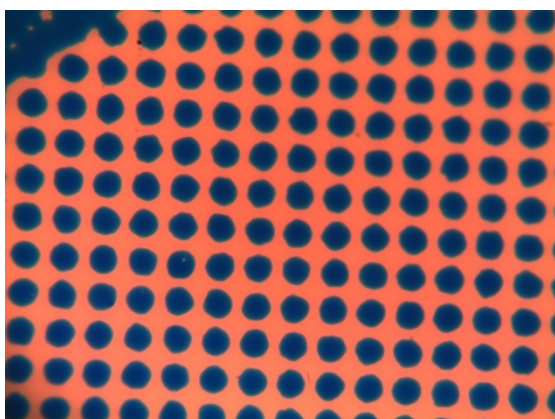
### **Telojen välisten paineiden vaikutus painojälkeen**

Paine fleksolaatta- ja materiaalitelojen välillä vaikutti merkittävästi painojälkeen. Jos paine oli liian suuri, painojälki oli epäselvä ja painoväri oli levittänyt yli painoalueen. Jos painetta oli liian vähän, painoväri ei tarttunut tarpeeksi näytteen pintaan. Paineen ollessa sopiva painojäljen rajat olivat selkeät ja sen ulkonäkö oli muutenkin hyvä.

Kuviossa 13 on mikroskooppikuva painatuksesta, jossa painojälki on epäselvä liian suuren fleksolaatta- ja materiaalitelosten välisen paineen takia. Kuviossa 14 on mikroskooppikuva painatuksesta, jossa paine oli fleksolaatta- ja materiaalitelosten välillä ollut sopiva. Kuvioissa voidaan selkeästi nähdä paineen vaikutus painojälkeen.



Kuvio 13: Painatus, joka on tehty liian suurella fleksolaatta- ja materiaalitelosten välisellä paineella



Kuvio 14: Painatus, joka on tehty sopivalla fleksolaatta- ja materiaalitelosten välisellä paineella

Kuten osattiin olettaa, fleksolaatta- ja aniloxtelosten välisellä paineella ei ollut merkitystä painojäljen laatuun, paitsi sen ylittäessä luvun 100. Jos telosten väli ylitti 100:n, väriä ei siirtynyt tarpeeksi painolaatalle. Muutoin fleksolaatta- ja aniloxtelosten välisen paineen muutos ei vaikuttanut millään tavalla painojälkeen kummallakaan muovimateriaalilla. Liian suurta painetta anilox- ja fleksolaattatelosten välille ei kuitenkaan kannattanut valita, koska se kuluttaa aniloxtelaa turhaan. Arvoksi telosten välille valittiin RK Flexiproof 100 -testipainolaitteen käyttöohjeen mukaan 90, koska mitään syytä paineen vaihtamiseen fleksolaatta- ja aniloxtelosten välille ei tullut esiin.

### **Telojen välisten paineiden vaikutus painoväriin ankkurointiin**

Teippitestiä perusteella fleksolaatta- ja materiaalitelojen välisellä paineella ei näyttänyt olevan merkitystä painoväriin ankkurointiin. Liitteessä 2 on sekä PP- (kuviokuva 22) että PE-2- (kuviokuva 23) materiaalien näytteet, joista on tehty teippitesti, kun fleksolaatta- ja materiaalitelojen välinen paine on ollut 70, 90 ja 120. Fleksolaatta- ja aniloxtelojen välinen paine oli tällöin 90. Näytteistä nähdään, että paineen muuttuessa painatuksesta ei ole irronnut ollenkaan painoväriä (kuviokuva 22) tai painoväriä on irronnut lähes saman verran kaikista näytteistä (kuviokuva 23).

Myöskään fleksolaatta- ja aniloxtelojen välisellä paineella ei ollut merkitystä painoväriin ankkurointiin. Liitteessä 2 on sekä PP- (kuviokuva 24) että PE-2- (kuviokuva 25) materiaalien näytteet, joista on tehty teippitesti kun fleksolaatta- ja aniloxtelojen välinen paine on ollut 50, 70 ja 90. Fleksolaatta- ja materiaalitelojen välinen paine oli PP-materiaalilla 110 ja PE-2-materiaalilla 90. Näytteistä nähdään, että painojäljestä ei ole irronnut painoväriä paineen muuttuessa. Näytteistä saadaan selville se, että paineen muuttuessa painojäljestä ei ole irronnut ollenkaan painoväriä (kuviokuva 24) tai painoväriä on irronnut lähes saman verran kaikista näytteistä (kuviokuva 25).

Kuvioiden 22–25 sekä muiden teippitestiä arvostelujen perusteella voidaan todeta, että telojen väliset paineet eivät vaikuta painoväriin ankkurointiin. Painoväri pysyy samalla tavalla näytteissä riippumatta siitä, mikä paine telojen välillä on ollut.

## **8.2 Teippitestiä toistettavuus**

Tehtyjen teippitestiä hajontojen perusteella teippitestiä toistettavuuden tulokseksi saatiin, että teippitesti ei ole kovinkaan toistettava testimenetelmä, kun painatukset on tehty RK Flexiproof 100 -testipainolaitteella ja painoväriin määrä on ollut  $6 \text{ cm}^3/\text{m}^2$ . Hajonta oli suurta näytteissä, joissa painoväriin määrä oli  $6 \text{ cm}^3/\text{m}^2$ . Huomattiin myös, että hajonta on suurempaa silloin, kun painoväriin ankkurointi on ollut huono. Hajonnat olivat selkeästi pienemmät näytteissä, jotka oli painettu oikealla painokoneella tai joiden painoväriin ankkuroinnin tulokset olivat hyviä.

Tulos on merkittävä, koska painatukset tehdään UPM Raflatac Oy:n tutkimus- ja tuotekehityslaboratoriossa RK Flexiproof 100 -testipainolaitteella. Koska edellä mainitulla testipainolaitteella tehdyissä painatuksissa painoväriin ankkuroinnin tuloksissa on enemmän hajontaa, etenkin painoväriin määrän ollessa  $6 \text{ cm}^3/\text{m}^2$ , täytyy tutkia, mistä tämä johtuu.

Taulukoissa 12 ja 13 on RK Flexiproof 100 -testipainolaitteella painetuista näytteistä tehtyjen teippitestiä keskiarvot ja hajonnat. Taulukossa 11 painettujen näytteiden painoväriin määrä on ollut  $5 \text{ cm}^3/\text{m}^2$  ja taulukossa 11 painettujen näytteiden painoväriin määrä on ollut  $6 \text{ cm}^3/\text{m}^2$ . Taulukoihin 11 ja 12 on merkitty tulosten lisäksi testissä käytetty materiaali ja teippi. Hajonnat ovat suurempia etenkin PP-2-laminaatin painatuksissa.

Taulukko 11: RK Flexiproof 100 -testipainolaitteella painetuista näytteistä tehtyjen painoväriin ankkuroinnin tulokset, värimäärä  $5 \text{ cm}^3/\text{m}^2$

	Teippi	4204	4104	4124	810
Näyte		$5 \text{ cm}^3/\text{m}^2$	$5 \text{ cm}^3/\text{m}^2$	$5 \text{ cm}^3/\text{m}^2$	$5 \text{ cm}^3/\text{m}^2$
PE-1-kalvo	keskiarvo	4,8	4,6	4,8	4,6
	hajonta	0,1	0,1	0,2	0,2
PP-2-laminaatti	keskiarvo	2,4	1,2	2,0	1,0
	hajonta	1,7	1,2	1,3	0,6

Taulukko 12: RK Flexiproof 100 -testipainolaitteella painetuista näytteistä tehtyjen painoväriin ankkuroinnin tulokset, värimäärä  $6 \text{ cm}^3/\text{m}^2$

	Teippi	4204	4104	4124	810
Näyte		$6 \text{ cm}^3/\text{m}^2$	$6 \text{ cm}^3/\text{m}^2$	$6 \text{ cm}^3/\text{m}^2$	$6 \text{ cm}^3/\text{m}^2$
PE-1-kalvo	keskiarvo	2,8	1,9	3,9	3,7
	hajonta	1,2	0,8	1,0	1,2
PP-2-laminaatti	keskiarvo	1,8	0,6	2,1	1,0
	hajonta	1,7	0,3	1,8	0,9

Taulukossa 13 on painokoneella painetuista näytteistä tehtyjen teippitestiä keskiarvot ja hajonnat. Taulukkoon 13 on merkitty tulosten lisäksi käytetty teippi sekä materiaali.

Taulukko 13: Painokoneella painettujen näytteiden keskiarvot ja hajonnat

Näyte	Teippi	4204	4104	4124	810
PE-3-laminaatti	keskiarvo	4,9	4,5	4,1	4,8
	hajonta	0,2	0,2	0,5	0,2
PP-4-laminaatti	keskiarvo	4,8	4,3	4,8	5,0
	hajonta	0,1	0,2	0,2	0,0



Taulukoiden 11, 12 ja 13 keskiarvot ja hajonnat on laskettu liitteessä 1 olevien taulukoissa 23, 24 ja 25 tuloksista, joissa on esitetty kaikki painovärien ankkuroinnin tulokset. Taulukossa 23 on PE-1-kalvon, taulukossa 24 on PP-2-laminaatin ja taulukossa 25 on PE-3- ja PP-4-laminaatin teippitestiä arvosanat sekä niistä lasketut keskiarvot ja hajonnat. Taulukkoihin on merkitty teipin nimi sekä aniloxtelan antama värimäärä. Painokoneella painetuista näytteistä ei ollut tiedossa värimäärää.

### 8.3 Tulosten analysointimenetelmän kehittäminen

Parhaaksi tulosten analysointimenetelmäksi valittiin visuaalinen arvostelu. Vaikka visuaalinen arvostelu on vaikea eikä niin luotettava tapa analysoida kuin jollakin mittalaitteella suoritettu arvostelu, päädyttiin kuitenkin siihen lopputulokseen, että se on tällä hetkellä paras ja tuotekehitystoimintaan soveltuva tapa arvostella painovärien ankkuroinnin tuloksia.

#### 8.3.3 Uusi visuaalinen analysointimenetelmä

Arvosteluasteikoksi valittiin asteikko arvosanasta 0 arvosanaan 10, koska se oli riittävän laaja asteikko. Arvosana tulee sen mukaan, kuinka monta prosenttia painoväriä on jäänyt näytteeseen teippitestiä tekemisen jälkeen. Arvosana 10 tarkoittaa, että yhtään painoväriä ei ole irronnut teippitestiä tekemisen johdosta eli 100 % painoväristä on pysynyt näytteessä. Arvosanan ollessa 5, on noin 50 % painoväristä pysynyt näytteessä. Jos arvosana on 0, lähes kaikki painoväristä on lähtenyt. Seuraavaksi on esitetty arvosteluasteikko, jossa on kerrottu, minkälaisista näytteistä kukin arvosana vastaa.

10	painoväriä jäljellä 100 %
9	painoväriä jäljellä 90 %
8	painoväriä jäljellä 80 %
7	painoväriä jäljellä 70 %
6	painoväriä jäljellä 60 %
5	painoväriä jäljellä 50 %
4	painoväriä jäljellä 40 %
3	painoväriä jäljellä 30 %
2	painoväriä jäljellä 20 %
1	painoväriä jäljellä 10 %
0	painoväriä jäljellä lähes 0 %

### **Uuden asteikon toimivuuden tarkastelu**

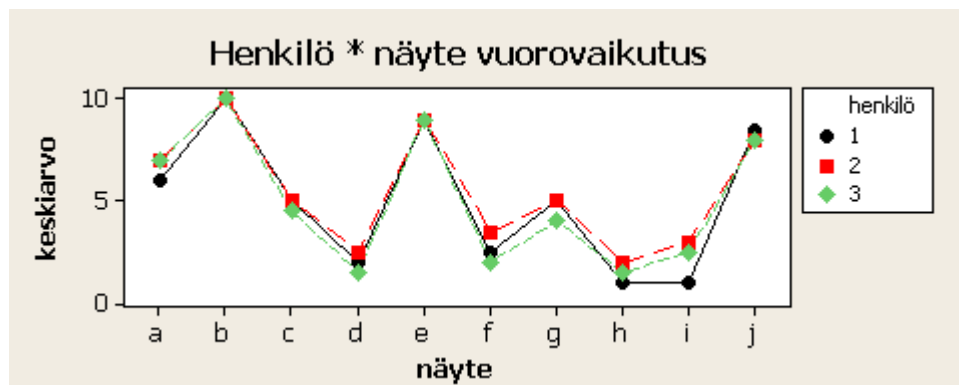
Uuden asteikon toimivuutta kokeiltiin näyttämällä kolmelle henkilölle erilaisia näytteitä, joista oli tehty teippitestit. Nämä näytteet oli arvioitu tätä ennen uuden menetelmän mukaisesti antamalla arvosana 0–10. Arvostelijoiden tuli antaa näytteille arvosana myös 0–10, joka kuvasi heidän mielestään näytettä parhaiten. Näytteitä oli yhteensä 20, joista puolet oli PE- ja puolet PP-näytteitä. Molempien materiaalien näytteet oli merkitty kirjaimin *a–j*.

Ensiksi arvostelijoille näytettiin ainoastaan PE-näytteet tietyssä järjestyksessä. Tämän jälkeen samat PE-näytteet näytettiin arvostelijoille uudestaan, mutta eri järjestyksessä. Arvostelijat näkivät kerrallaan vain yhden näytteen. Tämän jälkeen annettiin arvosteltavaksi PP-näytteet samalla tavalla, kuten PE-näytteet oli näytetty. Jokainen arvosteli kaikki näytteet siis kahdesti.

Arvostelijoiden tulokset ovat liitteessä 1 taulukossa 26. Taulukkoon 26 on merkitty arvostelijat 1, 2 ja 3 ja näiden antama tulos näytteestä *a–j* ja näytteiden *a–j* oikeat tulokset, joiden mukaan uuden analysointimenetelmän asteikko on laadittu. Taulukon 26 tulokset analysoitiin MiniTab-ohjelman Gage R&R -toiminnolla. Tällä saatiin selville, miten hyvin uuden analysointimenetelmän arvosteluasteikko toimi.

Gage R&R -toiminnolla saatiin selville, kuinka hyvin arvostelijat saivat samoista näytteistä samoja tuloksia keskenään ja kuinka hyvin he olivat osanneet arvostella näytteet oikeisiin tuloksiin verrattuna. Gage R&R -toimintoon syötettiin oikeat tulokset ja arvostelijoiden tulokset tietyssä järjestyksessä, joiden perusteella toiminto laski, miten hyvin arvostelijat olivat onnistuneet. Tulokseksi saatiin, että arvostelijat olivat arvostelleet lähes kaikki näytteet samoin arvosanoin kuin niin kutsutut oikeat näytteet tai ainakin hyvin lähelle oikeaa tulosta.

Gage R&R -toiminnolla piirrettiin arviolijoiden tuloksista muun muassa kuviossa 15 esitetty kuvaaja, jossa on esitetty arviolijoiden antamien arvosanat näytteiden  $a-j$  funktiona. X-akselilla on näytteet  $a-j$  ja Y-akselilla on arvosana. Eri väreillä on merkitty arviolijoiden antamat arvosanat. Kuviossa 15 oleva kuvaaja on piirretty PE-näytteiden tuloksista.



Kuvio 15: Arviolijoiden antamat arvosanat näytteiden  $a-j$ -funktiona

Kuvaaja kertoo, miten hyvin arviolijat ovat osanneet arvostella samat näytteet samoin arvosanoin. Ympyrä, neliö ja kulmio kuvaajassa ovat arviolijoiden antamia arvosanoja tietyillä näytteillä  $a-j$ . Jos nämä eivät ole samassa kohdassa, ovat arviolijat antaneet näytteille eri arvosanat. Jos taas kuviot ovat yhdessä, on näyte saanut kaikilta arviolijoilta saman arvosanan. Esimerkiksi näyteelle  $e$  kaikki arviolijat ovat antaneet saman arvion, joka on myös sama arvosana, joka on saatu, kun uutta analysointimenetelmää on kehitetty.

Kuvion 15 kuvaajasta voidaan nähdä, että arviolijat ovat antaneet näytteille lähes samat arvosanat. PP-näytteiden arviointi onnistui vielä paremmin kuin PE-näytteiden. Uuden analysointimenetelmä vaikutti Gage R&R -toiminnolla analysoitujen tulosten perusteella olevan toimiva.

Jotta visuaalinen arvostelu olisi helpompaa ja kaikkien arvostelu perustuisi samanlaisiin referenssinäytteisiin, tehtiin niin kutsuttu arvostelukansio. Kansion avulla kaikki teipetestien antamat näytteet on aina verrattu samoihin referenssinäytteisiin ja ovat aina keskenään vertailukelpoisia.

Arvotelukansioon laitettiin PE- ja PP-näytteitä, joista oli tehty teippitestit. Kansiossa on UPM Raflatac Oy:n tutkimus- ja tuotekehityslaboratorion kaikista käytössä olevista teipeistä tehdyt teippitestit. Nämä teipit ovat Tesan 4204, 4104 ja 4124 sekä Scothin 810. Kansioon pyrittiin saamaan jokaista arvosanaa kuvaava referenssinäyte. Kaikkia arvosanoja vastaavia näytteitä ei ollut saatavilla, joten kansiota tulee täyttää sen mukaan, kun sopivia puuttuvia näytteitä saadaan.

#### **8.3.4 Muiden kokeiltujen analysointimenetelmien tulokset**

Tulosten analysointimenetelmäksi ei soveltunut sen paremmin densiteettimittalaitte kuin spektrofotometrikkään näytteen koon ja ulkonäön sekä laitteiden mitta-aukkojen kokoerojen vuoksi. Densiteettimittalaitteella ja spektrofotometrillä ei tehty mittauksia lainkaan, koska niiden huomattiin heti olevan sopimattomia painoväriin ankkuroinnin analysointiin.

Alue, josta teippi on vedetty, on kooltaan noin 2,5 x 10 cm. Esimerkiksi densiteettimittalaitteen mitta-aukon halkaisija on vain muutaman millimetrin pituinen. Mitattava alue on paljon suurempi kuin mitta-aukko.

Ongelmaksi osoittautui eri kokojen vuoksi se, että mittauksia olisi pitänyt tehdä useampi yhdestä näytteestä. Densiteettimittalaitteella tai spektrofotometrillä ei voitu suorittaa mittauksia monesta eri kohdasta ja laskea näistä keskiarvoa, koska teippi voi jättää painatukseen jäljen, josta ei yksinkertaisesti pysty selkeästi mittaamaan tarkkaa tulosta.

Kuviossa 16 on kuva näytteistä, joista on tehty teippitesti. Teippi on irrottanut mustasta painatuksesta painoväriä niin, että valkoinen pinta on tullut esille. Kuviossa 16 voidaan havaita, kuinka hankala teipin jättämästä kuviossa olisi saada tasaisia mittauksia, jotka antaisivat kunnollisia tuloksia painoväriin ankkuroinnista.



Kuvio 16: Painatuksia, joihin on tehty teippitesti.

Painoväriin ankkuroinnin tulosten analysointimenetelmäksi ei soveltunut myöskään HP Photosmart Premier -ohjelma, koska sen käyttö osoittautui hitaaksi ja turhan hankalaksi. Kuvan skannaus onnistui hyvin, mutta HP Photosmart Premier -ohjelman käytön ongelmaksi osoittautui kuvan rajaaminen skannatusta näytteestä. Rajaaminen oli hankalaa, koska teipin jälki ei näy selkeästi ja rajausta voidaan asettaa väärään kohtaan, joka muuttaa tulosta. HP Photosmart Premier -ohjelmalla analysoitujen näytteiden tulokset ovat liitteen 1 taulukossa 27. Taulukkoon on merkitty näytteen visuaalisesti annettu arvosana, painoväriin pisteiden määrä ja kokonaispinta-ala, keskimääräinen koko sekä painoväriin määrä prosentuaalisesti.

Liitteen 1 taulukon 27 tulosten perusteella voidaan todeta, että visuaalinen arvio ja HP Photosmart Premier -ohjelman prosentuaalinen tulos painoväriin määrästä eivät vastaa niin hyvin toisiaan, että voitaisiin valita mitä arvosanaa vastaisi tietty prosentuaalinen painoväriin määrä. Kun painoväriin ankkuroinnin tulokset ovat olleet huonoja, vaihteli prosentuaalinen väriin määrä, eikä voida sanoa, että esimerkiksi arvosanaa 1 vastaisi jokin tietty prosenttiluku. Kun painoväriin ankkuroinnin tulokset olivat olleet hyviä, vastasi prosentuaalinen painoväriin määrä paremmin arvosanaa. Tämä johtunee siitä, että arvostelu on helpompaa, kun painoväriä on irronnut vähemmän painatuksesta.

## 8.4 Teippitestin kehittäminen

Uutta, käyttöön soveltuvaa teippitestimenetelmää ei tässä opinnäytetyössä onnistuttu löytämään, mutta muutos- ja tutkimusehdotuksia nykyiseen teippitestimenetelmään liittyen löytyi. Taulukoissa 14 ja 15 on eri teippitesti yhdistelmien tuloksista lasketut keskiarvot ja hajonnat. Taulukossa 14 on arvostelijan 1 ja taulukossa 15 arvostelijan 2 tulokset. Kaikki teippitesti yhdistelmien tulokset ovat liitteen 1 taulukoissa 28–31, joihin on merkitty testiyhdistelmät, keskiarvot, hajonnat, arvostelija sekä käytetyt teipit.

Taulukko 14: Arvostelijan 1 tulokset eri teippitesti yhdistelmistä

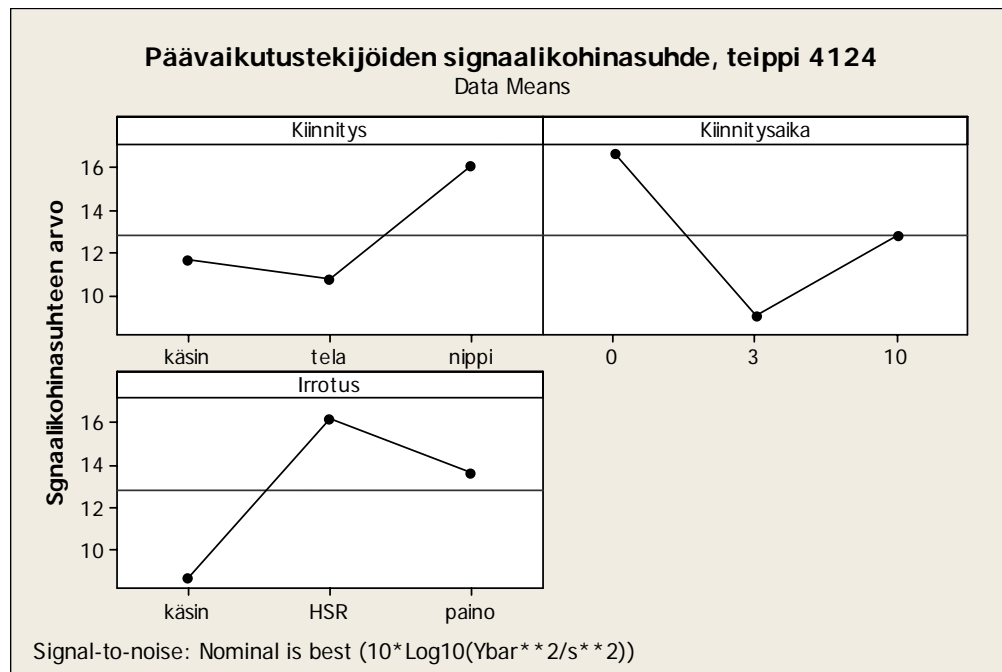
Arvostelija1			4124	4124	4104	4104
Kiinnitys	Kiinnitysaika	Irrotus	Keskiarvo	Hajonta	Keskiarvo	Hajonta
käsin	0	käsin	6,8	2,2	9,6	0,1
käsin	3	HSR	7,4	1,6	8,8	0,4
käsin	10	paino	5,5	1,5	8,8	1,2
tela	0	HSR	8,1	1,3	9,2	0,3
tela	3	paino	4,9	2,4	9,7	0,2
tela	10	käsin	1,3	0,4	6,6	1,7
nippi	0	paino	9,4	0,6	10,0	0,0
nippi	3	käsin	2,0	0,8	8,0	0,8
nippi	10	HSR	8,4	1,1	8,9	0,4

Taulukko 15: Arvostelijan 2 tulokset eri teippitesti yhdistelmistä

Arvostelija2			4124	4124	4104	4104
Kiinnitys	Kiinnitysaika	Irrotus	Keskiarvo	Hajonta	Keskiarvo	Hajonta
käsin	0	käsin	7,0	2,2	9,5	0,1
käsin	3	HSR	7,2	1,6	8,8	0,4
käsin	10	paino	5,7	1,5	8,9	1,0
tela	0	HSR	8,5	1,1	9,2	0,3
tela	3	paino	4,8	2,3	9,7	0,2
tela	10	käsin	1,4	0,6	6,6	1,7
nippi	0	paino	9,4	0,8	10,0	0,0
nippi	3	käsin	1,9	0,9	8,0	0,8
nippi	10	HSR	8,4	1,1	8,9	0,4

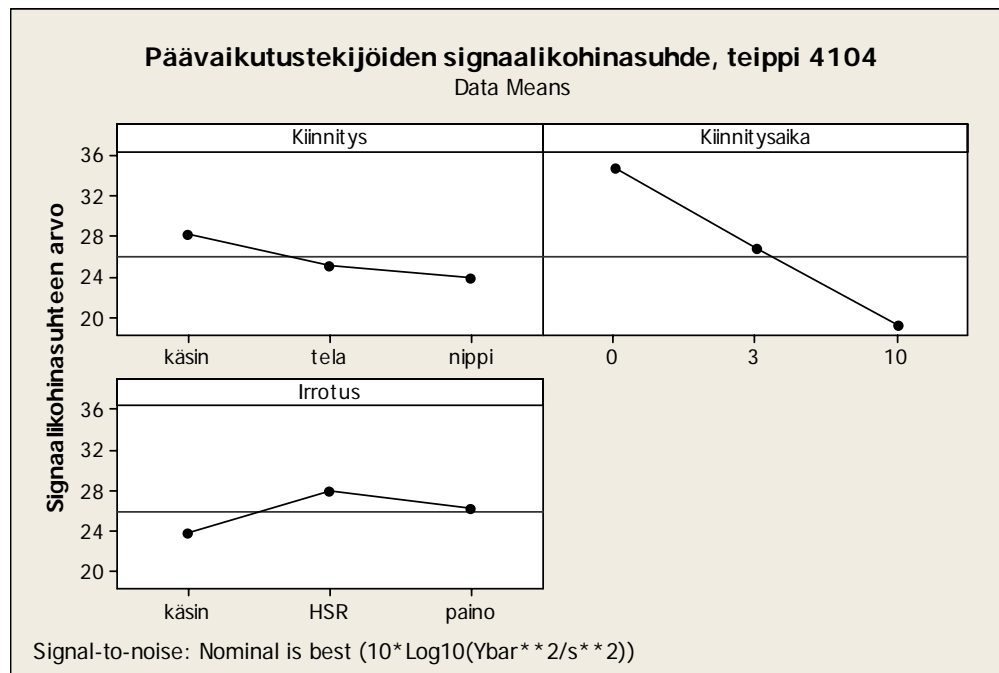
Taguchi-toiminnolla analysoidut tulokset ovat myös samojen liitteestä 1 olevien taulukoiden 28–31 tulosten mukaan tehty. Tuloksissa tulee ottaa huomioon, että Taguchin ehdottamaa luotettavinta testimenetelmää ei voida välttämättä ottaa käyttöön, koska testimenetelmän täytyy luotettavuuden lisäksi olla tarpeeksi tehokas, jotta painoväriä irtoaa painatuksesta ja eroja materiaalien välille saadaan.

Taguchi-toiminto antoi hieman ristiriitaisia tuloksia kahdelle käytetylle teipille kiinnitystapojen ja -aikojen suhteen. Tulokset voidaan päätellä kuvioiden 17 ja 18 perusteella, joissa on päävaikutustekijöiden eli -muuttujien signaalikohinasuhteet. Signaalikohinasuhde kertoo, millä tavalla saadaan luotettavimpia tuloksia. Mitä suurempi signaalikohinasuhde on, sen luotettavammasta menetelmästä on kyse. Signaalikohinasuhteen täytyy olla huomattavasti yli 20, jotta menetelmä on luotettava. Signaalikohinaa kuvaa Y-akseli. X-akselilla on muuttujat.



Kuvio 17: Muuttujien signaalikohina suhde, teippi 4124

Luotettavimmaksi teippitestin kiinnitystavaksi teipille 4124 osoittautui Taguchilla analysoitujen tulosten pohjalta nipillä kiinnitys. Tämä voidaan päätellä kuvioista 17, jossa päävaikutustekijöiden eli -muuttujien signaalikohinasuhde nipille on noin 16. Luotettavimmaksi kiinnitysaajaksi osoittautui 0 minuuttia. Sen signaalikohinasuhde oli hieman yli 16. Luotettavin irrotustapa oli HSR-laitteella irrotus, jonka signaalikohinasuhteeksi saatiin myös yli 16. Kaikki signaalikohinasuhteet olivat kuitenkin hyvin alhaisia.



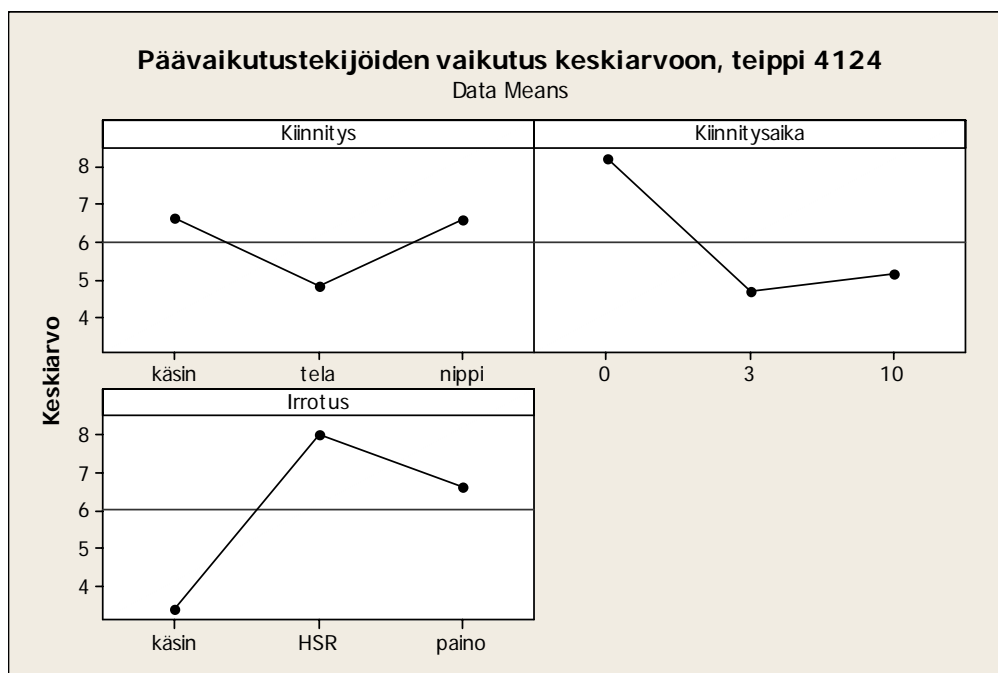
Kuvio 18: Muuttujien signaalikohina suhde, teippi 4104

Kuviossa 18 on teipillä 4104 tehdyistä teippitestien tuloksista signaalikohinasuhteet. Luotettavin kiinnitystapa oli käsin kiinnitys, jonka signaalikohinasuhde oli noin 28. Kiinnitysajoista paras oli sama kuin teipille 4124 eli 0 minuuttia. Tämän signaalikohinasuhde oli noin 35. Luotettavin irrotustapa oli myös HSR-laitteella irrotus, jonka signaalikohinasuhde oli noin 28.

Kuvioissa 19 ja 20 on kuvaajat, joissa on päävaikutustekijöiden eli -muuttujien vaikutus tulosten keskiarvoon. Näiden kuvioden perusteella voitiin päätellä, mikä tapa on sopivin tehokkuudeltaan teippitestin suoritustavaksi tai kiinnitysjaksi. Kuvaajat kertovat, millä testimenetelmällä saadaan tiettyä arvosanaa vastaavia näytteitä. Kun tiedettiin, että PE-3 laminaatin tulisi saada teipillä 4124 arvosanoja 6–8 ja teipillä 4104 arvosanoja 8–9, voitiin kuvaajien perusteella päätellä, mikä menetelmä antaa näitä arvosanoja. Kuvaajissa X-akselilla on muuttujat ja Y-akselilla keskiarvo.

Signaalikohinasuhteet ovat eri teipeille (4124 ja 4104) erilaiset. Tämä johtunee siitä, että testeissä käytetyillä teipeillä tuli erilaisia painovärien ankkuroinnin tuloksia: teipillä 4104 tulokset olivat hyviä, kun taas teipillä 4124 tulokset olivat huonompia kuin teipillä 4104.

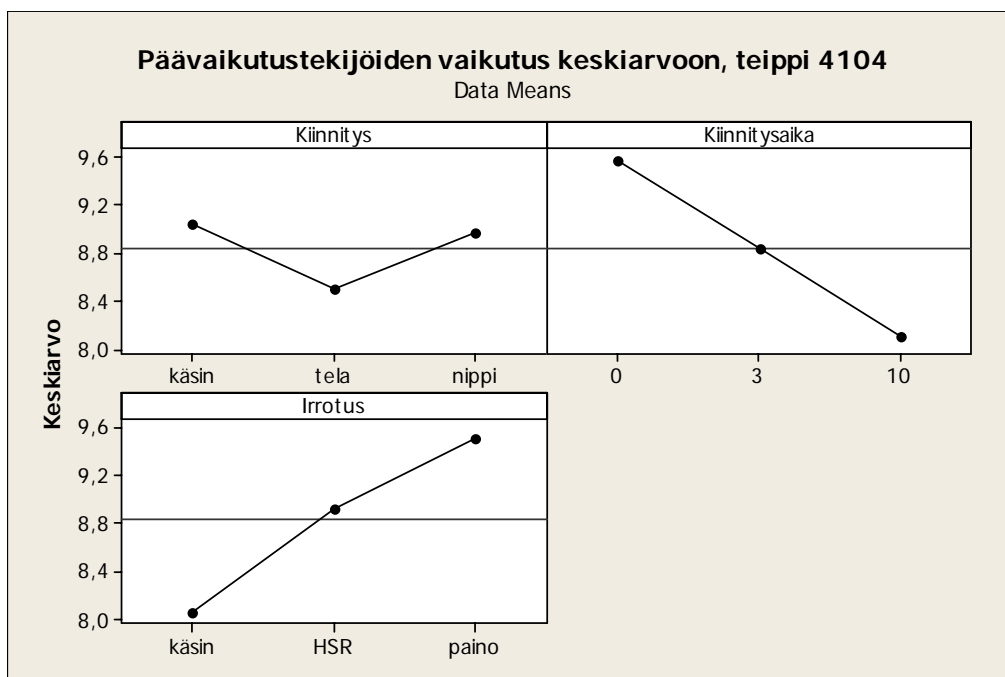




Kuvio 19: Päämuuttujien vaikutus tulosten keskiarvoon, teippi 4124

Kuviosta 19 voidaan päätellä, että käsini ja nipillä kiinnittämällä saadaan oikeanlaisia, noin 6,5, tuloksia teipillä 4124 tehdyissä testeissä. Telalla kiinnittäessä saadaan liian alhaisia tuloksia. Irrotustavaksi parhaiten sopisi keskiarvojen perusteella painon avulla repäisy. Käsini irrotus antaa liian huonoja tuloksia ja HSR-laitteella irrotus liian hyviä tuloksia.

Kiinnitysaajan ollessa 0 ja 3 minuutin välillä tulosten ero on suurta, sillä kuvaajassa olevien pisteiden välinen viivan jyrkkyys kuvaa, miten suuri tulosten ero aikavälien välissä on. Kuvaajan perusteella kiinnitysaajan ylittäessä kolmen minuutin tuloksiin ei tule enää niin paljon eroja. Vaikuttaisi siltä, että yli kolmen minuutin kiinnitysaajan jälkeen kiinnitysaajalla ei ole enää niin suurta vaikutusta tuloksiin, kun taas kiinnitysaajan ollessa alle kolme minuuttia sillä on suuri vaikutus painovärin ankkuroinnin arvoon. Yli kolmen minuutin kiinnitysaika saattaisi olla paras, vaikka sillä tuleekin vähän huonompia tuloksia kuin pitäisi.



Kuvio 20: Päämuuttujien vaikutus tulosten keskiarvoon, teippi 4104

Teipillä 4104 tehdyistä testeistä pitäisi tulla arvosana 8–9. Kuviosta 20 voidaan päätellä, että 4104 tehdyissä testeissä kaikilla kiinnitystavoilla tulisi sopivia tuloksia.

Kiinnitysaajan taas tulisi olla yli 3 minuuttia, jotta tulokset olisivat 8–9. Irrotustavoista sopivimmaksi osoittautui käsini tai HSR-laitteella irrotus. Painolla irrotettaessa saatiin liian hyviä tuloksia.

Taguchin avulla saatiin tulokseksi myös se, millä muuttujista on eniten vaikutusta teippitestin luotettavuuteen. Nämä tulokset olivat molemmille teipeille samat.

Signaalikohinasuhteiden tulosten perusteella kiinnitysaajalla oli suurin merkitys tulosten hajontaan. Toiseksi eniten tulosten hajontaan vaikutti irrotustapa. Pienin merkitys oli teipin kiinnitystavalla. Tulosten keskiarvoon vaikutti eniten irrotustapa, toiseksi eniten kiinnitysaika ja vähiten vaikutusta näytti olevan kiinnitysaajalla.

Uudestaan kokeiltaviksi testiyhdistelmiksi valittiin Taguchin antamien tulosten perusteella seuraavat: nipillä kiinnitys, kiinnitysaika 3 minuuttia, irrotus painon avulla repäisten ja kiinnitys telalla, kiinnitysaika 3 minuuttia, irrotus käsini. Tulosten analysoinnissa (luku 9) on kerrottu, miksi juuri nämä valinnat tehtiin.

## 8.5 Uusien painoväriin ankkuroinnin testimenetelmän kokeilu

Uusia painoväriin ankkuroinnin testimenetelmiä, joita tässä opinnäytetyössä kokeiltiin, olivat ReliaPull-teippitestikoneen, hilaristikkoviiltolaitteen ja Taber-laitteen käyttö sekä DSM-teippitesti. Mikään näistä menetelmistä ei ollut sopiva painoväriin ankkuroinnin tutkimiseen. Tässä luvussa on esitetty kaikkien menetelmien tulokset. Syyt, miksi näitä uusia analysointimenetelmiä ei otettu käyttöön, on luvussa tulosten analysointi (luku 9).

Taulukossa 16 on teippitestikoneella tehtyjen painoväriin ankkuroinnin tulokset.

Taulukkoon on merkitty kiinnitysaikat, teippi sekä tulosten keskiarvot ja hajonnat.

Taulukko 16: ReliaPull-teippitestikoneen tulokset

<b>Teippi 4124</b>			<b>Teippi 4104</b>		
<b>Kiinnitysaika / s</b>			<b>Kiinnitysaika / s</b>		
<b>10</b>	<b>30</b>	<b>60</b>	<b>10</b>	<b>30</b>	<b>60</b>
7	8	1	9,75	10	9,5
9,75	9	4	9,75	10	9,5
9,75	9	3	9,75	10	9,5
8,5	9,5	3	10	10	9,75
9,5	5	8,5	10	9,75	10
9,5	5,5	6	10	9,75	9,75
8	8	5	10		9,75
9,75	8,5	6			9,75
9,75	8	9			
8,5	9,5	8,5			
<b>9,0</b>	<b>8,0</b>	<b>5,4</b>	<b>9,9</b>	<b>9,9</b>	<b>9,7</b>
<b>1,0</b>	<b>1,6</b>	<b>2,7</b>	<b>0,1</b>	<b>0,1</b>	<b>0,2</b>

Keskiarvo

Hajonta

Taulukossa 17 on DSM-teippitestin tulokset. Taulukkoon 18 on merkitty teippi sekä tulosten keskiarvot ja hajonnat.

Taulukko 17: DSM-teippitestin tulokset

	Teippi 4101	Teippi 4124
	9,5	9,5
	10	9
	10	8
	9,75	7
	9,5	9
	9,5	9,8
	9,75	9,8
	9,75	8
	9,75	10
	9,5	8
	9,75	9
	9,5	8,5
Keskiarvo	<b>9,7</b>	<b>8,8</b>
Hajonta	<b>0,2</b>	<b>0,9</b>

Hilaristikkoviilto laitteen käyttö osoittautui huonoksi menetelmäksi kaikilla menetelmillä, joilla sitä kokeiltiin. Joko ristikosta ei irronnut yhtään painoväriä tietyillä teipeillä vedettäessä, vaikka kiinnitysaika oli ollut pitkä (noin 5 min.) tai painoväristä irtosi vain ristikon ympäriltä olevasta painojäljestä eikä lainkaan ristikosta. Harjalla harjattaessa ristikosta ei irronnut mitään. Hilaristikkomenetelmällä ei saatu painoväriä ankkuroinnista kertovia tuloksia.

Taber-laitteella hangattuista näytteistä mitattiin sekä densiteetit että vaaleudet. Kyseiset mittaukset tehtiin sekä hangatusta että hankaamattomasta kohdasta. Densiteetti- ja vaaleusmittauksien tulokset ovat liitteen 1 taulukoissa 32–34.

## 9 Tulosten analysointi

### 9.1 RK Flexiproof 100 -testipainolaitteen paineasetukset

RK Flexiproof 100 -testipainolaitteella tehtyjen painatusten perusteella voidaan todeta, että näytteen paksuudella on merkitystä siihen, mikä paine fleksolaatta- ja materiaalitelojen välillä tulee olla, jotta painojälki on oikeanlainen. Mitä ohuempi näyte on, sitä suurempi paine fleksolaatta- ja materiaalitelojen välillä tulee olla. Paine ei saa kuitenkaan olla liian pieni edes hyvin paksuilla näytteillä, koska tällöin painoväri ei enää tartu näytteeseen.

Tehtyjen painatusten perusteella käy ilmi myös se, että anilox- ja fleksolaattatelojen välisellä paineella ei ollut merkitystä painojälkeen, kuten RK Flexiproof 100 -testipainolaitteen käyttöohjeessa oli mainittu. Tämän takia niiden väliseksi paineeksi valittiinkin 90, joka oli RK Flexiproof 100 -testipainolaitteen käyttöohjeen mukaan optimaalinen arvo. Mitään syytä anilox- fleksolaattatelojen välisen etäisyyden muuttamiseen ei löytynyt.

Taulukon 9 tuloksista voidaan päätellä, että fleksolaatta- ja materiaalitelojen paine ei ole täysin verrannollinen ainoastaan näytteen paksuuteen vaan riippuu myös todennäköisesti siitä, mitä materiaalia näyte on ja mikä pintakäsittely materiaalille on tehty. Painatuksia tutkittaessa huomattiin esimerkiksi se, että lähes saman paksuisilla PP- ja PE-1-kalvoilla on eri paineasetukset. Tämä johtunee siitä, että ne ovat eri muovimateriaalia tai siitä, että niillä on erilaiset pintakäsittelyt tai näistä molemmista. PP-kalvolla oli lakkapinnoite ja PE-1-kalvon pinta oli koronoitu.

Painojälki oli selkeämpi PE- kuin PP-muoveille. Painojäljen selkeys johtunee muovikalvon pintakäsittelymenetelmästä tai itse muovimateriaalista. Tämän opinnäytetyön painatusten perusteella vaikuttaisi siltä, että koronakäsittelylle muoveille tulisi selkeämpi painojälki kuin muoveille, joissa on lakkapinnoite. Ei voida kuitenkaan olla täysin varmoja, johtuuko painojäljen selkeys ainoastaan muovimateriaalin esikäsittelymenetelmästä vai tämän lisäksi siitä, mikä muovimateriaali on kyseessä. Tässä opinnäytetyössä painettiin ainoastaan PP-muoviin, jossa oli lakkapinta ja PE-muoviin, jonka pinta oli koronoitu, siksi ei voida olla varmoja, tulisiko esimerkiksi lakatulle PE-kalvolle selkeämpi painatus kuin koronoidulle PP-kalvolle.

Painojäljen selkeyden ja saatujen paineasetusten perusteella vaikuttaisi siltä, että lakkapinnoitteella varustetut muovimateriaalit tarvitsisivat pienemmän paineen painatuksia tehtäessä kuin muovimateriaalit, joissa on koronakäsittely. Ei ole kuitenkaan varmaa, vaikuttaako sopivaan paineeseen fleksolaatta- ja materiaalitelojen välillä ainoastaan pinnan esikäsitteily vai myös se, mikä muovimateriaali on kyseessä.

Painatusten tutkimisen perusteella on tehty taulukko 18. Tästä taulukosta voidaan katsoa mitkä paineasetukset ovat millekin paksuudelle ja materiaalille sopivimmat.

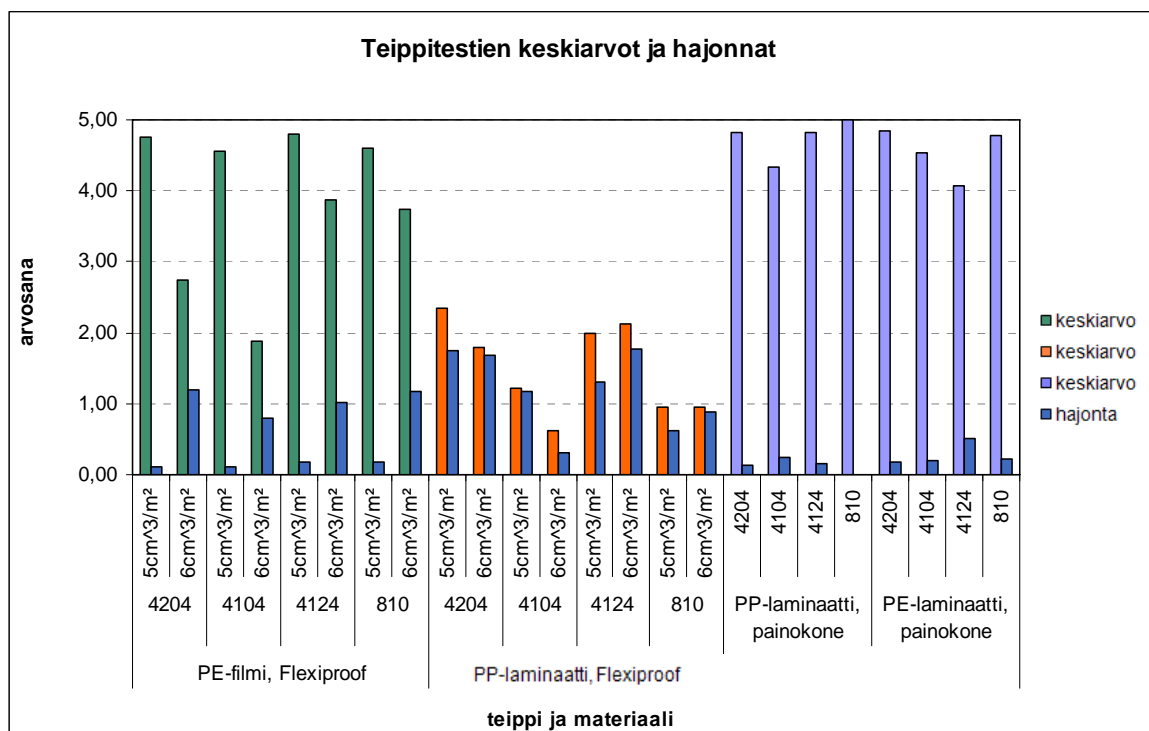
Taulukko 18: Sopivat paineasetukset materiaalin ja paksuuden mukaan

PE-filmit ja laminaatit	
Paksuus	Paineasetukset
50-90	90/90
90-130	90/110
130-190	90/120
yli 190	90/130
PP-filmit ja laminaatit	
Paksuus	Paineasetukset
50-90	90/110
yli 90	90/120

Koska näytteen materiaali ja mahdollisesti muovipinnan esikäsitteilytapa vaikuttavat paksuuden lisäksi fleksolaatta- ja materiaalitelojen väliseen paineeseen, pelkän paksuuden mukaan ei voida tehdä päätöksiä, vaan täytyy ottaa huomioon, onko materiaali PE- tai PP-muovi. Tämä tarkoittaa, että samoja täysin paineasetuksia ei voida käyttää PP- ja PE-materiaaleille, vaikka niiden paksuus olisi sama. Esimerkiksi ei voida painaa välttämättä yli 130 µm:n paksuisia PP-näytteitä samoilla asetuksilla kuin noin 130 µm paksuisen PE-näytteen. Ei voida myöskään olla varmoja, mikä paine fleksolaatta- ja materiaalitelojen välillä tulee olla, jos PP-materiaalin paksuus olisi yli 150 µm, koska tämän paksuisiin PP-näytteisiin ei tehty painatuksia.

## 9.2 Teippitestin toistettavuus

Kuviossa 21 on liitteessä 1 olevien taulukoiden 22–24 tulosten perusteella piirretty kaavio, jossa on kullekin materiaalille ja teipille teippitesti tulosten keskiarvot ja hajonnat. X-akselille on merkitty käytetty teippi, materiaali ja kone, millä painatus on tehty. Y-akselilla on arvosana. Kuvioon 21 on merkitty myös painoväriin määrä RK Flexiproof 100 -testipainolaitteella painettaessa.



Kuvio 21: Teippitesti tulokset keskiarvot ja hajonnat

Kuviossa 21 vihreät pylväät kuvaavat PE-1-kalvon (kuviossa 24 PE-filmi) keskiarvoja kullekin eri teipille ja värimäärälle. Oranssit pylväät kuvaavat vastaavia arvoja PP-2-laminaatille ja vaaleansiniset pylväät kuvaavat sekä PE-3- ja PP-4-laminaattien keskiarvoja. Tumman siniset pylväät taas kuvaavat eri materiaalien tulosten hajontoja.

Kuviosta 21 nähdään, että RK Flexiproof 100 testipainolaitteella painetuista näytteistä painoväriin ankkuroinnin hajonnat ovat suurempia kuin näytteiden, jotka oli painettu oikealla painokoneella. Etenkin näytteissä, joissa painoväriin määrä oli 6 cm<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>, hajonta oli suurempaa kuin näytteissä, joissa painoväriin määrä oli 5 cm<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.

RK Flexiproof 100 -testipainolaitteella painetun painoväriin ankkuroituminen PE-kalvoon oli parempi kuin PP-laminaattiin. PE-kalvoon tehdyissä teippitesteissä hajontaa

oli vähemmän kuin PP-laminaattiin painettaessa. Tämä johtunee siitä, että kyseisessä PP-laminaatissa painoväriin ankkurointi oli huonompi kuin PE-kalvossa. Vaikuttaisi siltä, että näytteissä, joissa vaikutti olevan hyvä painoväriin ankkurointi, oli vähemmän hajontaa kuin näytteissä, joissa ankkurointi oli ollut huonompi. Kuvion 21 perusteella vaikuttaisi siltä, että jos arvosana on yli 4, hajonta jää reilusti alle yhden. Jos taas arvosana on alle 4, hajontaa on selkeästi enemmän. PP-laminaatilla hajonnat ovat olleet jopa lähes yhtä suuria kuin keskiarvot. Huonojen näytteiden suurempi hajonta saattaa johtua osaksi siitä, että tämän kaltaisia näytteitä on vaikea arvostella ja hajontaa saattaa tulla pelkän visuaalisenkin arvostelun vuoksi.

Tulosten perusteella vaikuttaisi siltä, että RK Flexiproof 100 -testipainolaitteella painattaessa tulokset olivat huonompia ja hajontaa enemmän kuin painokoneella painetuissa näytteissä etenkin silloin, kun painoväriin määrä oli  $6 \text{ cm}^3/\text{m}^2$ . Painoväriin ankkuroinnin tulisi olla hyvä PE-materiaalilla. Näin olikin kun painoväriin määrä oli  $5 \text{ cm}^3/\text{m}^2$ , mutta painoväriin määrän ollessa  $6 \text{ cm}^3/\text{m}^2$ , tulokset olivat huonompia ja hajontaa suurempaa. Tästä päätellen painoväriin kuivatuksessa saattaa olla ongelmia. Kuivaimen teho ei välttämättä ole riittävän tehokas tai se voi olla jopa liian tehokas. Kuivaimen tehokkuutta ja näytteen kuivausaikaa olisi syytä tutkia enemmän.

Tulosten perusteella RK Flexiproof 100 -testipainolaitteella voidaan tehdä jatkossakin painatuksia, sillä oikealla painokoneella ja testipainokoneella tehtyjen painatusten laadussa ei vaikuttaisi olevan suuria eroja paitsi silloin, kun painoväriin määrä on  $6 \text{ cm}^3/\text{m}^2$ .

### **9.3 Tulosten analysointimenetelmän kehittäminen**

MiniTab-ohjelman Gage R&R -toiminnolla analysoitujen arvostelijoiden tulosten perusteella vaikutti siltä, että arvosteluasteikko 0–10 on hyvä asteikko. Tulosten arvostelemisen helpottamiseksi tehty arvostelukansio toivottavasti helpottaa arvostelua. Arvostelun on hyvä pohjautua samoihin referenssinäytteisiin, jotta tulokset ovat vertailukelpoisia koko UPM Raflatac Oy:n tutkimus- ja tuotekehitystoiminnassa.

Kuten luvussa 8.3.4 on kerrottu, muut analysointimenetelmät (densiteettimittalaitte, spektrofotometri tai HP PhotoSmart Premier ohjelma) eivät soveltuneet painoväriin ankkuroinnin tulosten analysointiin.



HP Photosmart Premier -ohjelmalla saadut tulokset olivat suhteellisen hyviä. Kyseisen ohjelman käyttö voisi toimiakin painovärin ankkuroinnin analysointimenetelmänä, jos se olisi nopeampi ja sillä olisi helpompi valita alue, josta painovärin määrä lasketaan. Tässä opinnäytetyössä mitta-alueena käytettiin teipin jättämän jäljen aluetta. Alueen määrittäminen oli hankalaa HP Photosmart Premier -ohjelmalla, koska alue ei näkynyt selkeästi skannatusta alueesta.

Toisaalta mitta-alueita voisi muuttaa teipin koon sijasta johonkin helpompaan. Mitta-alueen muuttamisessa tulee ottaa huomioon se, että kaikki teippitesteissä käytetyt teipit eivät ole täysin saman levyisiä, joten tuloksia ei voitaisi verrata keskenään, vaan joka teipille olisi oma asteikko. HP Photosmart Premier-ohjelman mittauksen perusteella voidaan todeta, että menetelmä saattaisi toimia analysointimenetelmänä, jos se olisi nopeampi. Menetelmä vaatii kuitenkin lisätutkimuksia.

## **9.4 Teippitestin kehittäminen**

Sopivinta kiinnitys- ja irrotustapaa ja kiinnitysaikaa etsittäessä ei voitu ainoastaan luottaa Taguchin antamiin tuloksiin vaan näytteiden ulkonäköä ja niiden tuloksia täytyi tutkia. Vaikka luotettavin tapa teipin irrottamiseen oli HSR-laitteella, se ei ollut sopiva irrotusmenetelmä, koska näytteestä ei irronnut tarpeeksi painoväriä. Käytännön kannalta HSR-laitteella irrotus olisi ollut myös hankalaa.

Sopivimmaksi irrotustavaksi valittiin painon avulla repäisy. Se oli luotettavampi kuin käsin irrotus. Myös käsin irrotusta haluttiin kokeilla, koska se on helpoin toteuttaa ja painon avulla repäisten oli saatu liian alhaisia tuloksia. Näitä molempia kokeiltiin uudestaan.

Sopivimmiksi tavoiksi kiinnittää näyte päädyttiin telaan tai nippiin, koska silloin kiinnittäjän vaikutus ei ole niin suuri kuin kädellä kiinnittäessä se vaikuttaisi olevan. Myös työergonomisista syistä telalla tai nipillä kiinnitys on kannattavampaa. Näitä molempia kokeiltiin uudestaan.

Sopivimmaksi kiinnitysaajaksi ei löydetty hyvää ratkaisua, sillä kiinnitysaajan valinta vaikutti olevan riippuvainen kiinnitystavasta. Uudestaan kokeiltavaksi kiinnitysaajaksi valittiin 3 minuuttia, koska se vaikuttaisi tulosten perusteella parhaalta, jos teippi

kiinnitetään telalla tai nipillä. Teippitesti yhdistelmää, jossa kiinnitys oli tapahtunut telalla kiinnitysajan ollessa 3 minuuttia ja irrotus oli tapahtunut käsin, ei ollut vielä kokeiltu, joten sitä haluttiin kokeilla. Myöskään teippitesti yhdistelmää, jossa kiinnitys oli tapahtunut nipillä ja irrotus painon avulla repäisten teipin ollessa kiinni näytteessä 3 minuuttia ei ollut kokeiltu.

Uudestaan kokeiltavaksi testimenetelmä yhdistelmäksi valittiin siis telalla kiinnitys, jolloin teippi oli kiinni 3 minuuttia ja irrotus tapahtui käsin. Toiseksi uudelleen kokeiltavaksi testimenetelmä yhdistelmäksi valittiin nipillä kiinnitys, jolloin teippi oli kiinni 3 minuuttia ja irrotus tapahtui painon avulla repäisten. Näistä kokeista saadut tulokset on esitetty taulukoissa 19 ja 20. Yhdistelmillä tehtiin teippitestit Tesan 4124 ja 4104 teipeillä PE-3- ja PP-4-materiaaleihin.

Taulukko 19: Telalla kiinnitys, 3 minuutin kiinnitysaika ja käsin irrotus -yhdistelmän tulokset

	PE-3, 4104	PE-3, 4124	PP-4, 4104	PP-4, 4124
keskiarvo	9,8	0,6	6,8	8,8
hajonta	0,3	0,2	1,0	0,3

Taulukko 20: Nipillä kiinnitys, 3 minuutin kiinnitysaika ja painon avulla repäisyllä irrotus -yhdistelmän tulokset

	PE-3, 4104	PE-3, 4124	PP-4, 4104	PP-4, 4124
keskiarvo	9,7	0,8	8,1	9,7
hajonta	0,3	0,9	1,1	0,1

Taguchilla tehtiin uudelleen kokeiltavista teippitesti yhdistelmistä ennuste siitä, minkä arvosanan ja hajonnan teippitesti yhdistelmät antavat. Teippitesti yhdistelmässä, jossa teipin 4124 kiinnitys tapahtui nipillä, PE-3-materiaalin painoväriin ankkuroinnin tulosten keskiarvoksi ennustettiin 5,8 ja hajonnaksi 1,3. Teipille 4104 vastaavaksi keskiarvoksi saatiin noin 10 ja hajonnaksi -1,2. Taulukosta 19 nähdään, että ennuste ei pitänyt lainkaan paikkaansa teipille 4124, mutta teipille 4104 ennuste on lähellä.

Teippitesti yhdistelmälle, jossa teipin 4124 kiinnitys tapahtui telalla, ennustettiin painoväriin ankkuroinnin tulosten keskiarvoksi PE-3-materiaalille 0,9 ja hajonnaksi 1,5. Keskiarvo teipille 4104 ennustettiin 7,3 ja hajonnaksi 1,2. Taulukosta 20 nähdään, että ennusteet olivat suhteellisen lähellä saatuja tuloksia.

Taulukon 19 ja 20 tuloksista nähdään, että hajonta on vähäistä molemmilla kiinnitys- ja irrotustavoilla. Jos verrataan nippi- ja telakiinnitysten teippitestin tuloksia sellaisten teippitestien tuloksiin, jotka oli kiinnitetty käsin, huomataan, että hajonnat ovat käsin kiinnitetyissä teippitesteissä suurempia (taulukot 14 ja 15). Näin on etenkin silloin, kun painoväriin ankkurointi on ollut huono. Sopiviksi kiinnitystavoiksi sopisikin joko telalla tai nipillä kiinnitys. Käytännön kannalta helpommaksi kiinnitystavaksi soveltuisi telalla kiinnitys. Nipin telojen välinen paine on vaikeampi pitää vakiona, koska painetta niiden välillä muutetaan jatkuvasti. Tämä johtaa siihen, että kiinnitys nipillä ei aina olisi samanlaista.

Hyvinä irrotustapoina toimisivat sekä käsin että painon avulla repäisy. Käytännön kannalta olisi helpompaa irrottaa teippi käsin. Toisaalta taas painon avulla repäisy ei vaikuttaisi olevan tekijästä riippuvainen menetelmä irrottaa teippi. Sopivaa kiinnitysaikaa tulisi tutkia, kunhan ensin päädyttäisiin sopivimpiin kiinnitys- ja irrotustapoihin.

Taulukon 19 ja 20 tulosten perusteella vaikuttaisi siltä, että kolmen minuutin kiinnitysaika on liian pitkä, koka esimerkiksi PE-3 materiaalille tulosten pitäisi olla välillä 6-8, jos testit on tehty teipillä 4124. Molemmilla teippitesti yhdistelmillä tulokset olivat paljon huonompia.

Parhaaksi kiinnitystavaksi tehtyjen testien ja käytännön kannalta valittiin telalla kiinnitys. Irrotustavoista joko käsin tai painon avulla repäisy vaikuttaisi olevan sopivin. Kiinnitysaikaa tulisi tutkia lisää. Sopivaksi kiinnitysaikaksi vaikuttaisi olevan alle 3 minuuttia.

## **9.5 Uuden teippitestimenetelmän tutkiminen**

### **ReliaPull-teippitestikone**

Teippitestikoneen etuna oli sen vakio kiinnitystapa, sillä kiinnitykseen ei oletettavasti vaikuttanut tekijä. Teippitestikoneen ongelmaksi osoittautui näytteen kiinnitysaika ja itse laitteen käyttö, joten siksi sen käyttöönottoa ei suositella. Kiinnitysaikasta parhaaksi osoittautui 60 sekuntia, koska ajan ollessa 10 tai 30 sekuntia näytteestä ei irronnut painoväriä kovinkaan paljon. 60 sekuntia oli kuitenkin turhan pitkä aika, sillä teippitestien tekemisestä tuli erittäin hidasta. 60 sekunnin kiinnitysaikalla hajonta oli

suurinta teippitestikoneen testeissä, joissa teippi oli 4124. Laite ei ollut muutenkaan niin käytännöllinen, jotta sellainen kannattaisi hankkia.

### **DSM-teippitesti**

DSM-testejä ei tehty enempää, koska sen huomattiin heti olevan hieman epäluotettava ja vaikea menetelmä. DSM-teippitestiä ei otettu eikä suositella käyttöön juuri sen vaikeuden ja epäluotettavuuden takia, vaikka painoväriin ankkuroinnin tuloksissa ei ollut suurta hajontaa. Tulokset ovat kuitenkin liian hyviä, sillä niiden pitäisi olla 6–8 teipille 4124. Nykimällä vetäminen vaikutti kuitenkin liian epäluotettavalta tavalta irrottaa teippi, sillä testin tekijällä näyttäisi olevan liian suuri vaikutus testin antamiin tuloksiin. DSM-teippitestin luotettavuutta tekijän mukaan pitäisi tutkia enemmän, jos tämän kaltaista menetelmää haluttaisiin käyttää.

### **Hilaristikkotesti**

Hilaristikkotesti ei toiminut lainkaan painoväriin ankkuroinnin tutkimisessa. Hilaristikkoviilto laitteen käyttö oli hieman epävarmaa eikä sillä saatu lähes minkäänlaisia painoväriin ankkuroinnin tuloksia aikaiseksi.

### **Taber-laite**

Taber-laitteen käyttö ei soveltunut painoväriin ankkuroinnin määrittämismenetelmäksi yhdessä densiteetin tai vaaleuden mittaamisen kanssa. Painoväriä hankautui painojäljestä, mutta molemmista näytteistä lähes samalla tavalla, vaikka PP-4-laminaatin tiedettiin olevan parempi painatusominaisuuksiltaan kuin PE-3-laminaatin. Hankausjäljestä nähtiin, että se ei kuvannut painoväriin ja pinnan välistä adheesiota, vaan painoväri oli kulunut pois painatuksesta.

Hankausjälki ei näkynyt selkeästi ja sitä oli vaikea erottaa. Densiteettiä tai vaaleutta oli hankala mitata näytteistä. Densiteetin ja vaaleuden tulosten perusteella, jotka ovat liitteen 1 taulukoissa 32–34, huomataan, että mittausten tulokset eivät olleet kovin erilaisia, vaikka ne oli mitattu hangatusta tai hankaamattomasta kohdasta.

## 10 Päätelemät ja mahdolliset lisätutkimukset

RK Flexiproof 100 -testipainolaitteen fleksolaatta- ja materiaalitelosten väliseen sopivaan paineeseen näytti vaikuttavan näytteen paksuuden lisäksi painettava materiaali tai pinnan esikäsitteilytapa tai nämä molemmat kaksi viimeksi mainittua yhdessä. PP-materiaalien paineestuksia etsittiin ainoastaan 51, 94 ja 116 µm paksuisille näytteille. Koska pelkän näytteen paksuuden mukaan ei voida määrittää painetta fleksolaatta- ja materiaalitelosten välillä, täytyisi ainakin yli 150 µm paksuisille PP-materiaaleille etsiä sopivat paineasetukset. Myös ohuille (noin 50 µm paksuille) PE-materiaaleille voisi tutkia paineestuksia enemmän, koska ohutta PE materiaalia oli tässä opinnäytetyössä käytössä hyvin vähän.

Painojäljen huomattiin olevan selkeämpi PE-materiaaliin kuin PP-materiaaliin. Näillä materiaaleilla oli myös erilainen pinnan esikäsitteily: PE-materiaali oli koronoitu ja PP-materiaalissa oli lakkapinnoite. Vaikka materiaaleilla oli sama paksuus, niillä oli eri paineasetukset. Tämän perusteella voitaisiin tutkia lisää pintakäsittelymenetelmän ja materiaalin vaikutusta painojälkeen ja paineeseen fleksolaatta- ja materiaalitelosten välillä.

RK Flexiproof 100 -testipainolaitteella tehdään painatuksia UPM Raflatrac Oy:n tutkimus- ja tuotekehityslaboratoriossa myös paperinäytteille. Tässä opinnäytetyössä sopivat paineasetukset etsittiin ainoastaan muovimateriaaleille. Tämän vuoksi olisikin varmasti syytä tutkia, voiko samoja papereille painattaessa käyttää samoja paineestuksia kuin esimerkiksi PE materiaaleille käytetään niihin painatuksia tehdessä. Muovipinnan esikäsitteilyn vaikutusta painojäljen ulkonäköön täytyisi tutkia enemmän, jotta voitaisiin sanoa, kuinka suuri merkitys sillä on paineestuksiin.

Painatuksia tehtäessä huomattiin, että kun paine pienentyy fleksolaatta- ja materiaalitelosten välissä, painoväri kuroutuu hieman enemmän kuin näytteissä, jotka oli painettu suuremmalla fleksolaatta- ja materiaalitelosten välisellä paineella. Kuroutuminen ei ollut suurta, mutta sen syntymisen ehkäisemiseksi voisi kuitenkin kokeilla esimerkiksi RK Flexiproof 100 -testipainolaitteen omalla UV-kuivaimella esikuivatusta, ja tämän jälkeen näyte kuivattaisiin vielä erillisellä UV-kuivaimella.

Teippitestin toistettavuutta tutkittaessa huomattiin, että RK Flexiproof 100 -testipainolaitteella painettujen materiaalien painoväriin ankkuroinnissa on enemmän hajontaa kuin näytteissä, jotka on painettu oikealla painokoneella. Hajontaa oli lähinnä enemmän näytteissä, joissa painoväriin määrä oli  $6 \text{ cm}^3/\text{m}^2$ . Painoväriin ankkuroinnin tulisi olla hyvä PE-materiaalilla. Näin olikin, kun painoväriin määrä oli  $5 \text{ cm}^3/\text{m}^2$ , mutta painoväriin määrän ollessa  $6 \text{ cm}^3/\text{m}^2$  tulokset olivat huonoja ja hajonta suurempaa. Tämän takia tultiin johtopäätökseen, että painoväriin kuivatuksessa saattaa olla ongelmia. Kuivaimen teho ei välttämättä ole riittävä tai se voi olla jopa liian tehokas. Kuivaimen tehokkuutta ja näytteen kuivausaikaa olisi syytä tutkia enemmän. Myös RK Flexiproof 100 -testipainolaitteen oman UV-kuivaimen käyttöönottamista voisi harkita, jos sen vaikutuksia tutkittaisiin enemmän.

HP PhotoSmart Premierin kaltainen ohjelma tai jonkinlainen värimäärää lukeva laite, jossa mitta-aukko olisi sopivan kokoinen, saattaisivat olla hyviä vaihtoehtoja analysoida painoväriin ankkuroinnin tuloksia. Visuaalinen tarkastelu on hankalaa, mutta toivottavasti helpottuu arvostelukansion myötä.

Koska uutta tapaa tehdä teippitesti ei löydetty, täytyy mahdollisia testimenetelmiä tutkia enemmän tai tyytyä nykyiseen teippitestimenetelmään. Uudeksi kiinnitystavaksi vaikuttaisi parhaalta telalla kiinnitys. Tätä kiinnitystapaa ja sopivaa kiinnitysaikaa kannattaisi vielä tutkia lisää. Irrotustavoista käsin irrotus on helpoin tapa. Toisaalta irrottaminen painon avulla repäisten vaikuttaisi olevan luotettavampi.

Painon avulla repäisy -irrotusmenetelmää voidaan kehittää. Koska narun pituus vaikuttaa testin tehokkuuteen, voidaan narun pituuden muuttamisella saada aikaiseksi parempia tuloksia kuin tässä opinäytetyössä kokeiltiin.

FINAT-testimenetelmän 22 mukaista testimenetelmää ei kokeiltu tässä opinäytetyössä ajan puutteen vuoksi ollenkaan. Tätä testimenetelmän toimivuutta painoväriin adheesion testimenetelmänä voisi kokeilla, mikäli se koetaan tarpeelliseksi.

## Lähteet

- 3M. United States. 1995-2006.[www-sivu] [viitattu 02.03.2009]. Saatavissa:  
[http://products3.3m.com/catalog/us/en001/Scotch/scotch\\_tape/node\\_GSWLSL7RXNbe/root\\_GST1T4S9TCgv/vroot\\_GSK1BP2734ge/gvel\\_0SSFWDG23Vgl/theme\\_us\\_scochtape\\_3\\_0/command\\_AbcPageHandler/output\\_html](http://products3.3m.com/catalog/us/en001/Scotch/scotch_tape/node_GSWLSL7RXNbe/root_GST1T4S9TCgv/vroot_GSK1BP2734ge/gvel_0SSFWDG23Vgl/theme_us_scochtape_3_0/command_AbcPageHandler/output_html)
- ASTM International. ASTM F1842-02. Standard Test Method for Determining Ink or Coating Adhesion on Plastic Substrates for Membrane Switch Applications.
- ASTM International. ASTM D 3359-08. Standard Test Methods for Measuring Adhesion by Tape Test.
- FINATa. Technical Handbook 6<sup>th</sup> edition. 2001. FINAT Test Method no. 21. Ink Adhesion – basic
- FINATb. Technical Handbook 6<sup>th</sup> edition. 2001. FINAT Test Method no. 22. Ink Adhesion - advanced
- Herkama; Hurme; Ilvonen; Lohilahti; Mäkinen; Toivonen & Viitala. Painotekniikan perusteet. Hervannan ammattioppolaitos. 1993. Opetushallitus. Tampere.
- Karjalainen E. Eero, 2007. Quality Knowhow Karjalainen Oy. Koesuunnittelu, DOE&Taguchi
- Kollanen, Päivi 2008a. UPM Raflatac Oy. Tutkimus- ja tuotekehityslaboratorion työohje. Teippitesti: pinnoitteen/painovärin ankkurointi.
- Kollanen, Päivi 2008b. UPM Raflatac Oy. Tutkimus- ja tuotekehityslaboratorion työohje. Painatus Flexiproof 100-UV.
- Kurri V.; Malén T.; Sandell R. & Virtanen M. 2002. Muovitekniikan perusteet. 3. painos. Hakapaino Oy.
- Pinteco. Indutrade group.[www-sivu] [viitattu 20.03.2009]. Saatavissa:  
[http://www.pinteco.fi/files/pinteco/pdf/Pinteco\\_Taber\\_5135\\_5155.pdf](http://www.pinteco.fi/files/pinteco/pdf/Pinteco_Taber_5135_5155.pdf)
- Random Logic LLC. ReliaPull™ Operating Instructions. ReliaPull teippitestikoneen käyttöohje.
- RK Print coat Instruments. 2006. The first name in sample preparation equipment. RK Flexiproof 100:n käyttöohje.
- Siekkinen, Eija 2008a. UPM Raflatac Oy. Insinööriyön aloituspalaverin työsuunnitelma.

Siekkinen, Eija 2008b. Valtion teknillisen tutkimuskeskuksen Taber-laitteen ohjeistus. [sähköpostiviesti 24.2.2009.] eija.siekkinen@upmraflatac.com. Tulostettu 1.3.2009.

Suomen standardisoimisliitto. SFS-EN ISO 2409. Maalit ja lakat. Hilaristikkokoe.

Tesa AG. Beiersdorf company. [www-sivu] [viitattu 02.03.2009]. Saatavissa: <http://www.tesa.com/meta/search/195291,1,IndustryProductDb.html>

TMI, Testing machines inc. [www-sivu] [viitattu 13.01.2009]. Saatavissa: <http://www.testingmachines.com/pdf/30-60-flexiproof-100.pdf>

UPM Raflatac. [www-sivu] [viitattu 23.01.2009]. Saatavissa: <http://www.upmraflatac.com/europe/eng/>

Zorll Ulrich. 2006. Coatings Technology Handbook, third Edition. Kappale 6, Adhesion testing. 2006, Taylor & Francis Group, LLC.



# Liitteet

## Liite 1: Tulokset

### Densiteettimittaukset

Taulukko 21: Densiteettimittausten tulokset painoväriin määrän ollessa 6 cm<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>

PE-1	PE-2	PE-3	PE-1-lam.	PE-2-lam.	PE-3-lam.	PP-1	PP-1-lam. PET	PP-1-lam. paperi
0,86	0,89	0,88	0,9	0,9	0,86	0,8	0,83	0,83
0,86	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88	0,79	0,83	0,84
0,86	0,88	0,88	0,85	0,88	0,88	0,76	0,81	0,83
0,85	0,89	0,88	0,86	0,86	0,88	0,76	0,83	0,83
0,85	0,89	0,88	0,88	0,88	0,86	0,81	0,81	0,81
0,86	0,89	0,85	0,86	0,88	0,88	0,81	0,83	0,81
0,86	0,88	0,85	0,86	0,86	0,86	0,8	0,81	0,84
0,86	0,88	0,83	0,86	0,86	0,88	0,8	0,83	0,83
0,86	0,88	0,86	0,86	0,88	0,86	0,8	0,81	0,79
0,86	0,89	0,88	0,86	0,88	0,88	0,8	0,83	0,81
0,85	0,88	0,86	0,88	0,86	0,86	0,8	0,83	0,81
0,85	0,88	0,86	0,86	0,86	0,86	0,8	0,83	0,79
keskiarvo	<b>0,857</b>	<b>0,884</b>	<b>0,866</b>	<b>0,868</b>	<b>0,873</b>	<b>0,870</b>	<b>0,794</b>	<b>0,823</b>
hajonta	<b>0,005</b>	<b>0,005</b>	<b>0,017</b>	<b>0,014</b>	<b>0,013</b>	<b>0,010</b>	<b>0,017</b>	<b>0,017</b>

Taulukko 22: Densiteettimittausten tulokset painoväriin määrän ollessa 5 cm<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>

PE-1	PE-2	PE-3	PE-1-lam.	PE-2-lam.	PE-3-lam.	PP-1	PP-1-lam. PET	PP-1-lam. paperi
0,80	0,82	0,80	0,82	0,82	0,78	0,70	0,75	0,72
0,80	0,79	0,82	0,80	0,80	0,80	0,66	0,74	0,74
0,79	0,79	0,79	0,78	0,79	0,79	0,66	0,76	0,74
0,78	0,82	0,79	0,79	0,78	0,78	0,66	0,75	0,72
0,79	0,79	0,80	0,80	0,80	0,80	0,73	0,74	0,73
0,78	0,80	0,82	0,80	0,80	0,79	0,72	0,74	0,73
0,79	0,80	0,80	0,79	0,78	0,79	0,73	0,75	0,74
0,78	0,79	0,79	0,79	0,79	0,78	0,72	0,74	0,74
0,79	0,79	0,80	0,79	0,80	0,80	0,74	0,75	0,74
0,78	0,80	0,82	0,80	0,80	0,82	0,72	0,75	0,73
0,78	0,80	0,79	0,79	0,78	0,80	0,73	0,75	0,74
0,76	0,79	0,80	0,78	0,79	0,79	0,73	0,76	0,72
keskiarvo	<b>0,785</b>	<b>0,798</b>	<b>0,802</b>	<b>0,794</b>	<b>0,794</b>	<b>0,793</b>	<b>0,708</b>	<b>0,748</b>
hajonta	<b>0,011</b>	<b>0,011</b>	<b>0,012</b>	<b>0,011</b>	<b>0,012</b>	<b>0,012</b>	<b>0,031</b>	<b>0,007</b>



Taulukko 25: Teippitestiä ankkuroinnin tulokset PE-3- ja PP-4 laminaateille

PP-4 laminaatti, painokone				PE-3 laminaatti, painokone			
<b>4204</b>	<b>4104</b>	<b>4124</b>	<b>810</b>	<b>4204</b>	<b>4104</b>	<b>4124</b>	<b>810</b>
4,75	4,5	4,75	5	5	4,75	4,75	5
4,75	4,5	4,75	5	5	4,5	4	4,75
4,75	4	4,5	5	4,75	4,75	3,5	5
5	4,5	4,75	5	4,5	4,5	3,5	4,75
5	4,5	4,75	5	5	4,5	4,5	5
5	4,5	5	5	4,75	4,5	3,5	4,75
4,75	4	4,75	5	5	4,75	4,75	4,5
4,75	4	5	5	4,75	4,5	4	4,5
4,75	4,5	5	5	5	4,75	4	4,5
4,75	4,5	5	5	4,75	4,5	4	5
4,75	4,5	5	5	4,75	4,5	4,75	5
5	4	4,75	5	5	4	3,5	4,5
keskiarvo	4,83	4,33	4,83	5,00	4,85	4,54	4,77
hajonta	0,123	0,246	0,163	0,000	0,167	0,209	0,225

## Teippitestin uudella analysointimenetelmällä arvoistetut tulokset

Taulukko 26: Gage R&R:n syötetyt arvoستelijoiden tulokset

PE-näyte				PP-näyte			
Arvoستelijan tulos	Oikea tulos	Henkilö	Näyte	Arvoستelijan tulos	Oikea tulos	Henkilö	Näyte
6	7	1	a	7	7	1	a
10	10	1	b	10	10	1	b
5	6	1	c	6	6	1	c
2	2	1	d	1	2	1	d
9	9	1	e	9	9	1	e
3	4	1	f	4	4	1	f
5	5	1	g	5	5	1	g
1	1	1	h	0	1	1	h
1	3	1	i	4	3	1	i
8	8	1	j	8	8	1	j
7	7	2	a	7	7	2	a
10	10	2	b	10	10	2	b
5	6	2	c	6	6	2	c
2	2	2	d	1	2	2	d
9	9	2	e	9	9	2	e
4	4	2	f	5	4	2	f
5	5	2	g	5	5	2	g
2	1	2	h	1	1	2	h
3	3	2	i	4	3	2	i
8	8	2	j	8	8	2	j
7	7	3	a	7	7	3	a
10	10	3	b	10	10	3	b
5	6	3	c	7	6	3	c
2	2	3	d	1	2	3	d
9	9	3	e	9	9	3	e
2	4	3	f	4	4	3	f
4	5	3	g	5	5	3	g
1	1	3	h	0	1	3	h
3	3	3	i	4	3	3	i
8	8	3	j	8	8	3	j
6	7	1	a	7	7	1	a
10	10	1	b	10	10	1	b
5	6	1	c	6	6	1	c
2	2	1	d	1	2	1	d
9	9	1	e	9	9	1	e
2	4	1	f	4	4	1	f
5	5	1	g	5	5	1	g
1	1	1	h	0	1	1	h
1	3	1	i	3	3	1	i
9	8	1	j	8	8	1	j
7	7	2	a	7	7	2	a
10	10	2	b	10	10	2	b
5	6	2	c	6	6	2	c
3	2	2	d	2	2	2	d
9	9	2	e	9	9	2	e
3	4	2	f	4	4	2	f
5	5	2	g	5	5	2	g
2	1	2	h	1	1	2	h
3	3	2	i	3	3	2	i

8	8	2	j	8	8	2	j
7	7	3	a	7	7	3	a
10	10	3	b	10	10	3	b
4	6	3	c	6	6	3	c
1	2	3	d	1	2	3	d
9	9	3	e	9	9	3	e
2	4	3	f	4	4	3	f
4	5	3	g	5	5	3	g
2	1	3	h	0	1	3	h
2	3	3	i	3	3	3	i
8	8	3	j	7	8	3	j

### HP Photosmart Premier-ohjelmalla analysoitujen näytteiden tulokset

Taulukko 27: HP Photosmart Premier-ohjelmalla analysoitujen näytteiden tulokset

Näytteen arvosana	Pisteiden määrä	Kokonais-pinta-ala	Keskimääräinen koko	Painoväri määrä %
0,5	6230	1118945.000	179.606	52,1
0,5	5666	1442946.000	254.667	35,3
0,5	4565	894140.000	195.869	24,10
1	7754	2738942.000	353.230	52
1,5	8010	1950856.000	243.553	47,7
1,5	8033	2830477.000	352.356	53,7
1,5	6285	2233373.000	355.350	49,3
1,5	9325	2685324.000	287.970	51
1,5	6721	2592512.000	385.733	52,1
2	8920	3011937.000	337.661	57,2
2	7537	3007663.000	399.053	57,1
2	10170	2850761.000	280.311	54,1
2	4066	2547983.000	626.656	62,6
2	5425	2914139.000	537.168	55,3
2	4950	3320647.000	670.838	62,8
2	8717	2150881.000	246.746	52,8
2	16026	3108503.000	193.966	76,4
2,5	13040	3182578.000	244.063	78,1
3	4437	2829171.000	637.632	69,5
3	5393	3256711.000	603.877	79,9
3	10530	3339465.000	317.138	82
3	5745	4574227.000	796.210	86,8
3	6560	3934540.000	599.777	79,1
3	7679	3970282.000	517.031	84
3	12913	3979777.000	308.199	75,6
3,5	10503	3494077.000	332.674	85,8
3,5	7597	3562414.000	468.924	87,4
3,5	6615	2745244.000	415.003	88,7
4	2837	3830131.000	1350.064	94
4	3586	3727458.000	1039.447	91,6
4	6910	4976833.000	720.236	94,5
4	2561	5034818.000	1965.958	95,6
4	6470	3086609.000	477.065	89,8
4	7985	3843703.000	481.365	94,3
4	3060	3850630.000	1258.376	94,1
4	3393	4911553.000	1447.555	93,2
4,5	1798	3810752.000	2119.439	93,6

4,5	336	5159845.000	15356.682	98
4,5	3208	4719413.000	1471.139	96,6
4,5	1787	5112056.000	2860.692	97
4,5	1368	5118184.000	3741.363	96,8
4,5	1051	4014461.000	3819.658	98,6
4,5	9343	4026578.000	430.973	98,5
4,5	3106	3954721.000	1273.252	97,1
4,5	760	3951627.000	5199.509	97,1
4,5	1529	3873255.000	2533.195	95,1
4,5	519	4007111.000	7720.830	98
4,5	1666	3954129.000	2373.427	97
4,5	6868	3991860.000	581.226	98,1
4,5	1503	3908614.000	2600.542	96
4,5	652	4012132.000	6153.577	98,5
4,5	769	3826805.000	4976.339	93,5
4,5	1643	3816305.000	2322.766	93,7
4,5	947	3835790.000	4050.465	93,7
4,5	973	5195317.000	5339.483	98,6
4,5	255	5195004.000	20372.565	98,3
4,5	657	5158228.000	7851.184	97,6
4,5	637	4889177.000	7675.317	92,5
4,5	648	4991089.000	7702.298	94,4
4,5	674	4342472.000	6442.837	95,8
4,5	713	5017593.000	7037.297	94,9
4,75	201	4958677.000	24670.035	99,6
4,75	662	4639563.000	7008.403	98,1
4,75	183	4956352.000	27083.891	99,6
4,75	47	4080736.000	86824.170	99,8
4,75	49	3696986.000	75448.694	99,9
4,75	295	4028473.000	13655.841	99
4,75	51	4068289.000	79770.373	99,9
4,75	601	4021513.000	6691.369	98,7
4,75	171	4064600.000	23769.591	99,8
4,75	153	4025410.000	26309.869	98,9
4,75	462	4010318.000	8680.342	98,4
4,75	72	3087395.000	42880.486	99,9
4,75	413	3995730.000	9674.891	98,1
4,75	69	5277000.000	76478.261	99,8
4,75	26	5259955.000	202305.962	99,9
4,75	124	5208216.000	42001.742	98,9
4,75	342	5212570.000	15241.433	99
4,75	35	4885777.000	139593.629	100
4,75	221	5216725.000	23605.090	98,9
4,75	142	5262555.000	37060.246	99,6
4,75	208	4066911.000	19552.457	99,8
4,75	549	4067384.000	7408.714	99,4
4,75	216	4058040.000	18787.222	99,6
4,75	321	4063725.000	12659.579	99,8
5	1	4071039.000	4071039.000	100
5	17	5271527.000	310089.824	100
5	12	5266684.000	438890.333	100
5	7	5267149.000	752449.857	100
5	12	5271829.000	439319.083	100
5	52	5265477.000	101259.173	100
5	3	3436379.000	1145459.667	100

## Teippitesti yhdistelmien tulokset

Taulukko 28: Teippitesti yhdistelmien tulokset

Matriisi			Arvostelijan 1 tulokset, teippi 4124												
Kiinnitys	Kiinnitysaika	Irrotus													
käsin	0	käsin	8	7	9	4,5	7,5	3,5	6	9	9,75	7,5	5	9	3
käsin	3	HSR	9	4	8	8,5	6,5	6	7	8	8,5	7,5	8,5	5	9,5
käsin	10	paino	2	4,5	5	5	5	8	7	7	6,5	6	5	5,5	5,5
tela	0	HSR	9	9	9	9,5	9	8,5	8,5	8,5	8	8	7	6,5	5
tela	3	paino	7	1	8	8,5	5	4	6	5,5	2,5	4	3	2	7
tela	10	käsin	1,5	1,5	1,5	1,5	1	1,5	2	1,5	1	1,5	0,5	1	1,5
nippi	0	paino	9,5	9,5	9,5	9	9,5	9,75	9,75	10	9,75	9,75	7,5	9,5	9,5
nippi	3	käsin	2,5	2,5	2,5	2	1,5	0,5	2,5	1,5	1,5	2	3,5	1	2,5
nippi	10	HSR	8,5	8,5	9	9	9	9,5	9,5	9	8,5	8	8,5	6,5	6

Taulukko 29: Teippitesti yhdistelmien tulokset

Matriisi			Arvostelijan 2 tulokset, teippi 4124												
Kiinnitys	Kiinnitysaika	Irrotus													
käsin	0	käsin	8	7	9	5	8	4	6	9	9,75	8	5	9	3
käsin	3	HSR	9	4	8	8,5	6	6	6,5	8	8,5	7	8,5	5	9
käsin	10	paino	2	4	5	6	5	8	7	7	6,5	6,5	5	6	6
tela	0	HSR	9,5	9,5	9	9,5	9	9	9	9	8,5	8	7,5	7	6
tela	3	paino	6,5	1	8	8,5	4,5	3,5	6	5,5	3	4	3	2	7
tela	10	käsin	1	2	1	2	1	2	2,5	1	1	1	0,5	1	2
nippi	0	paino	9,5	9,5	9,75	9	9,5	9,75	9,75	10	9,75	9,75	7	9,5	9,5
nippi	3	käsin	2,5	2,5	2	2	1	0,5	3	1	1	2	3,5	1	2,5
nippi	10	HSR	8,5	8,5	9	9	9	9,5	9,5	9	8,5	8	8,5	6,5	6

Taulukko 30: Teippitesti yhdistelmien tulokset

Matriisi			Arvostelijan 1 tulokset, teippi 4104													
Kiinnitys	Kiinnitysaika	Irrotus														
käsin	0	käsin	9,5	9,5	9,75	9,5	9,5	9,75	9,5	9,5	9,5	9,5	9,75	9,5	9,5	9,5
käsin	3	HSR	9,0	9,5	9,0	9,0	9,0	9,0	9,0	9,0	8,5	8,0	8,5	8,5	8,5	8,0
käsin	10	paino	9,5	9,5	9,5	8,0	7,5	6,5	7,0	10,0	9,8	7,5	9,5	9,5	9,5	9,5
tela	0	HSR	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9	9	8,5	9	9	9	9	9
tela	3	paino	10	9,75	9,75	9,75	10	9,75	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,75	9,75	9,75
tela	10	käsin	8	8	8	7	2	5	7,5	7,5	8	8	5	6	5,5	6,5
nippi	0	paino	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
nippi	3	käsin	8	8,5	9	7	8	6,5	7	7	8	9	8,5	9	8,5	8,5
nippi	10	HSR	9	9	8,5	9	9	9	9	9,5	9	9	8,5	9	8,5	8

Taulukko 31: Teippitesti yhdistelmien tulokset

Matriisi			Arvostelijan 1 tulokset, teippi 4104													
Kiinnitys	Kiinnitysaika	Irrotus														
käsin	0	käsin	9,5	9,5	9,75	9,75	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5
käsin	3	HSR	9	9,5	9	9	9	9	9	9	8,5	8	8,5	8,5	8,5	8
käsin	10	paino	9,5	9,5	9,5	8	8	7	7	10	9,75	8	9,5	9,5	9,5	9,5
tela	0	HSR	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9	9	8,5	9	9	9	9	9
tela	3	paino	10	9,75	9,75	9,75	10	9,75	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	10	9,75	10
tela	10	käsin	8,5	8	8	7	2	5,5	7,5	7,5	8	8	5	6	6	6
nippi	0	paino	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
nippi	3	käsin	8	9	9	7,5	8	6,5	7	7	8	9	8,5	9	8	8
nippi	10	HSR	9	9	8,5	9	9	9	9	9,5	9	9	8,5	9	8,5	8

## Tader-laitteen densiteetti- ja vaaleusmittausten tulokset

Tauluko 32: Taber-laitteen denditeettimittausten tulokset PP materiaalista

Näyte	Keskiarvo		Hajonta	
	Hankaamaton	Hangattu Taberilla	Hankaamaton	Hangattu Taberilla
<b>40 kierr.</b>				
6.1	2,285	2,254	0,081	0,111
6.1	2,331	2,361	0,087	0,098
6.2	2,193	2,213	0,088	0,127
6,2	2,314	2,294	0,109	0,111
6.3	2,411	2,375	0,084	0,107
6.3	2,346	2,342	0,061	0,078
6.4	2,29	2,363	0,061	0,100
6.4	2,218	2,273	0,083	0,104
6.5	2,454	2,372	0,103	0,092
6.5	2,344	2,337	0,073	0,080
<b>80 kier.</b>				
6.6	2,248	2,269	0,095	0,108
6.6	2,308	2,342	0,117	0,137
6.7	2,274	2,268	0,082	0,118
6,7	2,41	2,429	0,066	0,113
6.8	2,426	2,351	0,122	0,081
6.8	2,204	2,225	0,114	0,099
6.9	2,438	2,356	0,105	0,081
6.9	2,338	2,273	0,101	0,062
6.10	2,308	2,325	0,097	0,100
6.10	2,177	2,209	0,077	0,081
<b>120 kierr.</b>				
6.11	2,462	2,412	0,076	0,086
6.12	2,284	2,263	0,084	0,086
6.12	2,392	2,422	0,076	0,095
6.13	2,377	2,395	0,110	0,103
6.13	2,213	2,281	0,117	0,128
6.14	2,448	2,412	0,092	0,131
6.14	2,243	2,273	0,083	0,116
6.15	2,273	2,268	0,087	0,106
6.15	2,501	2,345	0,075	0,085



Taulukko 33: Taber-laitteen denditeettimittausten tulokset PP materiaalista

Näyte	Keskiarvo		Hajonta	
	Hankaamaton	Hangattu Taberilla	Hankaamaton	Hangattu Taberilla
<b>40 kierr.</b>				
8.1	2,655	2,609	0,105	0,094
8.1	2,344	2,389	0,148	0,137
8.2	2,514	2,46	0,101	0,134
8.2	2,561	2,552	0,162	0,141
8.3	2,31	2,306	0,043	0,083
8.3	2,333	2,403	0,045	0,096
8.4	2,489	2,56	0,102	0,102
8.4	2,57	2,505	0,112	0,081
8.6	2,33	2,319	0,120	0,095
8.6	2,458	2,418	0,117	0,099
<b>80 kierr.</b>				
8.7	2,399	2,364	0,085	0,085
8.7	2,51	2,502	0,092	0,090
8.8	2,407	2,35	0,072	0,059
8.8	2,487	2,452	0,109	0,078
8.9	2,37	2,397	0,063	0,104
8.9	2,541	2,592	0,095	0,113
8.10	2,589	2,553	0,114	0,103
8.10	2,392	2,385	0,115	0,152
8.11	2,435	2,353	0,121	0,083
8.11	2,622	2,555	0,074	0,080
8.12	2,4	2,466	0,100	0,091
8.12	2,388	2,355	0,083	0,093
<b>120 kierr.</b>				
8.13	2,445	2,473	0,092	0,053
8.13	2,377	2,357	0,078	0,091
8.14	2,594	2,559	0,105	0,120
8.14	2,467	2,457	0,116	0,137
8.15	2,447	2,401	0,103	0,124
8.15	2,4	2,358	0,120	0,106
8.16	2,315	2,318	0,113	0,075
8.16	2,385	2,373	0,068	0,069
8.17	2,389	2,379	0,155	0,082
8.17	2,438	2,434	0,110	0,099

Taulukko 34: Taber-laitteella hangattujen näytteiden vaaleusmittausten tulokset

	Hankaamaton	Hangattu Taberilla		Hankaamaton	Hangattu
	PP	PP		PE	Taberilla PE
<b>40 kierr.</b>			<b>40 kierr.</b>		
6.1	0,9	0,95	8.1	0,69	1,01
6.1	1,09	1,01	8.1	0,94	0,78
6.2	0,81	0,82	8.2	0,72	0,79
6.2	0,99	1,07	8.2	0,91	0,84
6.3	0,91	0,96	8.3	0,94	0,82
6.3	0,86	0,95	8.3	0,95	0,82
6.4	1,13	1,04	8.4	0,83	1,06
6.4	0,83	1,2	8.4	0,84	0,87
6.5	0,86	1,04	8.6	0,91	0,88
6.5	1,13	1,05	8.6	0,9	0,98
<b>Keskiarvo</b>	<b>0,95</b>	<b>1,01</b>	<b>Keskiarvo</b>	<b>0,86</b>	<b>0,89</b>
<b>Hajonta</b>	<b>0,12</b>	<b>0,10</b>	<b>Hajonta</b>	<b>0,09</b>	<b>0,10</b>
<b>80kierr.</b>			<b>80 kierr.</b>		
6.6	0,89	1,17	8.7	0,9	1,05
6.6	1	0,96	8.7	0,98	0,99
6.7	0,85	0,93	8.8	0,8	0,93
6.7	0,83	1,02	8.8	0,86	0,86
6.8	1,15	1,27	8.9	0,94	1,1
6.8	0,97	1,06	8.9	0,89	0,83
6.9	1,05	1,07	8.10	0,9	0,92
6.9	0,91	1,15	8.10	0,88	0,81
6.10	1,07	1,09	8.11	1,15	1,01
6.10	1,22	1,44	8.11	1,06	1,26
<b>Keskiarvo</b>	<b>0,99</b>	<b>1,12</b>	<b>Keskiarvo</b>	<b>0,94</b>	<b>0,98</b>
<b>Hajonta</b>	<b>0,13</b>	<b>0,15</b>	<b>Hajonta</b>	<b>0,10</b>	<b>0,14</b>
<b>120 kierr.</b>			<b>120 kierr.</b>		
6.11	0,86	0,88	8.13	1,63	0,97
6.11	1,15	0,99	8.13	1,09	1,01
6.12	0,8	1,05	8.14	0,8	0,91
6.12	0,96	0,98	8.14	0,82	1,02
6.13	0,88	0,99	8.15	0,95	1,17
6.13	1,02	1,05	8.15	1,11	1,06
6.14	1,16	1,13	8.16	0,97	1,05
6.14	0,98	1,17	8.16	0,98	0,87
6.15	1,1	1,35	8.17	0,85	1
6.15	1,12	1,07	8.17	0,92	0,91
<b>Keskiarvo</b>	<b>1,00</b>	<b>1,07</b>	<b>Keskiarvo</b>	<b>1,01</b>	<b>1,00</b>
<b>Hajonta</b>	<b>0,13</b>	<b>0,13</b>	<b>Hajonta</b>	<b>0,24</b>	<b>0,09</b>

## Liite 2: RK Flexiproof 100 -testipainolaiteen telojen välisten paineiden vaikutus painovärin ankkurointiin

### Fleksolaatta- ja materiaalitelojen vaikutus painoväriin ankkurointiin



Kuvio 22: Painovärin ankkuroinnin tutkimisen PP näytteitä



Kuvio 23: Painovärin ankkuroinnin tutkimisen PE näytteitä

## Fleksolaatta- ja aniloxtelojen vaikutus painoväriin ankkurointiin



Kuvio 24: Painoväriin ankkuroinnin tutkimisen PP näytteitä



Kuvio 25: Painoväriin ankkuroinnin tutkimisen PE näytteitä