



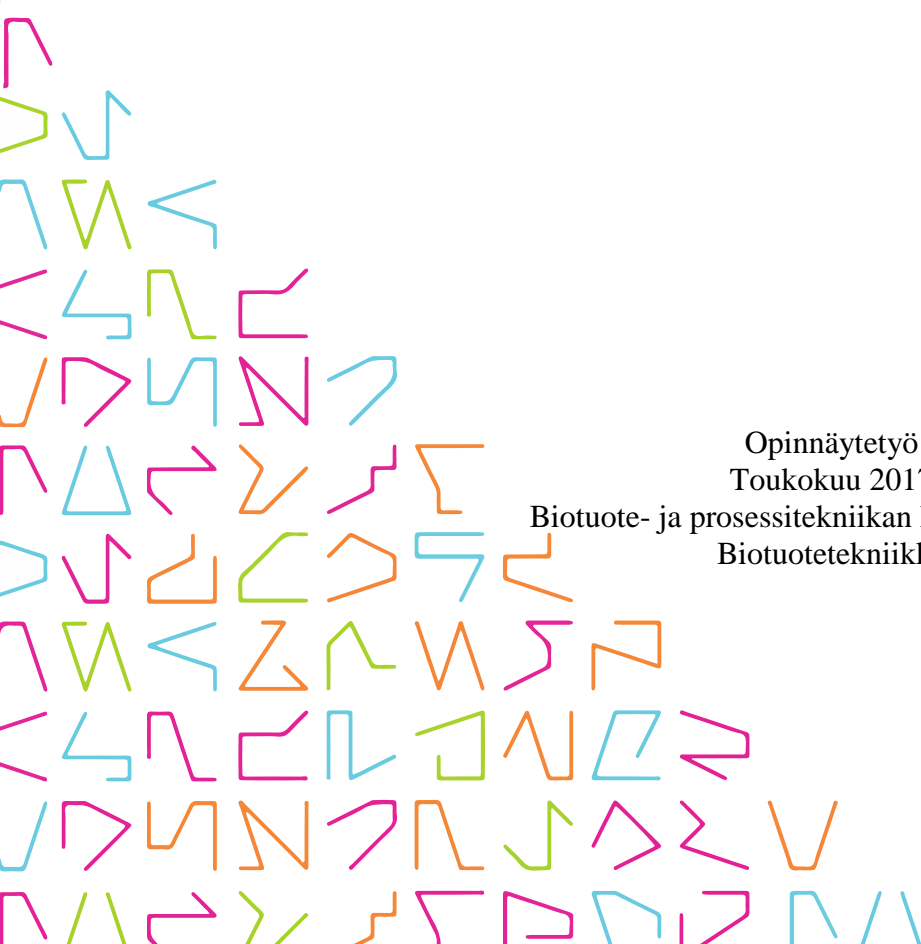
TAMPEREEN  
AMMATTIKORKEAKOULU

# PILOT-FLEKSOPAINOLAITTEEN PAINOJÄL- JEN LAADUN KEHITTÄMINEN

Anna-Maria Ahola

Opinnäytetyö  
Toukokuu 2017

Biotuote- ja prosessiteknikan koulutusohjelma  
Biotuotetekniikka



## TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Biotuote- ja prosessitekniikan koulutus

AHOLA, ANNA-MARIA:  
Pilot-fleksopainolaitteen painojäljen laadun kehittäminen

Opinnäytetyö 46 sivua  
Toukokuu 2017

---

Opinnäytetyö tehtiin Tampereen ammattikorkeakoulun paperi- ja pakkauslaboratorioon. Työn tarkoituksena oli laboratorion RK-pilotlaitteen fleksopainoyksikön painojäljen laadun kehittäminen. Työ oli osa Tampereen ammattikorkeakoulun tukisäätiön tukemaa hanketta pilotlaitteiston kehittämiseksi. Opinnäytetyön tavoitteena oli tutkia fleksopainoyksikön painojäljen laatua. Flexopainoyksikölle suoritettiin nippien kontaktien testaus sekä koeajo uudella testipainolaatalla ja uudistetulla anilox-telalla. Painojäljen laatua tarkasteltiin visuaalisesti sekä mittaamalla densiteettiä ja pisteenkasvua. Painojäljen yksityiskohtia ja rasteripisteitä tarkasteltiin mikroskoopilla.

Koeajon painojäljen densiteetti-arvot jäivät fleksopainon tavoitearvoja alhaisemmiksi. Vaaleiden sävyjen densiteetti-arvot olivat yhdenmukaisia näytteiden välillä. Rasteripisteet olivat symmetrisiä, ja pisteenkasvu oli näytteissä tasaista. Keskisävyissä oli runsaasti rasteripisteen muodon vääristymiä, joissa rasteripiste oli lähtenyt leviämään päällystämättömän paperin pinnan mukaan. Keskisävyissä pisteenkasvun mittauksen tuloksia vääristivät rasteripisteiden epämääräinen muoto ja epätäydellinen väritäyttö. Tummissa sävyissä värinsiirtoa oli liikaa ja painoväri oli puristuksesta levinnyt paperin kuituja pitkin. Painojälki oli tummissa sävyissä rakeista, minkä vuoksi painamattoman ja painetun pinnan suhde oli epätarkka. Pisteenkasvun mittaus tummien sävyjen näytteistä ei antanut oikeaa tulosta värinannon epätasaisuuden vuoksi.

Koeajossa painojäljen laatu saatiin kohtalaiseksi. Pilotlaitteelle oli ennen koeajoa tehty mekaniikan tarkastusta, mutta työtä tulisi vielä jatkaa. Painolaatassa olisi hyvä olla vaakatasossa kulkeva puristusta mittaava testikenttä, jolla reunojen puristusta voisi tarkemmin seurata ja säätää. Pilotkoneella pitäisi ajaa koeajoja rinnakkain päällystämättömillä ja päällystetyillä paperilaaduilla, jolloin paperin pintaominaisuuksista ja päällystyksestä johtuvia laatueroja voitaisiin tutkia tarkemmin ja luotettavammin.

## ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Tampere University of Applied Sciences  
Degree Programme in Bioproduct and Process Technology

AHOLA, ANNA-MARIA:  
Development of Print Quality in Pilot Flexographic Printing Unit

Bachelor's thesis 46 pages  
May 2017

---

This thesis was commissioned by the Paper and Packaging laboratory of Tampere University of Applied Sciences. The purpose of this study was to collect information about the development of the print quality in RK-pilot flexographic printing unit. This thesis was a part of a project supported by the Tampere University of Applied Sciences Foundation for the development of RK-pilot unit. The aim of the thesis was to study the printing quality of the flexographic printing unit. The nip contact test and the trial run with a new test printing plate and a renewed anilox roll were performed to the flexographic printing unit. The data of the print quality were collected visually and by measurements of density and dot gain. The details of the print and the halftone dots were examined by a microscope.

The density values of the trial run were below the flexographic printing target values. The density values of light tones were consistent between the samples. The halftone dots were symmetrical and the dot gain was uniform in the samples. In the middle tones there were abundant distortions in the shape of the halftone dots. The results of the dot gain measure were distorted by the shape and incomplete color filling of the halftone dots. In dark tones the color transfer was too abundant and the ink was spread by the paper fibers. The ratio of the unprinted and printed surface was inaccurate because of the granulates in the print. Measurement of dot gain in dark tones did not produce the correct result due to the unevenness of the color transfer.

The quality of the print was moderate in the trial run. The mechanicals check of the printing unit had been done before the trial run, but work should continue. The printing plate should have a horizontal pressure measuring test bar to monitor and adjust the edges. The trial runs should be carried out with uncoated and coated paper grades to study the quality differences due to paper surface properties and coating.

---

Key words: flexographic printing, rk-pilot unit, print quality

## SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	5
2	FLEKSOPAINO.....	6
2.1	Fleksopainon menetelmä .....	6
2.2	Fleksopainoyksikkö .....	7
2.2.1	Anilox-tela.....	8
2.2.2	Raakeli.....	9
2.2.3	Kammioraakeli .....	10
2.2.4	Allastela.....	11
2.2.5	Painotela.....	11
2.3	Fleksopainolaatta .....	12
2.4	Fleksopainokoneet .....	13
2.5	Fleksopainovärit.....	14
2.5.1	Painovärien koostumus .....	15
2.5.2	Painovärien värinmuodostus .....	15
2.5.3	Painovärien siirto .....	17
2.6	Painojäljen laatu.....	18
2.6.1	Densiteetti .....	19
2.6.2	CIELab .....	20
2.6.3	Värintarkkailuliuskat.....	21
2.6.4	Pisteenkasvu .....	22
2.6.5	Painojäljen ongelmat .....	23
2.6.6	Rasteripisteiden ominaisuudet .....	24
3	LAITTEISTO JA TESTIPAINOLAATTA.....	26
3.1	RK-pilotkone .....	26
3.2	Pilot-fleksopainoyksikkö .....	27
3.3	Testipainolaatta .....	27
3.4	Mittauslaitteisto .....	29
4	SUORITETUT KOKEET .....	30
4.1	Nippien kontaktien testaus.....	30
4.2	Koeajo .....	31
4.3	Painojäljen laadun tarkastelu .....	33
4.3.1	Densiteetin mittaus.....	37
4.3.2	Pisteenkasvun mittaus .....	39
4.3.3	Rasteripisteiden tarkastelu .....	40
5	POHDINTA.....	44
	LÄHTEET.....	45

## 1 JOHDANTO

Opinnäytetyö tehtiin Tampereen ammattikorkeakoulun paperi- ja pakkauslaboratorioon. Työn tarkoituksena oli laboratorion RK-pilotlaitteen fleksopainoyksikön painojäljen laadun kehittäminen. Työ oli osa Tampereen ammattikorkeakoulun tukisäätiön tukemaa hanketta pilotlaitteiston kehittämiseksi. Työn tavoitteena oli tutkia fleksopainoyksikön painojäljen laatua, sillä laitteen käytössä on ollut haasteita hyvän painojäljen saavuttamisessa. Painojäljen laadun parantuessa pilotlaitteelle olisi kysyntää yritys yhteistyöhön sekä painatustekniikan opetukseen.

Fleksopainoyksikölle suoritettiin nippien kontaktien testaus sekä koeajo uudella testipainolaatalla ja uudistetulla anilox-telalla. Painojäljen laatua tarkasteltiin visuaalisesti sekä mittaamalla densiteettiä ja pisteenkasvua. Painojäljen yksityiskohtia ja rasteripisteitä tarkasteltiin mikroskoopilla.

Opinnäytetyössä käsitellään fleksopainomenetelmän teoriaa, fleksopainovärejä sekä painojäljen laatuun vaikuttavia tekijöitä. Työssä esitellään Tampereen ammattikorkeakoulun paperi- ja pakkauslaboratorion RK-pilotlaitteisto sekä fleksopainoyksikön uusi testipainolaatta. Työn lopuksi käydään läpi suoritettuja kokeita ja niiden tuloksia sekä pohditaan mahdollisia RK-pilotlaitteen painojäljen laatuun vaikuttavia tekijöitä ja parannusehdotuksia.

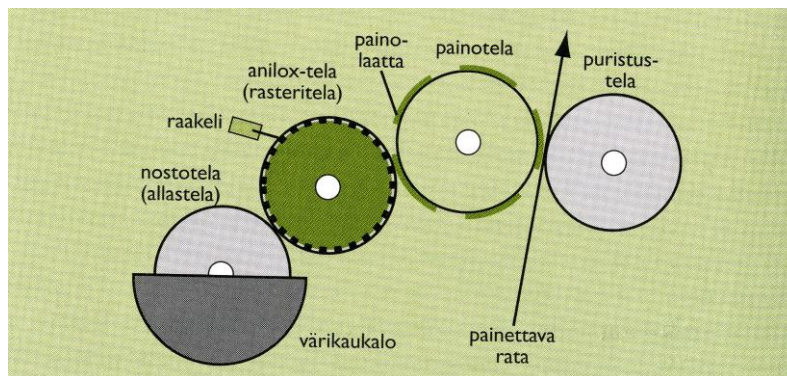
## 2 FLEKSOPAINO

### 2.1 Fleksopainon menetelmä

Fleksopainomenetelmän esiasetta aniliinipainoa käytettiin 1800-luvun lopulla pussien merkintään. Menetelmässä käytettiin leimasimen tyyppistä kumilaattaa ja spriiuukoisia painovärejä, joista käytetyin värisävy oli aniliininpunainen. Painoprosessin ja -koneiden kehittyessä painomenetelmän painojäljen laatu parani ja sovellusalue laajeni. 1950-luvulla painomenetelmää alettiin kutsua fleksografiaksi tai fleksopainoksi. (Viluksela, Ristimäki & Spännäri 2007, 76.)

Fleksopaino on kohopainomenetelmä, jossa koneet ovat suurimmaksi osaksi rotaatiotekniikalla toimivia. Fleksopaino on suosittu menetelmä erityisesti pakkauspainatuksessa, johon se soveltuu hyvin joustavuutensa ansiosta. Painettava pinta voi olla sileä tai karhea, päällystetty tai päällystämätön ja tämän vuoksi fleksopainolla voidaan painaa paperille, kartongille, aaltopahville, muoville sekä erilaiselle laminaateille. Sitä käytetään mm. aaltopahvin, nestepakkauskartongin, tarraetikettien, tapettien, pakkauspaperien sekä muovija metallipakkausten painamiseen. (Karhuketo, Seppälä, Törn & Viluksela 2004, 116–117.)

Fleksopainossa käytetään joustavaa painolaattaa, jossa painoaihe on kohokuviona. Fleksopainon periaate on esiteltyinä kuvassa 1. Painoväri annostellaan säiliöstä painolaatan koholla oleville pinnoille anilox-telalla, jonka pinnalla on pieniä rasterikuppeja. Anilox-telatan pinta on kauttaaltaan painovärin peitossa ja liika väri voidaan kaapia pois esimerkiksi raakeliterällä. Värilaitteen toiminta voi perustua myös mm. kammiokaavarointiin, jossa väriallas on korvattu umpinaisella kammiolla (Karhuketo ym. 2004, 120–121). Painoväri siirtyy painotelalta painopinnalle painonipissä kevyellä puristuksella. (Mäkelä 2008, 29.)



KUVA 1. Fleksopainoyksikön rakenne (Viluksela ym. 2007, 80)

Fleksopainoa käytetään pakkausteollisuudessa samojen tuotteiden valmistukseen kuin syväpainoa. Fleksopainon laatutaso jää syväpainoa alhaisemmaksi, mutta sitä käytetään syväpainoa edullisempien rakenne- ja materiaalikustannusten vuoksi. (Koskinen 2001, 139.) Fleksopainomenetelmän selviä etuja muihin painomenetelmiin verrattuna ovat painolaitteen yksinkertaisuus ja nopea kuntoonlaitto, vähäinen energiantarve varsinkin helposti kuivuvia liuotinpohjaisia painovärejä käytettäessä sekä oleellisesti mm. syväpainosylinteriä alhaisemmat painolaatan valmistuskustannukset. Myös jatkuvien, katkeamattomien painoaiheiden käyttö ja painopituuden helppo muutettavuus kuuluvat fleksopainon etuihin. Fleksopainon suosiota edistävät pakkausalan kasvu ja painolaadun ja prosessin hallinnan kehittyminen sekä vesiohenteisten värien käytön lisääntyminen ympäristö- ja terveyssyistä. (Karhuketo ym. 2004, 127.)

## 2.2 Fleksopainoyksikkö

Fleksopainokoneiden ratalevyydet vaihtelevat 500 mm:stä 3000 mm:iin. Painatus tapahtuu painokoneen rakenteen ja käyttötarkoituksen mukaan joko vain materiaalin toiselle tai molemmille puolille. Yhdelle puolelle painatus tapahtuu painoyksiköissä, jotka sijaitsevat peräkkäin tai keskussylinterirakenteisesti säteittäin yhteisen puristussylinterin ympärillä. Molemmille puolille rataa painatus tapahtuu koneissa, joissa on puoltotaanto tai jotka ovat kaksiyksikköisiä painokoneita. Puoltotaantoyksikössä on kaksi fleksopainoyksikköä, joiden välissä on puoltotaantotelasto. Telastolla muutetaan radan kulkusuuntaa siten, että seuraava painoyksikkö painaa radan toiselle puolelle. (Koskinen 2001, 141–142.)

Liutin pohjaisilla väreillä painettaessa jokaisessa painoyksikössä on oma liutinkaasuja imevä ilmastointilaitteistonsa painovärin kuivumisen nopeuttamiseksi. Painoyksiköiden jälkeen fleksopainokoneessa voi olla erillinen kuumailmakuivausyksikkö, jossa tapahtuu värien ja painomateriaalin lopullinen kuivaus ennen radan jälkikäsitteilyä ja uudelleenrullausta. (Koskinen 2001, 141.)

Painolaitteeksi kutsutaan yksikköä, jossa on värilaitte, painotela ja painonippi. Yhdessä painoyksikössä on tyypillisesti useita painolaitteita. Värilaitte koostuu värialtaasta ja siinä pyörivästä allastelasta sekä anilox-telasta, joka siirtää painovärin painotelalle. Siirtyvää värimäärää säädellään nostotelan ja anilox-telan nippipuristuksella, ja sen tasaisuutta voidaan parantaa käyttämällä raakelia, joka kaavaa ylimääräisen värin pois anilox-telan pinnalta. (Viluksela ym. 2007, 79–80.)

Perinteisen painoyksikön rinnalla on alettu käyttää kammiopainoyksikköä, jossa ei käytetä värialtasta eikä erillistä telaa värin annosteluun, vaan väri siirretään suoraan rasteritelalle värikammiosta (Laakso & Rintamäki 2003, 67). Jokaisella painolaitteella voi olla oma puristustelansa tai puristussylinteri voi olla useamman painolaitteen yhteinen (Viluksela ym. 2007, 84).

### **2.2.1 Anilox-tela**

Anilox-telan tehtävänä on siirtää sopiva määrä väriä painotelan pinnalle. Anilox-telaa kutsutaan myös rasteritelaksi pinnassa olevan rasterikuppirakenteen vuoksi. Tärkein siirtyvän värin määrään vaikuttava tekijä on rasterikuppien tilavuus. Myös rasterikuppien muodolla, kuppi/kannas suhteella, linjatiheydellä sekä telan pinnan ominaisuuksilla on vaikutusta siirtyvään värimäärään. Anilox-telalta vaaditaan tukevaa rakennetta sekä pyörimistarkkuutta, joten pyörimisvärähtelyt on estettävä telan tasapainotuksella. (Viluksela ym. 2007, 81.)

Materiaaleina anilox-telassa käytetään terästä, messinkiä, kuparia tai keraamisia aineita. Metallitelat kromataan kestävyuden parantamiseksi, jolloin telan käyttöiksi saadaan 30–50 miljoonaa kierrosta. Keraamiset telat ovat kalliimpia, mutta myös kestävämpiä 5–10 kertaa pidempään. Anilox-telan rasterikupit valmistetaan pakottamalla, syövyttämällä, timantti-



kaivertamalla tai laserkaivertamalla. Rasterikuppien muoto vaihtelee haluttujen värinsiirto-ominaisuuksien ja valmistustekniikan mukaan. Erilaisia kaivertamalla saatavia muotoiluja ovat pyramidi, katkaistu pyramidi, kalotti, ruuvirasteri ja kanava sekä laserkaivertamalla tehtävä halkaisijaltaan ympyränmuotoinen, pyöreäreunainen rasterikuppi. (Viluksela ym. 2007, 81.)

Rasterikuppien lukumäärää senttimetriä kohden kutsutaan linja- eli rasteritiheydeksi ja se vaihtelee 40-160 l/cm välillä (Laakso & Rintamäki 2003, 67). Anilox-telan rasteritiheyden tulisi olla 2,5-4 kertainen painolaatan rasterikuvan linjatiheyteen verrattuna. Linjatiheyden ollessa harvempi laatan pienet rasteripisteet voivat upota rasterikuppeihin, mikä näkyy painojäljessä sävyntoiston häiriönä ja pisteenkasvuna. (Viluksela ym. 2007, 81.)

Rasterikuppitilavuus eli värinsiirtotilavuus valitaan sen mukaan, kuinka paljon painoväriä siirretään painettavalle materiaalille (Laakso & Rintamäki 2003, 67). Anilox-telan volyyminä tarkoitetaan rasterikuppien yhteenlaskettua tilavuutta pinta-alayksikköä kohden ja se ilmoitetaan yksikkönä  $\text{cm}^3/\text{m}^2$ . Käytännössä kupeissa olevasta painoväristä siirtyy 70-80 %. Määrään vaikuttaa kupin tilavuuden lisäksi sen muoto, erityisesti syvyyden ja leveyden suhde, värin viskositeetti ja pintajännitys sekä anilox-telan ja painolaatan pintaominaisuudet. (Karhuketo ym. 2004, 122.) Painoväriä siirtymistä voidaan parantaa yhdistämällä rasterikuppeja kanavilla (Hakola 2009, 43). Rasteritelan kaiverruskulma on yleensä  $45^\circ$ , mutta uudemmissa teloissa se voi olla myös  $60^\circ$ . Kaiverruskulmalla tarkoitetaan rasterilinjan poikkeamaa koneen ajosuunnasta. (Laakso & Rintamäki 2003, 67.)

### **2.2.2 Raakeli**

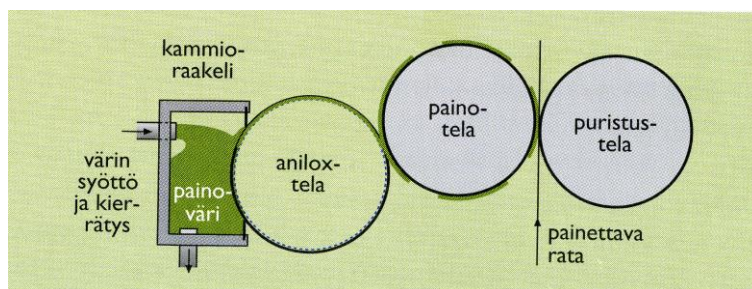
Raakeli on muovista, lasikuidusta tai metallista valmistettu terä, jonka tehtävänä on poistaa ylimääräinen painoväri anilox-telan pinnalta ja näin vakioida painotelalle siirtyvän värin määrä painonopeudesta riippumatta. Raakeliterän paksuus on 0,1-0,2 mm ja leveys 2-5 cm. Raakelikulma voi olla positiivinen tai negatiivinen. Käytettäessä positiivista raakelikulmaa anilox-telan pyörimisnopeudesta ja painoväriä tiheydestä riippuva kasautuspaine pyrkii nostamaan raakelia irti telan pinnasta. Alhaisilla nopeuksilla värimäärä pysyy hallittuna, mutta suuremmilla nopeuksilla raakeli päästää väriä myös kuppien vä-

lisille kannaksille ja värimäärän säätö häiriintyy. Ongelmaa ei ole negatiivisilla raakeli-  
kulmilla, minkä vuoksi negatiivinen raakelointi on yleistynyt. Haittapuolena on kuitenkin  
raakeliterän ja anilox-telan pintojen kuluminen. (Viluksela ym. 2007, 83.)

Raakelointitulokseen on monia vaikuttavia tekijöitä, joita ovat mm. raakelointikulma ja  
raakelipaine, raakelipalkin suoruus ja puristuksen jakautuminen sekä raakeliterän muoto  
ja kiinnitys. Vaikutusta on myös painatusnopeudella ja painovärin viskositeetilla. Tulok-  
seen saattavat vaikuttaa myös raakelikannattimen ja anilox-telan värähtelyt, raakelin os-  
killoinnin tasaisuus sekä anilox-telan mittapoikkeamat, tasapainotus ja taipuma. (Karhu-  
keto ym. 2004, 123.)

### 2.2.3 Kammioraakeli

Kammioraakelilla varustetun painoyksikön toiminta perustuu värin siirtoon anilox-telalle  
suoraan värikammioista ilman väriallasta tai väriä annostelevaa allastelaa. Ylimääräisen  
värin pääsy anilox-telalle estetään raakeliterillä. (Laakso & Rintamäki 2003, 67.) Raakeli-  
eli kaavariterät sijaitsevat kammion ylä- ja alisivulla. Kammiopainoyksiköt ovat yleisiä  
uudemmissa fleksopainokoneissa. (Viluksela ym. 2007, 80.) Kammiopainoyksikön käy-  
töllä on huomattavia etuja. Sillä päästään perinteistä painoyksikköä tasaisempaan väri-  
pintaan, tarkempaan painojälkeen ja taloudellisempaan värin kulutukseen. (Laakso &  
Rintamäki 2003, 67.) Kammiopainoyksikkö on esitelty kuvassa 2.



KUVA 2. Kammiopainoyksikkö (Viluksela ym. 2007, 80)

### 2.2.4 Allastela

Allas- eli nostotelan tehtävänä on nostaa painoväri värialtaasta anilox-telalle. Allastela on luonnon- tai synteettisellä kumiseoksella päällystetty terästela, jonka päällysteen paksuuden tulee olla 10-15 mm ja kovuuden 50-90 Shorea. Siirtyvän painovärin määrän määrittää allastelan kovuus eli pehmeämpi tela siirtää enemmän väriä. Allastelan päällysteen kumilaatu valitaan käytettävien painovärien ja niiden liuottimien mukaan. Pinnan tulee olla tasainen ja kestää väriä pehmenemättä tai turpoamatta. (Karhuketo ym. 2004, 124.)

Allastelan nopeuden tulee olla pienempi kuin anilox-telan. Nopeuserolla telojen väliseen nippiin saadaan hierontaa ja sopiva määrä painoväriä. Ero on yleensä välillä 1:2-1:8. Allastelan nopeuden ollessa liian alhainen nippi jää kuivaksi ja värin siirto estyy. Värin liiallinen hiertäminen saa painojäljessä aikaan juovikkuutta. Allas- ja anilox-telojen välinen nippipuristus saadaan aikaan joko mekaanisesti, hydraulisesti tai pneumaattisesti. Hydraulisessa ja pneumaattisessa ratkaisussa kuormitus tulee allastelalle suoraan, jolloin pehmeämpi tela puristuu kovempaa telaa enemmän kokoon. Painovärin korkea hydraulinen paine nipissä lisää värin määrää telan keskiosassa. Tilanne voidaan korjata sopivalla telan bombeeruksella. Joissakin tapauksissa allastela jätetään painoyksiköstä pois, ja anilox-tela sijaitsee tällöin syväpainoyksikön tapaan värialtaassa. (Karhuketo ym. 2004, 120,124.)

### 2.2.5 Painotela

Paino- eli laattatela on teräksinen, kiinteällä tai irrotettavalla akselilla varustettu tela, jonka pyörintätarkkuuden tulee nopeassa ja tarkassa painotuotannossa olla alle 0,05 mm. Tarkkuutta on vaikea saavuttaa irtoakseliteloilla ja siksi niiden käyttö onkin vähenevässä. Painolaattojen asemoinnissa telan pinnalle käytetään optisia tai mekaanisia apulaitteita. Telan pinnassa on usein myös pitkittäis- ja poikittaisviivoitusta asemoinnin helpottamiseksi. Laattojen kiinnitys telan pintaan tapahtuu kaksipuoleisella teipillä. Kaarevalle telapinnalle kiinnitettäessä tasomainen laatta venyy, mikä otetaan huomioon pienentämällä painoaihetta prepress-vaiheessa. (Viluksela ym. 2007, 84.)

Laattatelojen tilalla on mahdollista käyttää myös hylsyjärjestelmää, jossa painolaatat kiinnitetään lasikuidusta tai nikkelistä valmistettujen holkkimaisten hylsyjen pinnalle. Hylsyjä on joustavia sekä joustamattomia ja ne kiinnitetään sylinterin päälle paineilmalla. Painoyksiköissä on yleensä mahdollista käyttää erikokoisia painoteloja siirtämällä väri-laitetta ja anilox-telaa. (Viluksela ym. 2007, 84.)

### **2.3 Fleksopainolaatta**

Fleksopainossa käytetään kumi- tai fotopolymeerilaattoja, joiden painopinta voi muodostua yhdestä isosta laatasta tai useasta erillisestä painosylinterin pinnalle kiinnitetystä levystä. Fotopolymeerilaattojen yleistymisen jälkeen kumilaattojen käyttö on vähentynyt ja siten myös flekson painolaatu oleellisesti parantunut. (Karhuketo 2004, 117–118.)

Fleksopainolaattojen pinnan kovuus on yleensä 30-60 Shorea ja paksuus n. 0,75-6 mm. Kovemmat painolaatat siirtävät pehmeämpiä vähemmän painoväriä. Karheampi paperi tarvitsee sileää pehmeämmän painolaatan ja syvemmän reliefin eli kohokuvion. Painolaatan kovuus-joustavuussuhde vaikuttaa tarvittavaan nippipuristukseen. Jos laatta on pehmeä, siinä olevat pienet pisteet ja viivat eivät ole tarpeeksi jäykkiä vaan vääntyvät aikaansaaden pisteenkasvua ja epätasaista painojälkeä, kun taas laajoja kompaktipintoja voidaan painaa hyvin pehmeilläkin laatoilla. Laattamateriaalien tulee kestää erilaisissa painoväreissä käytettyjä liuottimia ja muita aineita. Laattatyypin valinta tehdään painettavan materiaalin, tuotetyypin sekä halutun laatutason mukaan. (Karhuketo ym. 2004, 117.)

Fotopolymeerilaatat valmistetaan aiheuttamalla polymeroitumisreaktio UV-valolla, jonka seurauksena laatan valottuneet alueet kovettuvat. Valotus voidaan tehdä negatiivifilmin läpi tai CTP-tekniikalla laservalotuksella. Fotopolymeerilaattoja on yksi- ja monikerroksisia sekä nestemäisiä, jotka valetaan levymuotoon laatanvalmistuksen yhteydessä. Suurin haaste laatanvalmistuksessa on kuvaoriginaalien sävyalueen toisto painomateriaalille ja paino-olosuhteisiin sopivaksi. (Karhuketo ym. 2004, 118–119.)

Painolaadun kannalta oleellista laatanvalmistuksessa on painolaatan tumman ja vaalean pään sävyntoisto sekä pisteenkasvun huomioiminen. Laatan reliefin syvyydellä sekä re-

liefirakenteen profiilikulmalla ja painavan pinnan reunan terävyydellä on merkitystä värin- ja sävyntoistossa. Profiilikulmaan vaikuttavat valotusvaiheen muuttujat ja terävyyteen mm. negatiivifilmin reunahuntu. Rasteritiheydellä ja niiden muodolla on myös oma merkityksensä. Suuria rasteritiheyksiä käytettäessä reliefisyvyys saattaa jäädä pieneksi, jolloin rasteripinnan tukkeutuminen huonontaa sävyntoistoa ja alentaa kontrastia. Tavoitteena on, ettei reliefin vaipalta siirtyisi painoväriä painettavalle materiaalille. (Karhuketo ym. 2004, 119–120.)

E erityisen korkeaa laatua vaativissa painotöissä fleksopainatuksessa käytetään nykyisin ohutlevytekniikka. Ohutlevytekniikassa ohut painolaatta on liimattu joustoalustalle, joka antaa periksi painatusvaiheessa, jolloin painolaatan reliefi ei ylipuristu. Näin painotelan ja vastatelan puristussuhde saadaan optimoiduksi. Tekniikka mahdollistaa vieläkin pehmeämmän nippipuristuksen ja rajoittaa pisteenkasvua (Hakola 2009, 44). Ohutlevytekniikalla pienetkin yksityiskohdat saadaan painettua entistä tarkemmin. (Laakso & Rintamäki 2003, 68.)

## 2.4 Fleksopainokoneet

Fleksopainokoneet ovat rainalle tai arkille painavia koneita. Rainalle painavia koneita käytetään papereiden ja muovikalvojen painamiseen sekä kartonkien esipainamiseen, ne jakautuvat stack-, keskussylinteri- ja in-line-koneisiin. Arkkipainokoneilla lähinnä suorapainetaan aaltopahvia. Fleksopainokoneen osia ovat esisyöttölaite, syöttöyksikkö, painoyksikkö ja lavaaja. (Laakso & Rintamäki 2003, 73.)

Yleisimpiä fleksopainokoneita ovat rullalta rullalle painavat koneet, niihin lisättäviä jälkikäsittelytoimintoja ovat mm. laminointi, päällystys ja arkitus. Painokone valitaan tuotteen tyyppi, värillisuus, koko ja laatuvaatimukset, käytettävät materiaalit, painosmäärä sekä hankinta- ja ylläpitokustannukset huomioiden. Painolaitteita on usein kahdeksan, fleksopainotuotteiden painamiseen tarvitaan usein nelivärisarjan lisäksi tuotteelle ominaiset lisävärit sekä peittovalkoinen läpikuultaville tai metallipintaisille materiaaleille. (Karhuketo ym. 2004, 125.)

## 2.5 Fleksopainovärit

Fleksopainovärit ovat hyvin juoksevia vesiohenteisia, liuotinohenteisia tai ultraviolettisäteilykovetteisia painovärejä. Vesiohenteisia painovärejä käytetään yleisesti paperille tai kartongille painettaessa, kun taas ultraviolettisäteilykovetteisilla painoväreillä painetaan muovifilmeihin. Ultraviolettisäteilykovetteiset painovärit on suunniteltu vaihtamaan olomuotoa juoksevasta kiinteään alle 10 ms:ssa altistamalla ne ultraviolettisäteilylle. Liuotinpohjaiset painovärit ovat matalaviskootisia ja ne sisältävät suuren määrän liuottimia, minkä vuoksi jokaisen painoväriin painoyksiköllä on oma kuivausyksikkönsä. (Ström 2009, 236, 250–251.)

Painovärien viskositeetti 10-200 mPas mahdollistaa hyvän värinsiirron painettaessa. Matalaviskootisten värien ongelmana saattaa olla painoväriin tunkeutuminen materiaalin huokosiin sekä roiskuminen. Tämä vähentää painojäljen tummuutta ja lisää pisteenkasvua merkittävästi. Ultraviolettisäteilykovetteisten painovärien viskositeetti on vesi- ja liuotinohenteisia painovärejä korkeampi, mikä estää värin leviämistä. Tämä aikaansaa pisteenkasvun vähenemistä, mutta jättää painamattomia pisteitä väripinnoille. (Hakola 2009, 47.)

Vesi- ja liuotinohenteisten painovärien värikerroksen paksuus on 0,8-1  $\mu\text{m}$  ja ultraviolettisäteilykovetteisten 0,8-2,5  $\mu\text{m}$ . Ero johtuu kuivatuksesta, jossa vesi- ja liuotinpohjaisista painoväreistä haihtuu 50 % väriaineen koostumuksesta haihtumispäästöinä. Kuivatus tapahtuu leveillä koneilla kuumaa ilmaa puhaltamalla tai kapeammilla koneilla infrapunasäteilyllä. (Hakola 2009, 47.)

Painovärien ominaisuudet valitaan painettavan materiaalin ja lopputuotteen käyttötarkoituksen mukaisesti, jolloin painettavuustekijät ja painovärien kiinnittyminen alustaan sekä painetun pinnan kulutuksen kestävyys ovat ratkaisevia tekijöitä. Tuotekohtaisesti kiinnitetään huomiota mm. painovärien elintarvikekelvopaisuuteen sekä kosteuden ja lämpötilamuutosten kestävyteen. (Koskinen 2001, 142.)

### 2.5.1 Painovärien koostumus

Fleksopainovärit koostuvat väri-, side-, liuotin- ja lisäaineista. Väriaineen tehtävä on antaa painotuotteelle värisävy. Väriaineet jaotellaan liukeneviin väriaineisiin ja synteettisesti valmistettuihin pigmentteihin. Pigmenttien määrä vaihtelee halutun sävyn voimakkuuden mukaan. Pigmentit imevät itseensä tietyn sävystä riippuvan aallonpituusalueen, jolloin silmä havaitsee takaisin heijastuvan valon tietyn värisenä. Väriaineet sisältävät toisiinsa kemiallisesti sitoutuneita kromoforeja eli väriä antavia ryhmiä. (Laakso & Rintamäki 2003, 72.)

Sideaineet eivät vaikuta värisävyyden, mutta niistä syntyy värille kirkas kalvo. Useimmiten sideaineet ovat synteettisiä hartseja, joiden tehtävänä painovärissä on pigmenttien sitominen kiinni alustaansa, värin kestävyysarvojen ja kiillon parantaminen, pigmenttien laskeutumisen estäminen sekä painovärin kuivumiseen vaikuttaminen. (Laakso & Rintamäki 2003, 72.)

Liuotinaineet parantavat painovärin tasoittumista, estävät vaahtoamista sekä säätelevät värin viskositeettia ja kuivumista. Vesiohenteisten painovärien liuotinaineet sisältävät noin 50 % vettä. Väriyypistä riippuen väriaineissa käytetään 5-12 % liuottimia. Kuivumisen tehostamiseen käytetään etanolia sekä isopropanolia ja viskositeetin nostamiseen propyleeniglykolia. (Laakso & Rintamäki 2003, 72.)

Painoväri sisältää 1-5 % apuaineita, joita ovat pehmittimet, vahat, emäkset, liukastus- sekä vaahdonestoaineet. Pehmittimet antavat joustavuutta sideaineelle sekä parantavat kiinnipysyvyyttä tietyillä painomateriaaleilla. Vahoilla ja liukastusaineilla parannetaan naarmutus- ja hankauskestoa sekä alennetaan painopinnan kitkaa. Emäksillä säädetään pH arvoja ja liuotetaan sideaineena käytettävää hartsia. (Laakso & Rintamäki 2003, 72.)

### 2.5.2 Painovärien värinmuodostus

Silmässä punaiselle, vihreälle ja siniselle herkät tappisolut eli visuaaliset sensorit vastaanottavat ärsykyksiä eri aallonpituusalueilla. Optisen hermon kautta ärsyke aiheuttaa värihavainnon aivoissa. (Heidelberg 1999, 68.) Elektromagneettisesta säteilystä ainoastaan pieni määrä on nähtävissä värillisenä valona. Aallon silmällä havaittava spektri on välillä

380 nm ja 780 nm. Kappaleiden ominaisuutena on tietyn aallonpituuden omaavan värin imeminen tai heijastaminen, jolloin silmä havaitsee vain ne värit, jotka vastaavat heijastunutta aallonpituutta. Silmä vastaanottaa kappaleen läpäisemän tai heijastaman valon ja muuttaa sen hermoimpulsseiksi, jotka herättävät aivoissa tapahtuvan värihavainnon. (Heidelberg 1999, 9–11.)

Lisäävä eli additiivinen värinmuodostus on eriväristen valojen päällekkäin asettamista (Viluksela ym. 2007, 25). Lisättäessä kaikki spektrin värit päällekkäin, saadaan valkoinen väri. Lisääviä perusvärejä ovat punainen, vihreä ja sininen, jotka ovat ns. 1/3-värejä, koska jokainen niistä muodostaa kolmanneksen näkyvästä spektristä. (Heidelberg 1999, 12.) Punaisen ja vihreän sekoituksena syntyy keltainen, vihreän ja sinisen sekoituksena syaani ja sinisen ja punaisen sekoituksena magenta väri (Viluksela ym. 2007, 25).

Vähentävässä eli subtraktiivisessa värinmuodostuksessa valkoisesta valosta vähennetään yksittäiset värit, jos kaikki värikomponentit poistetaan, saadaan musta väri. Syaani, magenta ja keltainen ovat vähentävät perusvärit eli 2/3-värit, koska jokainen niistä edustaa kahta kolmasosaa nähtävästä spektristä. Ne voidaan tuottaa erottamalla lisäävä perusväri valkoisesta valosta tai asettamalla päällekkäin kaksi lisäävää perusväriä. (Heidelberg 1999, 13.)

Painoprosessissa lähtökohtana on valkoinen pinta, tyypillisesti valkoinen paperi. Valkoinen väri syntyy pinnasta, joka heijastaa yhtä paljon kaikkia valkoisen valon komponentteja. Painettaessa pintaa peitetään värisuotimina toimivilla painoväripigmenteillä. Jokainen väri vähentää valkoisesta pinnasta vastakkaisvärisansä valon heijastusta. Esimerkiksi syaanin väri vaikutelman ajatellaan syntyvän siten, että syaani painoväri absorboi valkoisesta pinnasta heijastuvasta valosta vastakkaisvärisansä eli punaisen valon. Pinnasta heijastuvat sininen ja vihreä valo tuottavat syaanin värin. Muut värit muodostetaan värien päällekkäispainatuksina siten, että esimerkiksi keltaista ja magentaa päällekkäin painamalla saadaan punainen väri. Tätä värinmuodostusta käyttävää värijärjestelmää kutsutaan CMYK-järjestelmäksi. (Viluksela ym. 2007, 25.)

Painettaessa värikuvia neljällä painovärillä syaanilla, magentalla, keltaisella ja mustalla eri osavärien pisteet ovat osittain kiinni toisissaan tai osittain tai kokonaan toistensa päällä. Suurennettuna tarkasteltaessa painetut värit ovat vähentävän värinmuodostuksen tulosta, mutta normaalietäisyydeltä katsottuna ihmissilmä ei erota yksittäisiä pisteitä ja

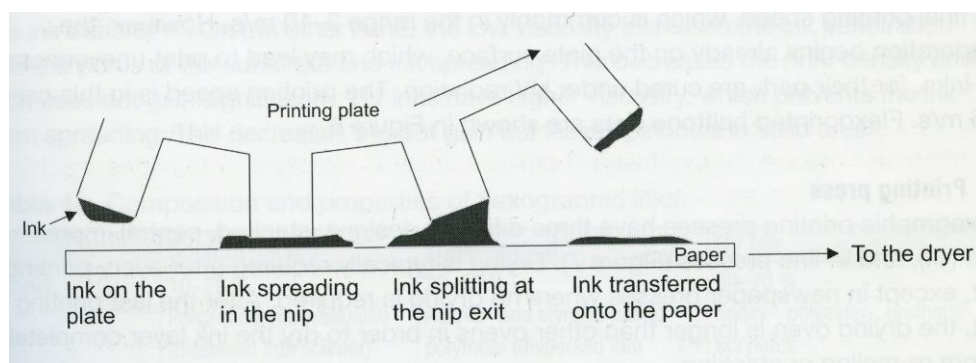


tällöin pisteet sekoittuvat lisäävästi. Tätä lisäävän ja vähentävän värinmuodostuksen yhdistelmää kutsutaan autotypiaksi. (Heidelberg 1999, 15.)

Kuvan sävyt toistetaan rasteripisteillä pistekokoa vaihtelemalla. Vaaleiden sävyjen pisteet ovat pienempiä kuin tummissa sävyissä. Rasteroidun pinnan peittoastetta kuvataan rasteripisteprosentilla, esimerkiksi 20 %:n sävy saadaan aikaan peittämällä kuvapinnasta 20 % rasteripisteillä. (Viluksela ym. 2007, 20–21.)

### 2.5.3 Painovärien siirto

Painovärien siirto painettavalle alustalle on esitelty kuvassa 3. Anilox-telan pinta peittyy painovärillä ja ylimääräinen väri kaavataan pois raakeliterällä, painoväri jää pinnaltaan tasaiseksi rasterikuppeihin. Painolaatan kohokuviot painautuvat anilox- ja painotelan nipissä rasterikuppeissa olevaa painoväriä vasten ja väri siirtyy kohokuvioinnin pinnalle ja sen reunoihin. Tämä johtaa tehokkaaseen värin siirtoon. Painoväri siirtyy painolaatan kohokuvioista painettavalle alustalle painonipissä, jonka paine on tyypillisesti 0,1-0,5 MPa. Nippipaine muuttaa painolaatan muotoa pakottaen pinnan laajenemaan. Laajeneminen levittää painoväriä suuremmalle alueelle ja painaa sen kevyesti pinnan huokosiin. Nipin lopussa väripinta jakautuu ja suurempi määrä väriä jää painettavalle pinnalle. Värikerroksen pintaa voidaan kuivata jokaisen painoyksikön jälkeen. Haihtumisaika määrittää painokoneen nopeuden joka yleensä on 3-10 m/s. (Hakola 2009, 45–46.)



KUVA 3. Painoväriin siirto painettavalle alustalle (Hakola 2009, 45)

Kaikkien mahdollisten värien painaminen onnistuu kolmella vähentävällä perusvärillä, joita ovat syaani, magenta ja keltainen, sillä kahta vähentävää perusväriä sekoittamalla saadaan aikaan sekoitevärit. Esimerkiksi keltainen ja magenta antavat punaisen, kun taas

keltaisen ja syaanin sekoitus on vihreä. Musta saadaan, kun sekoitetaan yhtä paljon kaikkia vähentäviä perusvärejä. Kromaattisten värien pigmenttien ominaisuuksien takia näin sekoitettu musta ei ole koskaan niin tumma kuin oikea musta (Heidelberg 1999, 15). Musta painoväri on lisättyä juuri suuremman kontrastin saamiseksi. Täyspeitteisiä kuvia pystytään painamaan painoyksiköllä, jossa on neljä painolaitetta vähentäville perusväreille ja mustalle, mutta on yleistä, että painolaitteita on enemmän korkeampiluokkaisemman värintoiston ja erikoistehosteiden aikaansaamiseksi. Jokainen väri tarvitsee omanlaisensa painolaatan, jonka vuoksi värikuvasta tulee erottaa joka painolaitteelle eli värille omansa. (Ström 2009, 245.)

## 2.6 Painojäljen laatu

Fleksopainatuksen painojäljen laatu jaetaan objektiiviseen eli mitattavissa olevaan laatuun ja subjektiiviseen eli visuaaliseen laatuun. Objektiivisen laadun mittaukseen voidaan käyttää densitometriä, spektrofotometriä ja tarkkailuliuskoja. Densitometrillä mitataan painatuksen tummuutta eli densiteettiä sekä pisteen kasvua. Spektrofotometri mittaa näkyvän valon aallonpituusalueen, josta voidaan laskea väriarvo. Mittaustulos ilmoitetaan Lab-arvoina, jotka vastaavat silmämääräisiä tuloksia värin vaaleudesta, puhtaudesta ja sävystä. Värintarkkailuliuskat painetaan kuvan mukana ja ne koostuvat useammasta osasta (Heidelberg 1999, 43). Suurin osa painatuksen aikaisesta laadun tarkkailusta tehdään silmämääräisesti vertailemalla painojälkeä malliin. Ajonaikana on mahdollista seurata painojäljen tasaisuutta, yksityiskohtien toistoa sekä kuvan kokonaisterävyyttä. (Laakso & Rintamäki 2003, 77–78.)

Subjektiivinen laadun tarkkailu mittaa oikeastaan tarkastelijan kokemusta laadusta, ei niinkään laatua. Tarkastelijalla tulee olla normaali tai normaaliksi korjattu näkö. Usein tarkastelijoina käytetään asiantuntijoita, jolloin laadun tarkkailu on luotettavaa. Kun halutaan testata loppukäyttäjien mielipiteitä, tulee tarkastelijoiden olla henkilöitä, joita ei ole koulutettu laadun tarkkailuun. Laadun tarkkailuun käytettävien näytteiden tulee edustaa testikohdetta laajasti. Näytteisiin on hyvä valita värikylläisiä, yksityiskohtaisia pin-toja, joista näkyy selvästi näytteen terävyys ja väriavaruus. Tyypillisesti arvioinnissa käytetään parivertailua, paremmuusjärjestykseen laittoa sekä erilaisia arviointiasteikkoja. (Leisti, Radun & Nyman 2009, 339, 345–347.)

Painojäljen laatuun vaikuttavat merkittävästi prepressissä tehdyt valmistelutyöt, painoprosessi, painokoneen tekniikka sekä tuotteessa käytetyt materiaalit, kuten paperi ja painovärit. Lopulliseen painotuotteeseen saattavat vaikuttaa myös viimeistelyprosessi ja siinä käytetty laitteisto. (Kipphan 2001, 99.)

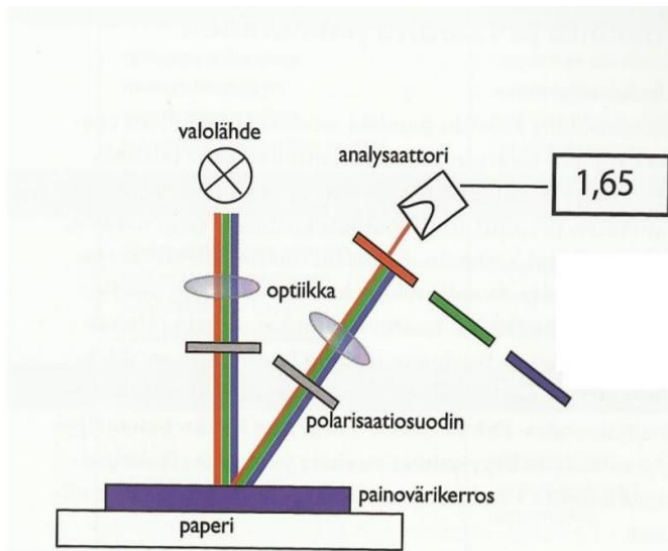
### 2.6.1 Densiteetti

Tarkasteltaessa värinsiirtoa paperille arvioidaan usein painoväriin tummuutta eli densiteettiä. Densiteettiä määritetään värintarpeen saavuttaminen tietyn värin tummuuden kohdalla. Nämä kriteerit riippuvat painoprosessista ja käytetystä materiaalista. Densiteetti ei ole absoluuttinen vaan suhteellinen arvo (Saarelma & Oittinen 2009, 240). Eri mittauskertojen densiteettiä eivät siis ole keskenään vertailukelpoisia. (Bristow 2009, 220.) Densiteetti lasketaan kaavalla 1.

$$D = \log_{10} \frac{I_{\infty}}{I_p}, \quad (1)$$

jossa  $I_{\infty}$  on painopintaan tulevan valon intensiteetti ja  $I_p$  on painopinnasta heijastuvan valon intensiteetti (Bristow 2009, 220). Densiteetti riippuu painoväriin pigmentaatiosta, sen tiivyydestä ja värikerroksen paksuudesta. Väriin densiteetti on värikerroksen paksuusmitta, mutta se ei kerro värisävystä mitään. (Heidelberg 1999, 49.)

Densitometrejä on kahta eri tyyppiä. Läpinäkyvälle mitattavalle materiaalille käytetään läpivalaisudensitometriä esimerkiksi reprotyössä. Painettujen kuvien mittaamiseen käytetään heijastusdensitometriä, jossa mitattava painoväri valaistetaan kohdevalolla. Valon säde imeytyy osittain läpäistessään läpikuultavan painovärikerroksen. Painomateriaali jakaa valonsäteiden imeytymättömän osan, josta osa imeytyy vielä heijastuessaan uudelleen painoväriin läpi. Jäljelle jäävä imeytymätön valo osuu havaitsimeen, joka muuttaa sen sähköksi. Kuvassa 4 on esitelty densitometrin toimintaperiaate. Heijastusdensitometrin mittaustulokset annetaan densiteettiyksikköinä. Densitometri on tarkoitettu värin mittaamiseen sen absorptioalueella, jossa densiteetti ja värikerroksen paksuus korreloivat läheisesti. Värikerroksen paksuuden lisääntyessä valon heijastuminen vähenee ja densiteetti kasvaa. (Heidelberg 1999, 48–49, 54.)



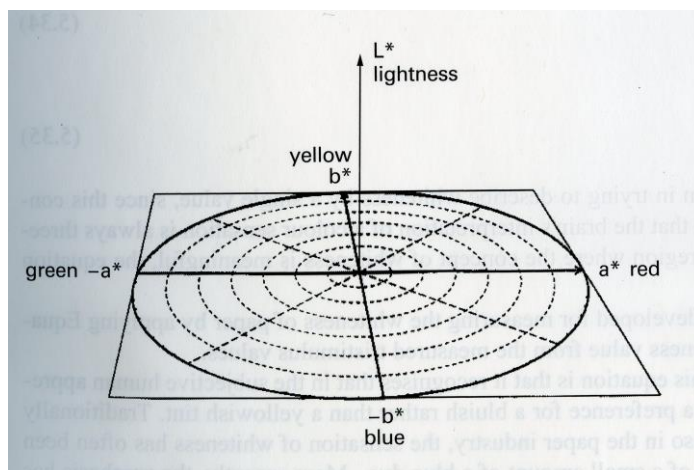
KUVA 4. Densitometrin toimintaperiaate (Viluksela ym. 2007, 148)

Densiteetin mittaaminen aloitetaan densitometrin kalibroinnilla siten, että nolla-arvoksi asetetaan käytettävän painomateriaalin paperivalkoinen. Paperivalkoisen densiteetti siis mitataan suhteessa absoluuttiseen valkoiseen ja tämä arvo asetetaan nollassi. Tällä keinolla vältetään paperin värityksen ja pinnan ominaisuudet, kun arvioidaan tarvittavaa värikerrosta. (Heidelberg 1999, 56.)

## 2.6.2 CIELab

Painojäljen värin määrittämiseen voidaan käyttää spektrofotometriä. Mittauksessa kohde valaistetaan standardivalolähteen tuottamalla valolla ja pinnasta heijastuvan valon aallonpituusjakamaa analysoidaan. Tuloksista voidaan määrittää erilaisia visuaalisia komponentteja värin ilmaisemiseksi. Spektrofotometrisellä mittauksella selvitetään CIELab-värijärjestelmän L-, a- ja b-arvot, jotka kertovat värin värisävyn, kylläisyyden ja vaaleuden. Väriarvot esitetään yleensä graafisesti Lab-koordinaatistossa, mikä havainnollistaa tutkittavan paperin, painovärikerroksen ja painokoneen yhdistelmän mahdollistamaa värin toistovaruutta ja eri laitteiden tai materiaalien vertailua. (Viluksela ym. 2007, 150.)

CIELab-väriavaruus painoväreille on esiteltyä kuvassa 5. Värin sävy ja kylläisyys piirretään a\*- ja b\*-akseleille, a\*-akseli kulkee -a\*sta (vihreä) +a\*han (punainen) ja b\*-akseli kulkee -b\*sta (sininen) +b\*hen (keltainen). Valoisuusakseli L\* kulkee 0:sta (musta) 100:aan (valkoinen). (Heidelberg 1999, 79.)



KUVA 5. CIELab-väriavaruus (Bristow 2009, 165)

CIELab järjestelmässä samanvärisiksi havaituilla väreillä on identtiset numeeriset arvot, jotka on laskettu matemaattisilla transformaatioilla CIE-väriavaruudesta. Tämä tehdään, sillä ihmissilmä ei havaitse kaikkia saman arvoisia värin paikkaeroja identtisinä. Väriero  $\Delta E$  kuvaa kahden väriavaruudessa olevan värin välimatkaa, esimerkiksi eroa originaalin ja painetun kuvan välillä. (Heidelberg 1999, 76–77.)

### 2.6.3 Värintarkkailuliuskat

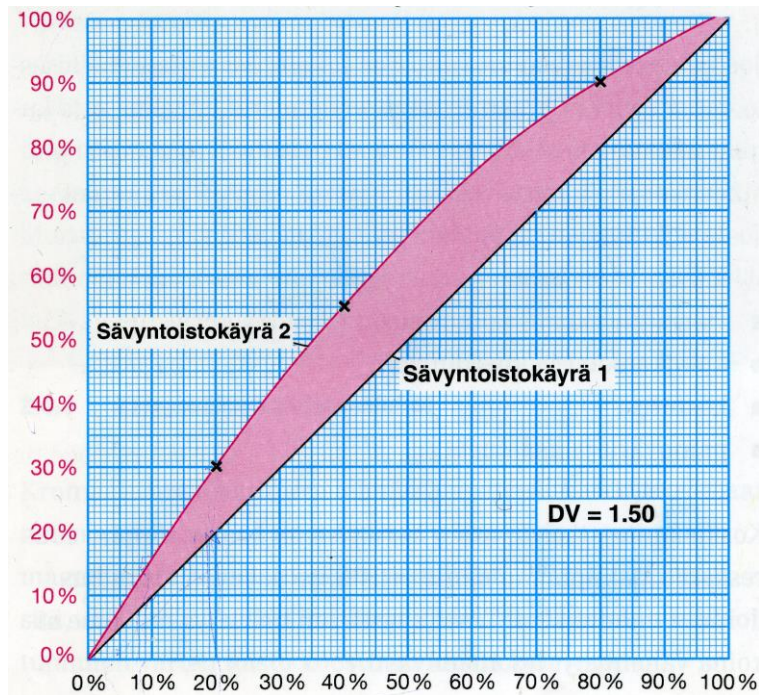
Värintarkkailuliuskat eli stripit koostuvat useasta osasta. Kompaktikentistä tarkastellaan värinannon tasaisuutta. Painoväriä kohden käytetään yhtä kompaktikenttää mm. siten, että kentät ovat värikyvyhykkeen etäisyydellä toisistaan. Päällekkäinpainamiskenttiä käytetään värin tarttumisen silmämääräiseen ja densitometriseen arviointiin. Väritasapainokenttiä käytetään visuaaliseen tarkastukseen sekä syaanin, magentan ja keltaisen automaattiseen harmaatasapainon väriohjauksen säätelyyn. Kompakti- ja rasteriväreillä on omat väritasapainokenttensä. Kompaktikentissä syaanin, magentan ja keltaisen päällekkäin painamisesta pitäisi tulla neutraali musta. Vertailua varten päällekkäin painetun kentän viereen painetaan musta kompaktipinta. Rasteriväreillä painettaessa syaanin, magentan ja keltaisen osavärin painaminen päällekkäin antaa tulokseksi neutraalin harmaan, jos värikalvon paksuus, standardisoitu värijärjestys ja pisteenkasvu on vakioitu. Rasterikentissä on erilaisia rasteriarvoja, joista mitatun tiedon avulla pystytään laskemaan pisteenkasvu ja painon kontrasti. (Heidelberg 1999, 43–45.)

#### 2.6.4 Pisteenkasvu

Pisteenkasvulla tarkoitetaan rasteripisteen kasvamista painotuotteella suhteessa painolaatalla olevaan pisteeseen. Kasvuun vaikuttavat menetelmä, materiaalit ja koneet. Osaan kasvusta voidaan vaikuttaa värinannon avulla, pisteenkasvua esiintyy useimmiten, jos värinanto on liian voimakasta tai puristus liian suurta. (Heidelberg 1999, 26–27.)

Pisteenkasvu vaikuttaa painojäljessä rasterisävyjen toistumiseen. Rasteripiste leviää painettaessa sekä mekaanisista että optisista syistä johtuen. Pisteenkasvu on suurinta tiheillä rastereilla ja keskisävyissä. Päälystämättömillä papereilla pisteenkasvu on suurempaa kuin päälystetyillä. Pisteenkasvu tulee huomioida siten, että kuviin on tehtävä vastaavan suuruinen kevennys, eli rasteripisteiden kokoa on pienennettävä pisteenkasvun verran. Tämän vuoksi on tiedettävä pisteenkasvun suuruus kullakin paperilla ja painokoneella, sekä pyrittävä hallitsemaan painoprosessia siten, että pisteenkasvu pysyy vakiona. (Karkheto ym. 2004, 85.)

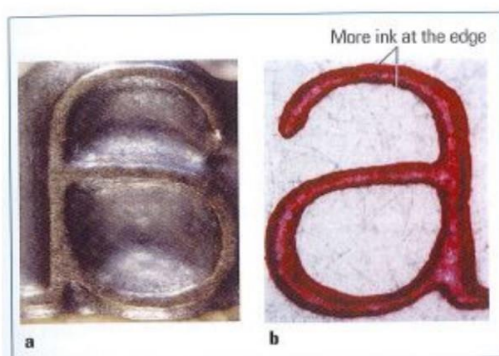
Pisteenkasvu painolaatalta painokseen voidaan havainnollistaa ja soveltaa suoraan käytäntöön reprotyössä painon sävyntoistokäyrän avulla. Sävyntoistokäyrä määritellään painamalla vähintään kolmiportainen sävykiila sekä kompaktipinta ja määrittämällä niistä densiteetti, jonka avulla lasketaan rasterisävyarvot. Kun näin saadut arvot piirretään kaavioon vastaavien painolaatan arvojen kohdille, saadaan siirron sävyntoistokäyrä. Kuvassa 6 on sävyntoistokäyrä, jossa käyrä 1 kulkee 45° kulmassa ideaalilinjassa, jossa painos ja painolaatta ovat identtiset, mutta jota ei pystytä saavuttamaan. Käyrä 2 esittää painoksesta mitatut sävyarvot ja näiden kahden linjan väliin jäävä alue osoittaa pisteenkasvun. Käyrän 2 avulla painolaattaa voidaan säätää siten, että painoksessa päästään haluttuun tulokseen pisteenkasvu huomioiden. Pystyakselilla on painoksen ja vaak akselilla painolaatan rasteripistearvot. (Heidelberg 1999, 32–33.)



KUVA 6. Painon sävyntoistokäyrä (Heidelberg 1999, 33)

### 2.6.5 Painojäljen ongelmat

Fleksopainolle tyypilliset häiriöt liittyvät pehmeän painolevyn ja nippipuristuksen yhteisvaikutuksiin. Kohopainomenetelmällä painettaessa on tyypillistä, että painoväri pakenee painoaiheen reunoille puristuksen vaikutuksesta. Kirjainten, linjojen ja rasteripisteiden reunoissa on puristuksen vaikutuksesta vaaleampi raja ja reunan ylittänyt painoväri aiheuttaa ulkopuolelle tummemman ääriiviivan ns. flekso-reunan, kuten kuvasta 7 nähdään. Liian alhainen puristus taas vaikeuttaa vaaleiden sävyjen toistoa. Samalla painolevyllä esiintyvien laajojen kompaktipintojen ja vaaleiden sävykuvien painaminen on haastavaa ja se lisää pisteenkasvua ja rasterirakenteen tukkoisuutta. (Viluksela ym. 2007, 87.)



KUVA 7. Painoväriin pakeneminen painoaiheen reunoille (Kipphan 2001, 47)

Rasteripisteen muotovirheitä ovat vierintävirheet ja tahriminen. Vierintävirheet syntyvät painolaatan joustamisesta, jolloin pyöreä piste saattaa muuttua muodoltaan soikeaksi. Vierintävirhettä painosuunnassa kutsutaan pitkittäissuuntaiseksi vierintävirheeksi ja vierintää määrättyssä kulmassa painosuuntaan nähden poikittaissuuntaiseksi vierintävirheeksi. Vierinnän tapahtuessa molempiin suuntiin samanaikaisesti, on kyseessä diagonaalinen vierintävirhe. Linjarasterit ilmaisevat selvimmin vierintävirheet ja suoriin kulmiin asemoidut linjat ilmaisevat sen suunnan. Ympäryssiirtymä johtuu usein sylintereiden halkaisijaeroista tai liian korkeasta puristuksesta. Vierintävirheen saattavat aiheuttaa huonosti kiinnitetty painolaatta tai liian voimakas värinanto. (Heidelberg 1999, 27.)

Tahrimiseksi kutsutaan niitä rasteripisteen muodonmuutoksia, jotka johtuvat painoajon jälkeisestä mekaanisesta hankauksesta. Samaa termiä käytetään myös värin tarttumisesta tuoreesta painopinnasta toiseen arkkiin. Tahrimisongelmia ilmenee useimmin jäykille painomateriaaleille painettaessa. (Heidelberg 1999, 27–28.) Painojäljessä näkyvät pisteet eli kirput johtuvat kuivuneesta tai viallisesta painoväristä sekä paperista irronneista pölypartikkeleista, jotka kertyvät yleensä painolaatalle (Karhuketo ym. 2004, 105).

### **2.6.6 Rasteripisteiden ominaisuudet**

Yksityiskohtien toisto ja terävyys ovat tärkeitä tekijöitä painojäljen laatua arvioitaessa ja niiden laadun puutokset näkyvät painojäljessä usein selkeästi. Painojäljen laatuun vaikuttavat suoraan rasteripisteiden laadulliset tekijät ja siksi niihin vaikuttamalla pystytään tuottamaan parempilaatuista painojälkeä. Rasteripisteiden ja painojäljen yksityiskohtien tutkimiseen käytetään mikroskooppia. Rasteripisteiden ominaisuudet voidaan jakaa geometrisiin ja optisiin ominaisuuksiin. Geometrisia ominaisuuksia ovat koko, muoto, reunat sekä peitto ja optisia ominaisuuksia ovat densiteetti ja väri. Geometrisia ominaisuuksia tutkittaessa rasteripisteet usein erotetaan taustasta ja toisistaan, jolloin pisteiden muotovirheet ja leviäminen nähdään paremmin, eivätkä ne pääse vääristämään tuloksia. Rasteripisteiden ominaisuuksiin vaikuttaa mm. liiallinen painovärin määrä, joka kasvattaa rasteripisteiden kokoa, mutta vähentää eri sävytasoja. (Puukko & Niemi 2009, 326.)



Rasteripisteiden epätäydellisesti peittyneet alueet, niiden muotovirheet ja reunojen rosaisuus aiheuttavat suurimman epätarkkuuden densiteettiarvoissa sekä pisteenkasvussa. Rasteripisteiden reunojen leviäminen johtuu optisesta ja fyysisestä rasteripisteen leviämisestä. Optinen leviäminen johtuu valon hajoamisesta osuessaan painomateriaalin pintaan. Fyysinen leviäminen painotuotteen pinnassa voi johtua painoprosessista, painoväristä tai painomateriaalin pintaominaisuuksista. Painojäljen laadun terävyyttä mitataan rasteripisteiden tai minkä tahansa painetun alueen reunasta. (Puukko & Niemi 2009, 326–327.)

### 3 LAITTEISTO JA TESTIPAINOLAATTA

#### 3.1 RK-pilotkone

Tampereen ammattikorkeakoulun paperi- ja pakkauslaboratorion RK-pilotkone on englantilaisen RK Print Coat Instruments Ltd:n valmistama ja Pinteco Oy:n toimittama pienimittakaavainen eri paino- ja päällystystekniikan sovellusten testiajolaite. Koneeseen on mahdollista asentaa liimapuristin, fleksopaino-, päällystys- tai syväpainoyksikkö ja koneen radanvientiä on mahdollista muuttaa eri sovellusten sekä paperi- ja kartonkilaatujen vaatimusten mukaiseksi.

Erilaisia kuivatusmahdollisuuksia on kolme, viisi infrakuivainta, kaksi leijuilmakuivainta sekä neljä kuivatussylinderiä. Ilman ja telojen lämpötilan säätö on portaaton. Koneessa on vetävä kiinnirullaus, jonka painetta ja pyörimisnopeutta apumoottoriin nähden voidaan säätää. Aukirullauksen hidastus toimii mekaanisella jarrulla. Paino- ja päällystysyksiköiden käyttö on sähköinen. Koneessa käytettävän paperi- tai kartonkirullan hylsyn suositeltu sisämitta on 76 mm ja rainan maksimileveys 305 mm (RK Print Coat Instruments Ltd 2005, 10). Kuvassa 8 on paperi- ja pakkauslaboratorion RK-pilotkone.



KUVA 8. RK-pilotkone

### 3.2 Pilot-fleksopainoyksikkö

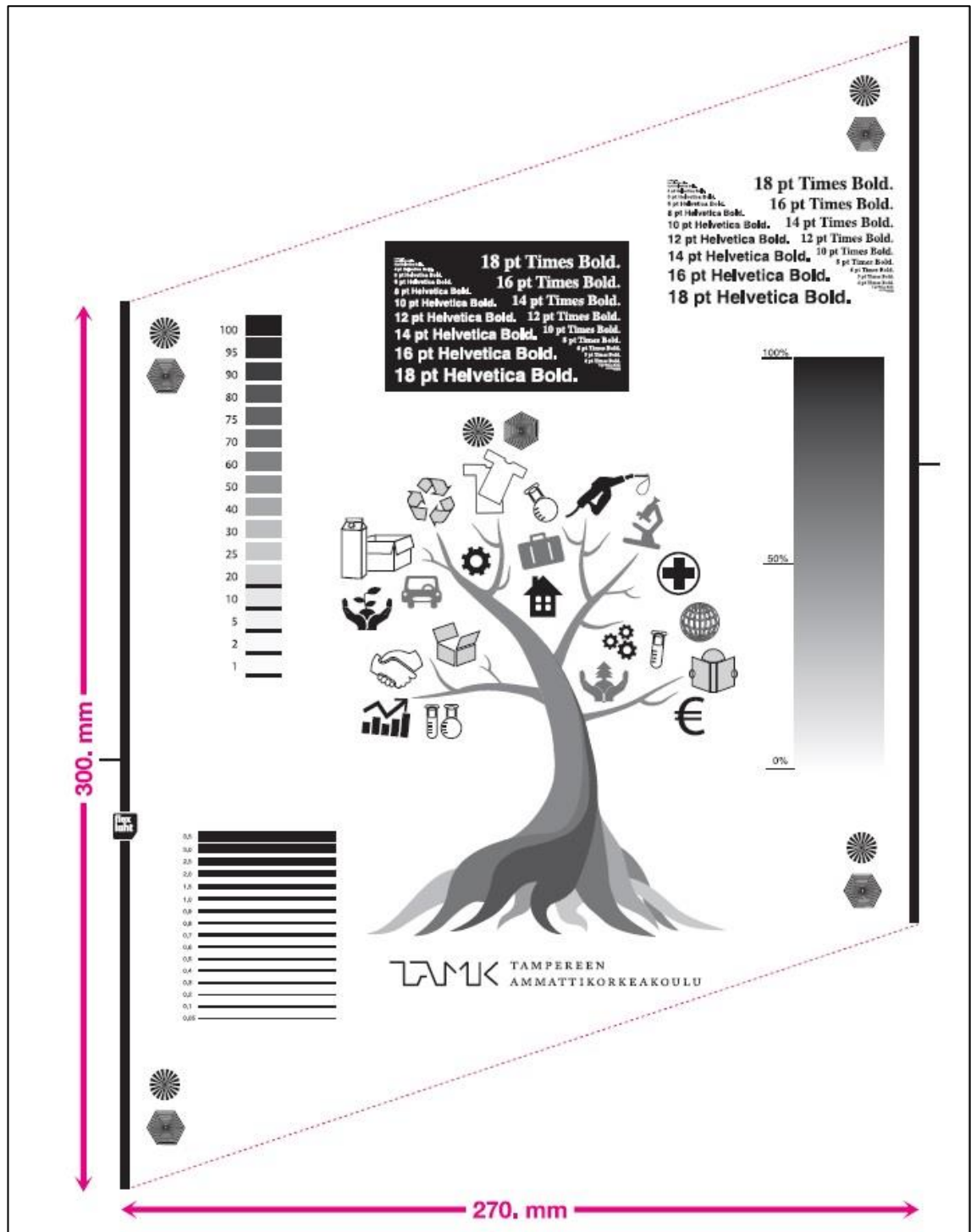
Paperi- ja pakkauslaboratorion RK-pilotkoneen fleksopainoyksikkö on esitelty kuvassa 9. Painoyksikkö koostuu anilox-telasta, metallisesta raakeliterästä, painotelasta sekä vas-tatelasta. Anilox-tela on kunnostettu Flexica Oy:n toimesta. Kunnostus on sisältänyt telan vanhan pinnan poiston, uuden keraamisen pinnoitteen, laserkaiverruksen ja loppukäsittelyn. Anilox-telan linjatiheydeksi on ilmoitettu 240 l/cm sekä kuppikulmaksi 60°. Rasterikuppien volyyymi eli yhteistilavuus on 4,0 cm<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>. Anilox-telan halkaisija on 65,7 mm ja pituus 280 mm.



KUVA 9. RK-pilotkoneen fleksopainoyksikkö

### 3.3 Testipainolaatta

Paperi- ja pakkauslaboratorion RK-pilotkoneen fleksopainoyksikön painotelaa on kiinnitetty uusi Flexolahti Oy:n toimittama testipainolaatta, joka on digitaalisesti laserilla valotettu fotopolymeerinen liuottimella pesty fleksopainolaatta. Testipainolaatan vahvuus on 1,7 mm ja sen leveydeksi on ilmoitettu 270 mm ja painoalueeksi 300 mm. Painolaatan kovuus on 69 Shorea. Laatan kohokuvion eli reliefin syvyys on 0,55-0,80 mm, joka on usein käytössä 1,7 mm vahvuisilla painolaatoilla. (Kallio 20.3.2017) Testipainolaatta on esitelty kuvassa 10.



KUVA 10. Testipainolaatta (Kallio 2017)

Testipainolaatassa on käytetty puristusta mittaavia tarkkailukenttiä, joita ovat kuusikulmainen ja viuhkamainen kuvio testipainolaatan painoalueen nurkissa. Näillä tarkkailukentillä tarkkaillaan värinsiirtoa nippipaineessa eli painolaatan ja anilox-telan välisessä värinsiirtonipissä sekä painolaatan ja painettavan materiaalin välisessä painonipissä. Pisteenkasvun ja painon kontrastin selvittämiseksi testipainolaatassa on perinteinen 1-100 %

rasteripistekenttä sekä liukuva 1-100 % rasteripistekenttä. Perinteisessä kiinteässä rasteripistekentässä neliön sisällä kaikki pisteet ovat saman kokoisia ja seuraavassa neliössä ne ovat aina koon isompia, kun taas liukuvassa rasteripistekentässä pisteet kasvavat liukuen pienestä suurempaan. (Kallio 20.3.2017)

Testipainolaattaan on lisätty positiiviset ja negatiiviset teksti- ja numerokentät, joissa on erikokoisia tekstejä ja numeroita värillisellä sekä värittömällä pohjalla. Kentistä voidaan nähdä kuinka pientä tekstiä koneella pystyy painamaan. Anilox-telan linjatiheys vaikuttaa tähän oleellisesti eli jos väriä siirtyy liikaa, niin pienet tekstit eivät pysy lukukelpoisina. (Kallio 20.3.2017)

Testipainolaattaan on valittu useita erilaisia painettavia pintoja sekä yksityiskohtia ja teräviä reunoja, joista voidaan arvioida painatuksen tarkkuutta ja terävyyttä. Painolaatan sauma on leikattu vinoon tärinän välttämiseksi sen kulkiessa painonipistä. Laatan molemmilla reunoilla kulkee ohjuriviiva, joiden tarkoitus on tukea laattaa koko sylinterin kieroksen matkalla. Ohjurit ovat samalla tasolla laatan painavien pintojen kanssa.

### 3.4 Mittauslaitteisto

Paperi- ja pakkauslaboratoriossa on käytössä densiteetin, pisteenkasvun ja CIELab-väriarvojen määrittämiseen X-Rite eXact spektrofotometri. Mitatut tulokset on mahdollista siirtää laitteelta suoraan tietokoneelle taulukko-ohjelmaan. Kuvassa 11 on esitelty X-Rite eXact spektrofotometri. Rasteripisteiden ja painojäljen yksityiskohtien tarkasteluun laboratorioissa on käytössä Nikon Eclipse E400 tutkimusmikroskooppi.



KUVA 11. X-Rite eXact spektrofotometri (X-Rite eXact 2017)

## 4 SUORITETUT KOKEET

### 4.1 Nippien kontaktien testaus

Kokeet aloitettiin testaamalla anilox-telan ja painotelan välisen nipin eli värinsiirtonipin kontakti sekä painotelan ja vastatelan välisen nipin eli painonipin kontakti, asetukset ja suoruus. Kokeessa käytettiin arkeiksi leikattua päällystämätöntä pohjapaperia ja sen päällä jäljennöspaperia. Arkit vietiin nippien läpi käsin pyörittämällä, jolloin saatiin alustavasti tietoa nippien kontakteista. Kokeessa selvisi, että oikean kontaktin löytäminen koneen edestä katsottuna oikeaan reunaan oli huomattavasti vaikeampaa kuin vasempaan reunaan. Painolaatan saumakohta ei aiheuttanut huomattavaa kontaktin muuttumista. Kuvassa 12 on esitelty painotelan ja vastatelan välisen nipin kontakti, jossa ei ole ylipainatusta, mutta painolaatan kuva on jäljentynyt paperille koko laatan leveydeltä. Vasen reuna on selvästi selkeämpi ja perinteinen rasteripistekentästä on kokonaisuudessaan toistunut paperille. Oikeassa reunassa kulkevan liukuvan rasteripistekentästäön terävöittäminen vaati huomattavasti enemmän työtä ja ylipuristusta tuli herkästi.



KUVA 12. Painonipin kontakti

Seuraavaksi painoyksikkö koottiin ja kaukaloön lisättiin painoväri. Kontaktia lähdettiin hakemaan alustavan kokeen pohjalta löytyneillä nippipuristuksilla. Värin siirtymistä kaukalosta anilox-telalle ja siitä painolaatalle seurattiin ja nippipuristuksia muutettiin havaintojen perusteella. Koe tehtiin käsin teloja pyörittämällä. Vasen reuna asetui kohtalaiseen painojälkeen melko pienellä säätämisellä, mutta oikean reunan kanssa oli haasteita. Oikeassa reunassa sijaitsee anilox-telaa pyörittävä sähköinen apumoottori, jonka hammas-tus saattaa olla vaikeuttava tekijä oikean kontaktin löytymisessä. Oikean reunan nippipaine oli herkästi ylipuristava. Kokeesta ei saatu riittävästi tietoa siitä, miten reunojen

kontaktit erosivat toisistaan, sillä painolaatan kuvio on hyvin erilainen reunoistaan. Painolaatassa tulisi olla myös vaakatasossa menevä kuvio, josta pystyisi helpommin selvittämään nippien kontaktien tasaisuutta poikkisuunnassa.

## 4.2 Koeajo

Koeajossa käytettiin Flint Group Premo®Board PMS Black U vesiohenteista mustaa painoväriä ja päällystämätöntä pohjapaperia. Pohjapaperin neliömassaksi määritettiin 57 g/m<sup>2</sup>. Painoväriin viskositeetti määritettiin Brookfield viskositeettimittarilla spindelillä numero 4. Viskositeetiksi saatiin 73 mPas. Matalaviskoottisten painovärien ongelmana saattaa olla värin tunkeutuminen paperin huokosiin ja merkittävä pisteenkasvun lisääntyminen. Tämä otettiin huomioon laadun mittauksia suunnitellessa.

Koeajon alussa radanvientiä ja nippien kontakteja vielä tarkistettiin ja säädettiin ennen painoväriin kaatamista kaukaloon. Säädöt saatiin kohtalaisiksi kontaktien testauksesta saaduilla arvoilla. Koeajossa ajettiin alhaisella ajonopeudella, pilotlaitteen ajonopeussäätimen 2-3 asetusarvoilla, jolloin paperirata pysyi suorana ja kiinnirullaus tasaisena. Kuivatuksessa käytettiin kahta infrakuivainta, mikä riitti hyvin ajonopeuden pysyessä alhaisena läpi koeajon. Aukirullauksesta rata kulki painoyksikölle vetävän laminaattorin nipin kautta. Laminaattorin nopeus tuli säätää ajonopeutta hieman hitaammaksi tai samaksi, jolloin se aiheutti radalle lievän kireyden. Koeajon aikana kontaktiin pystytettiin vaikuttamaan värinsiirto- ja painonipissä sekä raakeliterän ja anilox-telan välillä säätöruuveja pyörittämällä.

Hyvän painatustuloksen saamiseksi nippipaineiden tuli olla melko korkeat sekä värinsiirto- että painonipissä. Alhaisemmilla paineilla jäi painamattomia kohtia. Korkea nippipaine aiheutti herkästi pisteenkasvua ja vahvaa fleksoreunaa sekä oikeassa reunassa huomattavaa ylipuristusta. Pisteenkasvuun saattoi vaikuttaa myös liian voimakas värinanto. Koeajo suoritettiin positiivista raakelikulmaa käyttäen alhaisilla nopeuksilla, jolloin värimäärän tulisi pysyä helpommin hallittuna eikä raakelin pitäisi päästää väriä kupprien välisille kannaksille. Raakeliterän tasapainotus oikean ja vasemman reunan välillä oli kuitenkin haastavaa ja värinanto siksi heitteli koeajon aikana. Kunnostetun anilox-telan pyörimistarkkuuden todettiin heilahtelevan oikeassa reunassa sijaitsevan sähköisen apumoot-

torin ja vetoa välittävän hammasratastuksen vuoksi. Välitysrattaat aiheuttivat pyörimisvärähtelyä niiden ollessa kiristettynä. Rattaiden materiaalia ja välitystä tulisi tutkia ja parantaa toimivamman välityksen aikaansaamiseksi.

Testipainolaatalla oli koeajossa käytetylle päällystämättömälle pohjapaperille melko vaikea saada virheetöntä painokuviota osittain paperin pintaominaisuuksista johtuen. Karheampi paperi tarvitsisi sileää paperia pehmeämmän laatan. Pilotkoneelle olisi hyvä saada muutama uusi paperilaatu koeajettavaksi, jolloin paperista johtuvia laatuongelmia olisi helpompi ja luotettavampi sulkea pois. Painolaatan kovuudella on vaikutusta myös värinanton, sillä kovempi painolaatta siirtää pehmeämpää vähemmän väriä. Koeajon aikana rullaan merkattiin säätöjen välissä koepisteitä, joista otettiin näytteitä painojäljen laadun visuaalista tarkastelua ja mittauksia varten.

Koeajon aikaiset suuntaa antavat säädöt on esitelty taulukossa 1. Arvot eivät ole tarkkoja, sillä koeajon aikana jouduttiin säätöruuvien pientä kiertoa tekemään koko ajan. Koeajon aikana nippien aukaisun jälkeen telojen kontakti myös muuttui hieman hammasratastuksen välyksen vuoksi, eli kiristettäessä nipit takaisin samaan säätöarvoon, ei painojäljen laatu ollut enää sama. Painonipissä oli eniten värähtelyä näytteen 3 kohdalla. Ratakireyttä ohjaavan paineilmasäätöisen telan paineena pidettiin koeajon aikana 1,5 baria.

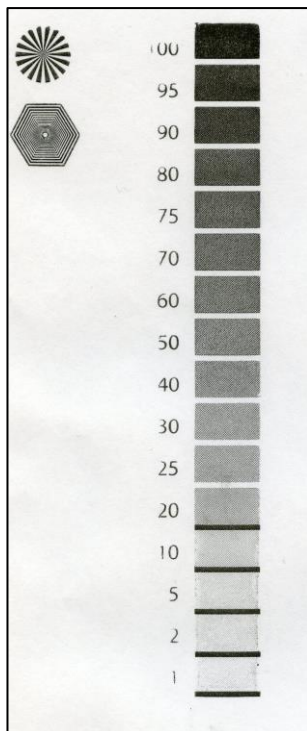
TAULUKKO 1. Koepisteiden suuntaa antavat säätöruuvien arvot

Näyte	Painonippi vasen reuna	Painonippi oikea reuna	Värinsiirtonippi vasen reuna	Värinsiirtonippi oikea reuna
1	0,05	0,20	92,00	93,95
2	0,05	0,30	92,20	94,15
3	0,10	0,40	92,40	94,35
4	0,10	0,45	92,20	94,45
5	0,15	0,50	92,50	94,55
6	0,15	0,40	92,60	94,40



### 4.3 Painojäljen laadun tarkastelu

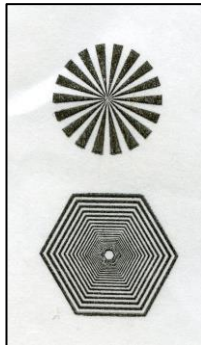
Painojäljen laatua tarkasteltiin visuaalisesti eri testikenttiä käyttäen. Perinteisestä rasteripistekentästä näkyi painojälki huomattavasti paremmin kuin liukuvasta rasteripistekentästä, josta varsinkin vaalean pään sävyt menivät herkästi tukkoon. Tähän saattoi myös vaikuttaa se, että perinteinen rasteripistekenttä sijaitsee painolaatan vasemmalla reunalla, joka pysyi läpi koeajon paremmin säädöissä. Kuvassa 13 on esiteltyä perinteinen rasteripistekenttä, josta pystyi ajon aikana tarkkailemaan säätöjen onnistumista ja värinannon tasaisuutta sekä vasemman reunan tarkkailukenttä, josta seurattiin nippipuristusta. Reunojen välisen eron vuoksi koeajosta kerätyistä näytteistä ei pystytty täysin vertaamaan esim. oikean ja vasemman reunan tarkkailukenttiä keskenään, sillä reunojen painojälkeä ei koeajon aikana saatu vakioitua.



KUVA 13. Perinteinen rasteripistekenttä sekä vasemman reunan tarkkailukenttä

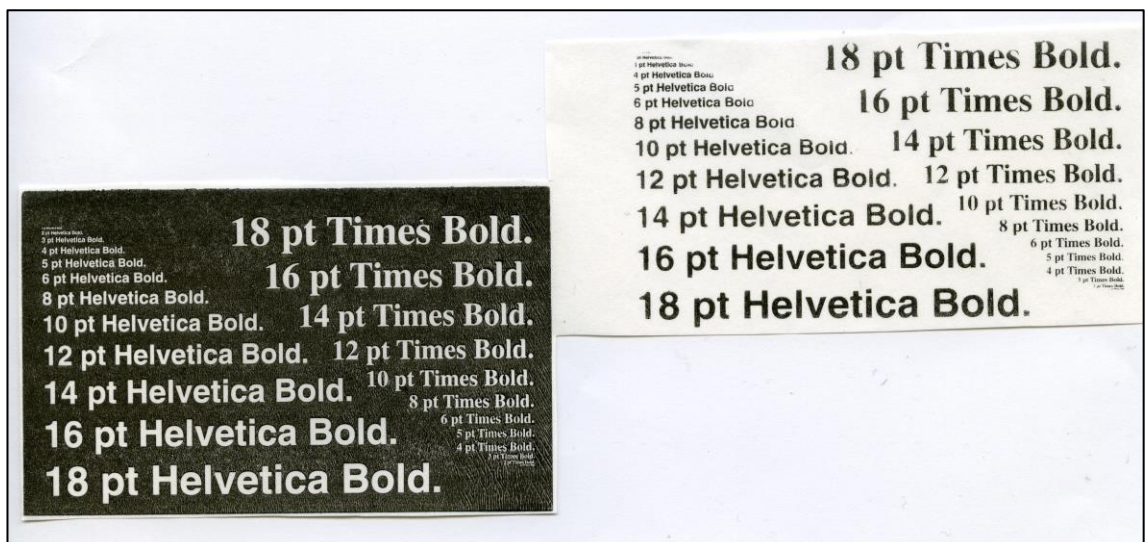
Puristuksen tasaisuutta tarkasteltiin kuusikulmaisen ja viuhkamaisen kuvion avulla, jotka oli sijoitettu testipainolaatan painoalueen nurkkiin. Tarkkailukentistä seurattiin värinsiirron onnistumista värinsiirtonipissä sekä painonipissä. Koeajon aluksi kuvioista näkyi selvästi oikean ja vasemman reunan välinen terävyysero, jota saatiin hieman korjattua oi-

kean reunan kontakteja säätämällä. Myös apumoottorista johtuva kontaktin tärähtely näkyi koeajon aikana tarkkailukentissä painamattomina alueina. Kuvassa 14 on terävyydeltään hyvä oikean reunan tarkkailukenttä.



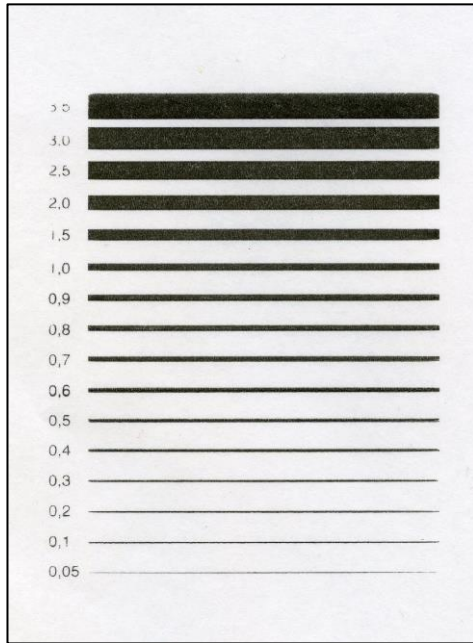
KUVA 14. Oikean reunan tarkkailukenttä

Testipainolaatan positiivinen- ja negatiivinen teksti- ja numerokenttä oli koeajossa haastavaa saada tarkaksi. Jos väriä siirtyi liikaa, kenttä meni tukkoon ja pienet fontit eivät pysyneet lukukelpoisina. Negatiivinen kenttä oli positiivista vaikeampi hallita ja siinä oli läpi koeajon värinsiirtymisongelmia ja painamattomia alueita. Osa painamattomista alueista selittyi apumoottorin aiheuttamasta kontaktin välyksestä. Negatiivisesta kentästä näkyi paremmin tekstin terävyysoingelmat. Kenttä oli hyvä lisäys uuteen testipainolaataan, sillä tekstikentistä pystyy hyvin tarkastelemaan tekstin terävyyttä. Tekstikenttien avulla havainnoitiin painojäljen tarkkuuden muutoksia koeajon aikana. Kuvassa 15 on tarkaksi saatu tekstikenttä näytteestä 6.



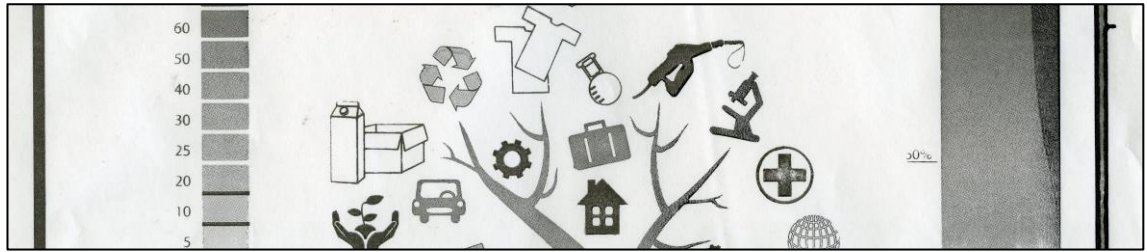
KUVA 15. Negatiivinen ja positiivinen teksti- ja numerokenttä

Painojäljen terävyyttä tarkasteltiin myös viivakentän avulla. Viivakentästä näkyi selkeästi värinsiirron epätasaisuus ja puutteet painojäljen terävyydessä. Osassa näytteistä ohuimmat viivat eivät jäljentyneet kunnolla ja paksuimmissa viivoissa oli värinannon tukkoisuutta. Kuvassa 16 koeajon terävyydeltään paras viivakenttä näytteestä 2.



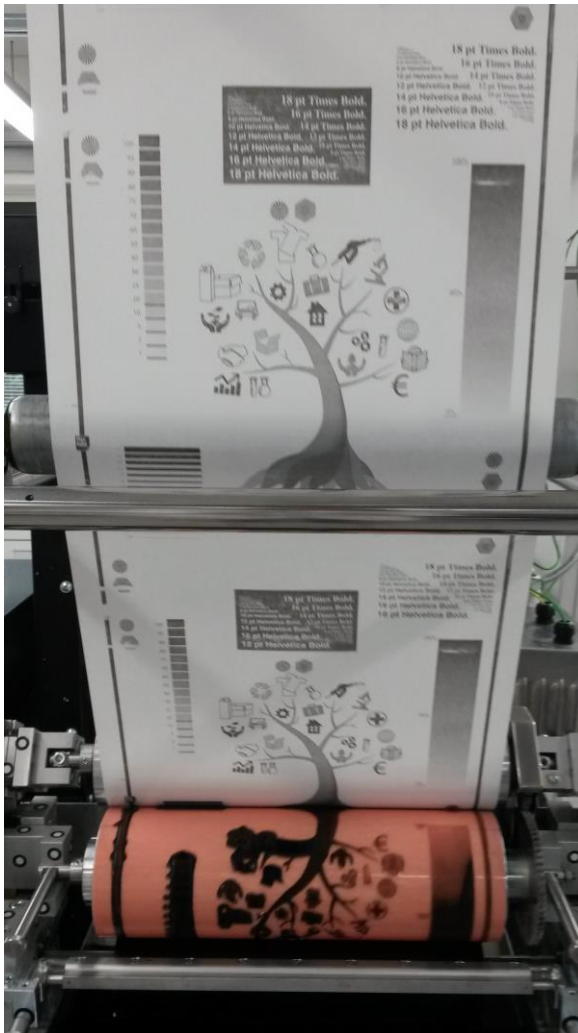
KUVA 16. Viivakenttä

Koeajon aikana suurin ongelma oli kuvassa 17 näkyvä reunojen säätöjen epätasaisuus. Kuvassa painoyksikön vasemman reunan säädöt on saatu kohdalleen ja painojälki on vasemmassa reunassa selkeää ja terävää. Kontaktit värinsiirtonipissä sekä raakeliterän ja anilox-telan välissä on saatu vastaamaan värinsiirron tarvetta. Kuvan oikean reunan ohjuriviivassa näkyy selvää ylipuristusta ja liukuvassa rasteripistekentässä liiallista värinsiirtoa. Liiallinen värinsiirto saattaa johtua raakeliterän ja anilox-telan kontaktin puutteesta, jolloin väriä on siirtynyt anilox-telalta painolaatan pinnalle liikaa. Keskellä olevan puukuvion oikeassa reunassa on vahvaa fleksoreunaa eli painoväri on paennut painoaiheen reunoille puristuksen vaikutuksesta. Reunojen epätasaisuutta ei täysin saatu poistettua, mutta painojälki saatiin tasaisemmaksi. Oikean reunan kontaktit värinsiirtonipissä ja painonipissä sekä raakeliterän asetukset aiheuttivat suurimman eron reunojen välillä. Anilox-telaa pyörittävän apumootorin aikaansaama välitys hammaspyörästössä ja sen välityksellä värinsiirto- ja painonipissä sai aikaan säätöjen epätarkkuutta ja niiden ajon aikaista muutosta.



KUVA 17. Fleksoreunaa puukuvion oikealla puolella

Koeajon aikaista painojälkeä on esitelty kuvassa 18. Vasemman reunan puristusta mittavissa tarkkailukentissä on painamattomia alueita. Liukuvan rasteripistekentän tummassa päässä on myös painamaton alue ja vaalean pään sävyt ovat menneet tukkoon. Painamattomat alueet ovat poikittaissuunnassa samassa kohdassa ja näin voidaan epäillä painotellussa tapahtuneen tärinää ja kontaktin siksi hyppineen. Painojälki tekstikentissä kuvan keskellä on tasainen. Perinteisen rasteripistekentän ja puukuvion terävyys on hyvä. Reunojen eroa ja värinantoa on saatu tasaisemmaksi nippien kontakteja säätämällä. Nippeihin on haettu tasainen napakka kontakti telojen säätöruuveja kiristämällä. Ohjurien kontakti reunoissa on tärinää lukuun ottamatta pysynyt tasaisina, eikä reunoissa ole ollut ylipuristusta. Puukuvion erisävyisistä kompaktipinnoista pystyttiin tarkastelemaan ajon aikaista värinannon tasaisuutta.



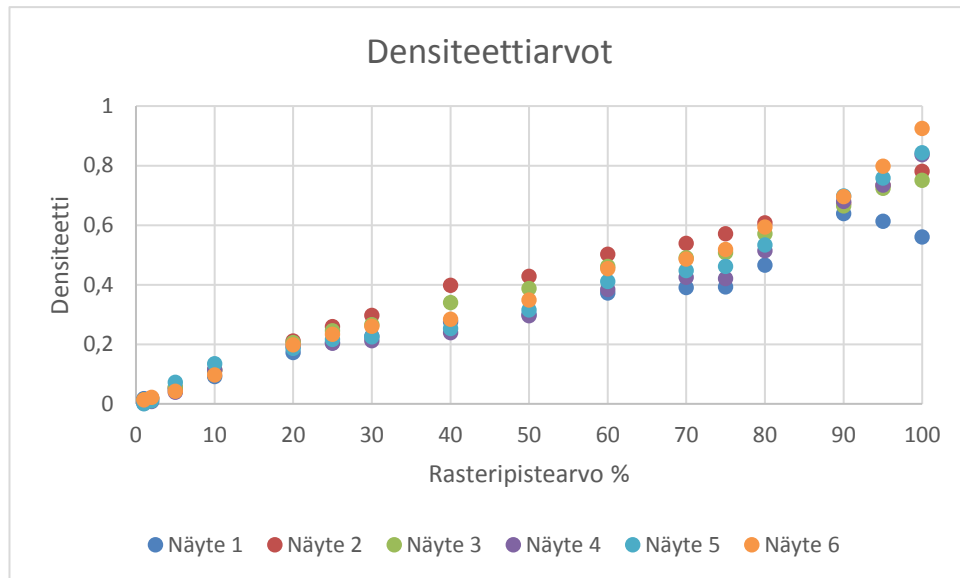
KUVA 18. Painojälkeä näytteen 1 kohdalla

Visuaalisen tarkastelun lisäksi koeajosta otetuille näytteille tehtiin objektiivisen laadun mittauksia X-Rite eXact spektrofotometrilla.

#### 4.3.1 Densiteetin mittaus

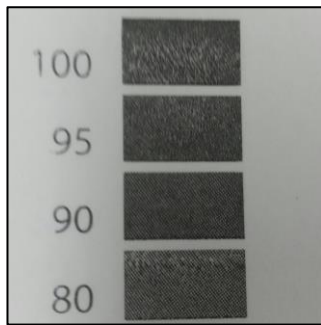
Koeajon aikana kerätyistä näytteistä määritettiin X-Rite eXact spektrofotometrillä painojäljen densiteetti eli tummuus. Densiteetin määrittämiseen käytettiin perinteistä rasteripistekenttää, jonka viereen on merkattu rasteripinnan sävy pisteprosenteina. Perinteisessä rasteripistekentässä aina yhden neliön sisällä kaikki pisteet ovat saman kokoisia ja seuraavassa neliössä ne ovat koon isompia.

Mittaus aloitettiin laitteen kalibroinnilla siten, että nolla-arvoksi määritettiin koeajoissa käytetyn päällystämättömän pohjapaperin paperivalkoinen. Näytteistä mitatuista rinnakkaisnäytteistä laskettiin densiteetin keskiarvot, jotka on esitelty kuviossa 1.



KUVIO 1. Koeajon näytteiden densiteetti-arvot

Kuviosta 1 selviää, että koeajon aikana otettujen näytteiden laadussa oli vaihtelua. Vaaleiden sävyjen arvot ovat yhdenmukaisempia näytteiden välillä alle 40 %:n rasteripistearvokentissä. Vaaleissa sävyissä rasteripisteet olivat vakion muotoisia ja värinanto oli oikealla tasolla. Tummiin sävyjen arvoissa on suurempaa vaihtelua. Näyte 1 poikkeaa koeajon näytteiden linjasta 95 %:n ja 100 %:n rasteripistearvokenttien kohdalla. Kuvassa 19 on esiteltynä näytteen 1 rasteripistearvokentän tummiin sävyjen pää, jonka värinsiirrossa on ollut epätasaisuutta. Kuvapinnasta ei ole peittyneet tavoitearvon mukaista aluetta väriä, vaan kentissä on laajoja painamattomia alueita. Tumman pään värinsiirtoon tulee kiinnittää huomiota pilotlaitetta ajettaessa, sillä tummiin sävyjen pisteet ovat suurempia kuin vaaleissa sävyissä, mikä lisää värinantoa, mutta myös aikaansaa kovilla nippipaineilla ylipuristusta. Jos puristusta alentaa liikaa, niin turhan alhaisilla nippipaineilla jää painamattomia kohtia. Säädot tulee pyrkiä vakioimaan värinannon mukaan, jotta puristuksen saa oikein suhteutetuksi.



KUVA 19. Värinannon epätasaisuutta näytteessä 1

Värinannon epätasaisuuteen saattoi osaltaan vaikuttaa myös painolaatan kovuus ja paperin pintaominaisuudet, sillä kovempi painolaatta siirtää pehmeämpää vähemmän väriä ja pinnaltaan karheampi päällystämätön paperi olisi tarvinnut sileää paperia pehmeämmän painolaatan. Koeajon densiteetin mittaustulokset jäivät alhaiselle tasolle verrattessa niitä päällystämättömän paperin fleksopainatuksen tavoitedensiteetti-arvoihin. Flexopainatuksen tavoitedensiteetti painettaessa päällystämättömälle paperille mustalla värillä on 1,30 (Graafinen teollisuus Ry 2017).

#### 4.3.2 Pisteenkasvun mittaaminen

Pisteenkasvua eli rasteripisteen kasvamista painotuotteella suhteessa painolaatalla olevaan pisteeseen määritettiin X-Rite eXact spektrofotometrin pisteenkasvun mittaussosiolla. Pisteenkasvun määrittämiseen käytettiin pisteprocenttimittausta perinteisellä rasteripistekentällä. Pisteenkasvun tulokset on kerätty taulukkoon 2.

TAULUKKO 2. Koeajon näytteiden pisteenkasvun arvot

Näyte	Densiteetti rasteripistekenttä 100%	Pisteenkasvu rasteripistekenttä 75%	Pisteenkasvu rasteripistekenttä 50%	Pisteenkasvu rasteripistekenttä 25%
1	0,57	8,1 %	17,8 %	26,6 %
2	0,79	10,1 %	22,4 %	28,6 %
3	0,75	8,8 %	21,7 %	27,5 %
4	0,86	0,0 %	8,1 %	19,0 %
5	0,86	0,5 %	9,3 %	20,1 %
6	0,92	5,8 %	14,0 %	22,5 %

Pisteenkasvun tiedetään olevan suurinta keskisävyissä. Koeajon aikana kerätyissä näytteissä pisteenkasvu näytti kuitenkin olevan suurinta vaaleiden sävyjen päässä. Pisteenkasvun erikoiselle tulokselle etsittiin syitä painojäljen rakeisuudesta, minkä vuoksi näytteitä tutkittiin myös mikroskoopilla. Rasteripisteiden geometristen ominaisuuksien muutosten vuoksi pisteenkasvun mittausta ei voida pitää täysin paikkansapitävänä, sillä tummien sävyjen mittausravot eivät ole väriin peittymättömien rasteripisteiden sisällä olevien alueiden vuoksi tarkkoja.

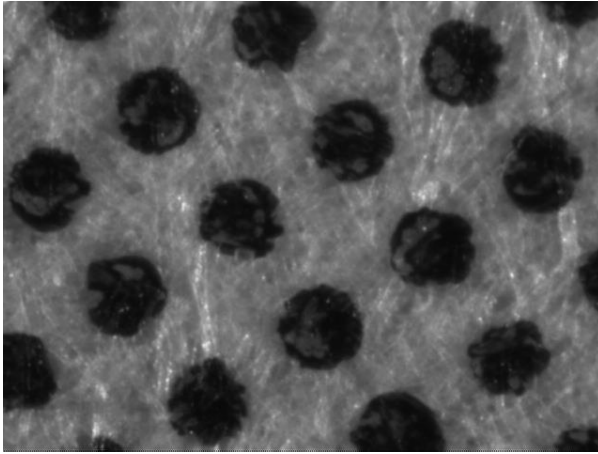
Pisteenkasvu oli kaikissa näytteissä suurinta vaaleissa sävyissä eli koeajon eri pisteissä pisteenkasvu pysyi vakiona. Pisteenkasvu tulisikin painotyön aikana pitää vakiona, sillä se huomioidaan vastaavan kokoisella kevennyksellä rasteripisteiden koossa.

Pisteenkasvu on suurempaa päällystämättömillä papereilla kuin päällystetyillä papereilla ja matalaviskoottisilla painoväreillä värin tunkeutuminen paperin huokosiin saattaa lisätä pisteenkasvua merkittävästi. Pilotkoneella pitäisi ajaa koeajoja rinnakkain päällystämättömillä ja päällystetyillä paperilaaduilla, jolloin paperin pintaominaisuuksista ja päällystyksestä johtuvia laatueroja voitaisiin tutkia tarkemmin ja luotettavammin.

### **4.3.3 Rasteripisteiden tarkastelu**

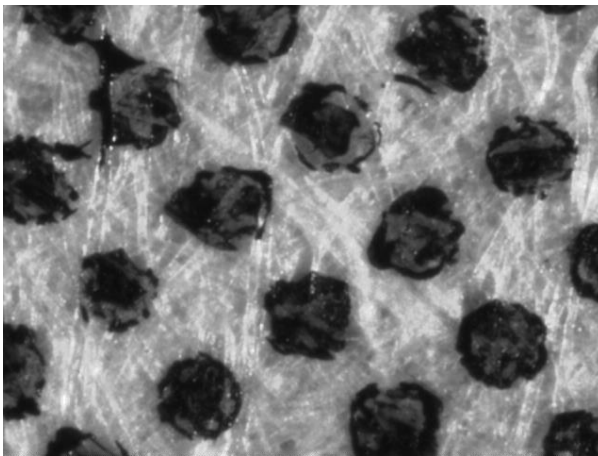
Koeajosta kerätyjä näytteitä tutkittiin tutkimusmikroskoopilla. Näytteiden rasteripisteiden ominaisuuksia ja niiden muutoksia haluttiin tarkastella densiteetin heikkojen arvojen sekä pisteenkasvun erikoisen tuloksen vuoksi. Mikroskoopilla otetuista kuvista sai hyvän käsityksen rasteripisteiden jäljentymisestä paperille. Kuvassa 20 on fleksopainolle tyyppisiä rasteripisteitä näytteen 1 rasteripistearvokentässä 25 %. Rasteripisteet ovat muoltaan symmetrisiä ja niistä on nähtävissä puristuksen aiheuttamaa värin reliefin reunoille siirtymistä. Värintsiirto on onnistunut tässä rasteriarvokentässä varsin tarkasti.





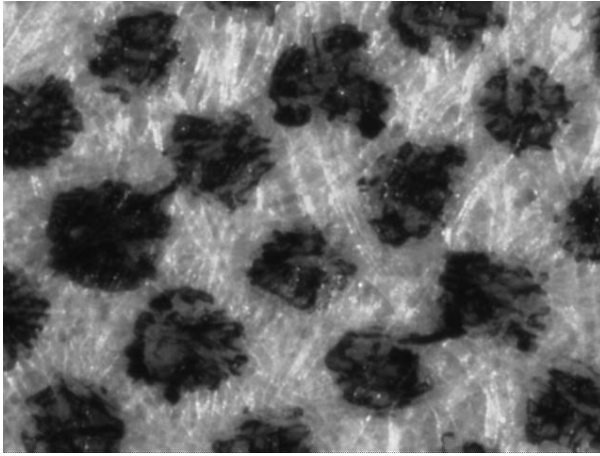
KUVA 20. Näyte 1 rasteripistearvokenttä 25%

Kuvasta 21 näkee, kuinka värinsiirto on ollut liiallista 25 %:n rasteripistearvokentässä näytteessä 6. Rasteripisteissä on havaittavissa painovärin kasaantumista ja puristuksen aiheuttamaa leviämistä.



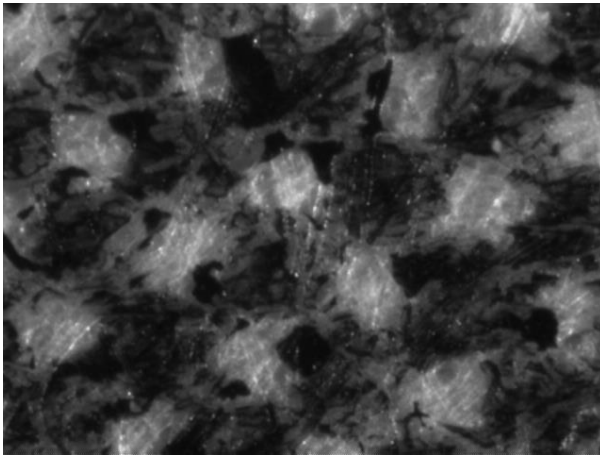
KUVA 21. Näyte 6 rasteripistearvokenttä 25%

Näytteen 4 rasteripistearvokentässä 50 % on runsaasti rasteripisteen muodon vääristymiä, joita on esitelty kuvassa 22. Rasteripisteiden muoto on lähtenyt leviämään mm. päällystämättömän paperin pinnan mukaan. Painoväri on levinnyt kuitujen suuntaisesti. Pisteenkasvun mittauksen tulokset ovat vääristyneet 50 %:n rasteripistearvokenttien kohdalla rasteripisteiden epämääräisen muodon ja väritäytön vuoksi. Rasteripisteissä on paljon epätäydellisen värinsiirron kohtia, joihin ei ole siirtynyt oikeaa määrää painoväriä. Painovärin tummuus on jäänyt alhaiseksi ja mitattua pisteenkasvua ei esiinny värinsiirto-ongelmien vuoksi.



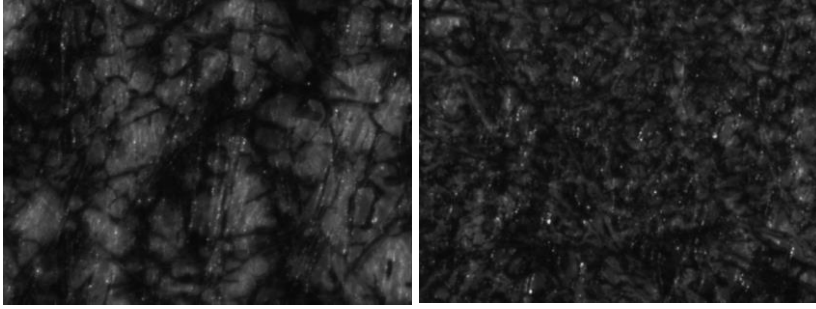
KUVA 22. Näyte 4 rasteripistearvokenttä 50%

Kuvassa 23 on 75 %:n rasteripistearvokentän rasteripisteitä näytteestä 2. Värinsiirtoa on liikaa ja painoväri on puristuksen aiheuttamana levinnyt paperin kuituja pitkin. Rasterirakenne ei ole kunnolla näkyvissä, eikä yksittäisiä rasteripisteitä tai niiden muotoa pysty näkemään. Painamattoman ja painetun pinnan suhde on epätarkka. Pisteenkasvun mittaus näytteestä on epätarkka pisteiden epäsymmetrisyyden ja värinannon epätasaisuuden vuoksi.



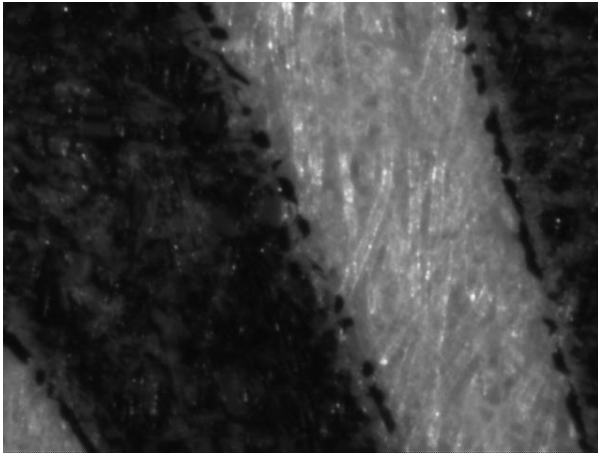
KUVA 23. Näyte 2 rasteripistearvokenttä 75%

Kuvasta 24 näkyy erittäin hyvin värinsiirron onnistumisen ero näytteiden 1 ja 6 kompaktipintojen välillä. Näytteen 1 kompaktipintaan on jäänyt runsaasti alueita, joihin ei ole siirtynyt painoväriä lainkaan. Tämä saa aikaan värin tummuuden huonon laadun ja laskee näin densiteettiä. Näytteen 6 kompaktipinta on kauttaaltaan painovärin peitossa ja siksi säilyttää tummempi. Näytteen 1 densiteetiksi määritettiin 0,57 ja näytteen 6 densiteetiksi 0,92. Densiteetien ero on mikroskooppikuvasta selkeä havaita ja se selittyy painamattomien alueiden määrällä kompaktipinnoissa.



KUVA 24. Näytteiden 1 ja 6 kompaktipintojen vertailu

Kuvassa 25 on puristusta mittaavan tarkkailukentän suurennos näytteestä 6. Kuvion reunat ovat tasaiset ja terävät, mikä viittaa onnistuneisiin puristuksen ja värinsiirron säätöihin.



KUVA 25. Puristusta mittaavan tarkkailukentän suurennos näytteestä 6

Rasteripisteiden tarkastelu mikroskoopilla onnistui hyvin ja koeajon näytteiden densiteetin ja pisteenkasvun mittausten tuloksia saatiin selvitettyä.

## 5 POHDINTA

Opinnäytetyön tavoitteena oli tutkia RK-pilotkoneen fleksopainoyksikön painojäljen laatua. Flexopainoyksikköön oli tilattu uusi testipainolaatta, jossa oli aiempien tutkimusten pohjalta valikoituja nippien puristusta sekä painojäljen tarkkuutta ja terävyyttä mittaavia testikenttiä. Anilox-tela oli myös huollettu ja uudelleen pinnoitettu.

Koeajon toistettavuusvarmuus kärsi RK-pilotkoneen mekaanisten häiriöiden vuoksi. Pilotlaitteelle oli ennen koeajoa tehty mekaniikan tarkastusta, mutta työtä tulisi vielä jatkaa. Oikeassa reunassa sijaitsevan anilox-telaa pyörittävän sähköisen apumoottorin ja vetoa välittävän hammastuksen osuutta kontaktin vaikeaan säätämiseen, anilox-telan pyörimistarkkuuden heilahteluun ja koko telaston pyörimisvärähtelyyn tulisi tutkia tarkemmin ennen kuin painojäljen laatua voidaan lähteä kehittämään. Erityisesti rattaiden materiaalia ja välitystä tulisi tutkia ja parantaa toimivamman ja tasaisemman välityksen aikaansaamiseksi.

Koeajon aikana hyvän painatustuloksen saamiseksi nippipaineiden tuli olla melko korkeat sekä värinsiirto- että painonipissä. Korkeat nippipaineet lisäsivät apumoottorin puoleisen reunan värähtelyä, mikä sai aikaan epätarkkuutta värinsiirrossa. Alhaisemmilla paineilla painojälkeen jäi painamattomia kohtia. Koeajosta otettujen näytteiden densiteetti-arvot jäivät tämän vuoksi alhaisiksi ja pisteenkasvun määrittäminen oli epätarkkaa. Mikroskooppikuvista näkyi selvästi tuloksia alentaneet painojäljen laatuongelmat ja rasteripisteiden muutokset.

Kokeesta ei saatu riittävästi tietoa siitä, miten reunojen kontaktit erosivat toisistaan painolaatan kuvion ollessa hyvin erilainen reunoistaan. Painolaatassa tulisi olla myös vaakatasossa menevä testikenttä, josta pystyisi helpommin selvittämään nippien kontaktien tasaisuutta poikkisuunnassa.

Testipainolaatalla oli koeajossa käytetylle päällystämättömälle pohjapaperille melko vaikea saada virheetöntä painokuviota osittain myös paperin pintaominaisuuksista johtuen. Karheampi paperi tarvitsisi sileää paperia pehmeämmän laatan. Pilotkoneelle olisi hyvä saada erilaisia paperilaatuja koeajettavaksi, jolloin paperista johtuvia laatuongelmia olisi rinnakkaisilla koeajoilla helpompi ja luotettavampi tutkia tai sulkea pois.

## LÄHTEET

Bristow, A. 2009. Optical Properties of Pulp and Paper. Teoksessa Ek, M., Gellerstedt, G. & Henriksson, G. (toim.) Paper Products Physics and Technology. Berliini: Walter de Gruyter GmbH & Co. S. 145–167.

Bristow, A. 2009. The Surface of Paper. Teoksessa Ek, M., Gellerstedt, G. & Henriksson, G. (toim.) Paper Products Physics and Technology. Berliini: Walter de Gruyter GmbH & Co. S. 209–232.

Graafinen teollisuus Ry. 2005. Tekniset laatusuositukset 2005. VTT. Luettu 6.5.2017. [https://www.graafinteollisuus.fi/files/16/tekniset\\_laatusuositukset\\_2005.pdf](https://www.graafinteollisuus.fi/files/16/tekniset_laatusuositukset_2005.pdf)

Hakola, E. 2009. Principles of conventional printing. Teoksessa Oittinen, P. & Saarelma, H. (toim.) Papermaking Science and Technology Part 13, Print Media – Principles, Processes and Quality. Helsinki: Paper Engineer’s Association / Paperi ja Puu Oy. S. 40–89.

Heidelberg. 1995/1999. Väri ja Laatu. 2. uudistettu painos. Vantaa: Heidelberg Finland Oy.

Kallio, J. Flexolahti Oy tuotantopäällikkö. Fleksopainolaatta. Sähköpostiviesti. [jarkko.kallio@flexolahti.fi](mailto:jarkko.kallio@flexolahti.fi). Luettu 20.3.2017.

Karhuketo, H., Seppälä, J. M., Törn, T. & Viluksela, P. 2004. Kemiallinen metsäteollisuus 3, Paperin ja kartongin jalostus. 2. uudistettu painos. Opetushallitus.

Kipphan, H. 2001. Handbook of Print Media. Springer.

Koskinen, P. 2001. Hyvä painotuote. Helsinki: Inforviestintä Oy.

Laakso, O. & Rintamäki, T. 2003. Aaltopahvin valmistus ja jalostus. 2. uudistettu painos. Suomen Aaltopahviihdistys ry.

Leisti, T., Radun, J. & Nyman, G. 2009. Subjective quality of print. Teoksessa Oittinen, P. & Saarelma, H. (toim.) Papermaking Science and Technology Part 13, Print Media – Principles, Processes and Quality. Helsinki: Paper Engineer’s Association / Paperi ja Puu Oy. S. 335–354.

Mäkelä, T. 2008. Towards printed electronic devices. VTT Publications 674. Helsinki: Edita Prima Oy.

Puukko, P. & Niemi, K. 2009. Instrumental measurement of print quality. Teoksessa Oittinen, P. & Saarelma, H. (toim.) Papermaking Science and Technology Part 13, Print Media – Principles, Processes and Quality. Helsinki: Paper Engineer’s Association / Paperi ja Puu Oy. S. 317–334.

RK Print Coat Instruments Ltd. 2005. Rotary coater – Installation and Working Instructions. Hertfordshire.

Saarelma, H. & Oittinen, P. 2009. Principles of imaging. Teoksessa Oittinen, P. & Saarelma, H. (toim.) Papermaking Science and Technology Part 13, Print Media – Principles, Processes and Quality. Helsinki: Paper Engineer's Association / Paperi ja Puu Oy. S. 237–274.

Ström, G. 2009. Paper and Printing. Teoksessa Ek, M., Gellerstedt, G. & Henriksson, G. (toim.) Paper Products Physics and Technology. Berliini: Walter de Gruyter GmbH & Co. S. 233–256.

Viluksela, P., Ristimäki, S. & Spännäri, T. 2007. Painoviestinnän tekniikka. Opetushallitus. Keuruu: Otavan kirjapaino Oy.

X-Rite eXact. Laite-esittely. Luettu 20.3.2017.

<http://www.xrite.com/categories/portable-spectrophotometers/exact>