

TAMPEREEN AMMATTIKORKEAKOLU
Paperitekniikan koulutusohjelma

OPINNÄYTETYÖ

Marko Lehtinen

ELEKTROFOTOGRAFIA JA SEN ASETTAMAT VAATIMUKSET PAINOPAPERILLE

Työn ohjaaja TkL Päivi Viitaharju

Työn teettäjä TAMK

Tampereella marraskuussa 2006

TAMPEREEN AMMATTIKORKEAKOULU

Paperitekniikan koulutusohjelma

Lehtinen, Marko	Elektrofotografia ja sen asettamat vaatimukset painopaperille
Opinnäytetyö	32 sivua
Työn ohjaaja	TkL Päivi Viitaharju
Työn teettäjä	TAMK
Hakusanat	Digitaalinen painaminen, elektrofotografia, tooneri

TIIVISTELMÄ

Tämän tutkintotyön tarkoituksena oli kirjallisista lähteistä koota suomenkielinen tietopaketti digitaalisesta painamisesta ja erityisesti elektrofotografiasta ja sen asettamista vaatimuksista painopaperille.

Elektrofotografiassa painettava kuva muodostetaan varaamalla orgaanisella fotojohteella päällystetty rumpu koronalankojen avulla. Kuvarumpu valotetaan, jolloin valoa saaneet kohdat menettävät varauksensa ja rummulle muodostuu sähköinen varauskuvio halutun kuvan mukaisesti. Varauskuvio saadaan näkyväksi siirtämällä tooneri rummulle, toonerin tarttuessa varauskuvion mukaisesti. Näin aikaan saatu kuva siirretään paperille ja rummun pinta puhdistetaan uutta kierrosta varten. Toonerit ovat elektrofotografiaa varten suunniteltuja erikoisvärejä. Väri kiinnitetään paperiin sulattamalla.

Paperilta vaaditaan elektrofotografisessa painamisessa tiettyjä ominaisuuksia. Tärkeimpiä ovat sähköiset ominaisuudet, jotka vaikuttavat ajettavuuteen ja painojälkeen. Hyvä painojälki edellyttää jonkin verran resistiivisyyttä eli eristeisyyttä, koska painoalustan täytyy pitää varaus toonerin siirron ajan, sekä pitää toonerit paikallaan aika, joka kestää kehityksestä kiinnitykseen. Jos sähkönjohtokyky on liian hyvä, varaus katoaa paperista ja toonerien siirtotehokkuus pienenee. Huono sähkönjohtokyky aiheuttaa puolestaan staattisen sähkön keräytymistä paperiin ja sitä kautta huonontaa ajettavuutta. Ajettavuuteen vaikuttavat myös jäykkyys, kitka sekä formaatio.

Lämpöominaisuudet ovat myös tärkeitä prosessissa käytettävien korkeiden lämpötilojen vuoksi. Painoalustan tulisi kestää korkeita lämpötiloja sekä jäähtyä nopeasti kiinnityksen jälkeen, jotta tooneri kiinnittyisi kunnolla. Tästä voidaan päätellä, että paperilla tulisi olla hyvä lämmönjohtokyky ja matala ominaislämpö.

TAMPERE POLYTECHNIC

Papertechnology

Lehtinen, Marko

Electrophotographic printing and its demands on paper

Engineering thesis

32 pages

Thesis Supervisor

Lic.Tech. Päivi Viitaharju

Comissioning company

TAMK

Keywords

Digital printing, Electrophotographic printing, toner

ABSTRACT

Purpose of the thesis was to combine an extensive information package about digital printing, especially about electrophotographic printing and its demands on paper.

Electrophotographic printing process consists of 6 phases. At first photoconductive printing receptor on printing drum surface is charged by corona. Then surface is exposed as needed to give an electrical charge corresponding to a printed image.

Then a development is done by spreading toner over the surface, which adheres only to the charged areas, thereby making the latent image visual. After that the developed image is being transferred to a sheet of paper. Then transferred image is fixed permanently to the paper, by fusing the toner with pressure and heat. The last step is cleaning of all excess toner and electrostatic charges from the photoconductor to make it ready for next cycle.

Toner is pigment powder designed especially for electrophotographic printing. Toner is fixed to print carrier by heat and pressing.

Electrophotography requires certain properties from the paper. Most important are electrical properties which affect to runnability and print quality. Thermal properties are also important due to high temperatures used in process.

SISÄLLYSLUETTELO

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

SISÄLLYSLUETTELO	4
LYHENTEIDEN JA MERKKIEN SELITYKSET	5
1 JOHDANTO	6
2 DIGITAALISEN PAINAMISEN HISTORIA, NYKYPÄIVÄ JA TULEVAISUUS	7
2.1 Historiasta nykypäivään	7
2.2 Digitaalisen painamisen edut	8
2.3 Digitaaliset painokoneet	9
2.4 Digitaalisen painamisen tulevaisuus	10
3 DIGITAALISEN PAINAMISEN MÄÄRITELMÄ JA MENETELMÄT	11
3.1 Digitaalisen painamisen määritelmä	11
3.2 Mustesuihku eli inkjet	12
4 ELEKTROFOTOGRAFINEN MENETELMÄ	14
4.1 Prosessin toimintaperiaate	14
4.2 Toonerit	17
4.2.1 Toonerityypit	17
4.2.2 Toonerin koostumus	18
4.2.3 Toonerin ominaisuudet	19
5 ELEKTROFOTOGRAFIAN VAATIMUKSET PAPERILLE	20
5.1 Painettavuus	22
5.2 Sähköiset ominaisuudet	22
5.3 Kitka ja kosteus	24
5.4 Lämpöominaisuudet	25
5.5 Formaatio ja kuituorientaatio	26
5.6 Kemialliset ominaisuudet	26
5.7 Paperipinnan mekaaniset ominaisuudet	27
6 PAINOJÄLJEN LAADUN MUODOSTUS JA TOONERIN SIIRTO PAPERILLE	27
6.1 Tulostuslaadun muodostuminen ja resoluutio	27
6.2 Toonerin siirto ja kiinnitys paperille	28
6.3 Pisteiden leviäminen ja reunakohina	29
7 YHTEENVETO	31
LÄHTEET	32

LYHENTEIDEN JA MERKKIEN SELITYKSET

CTP	Computer to plate
CtPr	Computer to press
Dpi	pistettä per tuuma
kV	kilovoltti
LED	Valoa tuottava diodi
CAD	Charged area development
DAD	Discharged area development

1 JOHDANTO

Digitaalinen painaminen aloitettiin 1990-luvun alkupuoliskolla. Siirryttäessä kohti 2000-luvun ensimmäisen vuosikymmenen loppua digitaalisen painamisen merkitys lisääntyy jatkuvasti. Tulevaisuuden sana painatusteollisuudessa on yksilöinti. Yhä enenevässä määrin markkinointi ja muu viestintä muuttuu yksilöä paremmin palvelevaksi personoinnin avulla. Juuri tähän tarjoaa digitaalinen painaminen ratkaisun. Elektrofotografia on tällä hetkellä käytetyin digitaalisen painamisen menetelmistä.

Työn tavoitteena on selvittää selkeäsanaisesti, mitä on elektrofotografinen painaminen ja minkälaisia vaatimuksia se asettaa painopaperille, mitä tapahtuu painamisprosessin aikana ja mitä ovat elektrofotografiaan liittyvät käsitteet, kuten esimerkiksi toonerit.

2 DIGITAALISEN PAINAMISEN HISTORIA, NYKYPÄIVÄ JA TULEVAISUUS

2.1 Historiasta nykypäivään

Elektrofotografian keksi 1938 Chester F. Carlson. Elektrofotografiaan perustuu kopiokoneiden sekä useimpien digitaalisten painokoneiden ja tulostinten toiminta. Carlson nimesi tekniikkansa xerografiaksi. Ensimmäinen tällä tekniikalla toimiva kopiokone valmistettiin vuonna 1947. Kuivakopioinnin suuri läpimurto tapahtui 1950- ja 1960-lukujen taitteessa. Digitaalisen painamisen historia alkaa 1990-luvun alusta, jolloin esiteltiin ensimmäinen nelivärinen digitaalinen painokone Indigo. Suomeen ensimmäinen Indigo-painokone asennettiin vuonna 1995 Multiprinttiin. Sen jälkeen kehitys digitaalisen painamisen alueella on ollut voimakasta. /6,7,8/

Laitteiden hinnat ja kustannukset painettua arkkia kohden ovat laskeneet. Laatu on parantunut mm. uusien toonereiden ja värikerrosten ohentumisen myötä. Nykyisin väri tarttuu painoalustaan paremmin, ja digitaaliselle painamiselle ennen niin ominainen kiilto on silikonin käytön vähentämisen/lopettamisen myötä pienentynyt. /6,7,8/

Digitaalinen väripainaminen on edelleen suhteellisen kallista. Syynä tähän voidaan pitää valmistaja- ja laitekohtaisia värejä, joiden valmistusmäärät verrattuna perinteisiin menetelmiin ovat vielä vähäisiä. Digitaalisen painamisen materiaalit ovat monipuolistuneet. Uusia painoalustoja sekä painovärejä on tullut markkinoille. Painotalot ovat panostaneet entistä enemmän digitaaliseen painamiseen, perinteisen rinnalle on otettu digitaalinen painokone. /6,7,8/

Digitaalista painamista sovelletaan hyvin laaja-alaisiin tuotteisiin. Digitaalisia painotuotteita voi olla esimerkiksi: /6,9,11/

- Pakkauspainotuotteet: etiketit, prototyypit
- Julkaisut: lehdet, kirjat, kartat
- Mainokset: suoramainonta, esittelyt, manuaalit, käsiohjelmat
- Transaktiotuotteet: laskut, todistukset, kirjekuoret, lomakkeet
- Teollisuustuotteet: erilaiset suojaukset, tekstiilit, elektroniikka
- Vuosikertomukset, raportit, ruokalistat

Taulukko 1. *Painomenetelmien jakaantuminen Euroopassa 1999-2009. /9/*

	1999	2004	2009
Arkkioffset	21,3	21,2	21,0
Heatset	20,5	21,0	20,9
Coldset	19,7	17,9	16,8
Offset yhteensä	61,5	60,1	58,8
Syväpaino	13,4	11,9	11,0
Fleksopaino	12,2	12,7	13,2
Silkkipaino	0,4	0,3	0,2
Digitaalipaino	7,1	8,6	9,5
Muut	5,4	6,4	7,3

2.2 Digitaalisen painamisen edut

Digitaalinen painaminen on ympäristöystävällisempi vaihtoehto. Ympäristöä rasittavaa painovärijätettä syntyy vähemmän, tuotantoprosessin nopeus ja laatua tuottava tekniikka vähentävät energian kulutusta. Vetoreiättömyys sekä dynaaminen katkaisupituus vähentävät paperijättemäärää. Digitaalisten painomenetelmien ansiosta massajulkaisut ovat muuttuneet vaihtuvaa tietoa sisältäviksi ja niitä painetaan tarkemmin kysyntää vastaava määrä. Massatuotannosta on siirrytty asiakkaan mukaan tehtyyn räätälöintiin. Painotalot ovatkin kehittäneet palvelutarjontaansa suuntaan, jossa asiakkaalle voidaan tarjota kattavia asiakastietojen ja painoaineistojen hallintaa. /6,7,8,9/

Digitaalisen painamisen etuja ovat nopea painokoneen kuntoon laittaminen, pesemisen tarpeettomuus sekä vaihtuvan tiedon painaminen peräkkäisille sivuille. Tehokkuutta nostaa myös se, että konetta ei tarvitse pysäyttää arkkien tai värin lisäämiseksi. Näin saadaan aikaan aika- ja kustannussäästöjä. Tämä mahdollistaa personoitujen ja lyhyellä varoitusaajalla tilattujen painotuotteiden valmistamisen. /6,7,8,9/

Investointina digitaalisen painokoneen hankinta on selvästi edullisempi verrattuna perinteiseen. Digitaalisen painamisen etu on kustannustehokkaassa pienten painosmäärien painamisessa. Euroopassa painettavista töistä puolet on alle 2000 ja USA:ssa 66 % alle 5000 kappaletta. Suuremmilla painosmäärillä perinteiset painomenetelmät muuttuvat kustannustehokkaammiksi. /6,7,8,9/

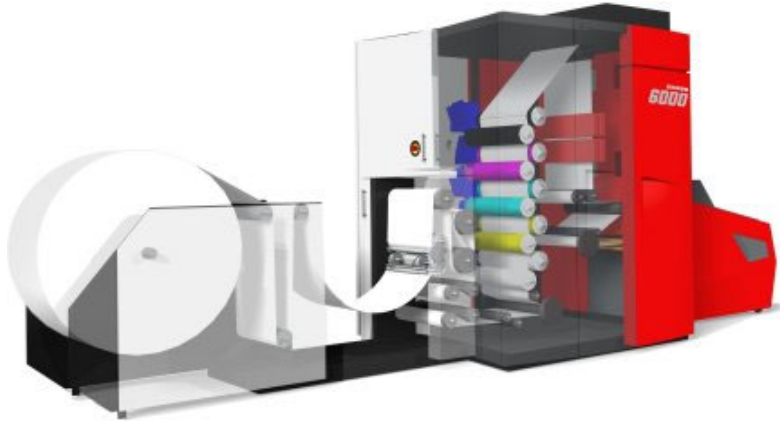
Usein digitaalisen painamisen eduista puhuttaessa käytetään paljon trendikkäitä termejä joita lienee paikallaan selventää. POD eli Print On Demand tarkoittaa tarpeen mukaan painamista, eli ei tarvitse painaa ylisuuria eriä varastoon. JIT eli Just In Time tarkoittaa lähestulkoon samaa, eli painetaan silloin, kun tarvetta on. Variable Information Printing tarkoittaa vaihtuvan tiedon painamista, tämä erottaa digitaalisen painamisen perinteisestä. Short Run Printing puolestaan tarkoittaa pienten painosten painamista. Seuraavassa edut tiivistelmänä: /6,9/

- Aikasäästö
- Vähemmän sidottua pääomaa
- Viime hetken aineistomuutokset
- Varioidut painotuotteet
- Just In Time
- Lyhyet sarjat

2.3 Digitaaliset painokoneet

Digitaalisia painokoneita on arkki – sekä rullakoneita. Useimmin käytettyjä arkkikokoja ovat amerikkalaisen standardin A3-A5 paperit. Arkkipainatuksen etu on paperin värin ja neliömassan vaihdeltavuus painatuksen aikana ja vähäiset jälkikäsittelytoiminnot.

Rullapainokoneissa formaatti voi vaihdella (165 x 75) mm – (406 x 355) mm painopaperin ollessa 45-160 g/m² Rullakoneilla voidaan painaa heikompilaatuisia papereita kuin arkkikoneella. Digitaalisten painokoneiden valmistajia ovat esimerkiksi Xerox, HP Indigo, Xeikon, Océ, Nipson, Agfa, Fuji, Canon, Konica ja Kodak. /9/



Kuva 1. Xeikonin 6000 sarjan elektrofotografipainokone. /13/

2.4 Digitaalisen painamisen tulevaisuus

Yleisen käsityksen mukaan digitaalisen painamisen osuus markkinoilla kasvaa perinteisten menettäessä johtoaan (taulukko 1). Offset painatuksen arvellaan vähenevän pikkuhiljaa, mutta ei kovin nopeasti. Offsetilla on varsin selkeä etumatka digitaaliseen painamiseen vielä pitkän aikaa. Sen sijaan silkkipainaminen tulee vähenemään reilusti digitaalisten suurkuvatulostinten vallatessa juliste- ja tekstiilipainatusmarkkinoita. /9/

Digitaalisissa painokoneissa nopeuden kasvettua on töiden läpimenoaika lyhentynyt. Painokoneiden nopeuden on arveltu jopa kymmenkertaistuvan nykyisestä 200 sivusta per minuutti. Tällaiset nopeudet vaativat jo muutoksia painotalojen tietotekniikan sovellusten infrastruktuuriin. Digitaalisen painamisen painoalustat tulevat tulevaisuudessa monipuolistumaan entisestään. Pelkästään papereissa ja kartongeissa hyödynnettävissä on jo nyt käytännössä kaikki mahdolliset lajit. Painaminen onnistuu jopa pintakuvioidulle paperille. Paperin ja kartongin lisäksi painetaan kankaille, alumiinille, lasille, puulle, muoville, keramiikalle jne. /9/

Kiinnostusta on osoitettu myös sähköisten mikrorakenteiden painamiseen, joka mahdollistaisi esimerkiksi yksilöidyt koodit ja merkinnät. Nämä rakenteet vaativat yksityiskohtien painamiselta aivan eri tarkkuuksia, mihin on totuttu. Mikrorakenteet edellyttävät 1 µm:n kokoisia yksityiskohtia. Nykyisin esimerkiksi 1000 dpi:n koneilla pikselin koko on 25 µm. /3/

Kirjapainoalan trendejä tulevaisuuteen:

- Digitaalisuus lisääntyy suunnittelussa, käsittelyssä sekä itse painamisessa.
- Painotaloissa tietokantapalvelut ja tuotantoketjun hallintapalvelut lisääntyvät.
- Painoprosessin nopeutuu.
- Kerralla painettavat määrät pienenevät.
- Nopeasti kehittyvä tekniikka asettaa paineita koulutukseen.
- Digitaalisen painamisen ja offsetin jonkin asteinen integraatio toteutuu.

3 DIGITAALISEN PAINAMISEN MÄÄRITELMÄ JA MENETELMÄT

3.1 Digitaalisen painamisen määritelmä

Valtion teknillisen tutkimuskeskuksen VTT:n määritelmän mukaan ”digitaalisessa painamisessa tuotetaan suoraan tietojärjestelmästä digitaalisesti ohjatulle tulostimelle yksi- tai monivärisiä, elektronisesti taitettuja painotuotteita. Tuotteet voivat olla kappale- ja sivukohtaisesti erilaisia.” Määritelmässä olennaisia kohtia ovat *suoraan tietojärjestelmästä ja kappale- ja sivukohtaisesti erilaisia*. Määritelmä siis poistaa laskuista suoran painokoneella tapahtuvan levy- tai syliteritulostuksen, niin kauan kun informaatiota ei voida muuttaa joka kierrokselle. Tällöin personoinnin ja räätälöinnin tekeminen ei ole mahdollista. /1,2,3,4,9/

Termi *painotuote* määrittelee hyväksyttävän laatutason 600 dpi:hin tai vastaavasti harmaasävyjen määrä n.256, joka edellytetään painotuotteilta. Määritelmä sulkee myös ulkopuolelle koti- ja toimistotulostimet, joskin näiden tekniikkaa sivutaan myöhemmin. Tässä työssä ei siis käsitellä esimerkiksi CTP–tekniikkaa tai muita CtPr-tekniikoita, koska ne eivät VTT:n määritelmän mukaan ole digitaalista painamista, vaikka digitaalista tekniikkaa hyödyntävätkin. /1,2,3,4,9/

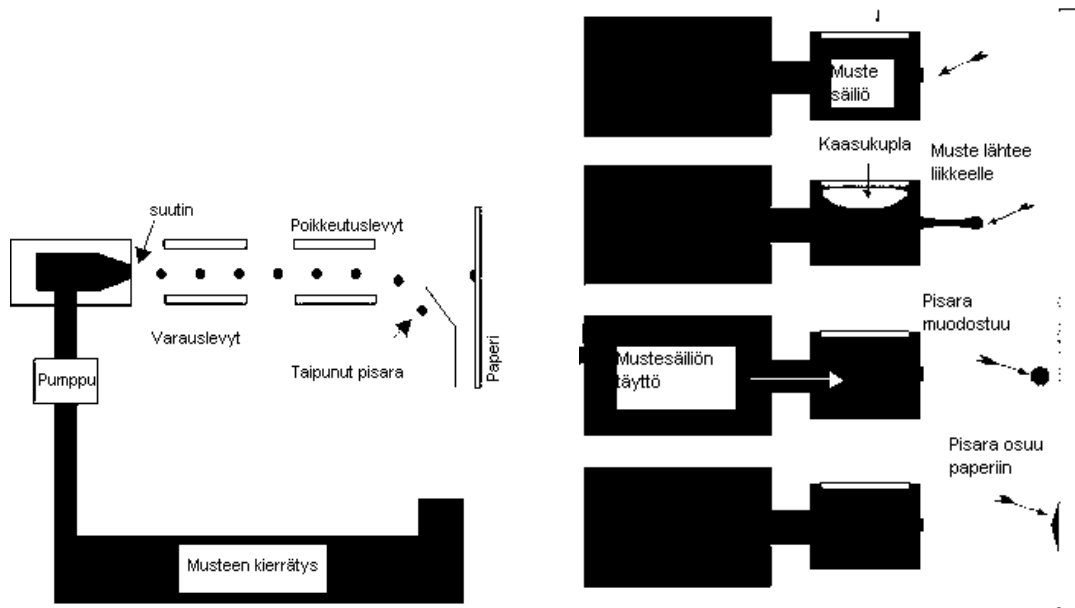
Eniten käytetyt digitaaliset painomenetelmät ovat elektrofotografia- ja mustesuihku. Useimmissa markkinoilla olevissa digitaalisen painamisen sovelluksissa käytetään jompaakumpaa menetelmää. Muita olemassa olevia tekniikoita on esim. ionografia, tooneritekniikkaan perustuva viisivaiheinen menetelmä, jolla päästään maksimissaan 600 dpi:n tarkkuuteen. Magnetofotografiassa metallirummun pintaan magnetisoidaan kuva, joka siirretään magneettisen toonerin avulla. Termografiassa käytetään erikoispaperia, jonka väri vaihtuu sen altistuessa lämmölle, kuten faxeissa tai viivakoodilaitteissa. Fotografia perustuu valokuvauksen ja digitaalisen kuvan valmistuksen muunnoksiin. Perinteinen valokuvapaperi valotetaan laserin avulla. /1,2,3,4,9/

Elektrografia eroaa elektrofotografiasta siinä, että rummun sijasta informaatio siirretään suoraan painoalustalle. X-grafia menetelmät ovat useimmiten jonkun yrityksen kehittämiä kombinaatioita yleisistä tekniikoista. Esimerkiksi Fujilla on Pictografia, joka on yhdistelmä fotografiaa ja termografiaa. Edellämainituista toistaiseksi yleisimmin käytössä on elektrofotografimenetelmä, jolla on tehokkainta painaa suuria tuotantomääriä. Tässä työssä keskitytään pääasiassa elektrofotografiaan. /1,2,3,4,9/

3.2 Mustesuihku eli inkjet

Muistesuihku- eli inkjet menetelmässä muste suihkutetaan pienistä suuttimista suoraan painoalustalle. Inkjet -tekniikoita on kaksi (kuva 2). Jatkuvan suihkun periaate, eli continuous inkjet ja ohjatun pisaran periaate, eli drop-on-demand. Drop-on-demand menetelmässä tulostuspää liikkuu paperin yli kohtisuorassa paperin kulkusuuntaan nähden. Suurissa koneissa tulostuspäät ovat rivissä yli painoalustan, ja muste ohjataan vain niihin kohtiin joihin halutaan. Mustepisarat voidaan muodostaa lämpöenergialla, elektrostaattisesti tai pietsosähköisesti. /9/

Jatkuva suihkuisessa -menetelmässä väri suihkutetaan nimensä mukaisesti jatkuvana suihkuna painopinnalle ja väri, jonka ei haluta tarttuvan painopintaan, siirretään tulostuspäässä olevaan kouruun, josta se imetään säiliöön. Väristä muodostetaan paineen avulla pisaravirta. Suuttimista lähtevät väripisarat on varattu ennen suuttimesta irtoamista. Varautuneet pisarat ohjataan pois sähköisen kentän jälkeen ja syötetään keräilijään. Varautumattomat pisarat ohjataan paperille. /9/



Kuva 2. Vasemmalla jatkuvasuihkuinen, oikealla ohjatun pisaran periaatteella toimiva inkjet. /14/

Ohjatun pisaran periaatteella toimivassa, lämpöenergiaa hyödyntävässä termisessä menetelmässä nestemäinen väri höyrystetään lämmön avulla. Höyrystyneeseen väriin muodostunut kupla nostaa painetta, joka saa värin suihkuamaan painoalustalle. Piettosähköisessä menetelmässä muutoksen säiliön tilavuudessa saa aikaan piettosähköinen ilmiö, joka aiheuttaa värin suihkuamisen. Elektrostaattisessa menetelmässä väri poistuu suuttimista sähköstaattisen kentän avulla ja sähköinen pulssi siirtää värin painoalustalle. /9/

Mustesuihkutekniikan on arveltu lähiaikoina haastavan elektrofotografian ohella myös offsetpainamisen. Mustesuihkumenetelmällä on käytettävissä suurempi määrä painoalustoja kuin elektrofotografialla. Toinen mustesuihkun etu verrattuna elektrofotografiaan on sen kosketuksettomuus paperiin ja suuremmat tuotantonopeudet. Heikkouksina ovat vastaavasti huonompi tulostusresoluutio sekä huonompi kyky tuottaa tekstiä verrattuna kosketusmenetelmiin johtuen musteen valumisesta tai leviämisestä. Myös ääriviivat jäävät epätarkoiksi. Tämän vuoksi mustesuihkumenetelmää käytetään lähinnä teollisuuden sovelluksissa kuten etiketti- ja pakkauspainatuksessa ja muissa sovelluksissa, joissa ei vaadita tulostukselta korkeaa laatua. /1,2,3,4,9/

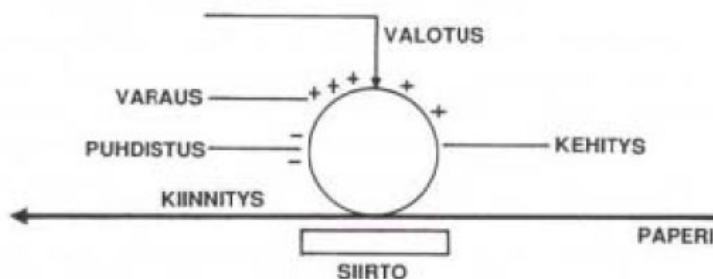
4 ELEKTROFOTOGRAFINEN MENETELMÄ

4.1 Prosessin toimintaperiaate

Elektrofotografiamenetelmä on yleisin käytetty menetelmä digitaalisessa painamisessa ja on niin sanottu siirtotulostukseen (non-impact) perustuva tekniikka. Sitä sovelletaan myös kopiokoneissa ja tulostimissa. /3/

Elektrofotografiaprosessi koostuu normaalesti kuudesta vaiheesta (kuva 3):

1. varauksesta
2. valotuksesta
3. kehityksestä
4. siirrosta
5. kiinnityksestä
6. puhdistuksesta



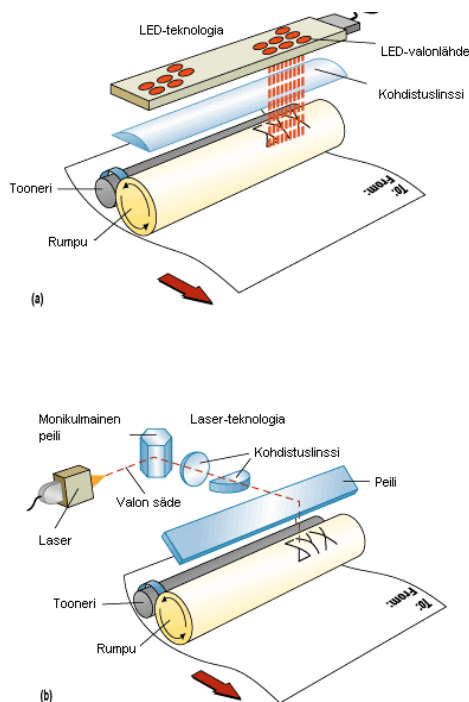
Kuva 3. *Elektrofotografiaprosessi.* /3/

Kuvan muodostuminen saadaan aikaan varaamalla orgaanisella fotojohteella päällystetty rumpu tai hihna. Yleisimmin rumpun vaippa on alumiinia, jonka pinnassa on ohut, noin 10 atomikerroksen paksuinen alumiinioksidikerros. Oksidikerroksen päällä on valonherkkä selenikerros. Päälimmäisenä rummussa on usein ohut ja läpinäkyvä muovinen suojakerros. Tasainen varaus saadaan aikaan erityisillä koronalangoilla. Koronalanka on päällystämätön johdin, jossa on korkea n. 7 kV:n positiivinen jännite. Korkea jännite ionisoi ilmaa, joten koronalankaa ympäröi usein sininen säteily. /1,2,3,4,5,6,9/

Varausvaiheessa on tarkoitus saada aikaan niin suuri potentiaali fotojohteella, että valotuksen jälkeen sähkövarauksen vaihtelu kuvakohtien ja ei-kuvakohtien välillä on riittävä prosessin seuraavia vaiheita varten. Tasaisesti varattu rumpu (tai hihna) valotetaan, jolloin valoa saaneet kohdat purkavat varauksensa, mikä johtaa latentin (sähköisen varauskuvion) kuvan syntymiseen rummulle. Jäljelle jäänyt varaus on riippuvainen valon määrästä. Valotusvaihe tehdään joko puolijohde- tai kaasulaserilla tai LED-matriisin avulla (kuva 4). /1,2,3,4,5,6,9/

Laser on nykypäivänä hallitsevassa asemassa, koska sillä saadaan pienempi tulostuspiste. Lisäksi laser on ohjattavissa nopeasti ja tarkasti. Jakamalla lasersäde osiin ja moduloimalla kutakin sädettä erikseen on mahdollista saavuttaa korkean tulostusresoluution lisäksi myös suuri tulostusnopeus. Laseria käytettäessä rakenne ei ole niin kompakti kuin LED-matriisissa, koska tarvitaan peili-linssijärjestelmä tulostuspisteen kohdistamiseen oikeaan kohtaan. /2,3,4,6/

LED-matriisin rivimuotoisuuden antamasta kompaktiudesta johtuen poikkeutusta ei tarvita, vaan modulointi tehdään suoraan sähkövirralla, ja se voi olla useampitasoista. Valon määrä tulostuspisteessä on säädeltävissä, ja sen vuoksi jokaisella pisteellä voi olla useita harmaan sävyjä, toisin kuin filmitulostuksessa, joka on luonteeltaan binääristä, jolloin piste on joko musta tai kirkas. /2,3,4,6/



Kuva 4. Elektrofotografian valotusvaiheen LED-teknologia (a) ja Laser-teknologia (b). /12/

Latentin kuvan muodostuttua rummulle, se muutetaan näkyväksi siirtämällä sähköisesti varattu tooneri (elektrofotografiapainamiseen suunniteltu erikoisväri) fotojohteelle.

Kehitysvaiheessa tooneripartikkelit tarttuvat vastakkaismerkkisesti varautuneeseen latenttiin kuvaan. Tätä kutsutaan nimellä CAD (Charged Area Development). /1,2,3,4,6/

On myös olemassa kehitystapa, jossa varaus on latentin kuvan kanssa samanmerkkinen ja tooneri tarttuu valottuneisiin alueisiin, jotka on indusoitu sähkövarauksilla. Tämä tapa on nimeltään DAD (Discharged Area Development). /1,2,3,4,6/

Siirtovaiheessa fotojohteelle kehittynyt toonerikuvio siirretään sähkökentän tai puristuksen tai näiden yhdistelmän avulla paperille. Siirrossa voidaan käyttää apuna offset-telaa tai erillistä siirtohihnaa. Kiinnitysvaiheessa tooneripartikkelit sulatetaan tasaiseksi kerrokseksi paperille käyttäen lämpöä tai puristusta tai molempia. Puristustelat lämpenevät tyypillisesti n. 200 °C:een. Korkea lämpötila on tarpeen, jotta tooneri sulaisi nopeasti. Lämpötilat ovat kuitenkin pudonneet tekniikan kehityttyä. Joissain digitaalisissa painokoneissa ja suurinopeuksisissa tulostimissa voidaan lisäksi käyttää säteily-, säteilypulssi-, infrapuna- sekä liuotinhöyrykiinnitystä. /1,2,3,4,6/

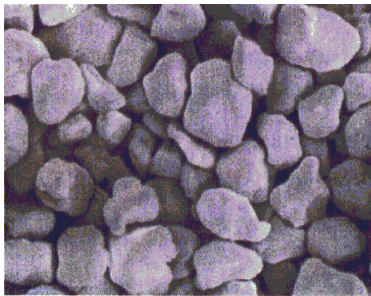
Värikuvan siirto tapahtuu joko tuottamalla kukin väri paperille erikseen (multipass) tai kaikki värit kerrallaan (singlepass). Singlepass-menetelmässä kullekin värille on oma rumpunsa tai eri toonerit kehitetään päällekkäin samalle rummulle ja siirretään paperille yhtä aikaa. Puhdistusvaiheessa fotojohteelta poistetaan mekaanisen käsittelyn sekä sähkökenttien avulla siihen mahdollisesti jäänyt tooneri sekä sähkövaraukset. /1,2,3,4,6/

4.2 Toonerit

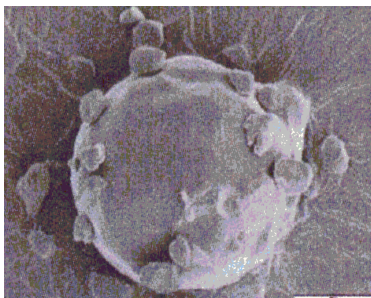
4.2.1 Toonerityypit

Elektrofotografiaprosessissa käytetään joko nestemäisiä tai kuivia 1- ja 2-komponenttisia pulveritoneriteita. Nestemäiset ja 2-komponenttiset pulveritonerit on tarkoitettu keski- ja suurnopeusalueella toimiville painokoneille. Suurin osa nykypäivänä käytettävistä tonereista on kuivia 2-komponenttitoonereita. Tooneripartikkelien lisäksi niissä on kantajapartikkeleita, jotka synnyttävät sähkövarauksen ja kuljettavat tonerin säiliöstä rummulle. Kantajapartikkelit ovat tavallisesti ferriittiä, joten niitä voidaan ohjata magneettivoimin kehityslaitteessa. /3,4,6/

Tooneripartikkelien koko on 5-20 μm ja kantajat ovat niitä n. 5- 10 kertaa suurempia (kuvat 5 ja 6) . Nestemäisissä tonereissa kantajana käytetään hiilivetyä. Nestetoonereita käytettäessä ei kuvan toistamiseen tarvita lämpöä. /3,4,6/



Kuva 5. Sulamattomia toneripartikkeleita kokoluokkaa 5-10 μm /5/.



Kuva 6. Tooneripartikkeleita kiinnittyneenä kantajaan /5/.

1-komponenttiset kuivatoonerit voivat olla magneettisia jo itsessään, jolloin kantajia ei tarvita. Sähkövaraus niihin syntyy useimmiten kontaktivarautumisena syöttölaitteen pintojen kanssa. Ei-magneettisten monotoonereiden kuljetus kehitysalueelle tapahtuu telojen avulla. 1-komponenttiset toonerit soveltuvat hidasnapeuksiseen painamiseen. /3,4/

4.2.2 Toonerin koostumus

Toonerit koostuvat pääasiassa väripigmentistä sekä lämmössä sulavista hartseista. Myös erilaisia lisäaineita käytetään (taulukko 2). Hartsin tehtävä on kiinnittää väripigmentti paperiin. Hartsin valintaan vaikuttavat sen sulamis-, termiset, mekaaniset sekä sähköiset ominaisuudet. Pigmentit valitaan hartsiin dispergoitavuuden perusteella, ja niiden määrä riippuu tavoitellusta kontrastista tai densiteetistä ja toonerin varautumisvaatimuksista. Pigmenttejä on orgaanisia ja epäorgaanisia. Hiilimustaa käytetään usein mustissa toonereissa ja orgaanisia pigmenttejä värillisissä toonereissa. Orgaaniset pigmentit vaikuttavat myös toonerin varauksen voimakkuuteen ja polaarisuuteen. /3/

Lisäaineita on mm. sähkövarauksensäätöaineet, pintalisäaineet ja magneettiset lisäaineet. Jos käytetty pigmentti ei saa aikaan tarvittavaa varaustasoa tai varausnopeutta, tarvitaan varauksensäätöainetta. Niillä voidaan kumota muiden toonerikomponenttien varausvaikutus ja valita toonerin varausmerkkisyys. /3,6/

Pintalisäaineilla estetään partikkelien takertuminen toisiinsa ja parannetaan virtausominaisuuksia. Ne myös voivat tehostaa toonerin siirtymistä fotojohteelta paperille alentamalla toonerin kiinnitystä fotojohteeseen. Vahan käytöllä estetään sulan toonerin tarttuminen kiinnitystelalle kiinnityksen aikana. /3,6/

Taulukko 2. Pulveritoonerin tyypillinen koostumus. /3/

Komponentti	Keskimääräinen osuus %	Käyttötarkoitus
hartsi	90	sideaine
pigmentti	5	Väri
sähkövarauksensäätöaine	2	kontaktivaraus
vaha	3	kiinnitys
Virtauksen säätöaine	0,5	virtaus

4.2.3 Toonerin ominaisuudet

Toonereiden tärkeimmät ominaisuudet ovat pintakemialliset sekä viskoelastiset ominaisuudet, partikkelikoko ja varaus/massa-suhde (q/m). Pintakemialliset ja viskoelastiset ominaisuudet määrittelevät toonerin käyttäytymisen kiinnityksessä. Partikkelien koolla sekä kokojakaumalla on suuri vaikutus tulostuslaatuun. Kokojakauman tulee olla kapea, laajan kokojakauman pienten partikkelien aiheuttaessa pölyyntymistä, suurten heikentäessä painatusjälkeä. Oikeanlaisen varauksen saavuttaminen suuren kokojakauman toonereissa on vaikeaa, sillä varaus riippuu partikkelikoosta. /3/

Kehitysvaihe yleensä määrittää parhaan mahdollisen painatuslaadun. Toonerin partikkelikoon tulee sopia yhteen painokoneen resoluution kanssa. Koska pienillä partikkeleilla saavutetaan paras resoluutio, on pyrkimys ollut jatkuvasti pienentää toonerin partikkelikokoa. Juuri partikkelikoko tulee olemaan rajan muodostaja elektrofotografiassa saavutettavalle resoluutiotasolle. /3/

Pulveritoonerin pienin hallittava partikkelikoko 5-10 mikrometriä on jo saavutettu uusimmissa laitteissa. Alle 5 μm :n partikkelien hallinta on erittäin vaikeaa, koska ne karkaavat helposti eivätkä päädy paperille. Mikäli halutaan korkeampia resoluutioita, täytyy tooneripartikkelit dispergoida nesteeseen. Tällä menetelmällä päästään partikkelikokoon 1 μm tai alle. /3/

Partikkelikokoon ja kokojakaumaan vaikuttaa tapa, jolla pulveri on valmistettu. Perinteisen jauhatuksen lisäksi on kehitetty myös ns. kemikaalitoonereita, jotka kasvatetaan kemiallisessa reaktiossa irrallisista, molekyylien kokoisista hiukkasista hiljalleen. Kuten sanottua pienemmällä toonerilla on mahdollista saavuttaa parempi resoluutio. Käytännössä näin ei kuitenkaan aina ole. Elektrofotografiaprosessi sinänsä jo vaikuttaa resoluutioon. /3,6/

Jotta tooneripartikkelit siirtyisivät kehitysvaiheessa ainoastaan varauskuvion määräämiin kohtiin, partikkelit täytyy varata tasaisella sähkövarauksella, ja varausjakauman tulee olla mahdollisimman kapea. Tavoiteltuun varaukseen nähden vastakkaismerkkisen toonerin osuuden on havaittu vaikuttavan voimakkaasti taustakohinan muodostumiseen prosessin kehitysvaiheessa. Taustakohinaa vähennetään alentamalla vääränmerkkisen toonerin osuutta nostamalla keskimääräistä varaus/massa–suhdetta. Tutkimuksissa on havaittu, että suurin yksittäinen tekijä kuvanlaadun heikkenemisessä on juuri väärän merkkinen toneri, joka johtaa partikkelien siroamiseen painetun pinnan reunoille. /9/

5 ELEKTROFOTOGRAFIAN VAATIMUKSET PAPERILLE

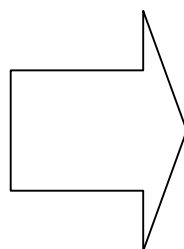
Elektrofotografiassa käytetään pääasiassa päällystämättömiä hienopapereita sekä varsinkin värielektrofotografiassa päällystettyjä. Eräässä tutkimuksessa on havaittu painopaperin vaikutuksen tulostuslaatuun olevan vähäinen verrattuna offset-painatukseen. Joillakin digitaalisilla painokoneilla yksityiskohtien toistuminen oli tutkituista paperilaaduista riippumaton. Tutkitut paperit vaihtelivat puupitoisesta, päällystämättömästä 70 g/m²:n paperista puuvapaaseen päällystettyyn kiiltävään 170 g/m²:n paperiin. Elektrofotografinen painaminen asettaa kuitenkin tiettyjä vaatimuksia painopaperille. Vaatimukset voidaan perinteisesti jakaa ajettavuus- sekä painettavuusominaisuuksiin (kaavio 1 ja taulukko 3). Ajettavuuteen ja painettavuuteen liittyvät vaatimukset ovat usein ristiriidassa keskenään. /3,6,10/

Kaavio 1. /5/

AJETTAVUUS

Paperin ominaisuuksia

Kosteus
Sähköiset ominaisuudet
Formaatio
Lämmön johtokyky
Kemiall. koostumus
Pinnan ominaisuudet



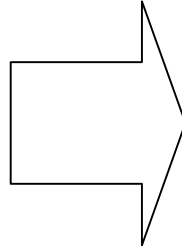
Ominaisvaikutuksia

Prosessin stabiilisuus
Arkkien pinottavuus
Käyristyminen
Blistering
Jälkikäsitteily

PAINETTAVUUS

Paperin ominaisuuksia

Kosteus
Tiheys
Formaatio
Sähköiset ominaisuudet
Karheus
Lämpöominaisuudet
Pintaenergia



Painatusongelmia

Mottling
Tiheys
Kiilto
Toonerin huono tarttuminen

Taulukko 3. Paperin ominaisuudet sekä niiden vaikutus ajettavuuteen ja painettavuuteen elektrofotografiassa/5/.

Paperin ominaisuus	Ajettavuus	Painettavuus
Jäykkyys	++	++
Käyristyminen	++	++
Sileyys	++	++
Sähköiset omin.	++	++
Kitka	++	+
Kosteus	++	++
Formaatio	++	++
Pintajännitys	+	++
Optiset omin.		++

++ =suurivaikutus + =vähäinen vaikutus

5.1 Painettavuus

Painettavuusominaisuudet voidaan jakaa kahteen ryhmään: optisiin ja toiminnallisiin. Toiminnalliset ominaisuudet koostuvat sähköisistä ominaisuuksista, pintaenergiasta, formaatiosta ja sileydestä. Ne vaikuttavat tonerin siirtymiseen sekä sulamiseen. Optiset ominaisuudet, kuten opasiteetti, värisävyt, vaaleus ja kiilto, ovat tasaisen formaation lisäksi hyvän painatusjäljen ja ulkoasun tekijöitä. Opasiteetin merkitys korostuu erityisesti kaksipuolisessa painatuksessa. Paperin vaaleuden lisääminen lisää kontrastia ja saavutettavissa oleva dynaaminen alue on näin ollen laajempi vaaleilla papereilla. Sitä kautta myös kontrastinsiirtona määritetty yksityiskohtien toistuminen paranee. /3,5/

5.2 Sähköiset ominaisuudet

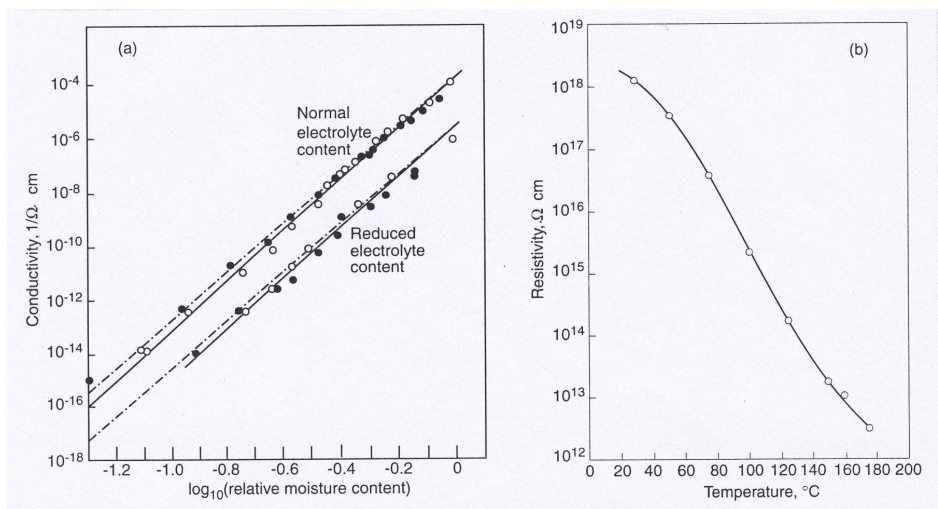
Koska painatusprosessissa käytetään sähköisyyttä toonerin siirtovaiheessa, täytyy painopinnan sähköisiin ominaisuuksiin kiinnittää huomiota, jotta ajettavuus säilyy. Paperin kulkiessa sähkökentän läpi se varautuu sähköisesti. Polarisaatio määräytyy kahden tekijän mukaan: permittiivisyyden, joka määrittää pinnan kykyä ottaa vastaan varaus sähkökentässä, sekä ominaisvastuksen, joka määrittää pinnan sähkönjohtokykyä. Ominaispintavastus ja ominaisvastus ovat useimmiten käytetyt sähkötekniset muuttujat. Ominaispintavastuksella mitataan aineen pintaa pitkin kulkevaa virtaa, kun taas ominaisvastuksella mitataan aineen läpi kulkevaa virtaa. Painomateriaalin sähkönjohtokyvyn pitää olla riittävä estämään staattisen sähköön keräytymisen painopintaan. Staattinen sähkö aiheuttaa ajettavuusongelmia, kuten paperin tarttumista teloille ja arkkien tarttumista toisiinsa. /5/

Toisaalta taas hyvä painojälki edellyttää jonkin verran resistiivisyyttä eli eristeisyyttä, koska painoalustan täytyy pitää varaus toonerin siirron ajan sekä pitää toonerit paikallaan sen aikaa, joka kestää kehityksestä kiinnitykseen (taulukko 4). Jos sähkönjohtokyky on liian hyvä, varaus katoaa paperista ja toonerien siirtotehokkuus pienenee. Toisaalta liian korkea resistiivisyys kerää staattista sähköä sekä aiheuttaa tooneripartikkelien siirtymistä kuva-alueen ulkopuolelle taustakohinaksi. Kotelokartongilla suoritetuissa kokeissa on todettu, että hyvän ajettavuuden ja painettavuuden saavuttamiseksi tulisi sähkönjohtokyvyn olla mahdollisimman matala pintakerroksissa ja vastaavasti keskikerroksessa niin suuri kuin mahdollista. /5/

Ominaisvastus riippuu suuresti paperin kosteudesta ja ympäröivästä lämpötilasta, mikä tekee ominaisvastuksen optimoinnista erittäin vaikeaa. Tavoiteltu ominaisvastus riippuu myös käytössä olevasta painosysteemistä/painokoneesta. Lasertulostimissa on havaittu vastustason 10^{10} - 10^{12} ohmia olevan välttämätön. /5/

Jotta saavutettaisiin paras mahdollinen painojälki ja paras mahdollinen ajettavuus, on painatusolosuhteet pidettävä kosteuden ja lämpötilan suhteen niin stabiileina kuin mahdollista (kuva 7). Kosteuden kasvaessa painoalustassa kasvaa myös sähkönjohtokyky, jolloin ominaisvastus putoaa eksponentiaalisesti. Sähköisten ominaisuuksien täytyy olla koko painoalusta alalta mahdollisimman samanlaiset, jotta ongelmilta vältyttäisiin. /5/

Vaihtelut sähköisissä ominaisuuksissa voivat johtua kosteusheitoista, huonosta kuituorientaatiosta tai epätasaisesta päällystyksestä sekä voivat aiheuttaa mottlingia tai/ja kupruilua. Uusimmat elektrofotografian sovellukset käyttävät siirtohihnoja ja -teloja tonerin siirtoon, mikä vähentää tulostuslaadun riippuvuutta paperin kosteus- ja sähköisistä ominaisuuksista. Siirtohihnat ja -telat mahdollistavat myös monipuolisempien painoalustojen käytön. /5/



Kuva 7. Sellun sähkönjohtokyky suhteessa kosteuteen huonelämpötilassa (a) ja resistiivisyys suhteessa lämpötilaan vakiokosteudessa (b). /15/

Taulukko 4. *Paperin eristävyysominaisuudet ja niihin vaikuttavat tekijät. /16/*

Dielectric constant, ϵ
Paper density Sheet structure (fiber orientation) Crystalline cellulose Pulp components (lignin, hemicellulose etc.)
Dielectric loss, ϵ''
Ionic conduction losses Inclusion of organic and inorganic ions Adsorbed ions Carboxyl groups, etc. Fiber morphology Polarization losses Rotation and oscillation of polar material Fine structure of cellulose Pulp components (lignin, hemicellulose, etc.)
Dielectric breakdown strength
Long-term ac breakdown strength Paper density Barrier effect of paper Inclusion of inorganic ions and organic resins Dielectric loss Short term breakdown strength (ac, pulse) Barrier effect of paper and network structure Inter-fibre bond structure Fiber morphology Bulk structure of paper Inhomogeneity of paper

5.3 Kitka ja kosteus

Paperin kitkan täytyy olla tiettyjen arvojen välissä, koska arkkien siirto perustuu normaalisti kitkaan; täten kitka on kriittinen ajettavuuden kannalta. Liian alhainen kitkakerroin paperissa johtaa epäonnistuneeseen syöttöön ja liian suuri kitkakerroin voi aiheuttaa kaksoissyöttöjä arkkien tarttuessa toisiinsa. /3,5/

Paperin kosteuteen pitää kiinnittää huomiota jo paperirullien pakkausvaiheessa. Jos paperi on liian kuivaa pakattaessa imevät rullien päät kosteutta enemmän kuin keskiosa aiheuttaen kosteusvaihtelua radassa. Kun kosteus on liian suuri rullia leikattaessa, aiheutuu päinvastaisia ongelmia. Paperirullien tulisi saada tasata lämpötila paino-olosuhteita vastaavaksi ennen rullakääreiden purkamista, jotta vältettäisiin liiallinen veden absorptio rulliin. Kosteusvaihtelut aiheuttavat sähköisten ongelmien lisäksi esim. käyristymistä sekä aaltoilua. Huono formaatio voi aiheuttaa ongelmia, jotka johtuvat erilaisesta kosteuden säilymisestä kuitutiheyden vaihtelun takia. Toonerin epätasainen kiinnittyminen, josta seuraa laikullisuutta, on tällöin tyypillinen ongelma. /3,5/

5.4 Lämpöominaisuudet

Yleisesti ottaen paperi on erinomainen eriste sähkön sekä lämmön suhteen. Painopinnan lämpöominaisuudet ovat elektrofotografisessa prosessissa tärkeitä, koska useimmiten kuva kiinnitetään painopinnalle lämmön avulla. Lämpötila kiinnitysvaiheessa asettaa vaatimukset painopinnan mittapysyvyydelle sekä nukkauslujuudelle. Mitä korkeammassa lämpötilassa prosessoidaan, sitä kovemmat ovat vaatimukset painoalustalle. /5/

Paperin lämpöominaisuuksiin kuuluu lämmönjohtokyky ja ominaislämpö. Paperin rakenne, massan koostumus, tiheys ja kosteus määrittelevät nämä ominaisuudet. Lämpöominaisuudet kertovat, kuinka paljon energiaa tarvitaan lämmittämään paperi tiettyyn lämpötilaan sekä kuinka suuren lämpötilan paperi saavuttaa kiinnitysvaiheessa. /5/

Toonerit vaativat korkeita lämpötiloja kiinnittyäkseen kunnolla ja saavuttaakseen riittävän kiillon. Painoalustan tulisi kestää korkeita lämpötiloja sekä jäähtyä nopeasti kiinnityksen jälkeen, jotta toneri kiinnittyisi kunnolla. Tästä voidaan päätellä, että paperilla tulisi olla hyvä lämmönjohtokyky ja matala ominaislämpö. Kuten mainittua, korkea lämpötila kiinnitysvaiheessa vaatii hyvää mittapysyvyyttä, koska paperi menettää kosteutta. Kosteushäviöt puolestaan voivat aiheuttaa käyristymistä ja kupruilua. /5/

Paperin pinnan tulisi kestää kuumuutta ja siitä seuraavaa kosteuden menetystä ilman, että sen ominaisuudet heikkenevät liikaa. Pinnan tulisi olla tarpeeksi huokoinen, jotta välttäisiin ns. mikroblisteringiltä, jota esiintyy tiheillä materiaaleilla sekä erityisesti suurilla neliömassoilla. Nukkauslujuus on tärkeä, jotta vältettäisiin pölyäminen, joka pölyn tarttuessa rumpuun heikentää painojälkeä. /5/

5.5 Formaatio ja kuituorientaatio

Hyvä formaatio ja oikea kuituorientaatio ovat tärkeimmät tekijät hyvän mittapysyvyyden sekä tasaisten lämpöominaisuuksien saamiseen ja edelleen sitä kautta laadukkaan sekä tasaisen painojäljen saavuttamiseen. Huono mittapysyvyys sekä heikko jäykkyys voivat aiheuttaa käyritystä tai kupruilua tai kohdistusongelmia. Suurin osa paperin syötössä ja siirrossa ilmenevistä ongelmista johtuu paperin käyrityksestä. Käyritystä tapahtuu varsinkin laitteissa, joissa toinen nipin teloista on kuumennettu. Hyvä mittapysyvyys on tärkeä erityisesti kaksipuolisessa painamisessa sekä väripainamisessa. Huono formaatio tai paperin puolien erilaisuus voi myös aiheuttaa aaltoilua lämmityksessä. /3,5/

5.6 Kemialliset ominaisuudet

Painojäljen pysyvyys vaatii kemiallista yhteensopivuutta painoalustalta sekä toonerilta. Toonerin kiinnittyminen riippuu suuresti alustan sekä toonerin pintaenergioista, jotka ovat suurimmat tekijät minkä tahansa kiinnittyessä mihin tahansa. Pintaenergiat kontrolloivat sulaneen toonerin liikkumista paperin pinnalla. Esimerkiksi styreeni-pohjaiset toonerit vaativat 30-40 mN/m:n energiatasoja painomateriaalilta. Kun pintaenergia on liian matala tooneri ei ankkuroidu kunnolla paperiin. Pyrittäessä suurempiin resoluutioihin ja siihen liittyvään tooneripartikkelien pienentämiseen paperin rakenteellisten, sähköisten ja lämpöominaisuuksien mahdollisimman pienet vaihtelut tulevat entistä tärkeämmiksi. /6/

5.7 Paperipinnan mekaaniset ominaisuudet

Paperin pinnanmuodolla ja karheudella on vaikutusta paperin varautumiskykyyn, mikä vaikuttaa toonerin asettumiseen ja kiinnittymiseen. Karhealla alustalla toneri asettuu kuoppiin sekä lakipisteisiin, mikä luonnollisesti heikentää painolaatua. Resoluutiokasvun ja siihen liittyvän toonerin partikkelikoon pienenemisen seurauksena paperin sileysvaatimukset ovat kasvaneet. Paperin pintarakenteen on havaittu vaikuttavan yksityiskohtien toistumiseen resoluutiotasolla 600 dpi ja siitä ylöspäin kasvavissa määrin. Tämä johtuu siitä, että pienin painettava yksityiskohta alkaa olla pienempi kuin paperin pinnan kuidut ja muut karheudet. Siirtotehokkuus paranee sileyden kasvaessa paperin ja fotojohteen paremmasta kontaktista johtuen. /3,6/

Kuvien reunojen terävyys paranee myös selkeästi, kuten myös densiteetti ja tooneriadhесio. Karheuden tulee kuitenkin olla riittävä, jotta paperi irtoaa kunnolla fotojohteelta tai kiinnitystelalta. Kuva-alueen ulkopuolella olevien tooneripartikkelien esiintyminen on myös vähäisempää karheilla papereilla. Jos paperi on liian tiivis, kosteus ei pääse kiinnitysvaiheessa poistumaan paperista vaan aiheuttaa kuplintaa sekä päällystetyillä papereilla mahdollisesti päällysteen irtoamista. /3,6/

6 PAINOJÄLJEN LAADUN MUODOSTUS JA TOONERIN SIIRTO PAPERILLE

6.1 Tulostuslaadun muodostuminen ja resoluutio

Resoluutio määrittelee painokoneen nimellisen yksityiskohtien toistokyvyn. Elektrofotografiapainokoneiden resoluutio määräytyy vertikaalisen osoitettavuuden, horisontaalisen osoitettavuuden ja laserspotin(valolähteen) ominaisuuksien mukaan. Rummun pyörähtämä vakiomatka määrittää vertikaalisen osoitettavuuden ja horisontaalinen osoitettavuus tapahtuu poikkeuttamalla lasersädettä. Laserin resoluutioon vaikuttavia tekijöitä ovat spotin koko ja muoto. Yksityiskohtien toistuminen edellyttää painoprosessilta kykyä toistaa kontrasti riittävän hyvin pienissä yksityiskohdissa. /9/

Teoriassa pienin toistettava pikselikoko 400 dpi:n koneelle on n. 64 μm ja 1200 dpi:n laitteelle 21 μm . Todellisuudessa pikselikoko on suurempi. Siihen vaikuttaa paperin ja toonerin ominaisuudet, sekä prosessin eri vaiheiden tekijät. Yksityiskohtien hyvää toistumista rajoittaa mm. laserspotin diffraktiorajoittuneisuus, varauksen leviäminen, tooneripartikkelin koko, reunakohina sekä pisteen leviäminen. /9/

Yksityiskohtien tarkka painaminen vaatii korkeaa resoluutiota latentissa kuvassa. Yksityiskohtien toistumiseen latentissa vaikuttavat varausten keskinäinen hylkiminen ja varausten sivusuuntainen liike valotuksen aikana. Molemmat tekijät aiheuttavat varauskuvion leviämistä. Varausten sivusuuntainen liike on n. 10 μm ja hylkimisestä johtuva leviäminen n. 1 μm . /3/

6.2 Toonerin siirto ja kiinnitys paperille

Kuvan laatua toonerin siirrossa heikentävät mm. toonerin huono siirtotehokkuus ja painetun pinnan reunoille tai sen läheisyyteen sironneet tooneripartikkelit. Yksityiskohtien toistumista rajoittaa myös toonerin sivuttaissuuntainen leviäminen, joka johtuu paperin pinnan suuntaisesta sähköjohtumisesta. Fotojohteen ja paperin välisen etäisyyden kasvun siirtonipissä on huomattu vaikuttavan siirtotehokkuuteen lisäämällä siirtymättömän toonerin määrää. Myös entistä pienemmät partikkelikoot vaikeuttavat siirtotapahtumaa. Toonerin varaus/massa-suhteella on myös vaikutusta asiaan. Siirtotehokkuuden paikallinen vaihtelu saa aikaan kohinaa kuva-alueella, josta seuraa reikäisyyttä painojäljessä. Sähkökentän voimakkuuden nosto parantaa siirtotehokkuutta. /3/

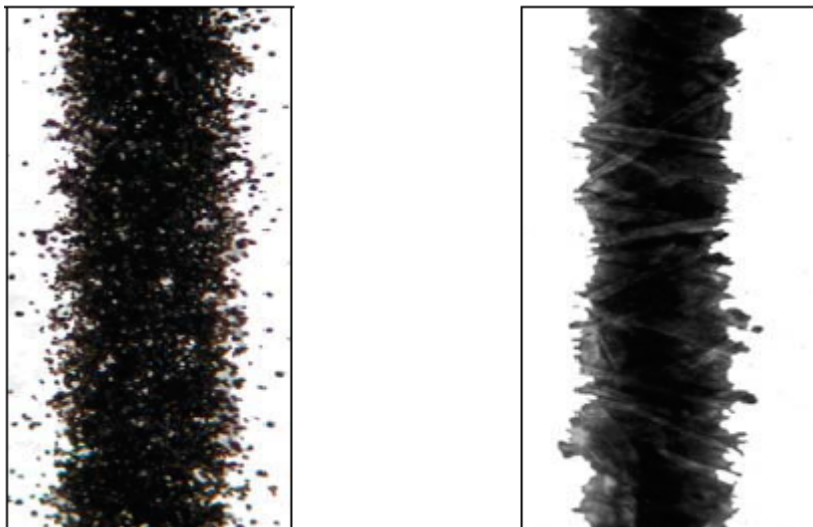
Kuva-alueen reunalle sironneet tooneripartikkelit heikentävät yksityiskohtien toistumista sekä terävyyttä. Ne myös aiheuttavat painamattomien kohtien tummumista. Kuva-alueen ulkopuolella olevat partikkelit, jotka yksittäisinä ovat liian pieniä ihmissilmän havaittavaksi, nähdään alentuneena kontrastina. Sironneiden partikkelien syntymiseen ei ole löydetty selkeää syytä. On esitetty, että tooneripartikkelit lentävät ilmaraon yli ennen siirtonippiä tai ilman läpimenosta fotojohteen ja paperin erotessa siirron jälkeen. Yhtenä syynä on pidetty myös tooneripartikkelien toisiaan hylkivää repulsiovoimaa siirtovaiheessa. /3/

Toonerikerroksen leviäminen kiinnitysvaiheessa heikentää yksityiskohtien toistumista, mutta myös parantaa tasaisen toonerikerroksen luomista. Kiinnitysvaihe lisää densiteettiä paperin peittoprosentin kasvaessa toonerin levitessä. Kiinnitysvaihe voi muuttaa pinnan kiiltoa ja sitä kautta densiteettiä. /3/

6.3 Pisteiden leviäminen ja reunakohina

Pisteiden leviäminen ja reunakohina ovat epätoivottuja ilmiöitä painamisessa (kuva 8). Ne ovat seurausta toonerin käyttäytymisestä tai optisesta pisteiden leviämisestä ja pisteiden epätasaisuudesta paperissa. Pisteiden leviämistä on fyysistä ja optista. Fyysinen pisteiden leviäminen on seurausta toonerin leviämisestä paperin pinnalla, mistä johtuu että pisteen koko on suurempi kuin pitäisi. Pisteiden leviäminen on suorassa suhteessa kiinnityksessä käytettyyn energiamäärään. /3/

Optisessa pisteiden leviämisessä, jota kutsutaan myös Yule-Nielsenin ilmiöksi, pisteen reunan ympärille muodostuu varjo, mikä saa pisteen näyttämään isommalta. Tämä johtuu valon sivusuuntaisesta siroamisesta paperissa. Optista pisteiden leviämisestä kutsutaan sitä, kun paperin painamattomalla pinnalla penetroitunut valo siroaa ja poistuu painetulta kohtaa. Sama toimii myös toisinpäin, eli painetulta pinnalla tunkeutunut valo poistuu painamattomalla. Valon sivusuuntainen siroaminen paperin sisällä vaihtelee varsinkin päällystämättömillä papereilla pisteestä toiseen. Optisen pisteiden leviämisen seurauksena kuva näyttää todellista tummemmalta. Optinen pisteiden leviäminen on kokoluokaltaan n. 20-50 μm . /3/



Kuva 8. Vasemmassa kuvassa siroamista ja oikeassa kuvassa reunakohinaa elektrofotografiassa. /3/

Reunakohina on kuivatooneri-elektrofotografian tyypivika. Tässä yhteydessä reunakohinalla tarkoitetaan painetun alueen reunalla tapahtuvaa epätasaista reunanleviämistä ja partikkelikohinaa, eli tooneripartikkelien epätasaista keräytymistä painetun alueen reunoille. Jokainen kuudesta prosessivaiheesta saattaa vaikuttaa reunakohinan syntymiseen. Kehitys- ja siirtovaiheen on tosin huomattu vaikuttavan siihen kaikkein eniten. Sähkövaraukseltaan vääränmerkkinen toneri fotojohteella kehitysvaiheessa aiheuttaa reunakohinaa. Siirtovaiheessa vääränmerkkinen toneri saattaa aiheuttaa ei toivotun siirtymisen paperille. Myös paperin ja fotojohteen erotessa tapahtuva ilman läpilyönti voi aiheuttaa reunakohinaa. /3/

Sileämmillä papereilla toneri leviää tasaisemmin kuin karheilla, jolloin reunakohina on vähäisempää. On kuitenkin havaittu paperin karheuden vaikuttavan vasta karheuden ylittäessä 200 ml/min. Tämän rajan jälkeen reunakohina kasvaa voimakkaasti. Partikkelikoon pienentäminen vähentää reunakohinaa jossain määrin. On havaittu että poistamalla vääränmerkkiset tonerit kehitysvaiheessa ja estämällä ilman läpilyönti siirron jälkeen on mahdollista päästä offset-arvoihin reunakohinan osalta käyttämällä normaalia 10-15 µm:n toneria. /3/

YHTEENVETO

Yleisen mielipiteen mukaan digitaalinen painaminen tulee kasvattamaan osuuttaan painomarkkinoilla. Yksilöllisten painatusvaatimusten kysynnän kasvaessa näin varmasti onkin. Myös lyhytjänteisyys tekee tuloaan painatusmaailmaankin, pitää saada juuri sellainen tuote kuin halutaan ja mieluiten heti.

Teknologialtaan elektrofotografia kilpailee pian tasaväkisesti konventionaalisten painomenetelmien kanssa. Painoalustojen materiaalivalikoima on jo huomattavan suuri digitaalisessa painamisessa. Mikäli tooneripartikkelien kehittäessä tapahtuu läpimurto, on elektrofotografian mahdollisuudet lähes rajattomat.

Vaikka tutkimuksissa on huomattu elektrofotografisen painamisen olevan suhteellisen riippumaton painopaperin laadusta, vaaditaan painoalustalta tiettyjä ominaisuuksia. Kriittisiä toiminnallisia ominaisuuksia painojäljen kannalta ovat erityisesti sähköiset ominaisuudet: ominaisvastus ja ominaispintavastus. Paperin lämpöominaisuuksien merkitystä ei myöskään pidä väheksyä elektrofotografiaprosessissa käytettävien suhteellisen korkeiden lämpötilojen takia. Sähköiset ominaisuudet vaikuttavat myös paperin ajettavuuteen yhdessä fyysisten ominaisuuksien, kuten jäykkyyden, kitkan ja formaation kanssa.

Paperinvalmistajan kannalta haasteena on sovittaa yhteen ajettavuus- sekä painettavuusominaisuudet. Paperin kehityksessä seuraavat merkittävät askeleet tulevat olemaan erilaiset älysovellukset mahdollistavat paperit.

Elektrofotografiasta löytyy kohtuullisen paljon kirjallista materiaalia, mutta syvemmälle menevää tieteellistä kirjallisuutta on tarjolla suhteellisen vähän. Käytännössä muutama diplomityö ja väitöskirja muodostavat tämänkin työn lähdemateriaalin rungon.

Jatkossa olisi mielenkiintoista nähdä mitkä ovat mahdollisuudet esimerkiksi offsetin ja digitaalisen painamisen yhdistämiseen. Myös toonerin kehityksessä on varmasti paljon tutkimusmahdollisuuksia.

LÄHDELUETTELO

1. Smyth, Sean. Introduction to digital print. Pira International Ltd 2003. 102 s.
2. Campbell, Cecilia. Painoteknologian puntarointia. Painomaailma 4/2003. s.10-14
3. Räsänen, Pia. Yksityiskohtien toistokyky pulveritooneripohjaisessa digitaalisessa elektrofotografiassa. Diplomityö. Helsingin teknillinen korkeakoulu. Puunjalostustekniikan osasto. 2004. 108 s.
4. Lehtonen, Tapio. Digitaalinen painaminen. Opetushallitus. Gummerrus kirjapaino oy. Saarijärvi 1998. 111 s.
5. Lahti, Johanna. Dry toner-based electrophotographic printing on extrusion coated paperboard. Väitöskirja. Tampereen teknillinen yliopisto. Pulp and paper science and technology. TTY julkaisu 523. TTY-paino. Tampere 2005. 115 s.
6. Lehtonen, Eero, -Mattila, Pentti, -Veilo, Petri,- Raninen, Tarja(toim.). Digitaalinen painoviestintä. WSOY. Dark Oy. Vantaa 2003. 154 s.
7. Antikainen, Hannele. Viestintäalan nykytila ja kehitystrendit 2006-2007 V-painotekniikan trendit. GT-raportti nro1 tammikuu 2006.
8. Juhola, Helene, -Bäck, Asta, -Siivonen, Timo, -Lindberg, Tatu, -Pitkänen, Mikko, -Södergård, Caj, -Nurmi, Olli. Digitaalinen painaminen osana toimintaketjua. VTT 1998. 104 s.
9. Koivumäki, Kaisa, -Leppänen, Tapio. Digitaalisen painamisen trendit. GT-raportti nro 2 2006.
10. Lindberg, Tatu. Digitaalisen painamisen laatu-potentiaali. Tutkimusraportti TTE4-2002-13. VTT Tietotekniikka 2002. 20 s.
11. Yliopistopaino Uutiset. Nro 1 2004. 16 s.
12. Electronic design. [www-sivu]. [viitattu 10.10.2006] Saatavissa www.elecdesign.com/Files/29/10247/Figure_02.gif
13. Xeikon. [www-sivu]. [viitattu 10.10.2006] Saatavissa: www.xeikon.com/web/page.asp?cust=1&lang=e&L1ID=1&L2ID=2&L3ID=2843&TID=2851
14. Pds consulting. [www-sivu]. [viitattu 10.10.2006] Saatavissa: www.pdsconsulting.co.uk/Printing%20Process/Digital/Digital.htm
15. Niskanen, Kaarlo. Paper physics. Finnish pulp and paper research institute. Gummerrus printing. 1998.
16. Matsuda, S. Handbook of physical and mechanical testing of paper and paperboard. Marcel Dekker. New York. 1984. Volume 2.