

LAPPEENRANNAN TEKNILLINEN YLIOPISTO

Teknillinen tiedekunta

Kemiantekniikan koulutusohjelma

Kandidaatintyö

INKJET-PAPEREIDEN MUSTEENPOISTO

Tarkastaja: Professori Kaj Backfolk

Ohjaaja: DI Katriina Mielonen

Lappeenranta 8.3.2014

Henna Ukkonen

SISÄLTÖ

1	Johdanto	2
2	INKJET-TEKNIikka	3
2.1	Inkjet-tulostustekniikat	3
2.1.1	Jatkuvatoiminen CIJ–tekniikka.....	3
2.1.2	Jaksottainen DOD–tekniikka	4
2.2	Inkjet musteet	6
2.3	Inkjet-paperit	7
2.4	Paperin ja musteen väliset vuorovaikutukset	9
3	YLEISIMMIN KÄYTÖSSÄ OLEVAT MUSTEENPOISTOMENETELMÄT	11
3.1	Vaahdotussiistaus	12
3.2	Pesussiistaus	13
3.3	Entsymaattinen siistaus	14
3.4	Siistattavuuteen vaikuttavat tekijät.....	15
4	INKJET-PAPEREIDEN MUSTEENPOISTOMENETELMÄT	16
4.1	Inkjet-musteenpoisto flotaatiolla	17
4.2	Inkjet-musteenpoisto entsyymaattisella siistauksella	18
4.3	Muut tavat parantaa inkjet-papereiden siistattavuutta	19
5	MUSTEENPOISTON TULOKSEN ARVIOINTI	20
5.1	Saanto siistausprosessissa.....	20
5.2	INGEDE Menetelmä 11 ja painotuotteen kierrätettävyys.....	20
6	YHTEENVETO	24
7	LÄHDELUETTELO	25

1 JOHDANTO

Inkjet- eli mustesuihkutulostus on hyvin yleinen tulostustekniikka nykypäivänä niin kotikäytössä kuin teollisuuden sovelluskohteissa. Kyseisen tulostustekniikan suosia perustuukin sen edullisuuteen ja yksinkertaisuuteen.

Kierrätysmassan osuus paperin raaka-aineena on viime vuosina ollut voimakkaassa kasvussa. Kierrätyspaperi koostuu yleensä hyvin erilaisilla menetelmillä painetuista, siistausominaisuuksiltaan toisistaan paljon poikkeavista painotuotteista. Eräs siistautuvuudeltaan hyvin ongelmallinen painoväriyryhmä on inkjet-musteet. Yleisimmin käytössä olevat siistausmenetelmät, kuten flotaatio ja pesusiistaus, eivät onnistu saamaan tällaisesta kierrätyspaperista riittävän puhdasta ja hyvälaatuista kuitumateriaalia, jota pystyttäisiin käyttämään korkealuokkaisten painopaperien raaka-aineena. Perinteisiä siistausmenetelmiä kehitetään kokoajan aina vain tehokkaammiksi, kaikkia kierrätyspapereita paremmin siistaaviksi. Vaahdotus- ja pesusiistauksia on tänäpäivänä tehostettu muun muassa useampivaiheisilla prosesseilla, painovärin irrottamista tehostavilla esikäsitteilyillä sekä uusilla innovatiivisilla siistauskemikaaleilla.

Tämän työn tarkoituksena on selvittää teollisten siistausprosessien pääperiaatteita sekä niiden soveltuvuutta inkjet-papereiden musteenpoistoon. Lisäksi työssä esitellään menetelmiä, jotka on kehitetty nimenomaan inkjet-musteen poistamiseen paperista. Työn loppupuolella käydään läpi myös menetelmät, joilla kierrätyspaperin siistattavuutta ja kierrätettävyyttä arvioidaan.

2 INKJET-TEKNIikka

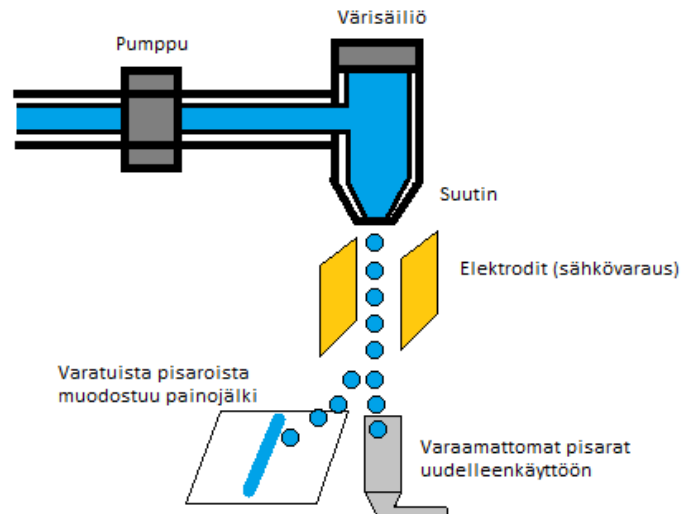
Mustesuihku- eli inkjet-tekniikka on niin sanottu koskematon tulostustekniikka, missä tulostuspää ja tulostettava pinta eivät ole kosketuksissa toisiinsa tulostusprosessin aikana. Inkjet-tekniikassa painojälki muodostetaan painettavan materiaalin pinnalle pieniä mustepisaroiita ruiskuttamalla. Inkjet-tekniikka on ollut kaupallisesti käytössä jo 1960-luvulta saakka ja sillä on olemassa lukuisia eri käyttökohteita. Inkjet-tekniikassa käytetyt menetelmät ovat kehittyneet ja kehittyvät edelleen uusien laitteiden ja tulostuspäiden vallatessa markkinoita. Inkjet-tekniikka soveltuu hyvin monille erimuotoisille ja erilaisille painopinnoille. (Le. 1998. 49–62; Oittinen *et al.* 2009, 153–154.)

2.1 Inkjet-tulostustekniikat

Inkjet-tulostus perustuu yleisesti kahteen eri tulostustapaan: jatkuvatoimista (continuous stream, CS) ja jaksottaista (drop-on-demand, DOD) tekniikkaa. Nimensä mukaisesti jatkuvassa inkjet-tekniikassa mustepisaroiden annostelu tapahtuu jatkuvasti, kun taas epäjatkuvassa tekniikassa mustepisaroiita annostellaan painopinnalle vain tarvittaessa. (Oittinen *et al.* 2009, 153–154.)

2.1.1 Jatkuvatoiminen CIJ-tekniikka

Jatkuvatoiminen inkjet-tulostustekniikka perustuu jatkuvaan mustepisaravirtaan. Tämän tulostustekniikan toimintaperiaate on esitelty kuvassa 1.



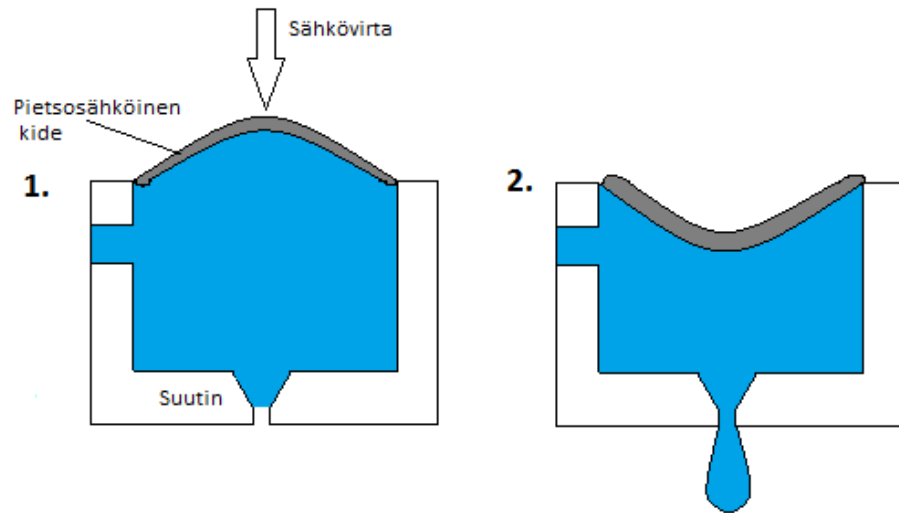
Kuva 1. Jatkuvatoimisen inkjet-tulostustekniikan toimintaperiaate (Karhuketo *et al.* 2004, 141)

Painoväriä syötetään pumpun aiheuttaman paineen avulla suuttimen läpi painopinnalle. Suuttimesta painoväri tulee ulos pisaroina, ja pisaravirran kulkua säädetään sähkökentän avulla. Mustepisaroiden erkaantuessa pisaravirrasta, elektrodit varaavat ne sähköisesti. Tämän jälkeen varatut pisarat kulkeutuvat sähkökentän läpi, josta ne ohjataan eri kohtiin tulostusaluetta, ja siten saadaan muodostumaan kuva. Varaamattomat pisarat ohjautuvat kierrätyksen kautta uudelleen käytettäviksi. Jatkuvatoiminen tulostustekniikka on yleisimmin käytössä teollisuudessa personointi- ja koodaussovelluksissa, joissa painomäärät ja –nopeudet ovat hyvin suuria. (Magdassi. 2010, 5–9 ; Le. 1998, 49–62)

2.1.2 Jaksottainen DOD–tekniikka

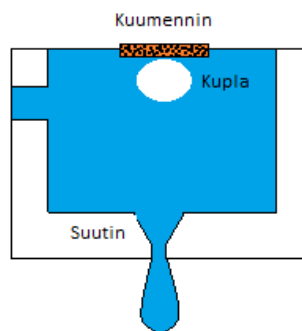
Suurin osa mustesuihkutulostuksesta tapahtuu tänä päivänä jaksottaisella tekniikalla. Jaksottaisessa tekniikassa, eli niin sanotussa drop on demand -tekniikassa, värisäiliöstä annostellaan suuttimen kautta väripisaroita vain tarvittaessa painettavan aiheen mukaisesti. Riippuen väripisaran muodostumisperiaatteesta, epäjatkuva tekniikka jakautuu kahteen pääprosessiin: pietsosähkö- ja lämpötekniikkaan. Pietsosähköisessä tulostustekniikassa mustesäiliön takana on pietsosähköinen kide, joka alkaa värähdellä kun siihen

johdetaan sähkövirtaa. Tästä värähtelystä syntyvän akustisen paineaallon seurauksena suuttimeen muodostuu mustepisara. Pisara vapautuu ulos suutinaukosta kun paine on riittävän suuri. (Magdassi. 2010, 5–9.) Pietsosähköisen tulostustekniikan toimintaperiaate on esitetty kuvassa 2.



Kuva 2. Pietsosähköisen tulostustekniikan toimintaperiaate (mukaillen Kipphan. 2001, 718)

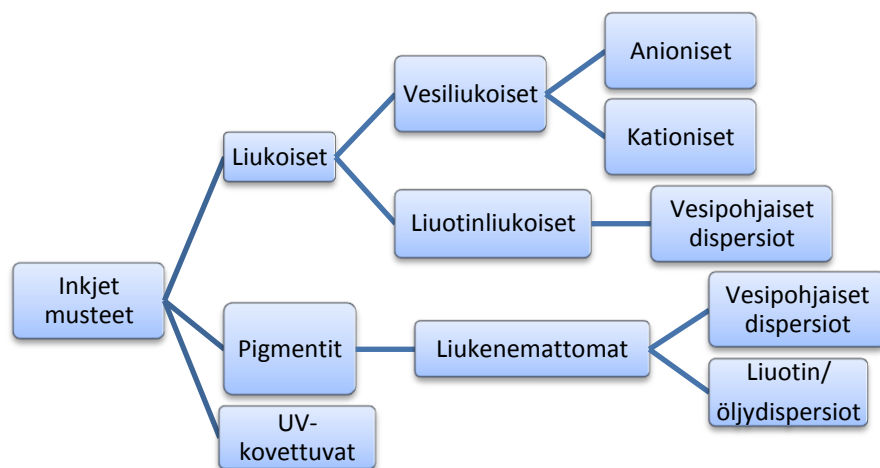
Lämpö- eli termisessä tulostustekniikassa mustesäiliössä olevaa mustetta lämmitetään siten, että muste alkaa kiehua ja siihen alkaa muodostua kuplia. Lämmitessään laajenevat mustekuplat puristuvat tarpeeksi suuren paineen alaisena suuttimen kautta tulostuspinnalle. (Magdassi, S. 2010, 5–9) Termisen tulostustekniikan toimintaperiaate on esitetty kuvassa 3.



Kuva 3. Termisen tulostustekniikan toimintaperiaate (mukaillen Kipphan. 2001, 718)

2.2 Inkjet musteet

Inkjet-tulostustekniikan kriittisimmän osan muodostaa muste. Inkjet-tekniikka asettaakin jo itsessään hyvin korkeat vaatimukset painomusteelle. Painomusteen kemia ja koostumus eivät yksinään takaa laadukasta tulostusjälkeä, vaan ne myös määrittävät pisaranmuodostumisen ominaisuudet sekä koko tulostusjärjestelmän luotettavuuden. Käytettävän painomusteen valintaan vaikuttavat myös tulostusalustan laatu, tulostussysteemin ympärillä vallitsevat olosuhteet sekä musteen kuivumisprosessi tulostuksen aikana. Inkjet-musteet jaetaan pigmenttimusteisiin ja liukoisiin musteisiin. Tänä päivänä myös UV-kovettuvat musteet ovat aina vaan yleisimpiä ja käytössä laajalti eri mustesuikketulostimissa. (Magdassi. 2010, 10–12) Yleisimmin käytössä olevat inkjet-musteet ja niiden puumainen jaottelu on esitetty kuvassa 4.



Kuva 4. Inkjet-musteiden jaottelu (mukaillen Magdassi. 2010, 10–12)

Tyypillisen toimistokäytössä inkjet-tulostimen musteen koostumus on lähes poikkeuksetta seuraava: 2-5 paino-% väriainetta pigmenttinä, 2-5 % pinta-aktiivista lisäainetta, 30 % lisäliuotinta kuten etyleeniglykolia tai dietanoliamiinia, ja 65 % vettä. Liuottimien ja sideaineiden valinnalla voidaan vaikuttaa muun muassa värin viskositeettiin, pisaran muodostukseen ja väriaineen sitomiseen. Väriaineet jaetaan inkjet-musteissa pigmentti- ja liukoisiin väriaineisiin kuvan 5 mukaisesti. Liuenneet väriaineet ovat lienneet täysin kantofaasiinsa ja näin muodostavat kirkkaita liuoksia. Liukoiset väriaineet eivät yleensä tarvitse erillistä sideainetta, vaan kiinnittyvät liuottimensa kanssa suoraan tulostusalustaan

kemiallisesti sitoutumalla. Pigmenttiväriaineet ovat lähes täysin liukenemattomia kiderakenteita kantofaasissa. Pigmentit tarvitsevat liukenemattomuutensa vuoksi jonkinlaisen sideaineen, jolla kiinnittyy tulostusalustaan. (Svanholm E. 2007, 7; Karhuketo *et al.* 2004, 141–142)



Kuva 5. Inkjet-musteiden väriaineet (Svanholm E. 2007. 7)

Inkjet-tulostimissa ei ole erillistä kuivatusyksikköä, vaan tuloste joutuu heti tulostuksen jälkeen ympäristölle alttiiksi. Näin ollen musteelta vaaditaan nopeaa kuivumista. Lisäksi musteen olisi kyettävä vuorovaikutukseen tulostettavan materiaalin kanssa, jolloin ympäristötekijät eivät vaikuta liikaa tulostusjälkeen. Liian nopeasti kuivuvat musteet voivat kuitenkin myös olla haitaksi tulostuspäiden suuttimille, sillä musteen helposti haihtuvat liuottimet saattavat aiheuttaa väriaineen saostumista tulostuspäässä ja näin myös suuttimen tukkeutumista. Musteen tuleekin pysyä nestemäisenä suuttimessa, mutta sen on kuivuttava nopeasti paperin pinnalla. (Magdassi. 2010, 10–12)

2.3 Inkjet-paperit

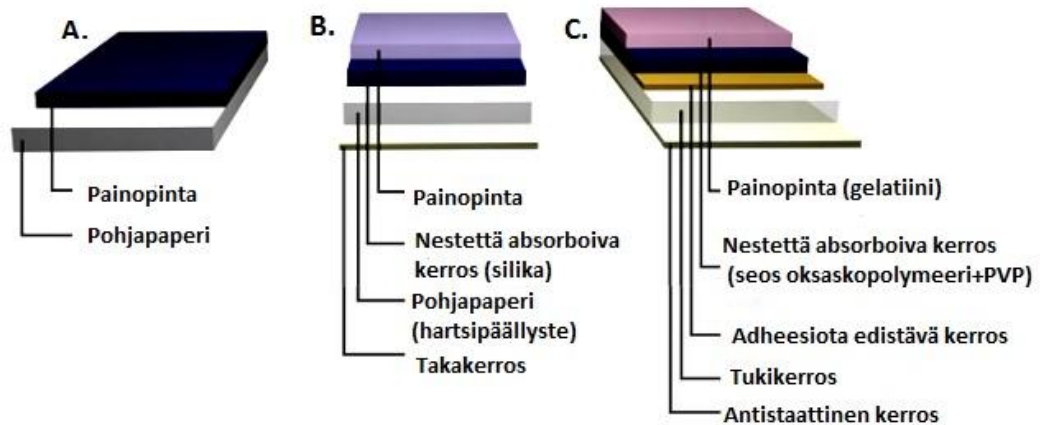
Inkjet-tulostuksen tulostusjäljen laatuun ja kesto-ominaisuuksiin vaikuttaa suuresti itse tulostuspaperi. Inkjet-paperin ominaisuuksilla voidaan vaikuttaa muun muassa musteen asettumiseen ja kuivumiseen. Hyvän tulostusjäljen saavuttamiseksi paperilta edellytetään erityisesti riittävää sileyttä. Paperin tulee pitää musteen väriaineet lähellä paperin pintaa, rajoittaa ja kontrolloida musteen leviämistä, säädellä imeytymisen määrää ja nopeutta sekä lopulta muodostaa tasaisesti

heijastava painopinta. Paperin pinnan huokoisuus, topografia, kemiallinen koostumus ja lujuusominaisuudet on optimoitava aina tulostustekniikalle ja musteelle sopiviksi. Inkjet-musteiden ollessa hyvinkin vesipohjaisia, paperi ei saa kupruilla, käyristyä ja sillä on oltava hyvä mittapysyvyys. (Ikonen J. 2004. 42–43)

Inkjet-tulostuksessa käytettävät paperit ovat niin sanottuja erikoishienopapereita. Näiden paperilaatujen neliömassa vaihtelee välillä 40–440 g/m² ja ISO-vaaleus on yli 90 %. Karkeasti inkjet-paperit voidaan jakaa kolmeen luokkaan: päällystettyyn ja päällystämättömään inkjet-paperiin sekä kopiopaperiin. Kopiopaperin ominaisuuksia on yleensä paranneltu inkjet-tulostukseen sopivammiksi. Esimerkiksi vaaleutta ja musteen vastaanottokykyä on kasvatettu. Usein kuitenkin päällystämättömät paperit imevät musteen liian syvälle paperiin, joka johtaa musteen liialliseen leviämiseen. (Oittinen *et al.* 2009, 78–79)

Päällystetyissä inkjet-papereissa päällystys säätelee musteen leviämistä ja penetraatiota. Paperin päällysteen tarkoituksena on sitoa väriaine paperin pinnalle valon- ja vedenkestävästi. Samalla päällyste myös parantaa paperin vaaleutta ja tulostusjäljen terävyyttä. Lisäksi päällysteen tai pohjapaperin pitää kyetä varastoimaan musteen liuotin rakenteeseensa tai komponentteihinsa. Inkjet-tulostukseen tarkoitetuissa erikoispapereissa päällyste on usein kerrosrakenteinen: pintakerros sitoo väriaineen ja alempi kerros absorboi veden. Tavallisesti inkjet-paperin päällystämiseen on käytetty kalliita erikoispigmenttejä. Päällysteenä voi olla esimerkiksi orgaanisia polymeerejä kuten polyvinyylialkoholia, polyvinyylipyrrolidonia ja gelatiinia. Myös epäorgaanisia partikkeleita, kuten silikaa ja aluminaa, voidaan käyttää inkjet-papereiden päällystyksessä. Nämä partikkelit saavat aikaan hyvin huokoisen pinnan paperille, jolloin muste imeytyy hyvin nopeasti paperin pintaan. (Oittinen *et al.* 2009, 78–79; Ikonen J. 2004. 43–45)

Kuvassa 6 on esitetty eri tavoin päällystettyjä inkjet-papereita. A on tyypillinen yksikerrospäällystetty inkjet-tulostuspaperi, B on valokuvatulostuslaatuinen inkjet-paperi ja C on läpinäkyvä inkjet-tulostuskalvo. (Svanholm E. 2007, 15)



Kuva 6. Eri menetelmin päällystettyjen inkjet-papereiden rakenteita (Svanholm E. 2007, 15)

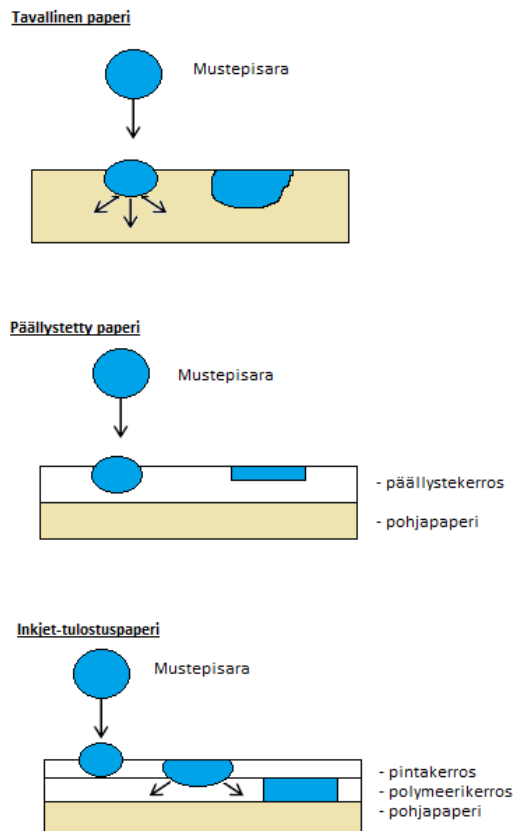
2.4 Paperin ja musteen väliset vuorovaikutukset

Inkjet-tulostuksessa tulostusjäljen lopputulokseen vaikuttaa kolme keskeistä tekijää; muste, tulostinpää ja tulostusalusta – sekä tietenkin näiden tekijöiden väliset vuorovaikutukset. Musteen ja paperin väliset vuorovaikutukset vaikuttavat erityisesti kuvan laatuun ja kesto-ominaisuuksiin, värien laatuun, paperin käyristymiseen, kuivumisaikaan sekä väriaineen adsorptioasteeseen. (Lavery *et al.* 1997, 437–440)

Kun muste on tulostettu paperin pinnalle, sen on kuivuttava mahdollisimman nopeasti, eli muututtua nestefaasista kiinteään faasiin. Tulostusjäljen kannalta musteen kuivuminen on hyvin kriittinen vaihe tulostuksessa. Musteen kuivuminen voidaan jakaa kolmeen vaiheeseen: musteen kantoaineen (vesi tai liuotin) haihtumiseen, xy-tason leviämiseen paperin pinnassa ja z-suunnan absorboitumiseen paperin sisään. (Ikonen J. 2004. 50–51)

Kuvassa 7 on esitetty musteen absorboituminen eri paperilaatuihin. Tavallisella paperilla mustepisara pääsee leviämään kaikkiin suuntiin, jolloin tulostusjälki on huono ja eri värit saattavat sekoittua toisiinsa. Päällystetyssä paperissa päällystekerros estää musteen imeytymisen pohjapaperiin. Tällöin myös tulostusjälki on siistimpää ja muste kuivuu nopeammin. Kesto-ominaisuudet

säilyvät kuitenkin ennallaan, koska mustepisara jää paperin pintaan, jolloin väriaine on alttiimpi muun muassa vedelle, valolle ja mekaaniselle rasitukselle. Inkjet-tulostukseen suunnitellussa valokuvapaperissa väriaine imeytyy syvemmälle päällysteen sisään. Näin ulompi päällystekerros suojelee väriainetta ja väriaineiden valonkesto paranee. Valokuvapaperille tulostettaessa tulostusjälki on välittömästi tulostuksen jälkeen kuiva, koska uloin päällystekerros absorboi musteen hyvinkin nopeasti. (Hakola. 2002. 26–27)



Kuva 7. Musteen absorptio tavalliseen, päällystettyyn ja inkjet-tulostuspaperiin (Lavery *et al.* 1997, 440)

3 YLEISIMMIN KÄYTÖSSÄ OLEVAT MUSTEENPOISTOMENETELMÄT

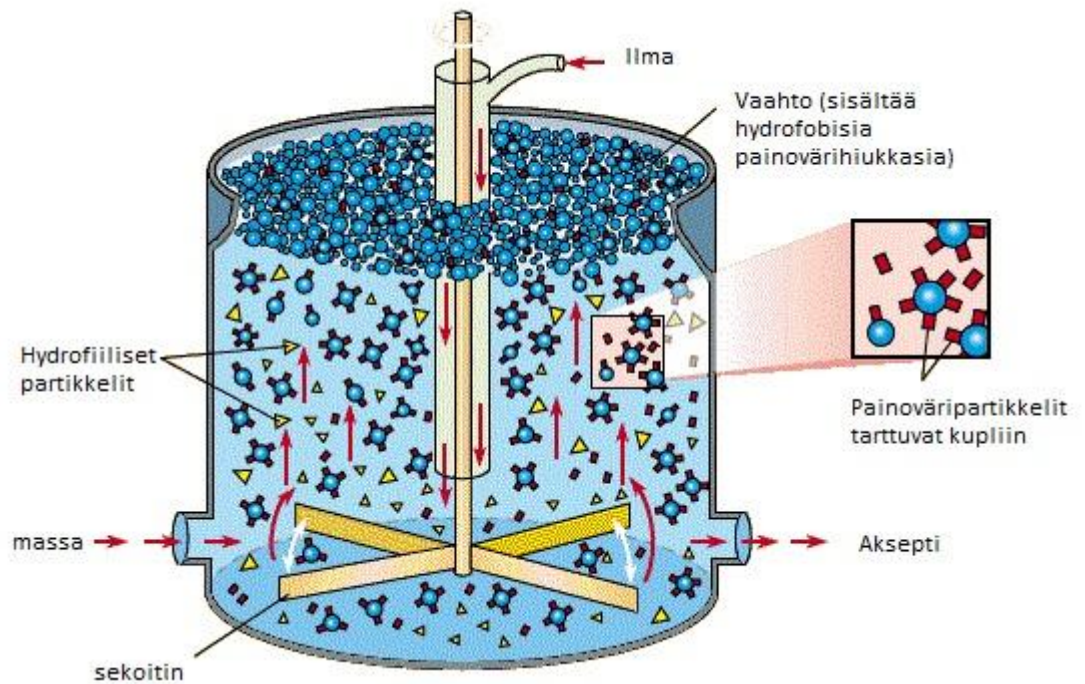
Metsien puuvarojen vähetessä ja alati kasvavan paperin ja paperituotteiden kysynnän vuoksi on teollisuudessa jouduttu kehittämään uusia vaihtoehtoja kuidun tuottamiseksi. Paperin kierrätys on todettu kannattavimmaksi ratkaisuksi tuottaa kierrätyskuitua neitseellisen ensikuidun korvikkeeksi. (Tayed *et al.* 2012, 3837)

Kierrätysmassan raaka-aineeksi sopii käytännössä kaikki, mikä aikaisemmin on ollut paperia tai kartonkia. Keräyspaperi lajitellaan eri luokkiin, jolloin jokaisen luokan paperitekniisiä ominaisuuksia saadaan hyödynnettyä parhaiten uusiopaperin valmistuksessa. Keräyspaperilla on suuri merkitys kartonki- ja paperiteollisuudessa, sillä nykypäivänä keräyspaperin käytön osuus maailman kartonki- ja paperiteollisuuden raaka-aineena on lähemmäs 45 %. (Seppälä *et al.* 2005, 68–69 ; Knowpap, 2011)

Kierrätyspaperin puhdistus- ja musteenpoistoprosessia kutsutaan yleisnimitykseltään siistaukseksi. Siistausprosessin tavoitteena on tuottaa mahdollisimman vaaleaa ja puhdasta uusiomassaa. Painomusteen poisto ja erottaminen uusiomassasta vaatii sekä kemiallisten että mekaanisten menetelmien hyödyntämistä. Yleisimpiä käytössä olevia musteenpoistomenetelmiä ovat vaahdotus-, pesu- ja entsymaattinen siistaus. Suomessa ja muualla Euroopassa yleisimmin käytössä oleva siistausmenetelmä on vaahdotussiistaus. Siistausprosessi on monivaiheinen ja useimmiten siinä käytetään useita kemikaaleja. Ennen siistausta kierrätyspaperi pulpperoidaan, eli hajotetaan pumpattavaan muotoon. Pulperoinnissa massan joukkoon lisätään myös painoväriä erottavia kemikaaleja ja poistetaan karkea rejekti, kuten hiekka, niitit ja muu suurempi jae. (Seppälä *et al.* 2005, 68–69)

3.1 Vaahdotussiistaus

Vaahdotussiistauksessa, eli flotaatiossa, muste erotetaan ilmakuplien avulla. Vaahdotus tapahtuu kennoissa, joissa laimeaan massasulppuun lisätään vaahdotuskemikaaliksi saippuaa ja sulpun joukkoon puhalletaan ilmaa. Hydrofobinen muste tarttuu syntyviin ilmakupliin ja nousee kuplien mukana flotaatiokennon pinnalle. Hydrofiiliset kuidut jäävät massasulppuun. Muste rikastuu vaahtokerrossa ja se poistetaan ylijooksuna. Flotaatiota voidaan edistää pulpperointivaiheessa lisättävillä kemikaaleilla. Flotaatiokennoja voidaan myös asentaa monta peräkkäin, jotta massasta saataisiin poistettua mahdollisimman hyvin painovärit. (Göttsching L. *et al.* 2000, 151–152) Kuvassa 8 on esitetty flotaatioprosessin toimintaperiaate.



Kuva 8. Flotaation periaatekuva (Encyclopedia Britannica)

Jotta muste voidaan poistaa massasta flotaation avulla, on musteen oltava hydrofobista. Myös mustepartikkelikoolla on vaikutusta flotaation onnistumiseen: partikkelit kooltaan 10–100 μm ovat mahdollisia poistaa tehokkaasti flotaation avulla. (Fischer A. 2005, 440)

Flotaatiolla saadaan poistettua vain osa massasulpun epäpuhtauksista, ja menetelmän voidaan sanoa noudattavan montaa eri todennäköisyyssääntöä. Ensimmäiseksi mustepartikkelin täytyy osua ilmakuplaan, jotta se voi kiinnittyä siihen. Tällöin puhutaan osumistodennäköisyydestä. Toiseksi osuessaan ilmakuplaan täytyy mustepartikkelin myös kiinnittyä siihen. Tällöin on kyseessä kiinnittymistodennäköisyys. Mustepartikkelin kiinnittymisen jälkeen partikkelin on myös pysyttävä kiinni ilmakuplassa sen noustessa flotaatioaltaan pintaan. Tällöin puhutaan kiinnipysymistodennäköisyydestä. (Göttsching *et al.* 2000, 153–155)

Flotaation onnistumisen kannalta tarvitaan tietynlaiset kemialliset olosuhteet. Oikeanlaiset kemialliset olosuhteet luodaan erilaisten flotaatiokemikaalien avulla. Tärkeimmät flotaatiokemikaalit ja niiden käyttötarkoitukset on esitetty taulukossa I.

Taulukko I. Tärkeimmät flotaatiokemikaalit (KnowPap, 2011)

Flotaatiokemikaali	Käyttötarkoitus
Natriumhydroksidi, NaOH	Luo saippuaiset olosuhteet ja hajottaa painomusteen sideaineita
Natriumsilikaatti	Estää vapautuneen musteen flokkautumisen uudelleen ja tasaa emäksisyyden. Toimii valkaisuaineen stabilisaattorina.
Vetyperoksidi	Valkaisuaine, joka estää massan kellertymisen.
Saippua	Vaahdotuksen kokoajakemikaali yhdessä kalsiumin kanssa.
Kalsiumsuola	Reagoi saippuan kanssa muodostaen tahmeita hiukkasia.
Pinta-aktiiviset aineet	Edistävät kuitujen kastumista ja sopivan vaahdon muodostumista.

3.2 Pesusiistaus

Pohjois-Amerikassa laajalti käytetty siistausmenetelmä on pesusiistaus, jossa irrotetut mustehiukkaset pestään sulpusta suurten vesimäärien avulla. Pesusiistauksen avulla massasulpusta saadaan puhdistettua pienimmät, alle 30 µm kokoiset partikkelit. Pesu on mahdollista suorittaa yhdessä tai useammassa

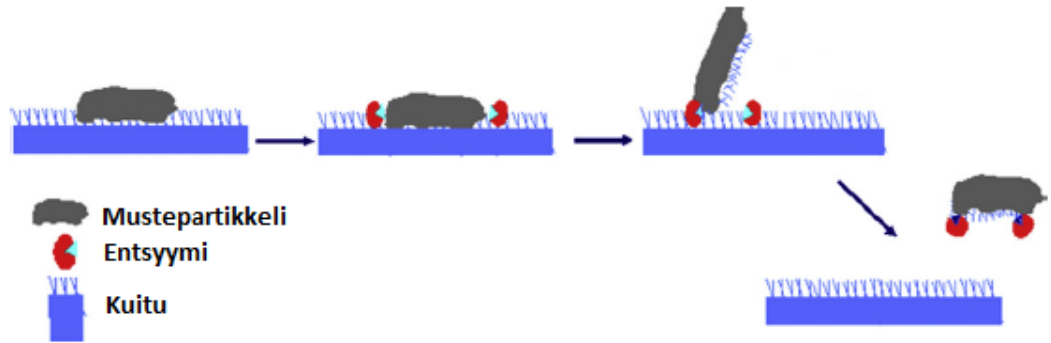
vaiheessa. Kuten flotaation, myös pesusiistauksen tavoitteena on poistaa massasulputta paperivalmistusprosessia haittaavat ja lopputuotteen laatua huonontavat partikkelit. Pesun avulla massasta poistuu niin täyteainetta, päällystyspigmenttiä, hienoainetta, tahmoja kuin mustepartikkeleita. Pesusiistauksen käyttö on nykyään kuitenkin huomattavasti vähentynyt korkean saantohäviön ja erittäin suuren vedenkulutuksen vuoksi. (KnowPap, 2011; Bajpai, 2014)

3.3 Entsymaattinen siistaus

Monet perinteiset siistausmenetelmät vaativat suuria määriä kemikaaleja toimiakseen. Tällöin tuloksena ovat suuret jätevedenpuhdistuskustannukset aina vain tiukentuvien ympäristötavoitteiden saavuttamiseksi. Perinteisistä siistausmenetelmistä syntyy myös huomattavia määriä kiinteää ja nestemäistä jätettä. Jätteiden hävittäminen on ainainen ongelma, ja siistauslaitokset hyötyisivätkin tehokkaammista ja vähemmän saastuttavista prosessivaihtoehdoista huomattavasti. Entsymaattinen siistaus on kehitetty ratkaisuksi edellä mainittuihin ongelmiin. Entsyymillä tarkoitetaan niin sanottua biologista katalyyttia, joka siis nopeuttaa kemiallista reaktiota. (Bajpai *et al.* 1998. 111–112)

Entsymaattisessa siistauksessa voidaan entsyymeinä käyttää muun muassa lipaaseja, esteraaseja, pektinaaseja, hemisellulaaseja, sellulaaseja ja ligninolyttisiä entsyymejä. Perinteisessä siistauksessa mustetta irrotetaan ensin kuitujen pinnasta ja tämän jälkeen muste erotetaan kuitususpensiosta joko pesemällä tai vaahdottamalla. Entsymattisessa siistauksessa entsyymit hyökkäävät joko musteen tai kuitujen pinnalle. Lipaasit ja esteraasit heikentävät erityisesti kasviöljypohjaisia painovärejä. Pektinaasit, hemisellulaasit, sellulaasit ja ligninolyttiset entsyymit muuttavat kuidun pintaa tai sidoksia mustehiukkasten läheisyydessä, jolloin muste vapautuu poistettavaksi pesemällä tai vaahdottamalla. Sellulaasi ja sellulaasi/hemisellulaasi-seokset ovat johtaneet erittäin hyviin siistaustuloksiin ja ne ovatkin tällä hetkellä tehokkaimpia siistausentsyymejä. Entsyymien vaikutukset voivat olla myös välillisiä - poistamalla mikrofibrilliä ja hienoainetta jauhatusta paranevat ja siistausprosessi helpottuu. Kuvassa 9 on

esitetty miten entsyymi reagoi kuidun pinnalla irrottaen siitä mustepartikkelin. (Bajpai *et al.* 1998. 111–112; Höke U. *et al.* 2010. 419)



Kuva 9. Entsyymien käyttäytyminen kuidun pinnalla (BajPai, 2014, 140)

Entsyymien käyttö siistauksessa on aloitettu jo pilot-mittakaavan tehtaissa, joissa tulokset ovat olleet hyvinkin lupaavia. Sitä vastoin entsyymiteknologian potentiaalinen käyttö siistausmenetelmänä puupohjaisille papereille on vielä hieman epäselvää. Tutkimusten perusteella entsyymaattisella siistauksella saadaan aikaan paremmat fysikaaliset ominaisuudet, korkeampi vaaleus sekä alempi jäännösmusteen määrä uusiomassassa kuin perinteisillä siistausmenetelmillä. Entsyymaattinen siistaus voidaan suorittaa niin neutraaleissa kuin emäksisissä olosuhteissa, jolloin kemialliset vaatimukset ovat pienemmät ja massan kellastuminen on vähäisempää. Käytettäessä entsyymaattista siistausta ei siis tarvita niin paljon kemikaaleja, jolloin myös jäteveden käsittelykustannukset saadaan alhaisemmiksi ja yleisesti ympäristönkuormittavuus vähenee. (BajPai, 2014, 150; Höke U. *et al.* 2010. 419)

3.4 Siistattavuuteen vaikuttavat tekijät

Siistattavuudella tarkoitetaan painotuotteen kelpoisuutta siistausprosessiin. Painotuotteen siistattavuuteen vaikuttavat eniten painomenetelmä, painoväriin ominaisuudet ja siistattavan paperin ikä. Painoväriin irtoaminen kuidusta riippuu väriin koostumuksesta, erityisesti sen partikkelikoosta pulperoinnin jälkeen, partikkelien pintaominaisuuksista ja väriaineen vesiliukoisuudesta.

Myös siistauslaitoksella vallitsevat olosuhteet sekä eri laitteistoratkaisut vaikuttavat suuresti paperin siistattavuuteen. Pesusiistauksella voidaan poistaa pienempiä partikkeleita kuin flotaatiosiistauksella. Flotaatiossa musteenpoistoa voidaan parantaa kennon rakennetta muuttamalla ja flotaatioyksiköiden lukumäärää suurentamalla. Siistaukseen menevän sulpun ominaisuuksista erityisesti pH, lämpötila ja kuitutyypit vaikuttavat siistattavuuteen. (Höke U. *et al.* 2010. 91–98, 316–320)

4 INKJET-PAPEREIDEN MUSTEENPOISTOMENETELMÄT

Inkjet-tulostuksessa muste suihkutetaan elektronisesti ohjattujen tulostuspäiden avulla paperin pinnalle. Mustekoostumukset vaihtelevat halutun tulostusjäljen mukaan, mutta useimmiten käytössä ovat vesipohjaiset musteet, joissa on lisäaineena alkoholia. Siistauksen peruserätyksenä on irrottaa hydrofobiset mustepartikkelit hydrofiilisesta selluloosakuidusta. Vesipohjaisesta koostumuksesta johtuen inkjet-muste hajoo hyvin pieniksi partikkeleiksi pulperoinnissa. Hajonneiden partikkeleiden kokoluokka on alle 10 µm ja nämä pienet hydrofobiset partikkelit ovat hyvin hankalia poistaa flotaation avulla, sillä ne eivät kiinnity hydrofobisiin kupliin helposti. Partikkelit jäävät helposti massan sekaan, kiinnittyvät tiukasti kuituihin ja pahimmassa tapauksessa saastuttavat koko siistausprosessin kiertoveden. (Göttsching L. *et al.* 2000, 280–281)

Inkjet-tulostetun paperin määrä on tällä hetkellä kaikesta kierrätyspaperista vielä hyvin pieni, noin 0,5 %. Kuitenkin jopa aivan pienetkin määrät inkjet-mustetta tavallisen siistausmassan joukossa aiheuttavat suuria ongelmia. Inkjet-tulostustekniikan yleistyminen ja sen käytön lisääntyminen tuovat siistauslaitoksille tulevaisuudessakin suuria haasteita saada inkjet-paperit kierrätettyä muun paperin joukossa. Ongelmien ratkaisemiseksi on pyritty kehittämään muun muassa paremmin siistautuvia inkjet-musteita, erilaisia

painopapereita sekä uusia sovelluksia eri siistausmenetelmiin. (Göttsching L. *et al.* 2000, 280–281 ; Whipp. 2011)

4.1 Inkjet-musteenpoisto flotaatiolla

Inkjet-mustepartikkelien hajotessa pulpperoinnissa hyvin pieniksi, jopa alle 10 µm kokoisiksi, ovat ne lähes mahdottomia poistaa flotaation avulla massasta. Mustepartikkelien ollessa erittäin hienoa hiukkaskokoa, kontakti ilmakuplan ja partikkelin kanssa vaikeutuu huomattavasti, mikä johtaa kiinnittymistodennäköisyyden pienenemiseen. Nämä pienet mustepartikkelit kerääntyvät helposti prosessivesiin ja aiheuttavat tällöin värjäytyimiä siistatusmassassa ja heikentävät näin siistaustulosta. (Ben *et al.* 2011. 17–27)

Tähän ongelmaan on kuitenkin kehitelty ratkaisuja suurentamalla mustepartikkeleiden kokoa flotatiokennossa, jolloin myös partikkelit kiinnittyvät todennäköisemmin ilmakupliin. Tutkimuksissa on huomattu polyamiinin olevan kykenevä agglomeroimaan inkjet-mustepartikkeleita. Tähän vaaditaan kuitenkin hyvin neutraalit olosuhteet flotaation onnistumiseksi. Polyamiinin ja neutraalien olosuhteiden yhteisvaikutuksesta flotaatiota inkjet-papereilla onnistuttiin parantamaan lähes 100 %. Myös kaoliinin käyttöä flotaatioreagenssina, joka suurentaisi mustepartikkeleiden kokoa, on tutkittu ja sen on raportoitu toimivan neutraaleissa olosuhteissa kohtalaisesti. (Basilio *et al.* 2011. 311–314)

Siistaustuloksen parantamista erityisesti termisellä inkjet-tekniikalla painettuun paperiin on tutkittu. Muuttamalla flotaation kemiallisia olosuhteita neutraalimmaksi, lisäämällä etoksyloitua rasva-alkoholia ja ionista pinta-aktiivista ainetta flotaation aikana kennoon, on voitu havaita inkjet-tulostetun paperin siistattavuuden parantuvan. Etoksyloitu rasva-alkoholi reagoi musteen ja kuitujen kanssa erottaen ne toisistaan ja se samalla agglomeroi irronneet mustepartikkelit siistattavaan kokoluokkaan. Ioninen pinta-aktiivaine parantaa flotaatiokuplien syntymistä kennossa. Myös alumiinisulfaatin lisääminen flotaatiokennoon parantaa mustepartikkeleiden agglomeroitumista. (Mittlestadt *et al.* 2012. 530–532 ; Ueda *et al.* 2010. 107–111)

4.2 Inkjet-musteenpoisto entsyymaattisella siistauksella

Entsyymaattiset siistausmenetelmät ovat ehkä eniten tutkituimpia menetelmiä inkjet-musteiden poistoon. Musteenpoisto eri entsyymeillä on antanut hyvinkin lupaavia tuloksia. Muun muassa α -amylaasin käyttö siistausentsyyminä inkjet-papereille on todettu toimivaksi. Amylaasin toiminta perustuu siihen, että se heikentää paperin pinnalla olevaa tärkkelyskerrosta. Tärkkelyksen irrottua myös mustepartikkelit irtoavat kuiduista helpommin. Amylaasin reaktio tärkkelyksen kanssa on esitetty kuvassa 10. Amylaasia käytettäessä siistaustulos parantui 50–80 %. Tällöin olisi mahdollista jättää 2-vaiheinen flotaatio pois ja myös siistauksen saanto saataisiin näin suuremmaksi. Yksivaiheinen flotaatio säästäisi myös vedenkulutusta ja pienentäisi näin siistauksen kustannuksia huomattavasti. Lisäksi amylaasi-entsyymi on verrattain halpa muihin markkinoilla oleviin entsyymeihin nähden. (Zollner et al. 1998, 166–170)



Kuva 10. Amylaasi-entsyymin reaktio tärkkelyksen kanssa (BajPai, 2014, 140)

Inkjet-musteiden ja tekstiiliteollisuudessa käytettävien värien rakenne on hyvinkin samankaltainen. Tekstiiliteollisuudessa paljon käytössä olevan värinpoistoentsyymien, lakkaasin, on tutkittu soveltuvan myös inkjet-musteiden poistoon paperiteollisuudessa. Tutkimuksissa lakkaasi toimi siistausentsyyminä erittäin hyvin, antaen hyvän siistaustuloksen. (Nyman *et al.* 2011, 1336–1350)

Suurimmalla osalla siistauksessa käytettävistä entsyymeistä on lähes samanlainen toimintaperiaate: ne irrottavat ensin mustepartikkelit selluloosamatriisista ja tämän jälkeen muste poistetaan joko flotaatiolla tai pesulla. On myös mahdollista, että entsyymi irrottaa mustepartikkelit ja samanaikaisesti valkaisee massaa.

Tällaiseen pystyy tutkimusten mukaan meribakteerista, *Vibrio alginolyticus* ja sen entsyymit. Tämä bakteeri on eristetty merenpohjan sedimenttikerroksista. Bakteerin ja entsyymien yhteisvaikutuksesta on saatu aikaan erittäin hyviä siistaustuloksia. (Mohandass *et al.* 2005. 424–429)

4.3 Muut tavat parantaa inkjet-papereiden siistattavuutta

Myös muilla tavoin kuin muuttamalla jo olemassa olevia siistausmenetelmiä voidaan parantaa inkjet-papereiden siistattavuutta. Tämän hetkinen tutkimus keskittyy erityisesti inkjet-musteiden uusiin koostumuksiin sekä inkjet-painopapereiden rakenteeseen. Erityisesti pigmenttipohjaisille inkjet-musteille löytyy uusia vaihtoehtoja, joilla siistattavuutta saadaan parannettua. Positiivisia tuloksia on saavutettu muun muassa uusilla lähestymistavoilla joiden alkujaan oli tarkoitus parantaa vain tulostettavan kuvan laatua. Yksi tapa on välttää kokonaan vesipohjaisen musteen käyttämistä. Tällöin mustepigmenttipartikkelit agglomeroituvat paperin pintaan ennemmin kuin imeytyvät paperin kuituverkostoon. Tämä voidaan tehdä muuttamalla eri tavalla. Esimerkiksi painopaperi voidaan kastella ennen tulostusta, jolloin paino tapahtuu kostealle pinnalle. Yksi lupaavimmista tavoista on luoda saostuma inkjet-musteesta paperin pinnalle. Väripigmenttipartikkelit voidaan saostaa tutkimusten mukaan esimerkiksi Ca^{2+} -ionien kanssa. (Fischer. 2011. 719–721; Fischer *et al.* 2012. 541–542)

Siistausmenetelmän, jossa painovärihiukkaset hajotetaan ultraäänen avulla, soveltuvuutta eri mustelaaduille on tutkittu ja sen on raportoitu toimivan erityisesti uv-kovettuviin musteisiin. Tutkimuksessa käytettiin uv-musteen poistamiseen hyvin korkea intensiteettistä ultraääntä, taajuudeltaan noin 20 kHz. Vesi- ja liuotinpohjaisiin inkjet-musteisiin tämä menetelmä ei kuitenkaan tutkimuksen mukaan sovellu, koska niiden partikkelikoko on liian pieni ja ne kiinnittyvät liian tiukasti kuituihin. (Manning *et al.* 2004. 21–26)

Massan valkaisu siistauksen jälkeen on myös paljon tutkittu ja huomattu sen toimivan erityisesti dye-värien poistossa. Inkjet-massoilla vaaleus on usein hyvin kriittinen ominaisuus, ja sitä voidaan usein parantaa valkaisulla.

Tutkimuksessa massaa valkaistiin kolmella eri menetelmällä: peroksidi-, hydrosulfiitti- ja otsonivalkaisulla. Tuloksissa huomattiin, että hydrosulfiitti oli näistä paras mahdollinen valkaisukemikaali kaikilla testatuilla dye-musteilla. (DPDA. 2010)

5 MUSTEENPOISTON TULOKSEN ARVIOINTI

Musteenpoisto parantaa erityisesti massan vaaleutta. Tästä syystä optiset ominaisuudet ovatkin tärkeimpiä ominaisuuksia kun musteenpoiston tulosta arvioidaan. Toinen hyvin tärkeä siistausparametri on saanto. (Göttsching *et al.* 2000, 294–295)

5.1 Saanto siistausprosessissa

Siistausprosessin saannon määrittämiseksi on tiedettävä siistaukseen syötetyn kierrätysmassan määrä ja siistauksessa poistettu kiintoainemassa, joka sisältää muun muassa täyteaineita, pigmenttejä, hienoainetta, kuitua, mustepartikkeleita ja tahmoja. Saanto voidaan laskea kaavalla 1:

$$Saanto = \left(1 - \frac{\text{siistauksessa poistettu massa}}{\text{siistaukseen syötetty massa}}\right) * 100\% \quad (1).$$

Yksivaiheisessa flotaatiossa saanto on luokkaa 85–90% riippuen kierrätyspaperin laadusta. Pesusiistauksessa saanto on 75–85%. Kokonaissaanto monivaiheisessa siistausprosessissa riippuu yksinkertaisesti vain flotaatio- ja pesuvaiheiden määrästä. (Göttsching L. *et al.* 2000, 294–295)

5.2 INGEDE Menetelmä 11 ja painotuotteen kierrätettävyys

Siistausteollisuuden kansainvälinen järjestö INGEDE (International Association of the Deinking Industry), on laatinut musteenpoistontuloksen arvioimiseen oman

menetelmänsä, INGEDE Menetelmä 11. INGEDE Menetelmä 11 on kehitetty vertailemaan eri painotuotteiden siistattavuutta ja arvioimaan painotuotteen käytön haasteellisuutta standardoidulla siistauslaitoksella. Menetelmällä simuloidaan laboratoriomittakaavassa kahta tärkeintä siistauksen vaihetta: musteen irrotusta kuidusta ja musteen poistoa siistausjärjestelmästä. Tässä menetelmässä musteenpoiston tuloksen arviointi koostuu viidestä parametrilla, jotka on esitelty kuvassa 11. Kolme ensimmäistä parametria ovat laatuparametreja, ja kuvaavat siistatun massan vaaleutta ja puhtautta. Kaksi muuta parametria ovat niin sanottuja prosessiparametreja. (INGEDE. 2012. 1–13; Höke U. *et al.* 2010. 533–536; Fischer. 2010. 104–106)

Musteenpoiston tavoite	Arvioitavat parametrit	
Korkea heijastus	Siistausmassan kirkkaus Y	Laatuparametrit
Korkea optinen puhtaus	Siistausmassan likapintala A*	
Ei värisävyä	Siistausmassan a* arvo	
Korkea musteenpoisto	Musteenpoisto IE	Prosessiparametrit
Ei värjäymiä kiertovedessä	Suodoksen tummuminen ΔY	

Kuva 11. Musteenpoiston arviointi INGEDE Menetelmä 11 (Höke U. *et al.* 2010. 534)

Testin tulokset muuntuvat pisteytysjärjestelmään, jokaisesta viidestä parametrilla saa siistaustuloksesta riippuen pisteitä ja maksimipisteet ovat tällöin 100. Laatuparametreilla on suuremmat maksimipisteet kuin prosessiparametreilla. Taulukossa II on esitetty miten eri parametrit tuloksissa pisteytetään. Parametri A*, jakautuu vielä kahteen eri likapartikkelikokoon – A₅₀, jolloin partikkelit ovat kooltaan isompia kuin 50µm ja A₂₅₀, jolloin partikkelit ovat isompia kuin 250 µm. (ERPC. 2009, 1–8; Fischer. 2010. 104–106)

Taulukko II. Siistaustulokset maksimipisteet parametreille (ERPC. 2009, 2)

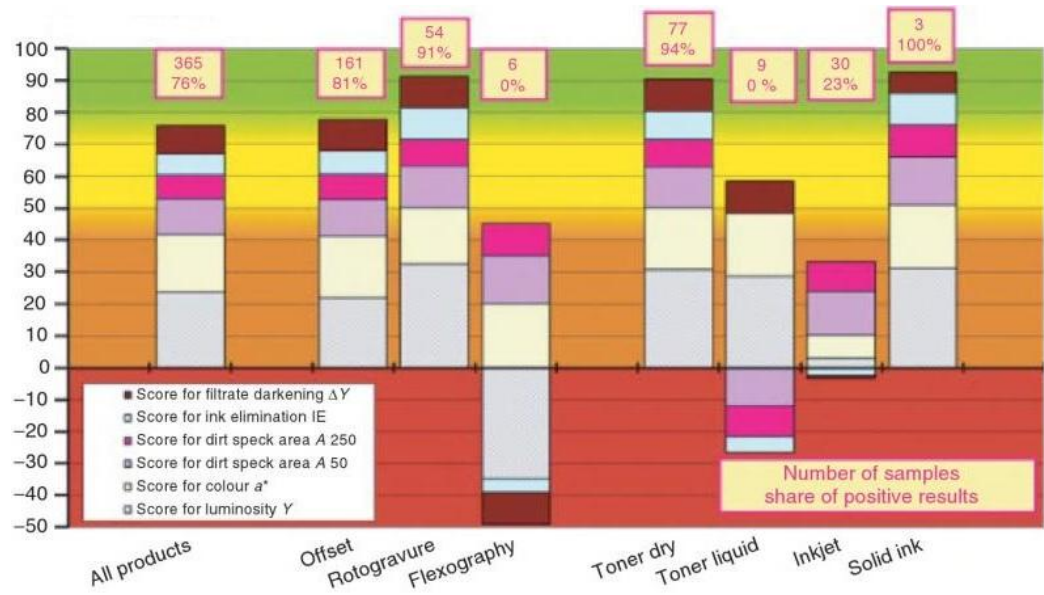
Parametri	Y	a*	A ₅₀	A ₂₅₀	IE	ΔY	Yhteispisteet
Maksimi pisteet	35	20	15	10	10	10	100

Hyvässä siistaustuloksessa arvot Y ja IE ovat korkeat, arvot A ja ΔY ovat alhaiset. Kun kaikkien viiden parametrin tulokset lasketaan yhteen saadaan siistaustulokselle kokonaisarvio. Siistaustuloksen arvio on esitetty taulukossa III. Pisteet väliltä 71–100 antavat parhaimman siistaustuloksen. Mikäli yksi tai useampi parametri saa testeissä negatiiviset pisteet, on painotuote sopimaton siistausprosessiin. On kuitenkin huomioitava, että vaikka painotuote ei läpäisisikään tätä testiä, voidaan tuote usein kuitenkin kierrättää jollain muulla tavoin, esimerkiksi kartonkitehtaalla. (ERPC. 2009, 1–8; Fischer. 2010. 104–106)

Taulukko III. Siistaustuloksen luokittelu (ERPC. 2009, 7)

Pisteet	Siistattavuuden arviointi
71–100	Hyvä
51–70	Kohtuullinen
0–50	Huono
negatiivinen	Ei sovellu siistaukseen

Kuvassa 12 on esitetty eri painomenetelmillä painettujen paperien siistattavuutta. Tyypillisesti inkjet-paperit eivät läpäise testiä, tai saavat arvioinnissa erittäin huonot pisteet. Nykyään hyviä tuloksia antavat uudet paremmin siistautuvat inkjet-musteet sekä erikoispaperit, jotka on tarkoitettu inkjet-tulostukseen. (Holik. 2013. 75-76)



Kuva 11. Siistattavuus eri painopaperi-laaduille (Holik. 2013. 75–76)

6 YHTEENVETO

Inkjet-tulostustekniikka on ollut käytössä jo melko pitkään niin kotitalouksissa kuin teollisuudessakin. Inkjet-musteet ovat kuitenkin aiheuttaneet paljon ongelmia uusiomassan valmistuksessa, sillä ne eivät ole siistattavuudeltaan hyviä musteita. Inkjet-musteet ovat useimmiten vesipohjaisia ja hajoavat koostumuksensa vuoksi siistauksen esikäsittelevävaiheessa hyvin pieniksi partikkeleiksi. Partikkelit ovat kokoluokaltaan alle 10 μm , joten ne eivät siistaudu perinteisiä siistausmenetelmiä käyttäen. Nämä pienet partikkelit kiinnittyvät hyvin tiukasti kuituihin ja jäävät massan sekaan.

Inkjet-papereiden musteenpoistoon on täytynyt kehittää perinteisten siistausmenetelmien rinnalle uusia tai perinteisiä menetelmiä on paranneltu. Flotaatiossa inkjet-mustepartikkeleiden kokoa suurennetaan eri kemikaalien avulla flotaatiokennossa, jolloin mustepartikkelit kiinnittyvät todennäköisemmin ilmakupliin. Tutkimukset ovat osoittaneet, että muuttamalla flotaation kemiallisia olosuhteita neutraalimpaan suuntaan, saadaan inkjet-papereiden siistattavuus paranemaan huomattavasti. Erityisesti entsyymattista siistausta on paljon tutkittu inkjet-papereiden musteenpoiston parantamiseksi. Käytettäessä entsyymejä voidaan vähentää muun muassa suurien kemikaalimäärien käyttöä siistauksessa. Entsyymit käyttäytyvät jokainen hieman omalla tavallaan siistausprosessissa, mutta peruseriaatteena on, että ne hyökkäävät joko musteen tai kuitujen kimppuun ja heikentävät niiden välisiä sidoksia. Inkjet-papereille soveltuvia entsyymejä on monia ja niiden tutkiminen tulee tulevaisuudessa varmasti myös jatkumaan. Erityisesti α -amylaasi ja lakkaasi ovat antaneet hyviä tuloksia siistattavuudelle. Siistattavuutta voidaan parantaa myös inkjet-musteiden uusilla koostumuksilla sekä papereiden uusilla rakennevaihtoehdoilla.

7 LÄHDELUETTELO

Bajpai P., Bajpai P. K. 1998. Deinking with enzymes: a review. *Tappi Journal* vol. 81, no. 12, Dec. 1998, p. 111–117.

Bajpai P. *Recycling and deinking of recovered paper*. 2014. 1st edition. Elsevier Insights. 304 sivua. ISBN 978-0-12-416998-2

Basilio C. I., Sheppard S. W. 2011. Deinking of inkjet-printed paper using a reagent based on modified kaolin. *TAPPI PEERS 2011 Conference*, 2–5 Sept. 2011, p. 311–314

Ben Y., Dorris G. 2011. Is deinkability of inkjet prints an issue? *Tappi J.* vol. 10, no. 10, Oct. 2011, p. 17–27

DPDA. 2010. Slide presentation from the PTS Deinking Symposium April 27-29, 2010. [viitattu 8.03.2014] Saatavissa:
http://thedpda.org/sites/thedpda.org/files/PTS_%20Deinking_Pres_04-10.pdf

Encyclopedia Britannica, [viitattu 8.03.2014] Saatavissa:
<http://www.britannica.com/>

European Recovered Paper Council, ERPC. Assessment of printed product recyclability, Deinkability test. [viitattu 19.02.2014] Saatavissa:
<http://www.paperforrecycling.eu/publications/erpc-publications>

Fischer, A. 2010. Advances in Deinking and Deinkability of Inkjet inks. *NIP26: 26th international conference on digital printing technologies*, Austin, TX, USA, 19–23 Sept. 2010. p.104–106

Fischer, A. 2005. Can digital prints be recycled? *NIP21: international conference on digital printing technologies*, Baltimore, USA, 18–23 Sept. 2005, p. 440–441

Fischer, A. 2011. Recent developments in the deinking of inkjet and liquid toner. *NIP27: 27th international conference on digital printing technologies*, Minneapolis, MN, USA, 2–6 Oct. 2011, p.719–721

Fischer A., Hanecker E. 2012. New deinkable water based inkjet inks. NIP 28th International Conference on Digital Printing Technologies and Digital Fabrication 2012, Quebec, Canada, 9–13 Sept. 2012, p. 541–542

Göttsching L., Pakarinen H. 2000. Recycled fiber and deinking. Papermaking Science and Technology. Book 7, 1st edition. Fapet Oy. Jyväskylä. 649 sivua. ISBN 952-5216-07-1

Hakola L. 2002. Mustekoostumuksen vaikutus inkjet-tulostusjälkeen. Teknillinen korkeakoulu. 97 sivua.

Holik H. 2013. Handbook of Paper and Board. Second, Revised and Enlarged Edition. Volume 1. Wiley. Saksa. 450 sivua. ISBN 978-3-527-33184-0

Höke U., Schabel S. 2010. Recycled fiber and deinking. Totally updated. Papermaking Science and Technology. Book 7, 2nd edition. Bookwell Oy. Porvoo. 671 sivua. ISBN 978-952-5216-40-0

Ikonen J. 2004. Drying of ink in inkjet printing. Diplomityö. Lappeenrannan teknillinen yliopisto. 119 sivua.

International Association of the Deinking Industry, INGEDE. 2012. Method 11, Assesment of print product recyclability, Deinkability test. 13 sivua.

Karhuketo H., Seppälä M. J., Törn T., Viluksela P. 2004. Paperin ja kartongin jalostus. Jyväskylä. Opetushallitus. 219 sivua. ISBN 952-13-1999-2

Kipphan H., Printing Technologies without a Printing Plate (NIP Technologies), Handbook of Print Media, Apringer-Verlag Heidelberg, Saksa, 2001, p.676–758.

Lavery, A., Provost, J. *Color-Media Interactions in Ink Jet Printing*. Proceedings of the IS&T's NIP 13:1997 International Conference on Digital Printing Technologies. Washington, Yhdysvallat, 1997. p. 437–442.

Le, H. P. *Progress and Trends in Ink-jet Printing Technology*. The Journal of Imaging Science and Technology 42(1998)1, päivitetty 31.3.2000 [viitattu 25.8.2013]. Saatavissa: <http://www.imaging.org/ist/resources/tutorials/inkjet.cfm>

Magdassi, S. 2010. *The Chemistry of Inkjet Inks*. Singapore: World Scientific. 358 sivua.

Manning A. N., Thompson R. C. 2004. De-inking of thick film UV-cured coatings using high intensity ultrasound. *Surface Coatings International Part B: Coatings Transactions* vol. 81, issue 1, February 2004, p. 21–26

Mittlestadt L. S., Ng. H. T., Bhattacharyya M. K., Zhang W. 2012. Deinking of Thermal Inkjet Newsprint. NIP 28th International Conference on Digital Printing Technologies and Digital Fabrication 2012, Quebec, Canada, 9–13 Sept. 2012, p.530–532

Mohandass C., Raghukumar C. 2005. Biological deinking of inkjet-printed paper using *Vibrio algiolyticus* and its enzymes. *J Ind Microbiol Biotechnol* (2005) 32. p. 424–429

Nyman K., Hakala T. 2011. Decolorization of inkjet ink and deinking of inkjet-printed paper with laccase-mediator system. *BioResources* vol. 6, no. 2, May 2011, p.1336–1350

Oittinen P., Saarelma H. 2009. *Print Media – Principles, Processes and Quality. Papermaking Science and Technology*. Book 13, 2nd edition. Gummerrus Oy. Jyväskylä. 563 sivua. ISBN 978-952-5216-33-2

Seppälä M. J., Klemetti U., Kortelainen V.-A., Lyytiköinen J., Siitonen H., Sironen R. 2005. *Paperimassan valmistus*. Jyväskylä. Opetushallitus. 196 sivua. ISBN 952-13-1142-8.

Svanholm E. 2007. *Printability and Ink-Coating Interactions in Inkjet Printing*. Väitöskirja. Karlstad University. Faculty of Technology and Science Chemical Engineering. 49 sivua.

Tayed S. A. H. M., Latibari A. J., Tajdini A., Sepidehdam S. M. J. The Influence of pulp refining of de-inking potential and strength properties of ink jet printed paper. *BioResources* vol. 7, no. 3. 2012, p.3837–3846.

Ueda Y., Tanaka N., Takahashi H. 2010. Attempts to improve the deinkability of ink jet inks. NIP26: 26th international conference on digital printing technologies, Austin, TX, USA, 19-23 Sept. 2010. p.107-111

VTT, Pronowledge Oy, KnowPap 13.0, Paperitekniikan ja automaation oppimisympäristö [LUT:n intranetissä]. Saatavissa: Intranet LUT:n sisäisessä käytössä, vaatii salasanan. [Viitattu 25.1.2014]

Whipp, M. 2011. De-inking inkjet in spotlight after European conferences. Printweek 14. Nov. 2011. [viitattu 22.2.2014]. Saatavissa: <http://www.printweek.com/print-week/news/1122974/-inking-inkjet-spotlight-european-conferences>

Zollner H. K., Schroeder L. R. 1998. Enzymatic deinking of nonimpact printed white office paper with α -amylase. Tappi Journal, March 1998, vol. 81, no.3. p. 166-170