

Lappeenrannan teknillinen yliopisto

LUT Kemia

Kandidaatintyö

Paperin spraypäällystys

4.1.2013

Antti Karhu 0295953

Sisältö

1. Johdanto	2
2. Päälystysmenetelmien kehitys	3
3. Spraypäälystykseen tekniikka	5
3.1 Suuttimet korkeapaineisessa spraytekniikassa	5
3.2 Vaihtoehtoja korkeapainespraylle	8
3.3 Paperin spraypäälystys.....	10
3.3.1 Paperin spraypäälystykseen 1. ja 2. vaihe	10
3.3.2 Paperin spraypäälystykseen 3. ja 4 vaihe	12
4. OptiSpray	14
5. Päälystyspastan ominaisuudet	17
5.1 Kaoliinin käyttö spraypäälystyspastassa	19
6. Pohjapaperin ominaisuudet.....	21
7. Paino-ominaisuudet.....	23
8. Spraypäälystykseen käyttökohteet	25
8.1 Sprayn käyttö muualla kuin päälystyksessä	25
9. Johtopäätökset	26

1. Johdanto

Paperia on päällystetty jo vuosikymmeniä ja kuten kaikessa teollisuudessa, myös puunjalostuksessa pyritään yhä suurempiin tuotantomääriin mahdollisimman pienin kustannuksin. Tekniset kehitysaskleet ovat nostaneet koneiden nopeuksia vuosien saatossa kymmenistä metreistä minuutissa tuhansiin ja päällystyspастоjen kiintoainepitoisuuksien nousu on pienentänyt kuivaukseen käytettävän energian tarvetta.

Uusien teknisten sovellusten joukosta on nousemassa terä- ja filmipäällystimien työnjatkajaksi spraypäällystys, joka lupaa yhä korkeampia ajonopeuksia päällystyskoneille samalla vaatien vähemmän pohjapaperilta. Vaikka uuden tekniikan käyttöönotossa esiintyviltä haasteilta ei ole spraypäällystyksen tapauksessa välttytty, ovat tutkimustulokset olleet lupaavia niin pilot- kuin tehdasmittakaavassakin.

Spraypäällystyksen ideana on suihkuttaa päällystyspasta suoraan pohjapaperille oikean paksuisena, tasaisena kerroksena ja kuivata se ilman suoraa kontaktia paperiin. Tämä mahdollistaa pohjapaperin raaka-aineissa säästämisen, koska kallista armeerausmassaa voidaan vähentää terä- ja filmipäällystyksen verrattuna.

Spraypäällystystä on kehitelty 90-luvun alkupuolelta saakka ja ensimmäinen Metso Paperin toimittama OptiSpray oli käytössä vuodesta 2003 Saksassa Albrückin tehtaassa sen sulkemiseen saakka.

Tässä työssä esitellään paperin spraypäällystyksen soveltuvaa tekniikkaa sekä yleistä sprayteknologiaa ja teoriaa sen taustalla. Lisäksi käydään läpi pohjapaperilta vaadittuja ominaisuuksia ja käsitellään spraypäällystyksen sopivan pastan koostumusta.

2. Päälystysmenetelmien kehitys

Paperin ominaisuuksiin voidaan vaikuttaa päälystämällä se. Paperin jalostusarvon ja sitä myötä rahallisen arvon nostaminen päälystämällä on vanha keksintö ja aluksi se tehtiin niin sanotulla ilmaharjatekniikalla. Siinä pyrittiin puhaltamaan paperin pinnalta ilmavirran avulla ylimääräinen päälystyspasta pois ja näin saamaan tasapaksu päälystysjälki. Ilmaharjapäälystyksellä päästiin kuitenkin ainoastaan noin 200 m/min nopeuksiin. [1]

1950-luvulla kehitettiin teräpäälystys, jossa paperiradalle applikoitiin päälystyspasta erilaisilla teloilla ja radassa kiinni oleva terä kaapi pois ylimääräisen pastan. Näin saatiin aikaan tasapintainen päälystekerros ja päälystysaseman nopeus saatiin nostettua tasolle 600 m/min. Seuraavien kahden vuosikymmenen aikana teräpäälystystä kehitettiin korvaamalla applikointisauva syöttösäiliöllä tai ruiskuttamalla päälyste radalle ja siirtämällä applikointi melkein kiinni terään. Muun muassa näillä kehitysaskelilla saatiin nopeus nostettua tasolle 1800 m/min. Teräpäälystyksellä voidaan kuitenkin päälystää yhdellä kertaa ainoastaan paperin toinen puoli, jonka jälkeen rata täytyy kuivata ennen mahdollista toisen puolen päälystystä. [1]

Teräpäälystysen suurimmat haasteet liittyvät terän paperiin kohdistamiin voimiin. Teräpäälystys vaatii paperin lujuusominaisuuksilta paljon ja varsinkin matalan neliömassan papereilla ratakatoja on paljon ja niiden johdosta tuotantotehokkuus kärsii. [1] Päälystekerroksen paksuus myös vaihtelee paperin paksuuden mukaan käytettäessä teräpäälystintä siten, että ohuempiin kohtiin tulee enemmän päälystyspasta. Tämä voi aiheuttaa painatusvaiheessa blisteringiä, joka tarkoittaa painomusteen kupruilua haihtuvan veden jäädessä loukkuun liian paksun ja tiiviin päälystekerroksen ja painomusteen väliin. [2]

Seuraava merkittävä askel päälystysen kehittämisessä saatiin pintaliimauksen puolelta kun tärkkelyksen lisäämiseen tarkoitettua lammikkopäälystimestä

kehitettiin filmipäälystys 1980-luvulla. Siinä pintaliima tai päälystyspasta lisätään kahden telan pintaan sauvoilla tai terillä ja sen jälkeen paperirata kulkee telojen välisestä nipistä ja saa molemmille puolilleen päälystekerroksen. [1]

Filmipäälystys ei rasita paperia samalla tavalla kuin teräpäälystys ja sillä saadaan aikaan tasaisempi päälystekerros. Pienempi mekaaninen rasitus mahdollistaa pohjapaperissa säästämisen, koska siihen ei tarvita niin paljon kallista pitkäkuituista sellua eli niin kutsuttua armeerausmassaa. Lisäksi paljaita kuituja ei jää näkyviin. [1] Filmipäälystysasema vie myös huomattavasti vähemmän tilaa kuin samaan tehtävään vaadittavat kaksi teräpäälystysasemaa kuivaimineen [2].

Filmipäälystyksellä päästään nopeuteen 2000 m/min, jonka jälkeen pastakerroksen halkeamisesta johtuva sumuaminen alkaa häiritä prosessia liikaa [1]. Toinen ongelmien lähde suurissa nopeuksissa on radan hankala kontrollointi sen poistuessa nipistä. Rata saattaa yrittää seurata toista telaa joko koko leveydeltä tai reunoilta aiheuttaen epätasaista päälystysjälkeä ja ratakatkoja. [2]

Seuraava askel päälystyksessä voisi olla kontaktiton päälystys, joita ovat spray- ja verhopäälystys. Spraypäälystyksessä päälyste sumutetaan tasaiseksi kerrokseksi paperin pintaan ja kuivataan. Verhopäälystyksessä pasta valutetaan leveänä nauhana alitse kulkevan paperiradan päälle. [1] Spraypäälystyksen etuna on molempien puolien yhtäaikainen päälystys, jota ei verhopäälystyksellä voida toteuttaa [3].

Kontaktittoman päälystyksen yleistymisen esteenä on uusien tekniikoiden omaksumisen hitaus ja paperinvalmistusalan huono taloudellinen tilanne yhdistettynä uusien investointien kalleuteen. Lisäksi filmipäälystymien nopeuksia on onnistuttu nostamaan ajan kuluessa eivätkä ne muodosta vakavaa pullonkaulaa samaan aikaan rakennetuissa paperikoneissa. Koneen muiden osien nopeuksien jatkuvasti noustessa tilanne muuttunee.

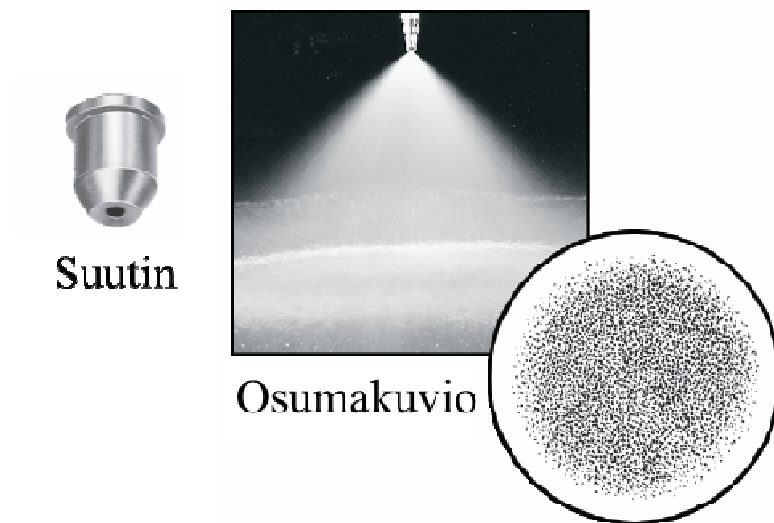
3. Spraypäällöstyksen tekniikka

Spraypäällöstyks ei itsessään ole uusi idea vaan sitä on käytetty esimerkiksi autojen maalaamisessa jo vuosikymmeniä. Korkeapaineisen spraypäällöstyksen ideana on suihkuttaa päällöstepasta tai muu neste suurella paineella tietyn tyyppisen suuttimen läpi. Tavoitteena on saada aikaan mahdollisimman pienistä pisaroista koostuva säännöllisen muotoinen suihku. Suihkutuksessa voidaan joko syöttää pelkkä neste suuttimen läpi tai käyttää esimerkiksi ilmaa tai höyryä apuaineena. [4]

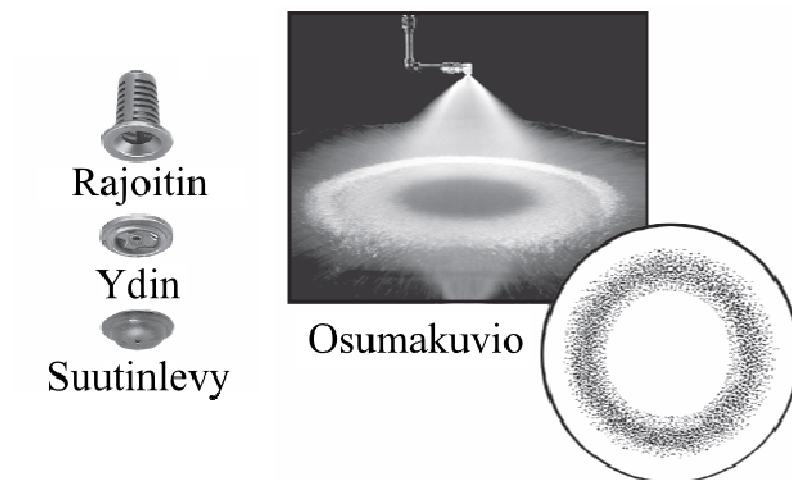
3.1 Suuttimet korkeapaineisessa spraytekniikassa

Erilaisiin tarkoituksiin on saatavilla lukuisia suuttimia, joilla voidaan vaikuttaa osumakuviin, eli jälkeen jonka se jättää päällöstyttävälle pinnalle. Suuttimet jaetaan osumakuviin mukaan muun muassa täyskartio-, ontokartio- ja viivasuuttimiin. Korkeapainesuuttimet voidaan jaotella kahteen ryhmään myös pisaroitumismekanismin perusteella. Pisaroituminen voidaan saavuttaa joko pelkästään suutingeometrialla ja nostamalla nesteen painetta riittävästi. Toinen vaihtoehto ovat kaksoissyöttösuuttimet, joissa käytetään apuaineena ilmaa tai höyryä. Erilaiset osumakuviot ovat valitavissa riippumatta pisaroitumisen mekanismeista. [5]

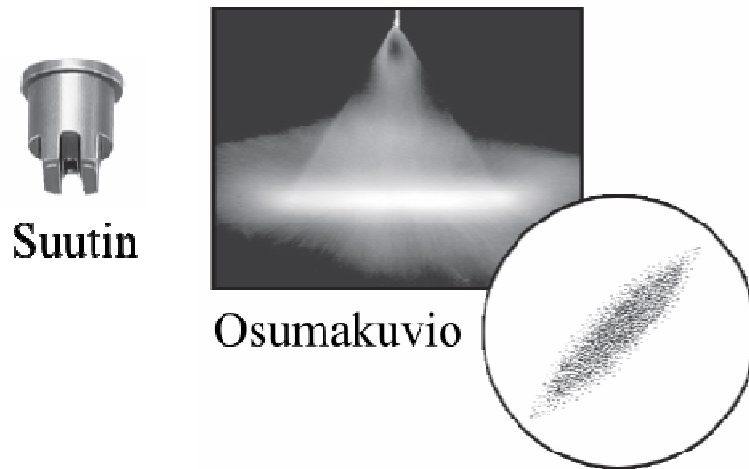
Kuvissa 1-3 on esitelty osumakuvioineen täyskartiosuuttimen (1), ontokartiosuuttimen (2), viivasuuttimen (3) rakenteet. Kuvassa 4 on esitelty osumakuviot tasoitetusta viivasuuttimesta sekä pistemäisestä suuttimesta, joista molemmat ovat viivasuuttimen erikoistapauksia. Tasoitetussa viivasuuttimessa on leikattu viivasuuttimen ellipsimäisestä osumakuvioista osa pois suutingeometrialla ja pistemäisessä suuttimessa viiva on säädetty todella lyhyeksi eli viuhkan leviämiskulma on 0 astetta.



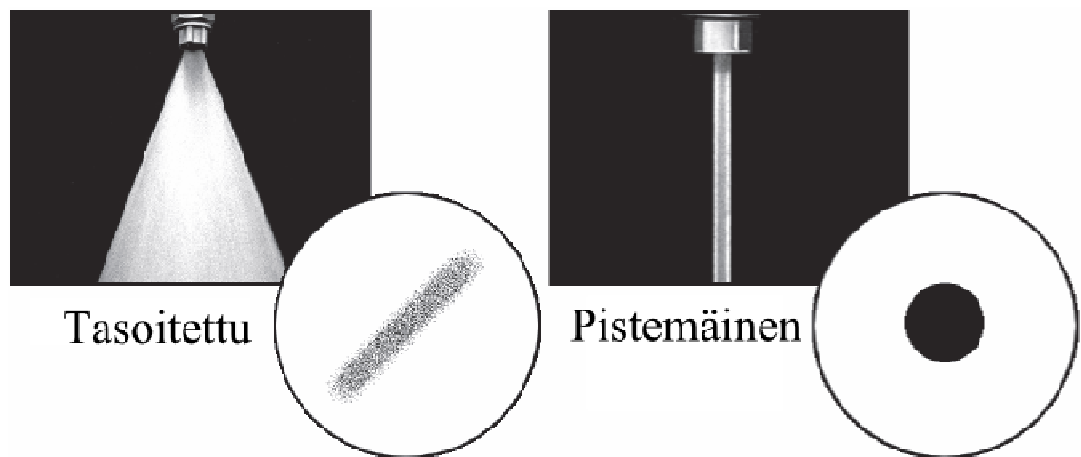
Kuva 1. Täyskartiosuutin ja sen osumakuvio [5]



Kuva 2. Onttokartiosuutin ja sen osumakuvio [5]



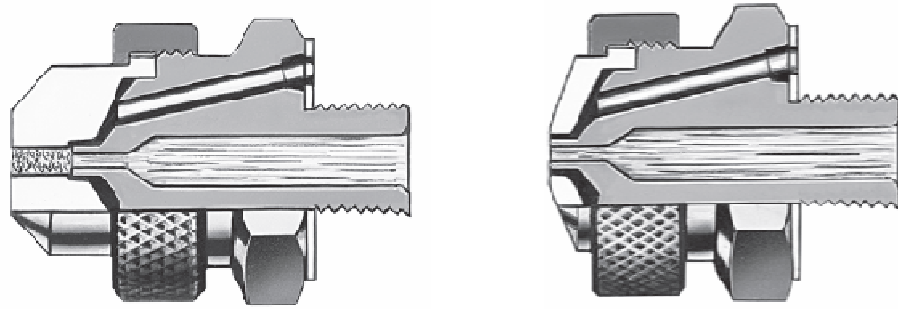
Kuva 3. Viivasuutin ja sen osumakuvio [5]



Kuva 4. Tasoitetun viivasuuttimen ja niin sanotun 0-kulmasuuttimen tai pistesuuttimen osumakuviot. [5]

Ilman tai höyryn käyttäminen apuaineena mahdollistaa nesteen käsittelyn matalammilla paineilla joskin se puolestaan vaatii erillisen laitteiston apuaineen paineistamiseen ja käsittelyyn. Kuvasta 5 nähdään, kuinka kaksoissyöttösuuttimissa apuaine voidaan tuoda pisarointiprosessiin joko suuttimen sisällä tai vasta nesteen poistuessa suuttimesta. Sisäinen sekoitus tuottaa paremman pisaroitumisen kun taas ulkoinen sekoitus mahdollistaa apuaineen ja nesteen toisistaan erilliset hallinnat. Sisäisessä sekoituksessa käytettävän ilmamäärän nostaminen suurentaa myös

suuttimesta purkautuvan nesteen määrää kun taas ulkoisessa sekoituksessa ilmamäärää voidaan kasvattaa nesteen määrästä riippumatta. Apuaineen ja nesteen määrien suhteeseen vaikuttamalla voidaan säädellä esimerkiksi pisaroiden kokoa. [5]



Sisäinen sekoitus

Ulkoinen sekoitus

Kuva 5. Kaksoissyöttösuuttimen poikkileikkaus. Suuttimen reunoille tuleva musta osuus on apuaineen kanava. [5]

3.2 Vaihtoehtoja korkeapainespraylle

Nesteen johtaminen korkealla paineella suuttimen läpi on ehkä helpoimpia tekniikoita saada se pisaroitumaan, mutta muitakin tekniikoita on kehitetty toisten alojen tarpeisiin. Esimerkiksi ultraäänispraypäälylystä voidaan hyödyntää lääketeollisuudessa tablettien pinnoittamiseen ja elektroniikkateollisuudessa piirilevyjen nopeassa valmistuksessa samoin kuin se soveltuu tietynlaisien kalvojen valmistukseen pyrolyysillä. [6, 7, 8]

Ultraäänellä saadaan aikaan nesteen pisaroituminen johtamalla neste ohuena filminä pinnalle, jota täristetään piezosähköisesti ultraäänitaajuuksilla. Jokainen tärähdys ikäänkuin heittää filmin pisaroiksi pinnasta pois päin. Tärähdysten välillä nestefilmin tulisi ehtiä peittää koko pinta tasaisesti, muuten tuloksena on epätasainen sumu. Paras tulos saadaan kun taajuus on sama kuin pinnan ominaistaajuus; tällöin saadaan aikaan resonanssia, joka suurentaa pinnan värähtelyn amplitudia ja täten parantaa pisaroitumista. [6]

Ultraäänipäälylyksessä saadaan hitaasti liikkuva hyvin hienojakoinen pulssimainen sumu, jonka hallinta on kuitenkin haastavaa. Usein tarvitaan erillinen ilmavirta, jota hallitsemalla saadaan pisarasumu haluttuun muotoon ja kuljetettua se tarvittavaan kohteeseen. Pisarasumun muotoon voidaan myös vaikuttaa värähtelevä pinnan muotoilulla, koska pisaroiden lähtösuunta on aina kohtisuoraan värähtelevän pinnan tasoa vastaan. Suuttimet joudutaan säätämään yksi kerrallaan, koska minimaalisista vaihteluista johtuen jokaisen suuttimen resonanssitaajuus on yksilöllinen massatuotannosta huolimatta. [6]

Hienojakoinen sumu olisi paperin päällystämisen kannalta toivottavaa, mutta pisaroiden alhainen nopeus yhdistettynä suurella nopeudella liikkuvan paperiradan aiheuttamaan ilmavirtaan muodostaisi varmasti hyvin haastavan yhdistelmän. Lisäksi vaadittavan päällystemäärän käsittelyyn suuttimia pitäisi olla suuri määrä, mikä puolestaan nostaisi hintaa ja tekisi niiden säätämisestä sekä hallinnasta hankalaa.

Kaikissa spraysovelluksissa syntyvän sumun hallinta on otettava huomioon, sillä vapaana leijailleva hienojakoinen päällystyspastasumu likaisi koko prosessiympäristön ja todennäköisesti aiheuttaisi ratakatkoja ja muita ongelmia. Autojen maalauksessa kyseinen ongelma on ratkaistu eristämisen ja ylimääräisen sumun pois imemisen lisäksi käyttämällä hyväksi sähkövarauksia. [9]

Maaliruiskusta lähtevät maalipartikkelit varataan sähköisesti kun taas auton kori on varattu vastakkaisella varauksella tai maadoitettu. Sähköstaattiset voimat vetävät tällöin maalipartikkelit auton pintaan niiden joutuessa riittävän lähelle. [9] Samaa tekniikkaa voitaisiin hyödyntää paperia päällystettäessä. Kuiva paperi tosin on eriste ja prosessissa esiintyvät staattiset sähkövaraukset todennäköisesti tekisivät paperiradan maadoittamisesta hankalaa.

3.3 Paperin spraypäälylysty

Spraypäälylysty voidaan jakaa karkeasti neljään erilliseen vaiheeseen. Ensimmäinen on luonnollisesti pastan saattaminen pisaroiksi. Toisessa vaiheessa pisarat osuvat paperiin ja leviävät jonkun verran jäljellä olevan nopeuden vaikutuksesta. Kolmas vaihe on veden siirtyminen päälylysteainepisarasta paperiin, sen aiheuttama paperin kastuminen ja sitä myötä pisaran leviäminen. Neljännessä vaiheessa pasta kuivuu siihen pisteeseen, että päälylystekerros asettuu lopulliseen muotoonsa. [3]

3.3.1 Paperin spraypäälylystyksen 1. ja 2. vaihe

Vaikka spraytä on käytetty pitkään maalaussovelluksissa, ei pisaroitumisprosessia ymmäretä kovinkaan hyvin. Mekanismi on monimutkainen ja olosuhteissa, suuttimissa, rakenteessa sekä nesteiden ominaisuuksissa on suuria eroja riippuen käyttökohteesta. Maalausteollisuuden tarpeisiin on kehitelty yhtälöitä kuvaamaan pisaroiden kokoa eri muuttujien funktiona, mutta ne eivät välttämättä ole käyttökelpoisia paperiteollisuudessa pääasiassa päälylystepastan ja maalien koostumuksen eroavaisuuksien takia. [4] Spraypäälylystyksen kuvaamista hankaloittaa erityisesti pastan ei-newtonilainen luonne ja korkea pigmenttipartikkelipitoisuus [3].

Lateksipitoisten nesteiden pisaroiden kokojakaamaa spraysovelluksissa kuvaamaan on kuitenkin pyritty kehittämään numeerinen menetelmä. Yhtälöstä 1 nähdäänkin, miten monimutkaisesta asiasta on kyse. [4]

$$\text{SMD}/d_h = 5.5 [\sigma\eta_e^4/(\rho_A d_h^3 \Delta p^2)]^{0.25} + 2.0[\sigma\rho_L/\rho_A d_h \Delta p]^{0.25} \quad (1)$$

Jossa: SMD = Sauterin keskimääräinen pisarakoko
 σ = Lateksin pintajännitys
 η_e = Lateksin viskositeetti

ρ_A = Ilman tiheys

ρ_L = Lateksin tiheys

d_h = Suuttimen halkaisija

Δp = Paine-ero suuttimen yli

Suuri kuiva-ainepitoisuus ja usein pastassa käytetyt paksuntajat nostavat pastan viskositeettia ja siten suurentavat pisaroita. Viskositeetin nousuun voisi vastata suurentamalla painetta ja pienentämällä suuttimien aukkojen kokoa. On kuitenkin huomattu, että pastan viskositeetin tulee olle alle 100 mPas. [3]

Pisaroitumisen periaatteena on käyttää energiaa nesteen pinta-alan nostamiseen. Käytännössä tämä tarkoittaa, että bulkkifaaseissa olevan nesteen pintajännitys voitetaan ja siitä saadaan aikaan pieniä pisaroita. Mitä pienempi pintajännitys nesteellä on, sitä vähemmän työtä pisarointi vaatii. Tarvittava energia voidaan laskea käyttämällä kaavaa 2. Spraypäälystyksessä tarvittava energia tuodaan systeemiin painetta nostamalla. Pintajännitykseen voidaan vaikuttaa usein nostamalla lämpötilaa tai erityisillä pinta-aktiivisuutta lisäävillä aineilla. [10]

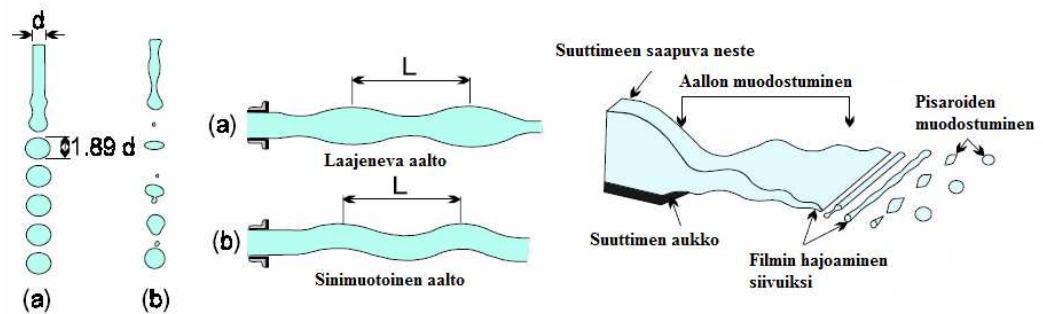
$$E_a = \sigma \Delta A \quad (2)$$

Jossa: E_a = Pisaroitumiseen tarvittava energia

σ = Nesteen pintajännitys

ΔA = Nesteen pinta-alan kasvu

Hyvin pieni määrä nestettä muodostaa pallomaisen muodon, koska silloin pintaenergia on pienimmillään. Spraypäälystyksessä pasta pakotetaan suuttimessa filmiksi, joka jatkaa laajenemistaan viuhkamaisena. Ilmaan osuessaan pastafilmi pisaroituu Rayleigh-aaltoteorian mukaan kuvan 6 osoittamalla tavalla. [10]

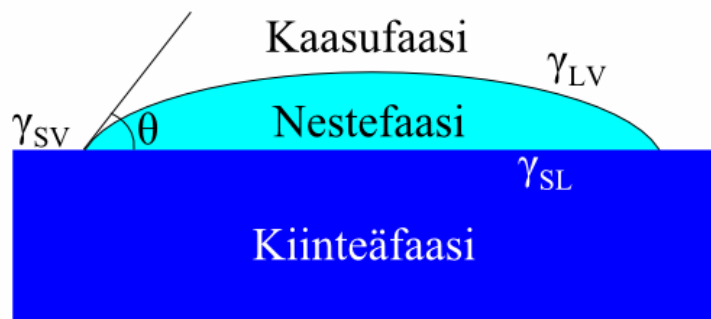


Kuva 6: Pastafilmin pisaroituminen Rayleigh-aaltoteorian mukaan [3]

Tutkittaessa yksittäisten pisaroiden paperille jättämän jäljen kokoa on voitu laskea, että suurin osa pisaroista on halkaisijaltaan välillä $40\ \mu\text{m} - 70\ \mu\text{m}$. Toinen tapa tutkia pisaroita on laserdiffraktion avulla ja sillä saadut tulokset osoittavat, että pisaroiden keskimääräinen koko on noin $40\ \mu\text{m}$ ja suurin osa on välillä $20\ \mu\text{m} - 90\ \mu\text{m}$. [4]

3.3.2 Paperin spraypäällystyksen 3. ja 4 vaihe

Pisaroiden säde jää kuitenkin toivottua päällystekerrosta paksummaksi, joten pisaran täytyy levitä paperille osumisen jälkeen. Kiinteälle pinnalle putoava pisara leviää kunnes saavutetaan tasapaino pisaran nestefaasin, pinnan kiinteän faasin ja ympäröivän kaasufaasin välille kuvan 7 osoittamalla tavalla. Tämä tasapainotila ja siitä seuraava pisaran kontaktikulma voidaan laskea kaavalla 3 kun tiedetään osallistuvien aineiden (päällystepasta, paperi ja ympäröivä ilma) pintaenergiat. [10]



Kuva 7: Nestepisaran ja kiinteän alustan välinen kontaktikulma [10]

$$\cos \theta = \frac{\gamma_{SV} - \gamma_{SL}}{\gamma_{LV}} \quad (3)$$

Jossa: θ	=	Kontaktikulma
γ_{SV}	=	Rajaenergia kiinteä/kaasu pinnassa
γ_{SL}	=	Rajaenergia kiinteä/neste pinnassa
γ_{LV}	=	Rajaenergia neste/kaasu pinnassa

Kyseinen tilanne ja yhtälön käyttäminen edellyttäisivät, ettei pisarasta siirry nestettä kiinteään faasiin ja pisaralla on aikaa levitä tasapainotilan määräämään muotoon. Tämä ei kuitenkaan yleensä toteudu paperin päällystyksessä.

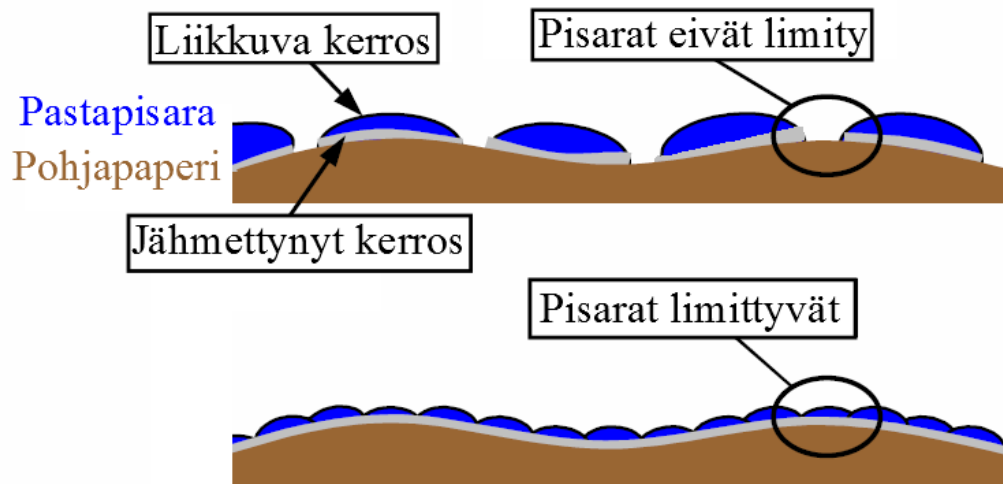
Pisaran lopulliseen muotoon vaikuttaa paperin kastuminen. Mikäli pisara pystyy kastelemaan paperia, se leviää laajemmaksi, koska kiinteän pinnan kastuminen vaikuttaa pintaenergioiden suhteeseen. Mutta mikäli paperi vastustaa kastumista eli se on riittävän hydrofobinen, jää pisara paperin pinnalle pysyväksi ja sen levittäminen laajemmaksi vaatii ulkopuolista energiaa. [10]

Pastan pisarointiprosessissa täytyykin käyttää niin paljon energiaa, että saadaan pisaroitua neste, kuljetettua pisarat paperille asti ja voitettua paperin vastus kastumiselle. Mikäli energiaa ei riitä viimeiksi mainittuun, jää pisaroista päällystekerrokseen korkeampia kohtia. [10]

Pyrittäessä hyvään päällystekerrokseen täytyy pyrkiä siihen, että pisaroilla olisi aikaa levitä ja yhdistyä ennen kuivumista. Tämä voidaan saavuttaa säätämällä pohjapaperin ja päällystepastan ominaisuuksia. Tärkeintä on hidastaa veden siirtymistä päällysteainepisarasta paperiin, ettei kuivuminen tapahdu liian nopeasti. Täten

pohjapaperin tulisi imeä vettä mahdollisimman hitaasti, kun taas pastan vesiretention pitäisi olla korkea. [1]

Käytännön kokeissa on kuitenkin huomattu, että pisarat eivät juurikaan leviä paperille osumisen jälkeen, koska pastan nestemäinen komponentti imeytyy suoraan paperiin eikä muodosta filmiä paperin pinnalle, jossa pigmentit voisivat levittäytyä. [4] Ongelma on suurin matalilla päällystemäärillä ja pienillä kuiva-ainepitoisuuksilla. Esimerkiksi applikoimalla alle 15 g/m^2 päällystettä paperin yhdelle puolelle ja kuiva-ainepitoisuuden ollessa alle 50% on lähes mahdotonta saada aikaan täysin tasaista päällystejälkeä, sillä liikkumaton kerros muodostuu melkein välittömästi. Tässä tilanteessa olisi ihanteellista saada aikaan niin tasainen peitto pienillä pisaroilla, ettei leviämistä tarvittaisi kuten kuva 8 esittää. [3]



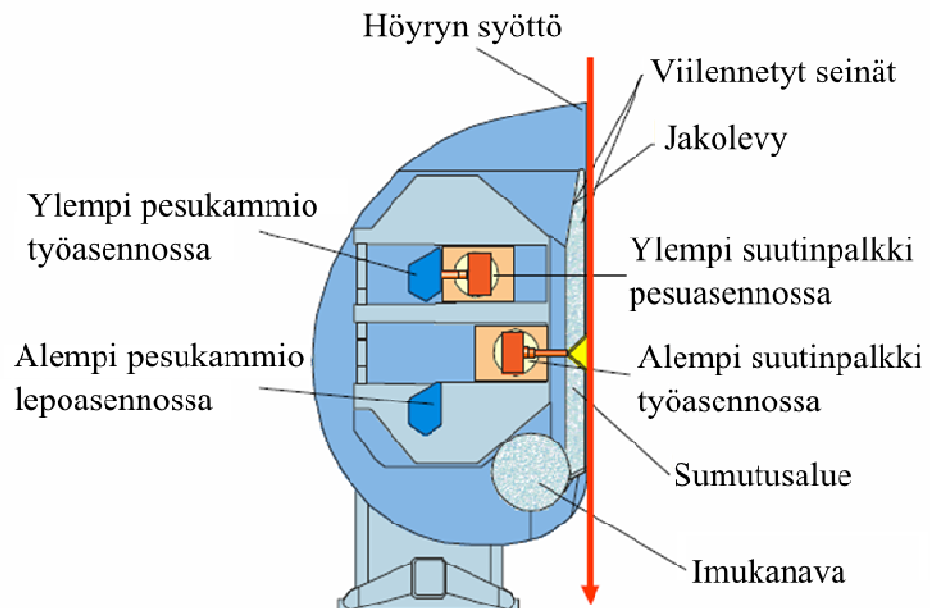
Kuva 8: Erikokoisten pastapisaroiden levittäytyminen paperin pinnalle [3]

4. OptiSpray

Metson OptiSpray on ensimmäinen tuotantovalmis spraypäällystystä hyödyntävä konsepti. Sitä on kehitelty 90-luvun alkupuolelta ja tähän mennessä ainut tuotannossa

oleva laitteisto oli asennettuna Albrückin tehtaille Saksassa. OptiSprayllä pystytään päällystämään paperin molemmat puolet samanaikaisesti, joten se kilpailee suoraan filmipäällystyksen kanssa. [10]

OptiSprayssä paperirata kulkee päällystysaseman läpi ylhäältä alas kuten kuvassa 9 on esitetty. Pystysuora konfiguraatio on valittu, koska päällystimen pinnoille väistämättä kerääntyvä pasta tippuisi pisaroina radan yläpinnalle mikäli paperi kulkisi vaakatasossa. Käyttöön on valittu ilmaton korkeapainetekniikka. Korkea paine mahdollistaa viskoosien nesteiden pisaroitumisen ja huolehtii suuttimien puhtaana pysymisestä matalapainesovelluksia paremmin. Ilmattoman ratkaisun valinnalla vältetään suurien ilmamäärien käsittelyltä. Päällystyspasta paineistetaan monimäntä- eli säteittäismäntäpumpulla, jolla kyetään saavuttamaan tarvittava erittäin korkea paine. [10]



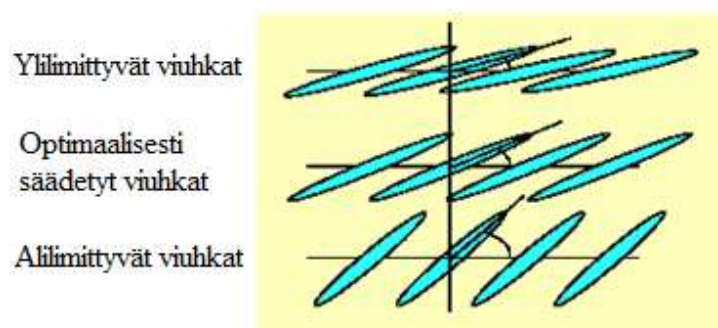
Kuva 9: Metso Paperin OptiSpray laitteen halkileikkaus ja toimintaperiaate [3]

Kaikissa päällystyksissä pastan kertyminen rakenteisiin on ongelma. Ylhäältä alas kulkeva paperirata helpottaa ylimääräisen päällysteen keräämistä takaisin kierto.

Paperin mukana kulkeutuva päällystesumu ja laitteen pintoja pitkin valuvat kertymät voidaan poistaa samaa imukanavaa käyttäen päällystimen alaosasta. Imukanavassa esiintyvä voimakas turbulenssi estää pastan kuivumisen pitäen kanavan puhtaana käytön aikana. Lisäksi laitteen sisäseinät ovat jäähdetyttyjä ja pinnoille tiivistyvä kosteus estää pastan kuivumisen. [10]

OptiSpray on suunniteltu jatkuvaan käyttöön ilman tuotantoa keskeyttäviä huoltotoimia. Siinä on molemmilla puolilla paperirataa kaksi suutinpalkkia, joista toinen on vuorollaan käytössä. Kun suuttimet alkavat likaantua, siirtyy toinen suutinpalkki toimintaan ja likaantunut vetäytyy taaksepäin ja kääntyy puhdistettavaksi. [10] Suutinpalkki täytyy vaihtaa noin viikon välein, mutta sen vaihto vie vain minuutin. Täten huoltoväli on pidempi kuin terillä tai sauvoilla ja lisäksi se voidaan tehdä tavallisen tuotantotauon lisäksi esimerkiksi konerullan vaihdon yhteydessä. [11]

OptiSprayn kussakin suutinpalkissa on riveissä lukuisia 0,3 mm suuttimia 6 cm välein [11], joiden läpi pasta syötetään 70 – 200 barin paineella. Haluttua päällystemäärää voidaan säätää painetta muuttamalla ja käyttämällä vain osaa suutinriveistä. Pasta pisaroituu aiemmin mainittujen prosessien kautta ja muodostaa viuhkan. Viuhka ei ole täysin tasainen koko alaltaan, joten suuttimet on aseteltu kuvan 10 tapaan siten, että vierekkäiset viuhkat menevät limittäin, jotta jokaiseen kohtaan osuu kaksi viuhkaa. Näin saadaan koko paperin leveydeltä tasainen päällyste. [3]



Kuva 10: Limittäin asettuvien sprayviuhkojen periaate [1]

OptiSprayn vahvuuksia on myös pienempi tilantarve verrattuna kilpaileviin tekniikoihin. Teräpäälytys vaatii kaksi erillistä asemaa kuivauksineen ja filmipäälystinkin on suurehko. [1] Lisäksi OptiSpray voidaan asentaa konetason lisäksi kerrosta alemmas, jolloin esimerkiksi koneen päivityksissä voidaan saavuttaa merkittäviä säästöjä [12]. OptiSprayn päälystysnopeudet ovat tällä hetkellä jopa 2500 m/min päälystemäärän ollessa 5-20 g/m² paperin yhdellä puolella [3].

5. Päälystypastan ominaisuudet

Yleisesti paperin päälystykseen käytetty pasta koostuu pigmentistä, joka on usein kalsiumkarbonaattia, kaoliinia tai talkkia sekä pastan sideaineena käytetystä lateksista ja lisäaineista, joilla säädellään esimerkiksi pastan vaahtoamista, happamuutta ja pigmenttipartikkeleiden dispergoitumista. Päälystypastaresepti kirjoitetaan siten, että aineiden määrä ilmoitetaan prosentteina pigmenttien kokonaismäärästä. Täten pigmenttien määrä on aina 100 ja jos lateksia on 12 % pigmentin määrästä, sitä ilmoitetaan olevan 12 osaa. [13]

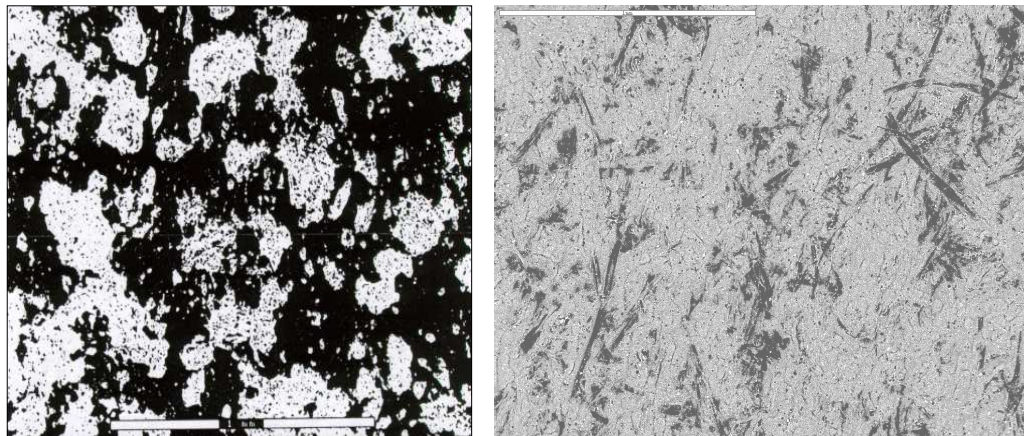
Merkitsevimpiä ominaisuuksia spraypäälystyksessä käytettävälle pastalle on selkeästi viskositeetti. Kokeissa on havaittu, että Brookfield viskositeetin pitää olla alle 100 mPas (viskosimetrin pyörimisnopeuden ollessa 100 rpm ja käytettäessä karaa nro. 4). Brookfield-mittari käyttää matalia leikkausvoimia, mutta myöskään korkeammilla leikkausvoimilla viskositeetti ei saa nousta korkeaksi. [4]

Tällä hetkellä parhaat tulokset spraypäälystyksessä on saavutettu käyttämällä pelkästään kalsiumkarbonaattia päälystypastan pigmenttinä. Lateksin määrää on jouduttu hieman lisäämään, jotta spraypäälystetyn paperin pintalujuus saadaan vastaamaan muilla menetelmillä saavutettuja ljujuuksia. Tavallisessa LWC-pastassa on 12 osaa lateksia, kun taas spraypäälystyksessä jouduttiin aluksi käyttämään 14 osaa. Kuitenkin pastan koostumusta ja pohjapaperin ominaisuuksia optimoimalla päästiin kokeissa 12 osan tasolle ja on odottevissa, että sitä saataisiin pudotettua vielä lisääkin.

[4]

Paras peittävyys saavutetaan, kun spraypäälystyspastalla on pieni matalien ja korkeiden leikkausvoimien viskositeetti sekä mahdollisimman suuret vesiretentio ja pintaenergia. Suuri pintaenergia tosin saattaa huonontaa päälysteen pienen mittakaavan tasaisuutta. Käyttämällä hieman matalampia kiintoainepitoisuuksia saadaan aikaan parempaa päälystysjälkeä, koska matala kiintoainepitoisuus tuottaa pienempiä pisaroita. Toisaalta se nostaa kuivatukseen tarvittavan energian määrää. [4]

Pastan vesirention pitäisi olla hyvä, etteivät sidosaineet karkaa välittömästi paperiin. Retentioon vaikutetaan tavallisissa pastoissa lisäämällä kiintoainepitoisuutta tai erillisillä ”paksuntajilla” eli vesirentiokemikaaleilla. Kiintoainepitoisuuden nosto kuitenkin kuluttaa suuttimia, tekee spraystä epätasaisemman sekä nostaa viskositeettia ja näin ollen huonontaa päälystysjälkeä. Kuvassa 11 näkyy viskositeetin vaikutus päälystysjälkeen. Viskositeetin nousu pisaroitumisen kannalta liian korkeaksi (yli 100 mPas) estää myös perinteisten vesirentiokemikaalien käytön. Taulukossa I on esitetty päälystyspastan oleellisten ominaisuuksien vaikutus spraypäälystysprosessiin. [4]



Kuva 11: Pastan viskositeetin vaikutus spraypäälystysprosessin lopputulokseen. Vasemmalla liian suuri viskositeetti ja oikealla sopiva viskositeetti [4]

Taulukko I: Pastan ominuuksien vaikutus spraypäällistykseen [4]

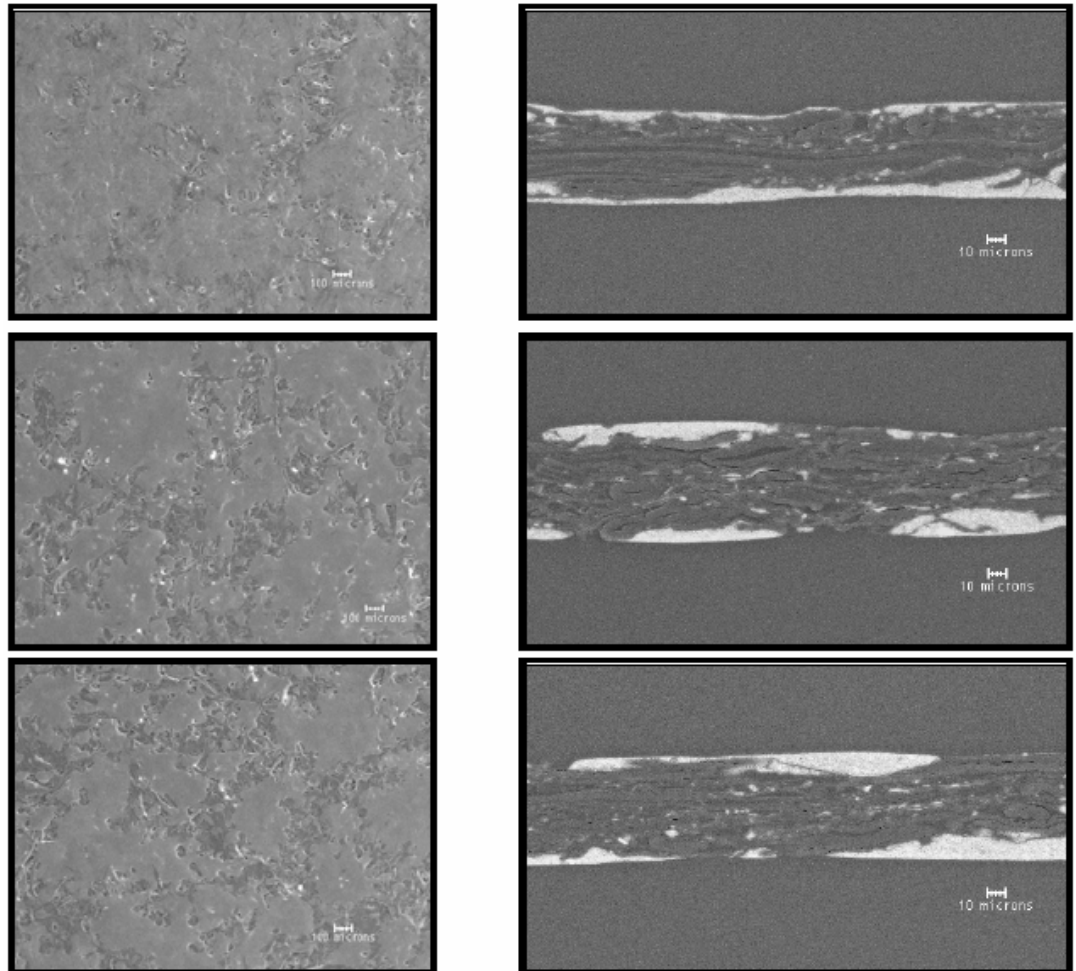
	Suutinten kuluminen	Pisarakoko	Peittokyky	Rakeisuus	Kiilto	Sileys
Korkea paine	-	+	+	-/+	-/+	-/+
Suuri kiintoainepitoisuus	--	-	-	--	++	+
Suuri pintajännitys	-/+	-	-/+	-	-/+	-/+
Leveä pigmenttikokojakauma	-/+	+	-/+	+	+	-/+
Korkea lämpötila	-/+	+	+	+	-/+	-/+
Suuri Brookfield viskositeetti	+	---	--	---	+	-/+
Suuri korkeiden leikkausvoimien viskositeetti	-/+	-	-/+	-	-/+	-/+

5.1 Kaoliinin käyttö spraypäällistyspastassa

Tällä hetkellä spraypäällistyksessä käytetään lähes yksinomaan kalsiumkarbonaattipastoja. Kaoliinin käyttöä spraypäällistyspastoissa puolustaa sen tuoma vesiretention nousu ja lopputuotteelle saavutettava parempi kiilto. [14]

Tärkein syy kaoliinin käytön vähyteen on sen levymäinen muoto, joka aiheuttaa suuttimien nopeampaa kulumista ja tukkeutumista. Kokeissa huomattavat sprayviuhkan muodon vaihtelut ovat mahdollisesti seurausta suuttimien osittaisesta tukkeutumisesta. Lisäksi on havaittu ongelmia peittävydessä ja painojäljen laadussa. [14]

Kaoliinipitoisten pastojen on huomattu jakautuvan paperille huomattavasti pelkästään kalsiumkarbonaattia sisältäviä epätasaisemmin kuten kuva 12 selkeästi esittää [14].



Kuva 12: Kalsiumkarbonaattipastaan kaoliinin lisäämisen vaikutus päällystystulokseen. Pastan pigmenteistä kaoliinia: ylhäällä 0%, keskellä 5% ja alhaalla 10% [14]

Tutkimuksissa on huomattu, että muokkaamalla pastan ominaisuuksia on mahdollista käyttää kaoliinia jopa 30/70 suhteessa karbonaattiin. Suuret kaoliinipitoisuudet vaativat pigmenttien tarkkaa valintaa, sillä niihin vaaditaan pienen muotokertoimen partikkeleita. Suurempi muotokerroin puolestaan nostaisi vesiretentiota enemmän. Muotokerroin kuvaa partikkelin levyäisyyttä eli mitä suurempi on kerroin sitä suurempi on partikkelin pinta-ala suhteessa sen paksuuteen. [14]

Tukkeutumis- ja kulumisongelmien jälkeen suurin hankaluus tällä hetkellä on kaoliinipitoisten pastojen vaatima alhaisempi kiintoainepitoisuus. Matala kiintoainepitoisuus lisää kuivauksessa tarvittavaa energiaa ja näin huonontaa

tuotannon hyötysuhdetta. [14]

6. Pohjapaperin ominaisuudet

Perinteisissä päällystysmenetelmissä pastaa saadaan pohjapaperin huokosiin ja epätasaisuuksiin paperiradan ja telojen, tai terän, välissä esiintyvien suurien hydrostaattisten voimien avulla. Vaikka pisaran osuminen paperin pintaan suurella nopeudella aiheuttaakin nimellisen hydrostaattisen voiman, niin voidaan sanoa, että spraypäällystyksessä ei esiinny ko. voimia. [3]

Koska spraypäällystyksessä ei ole läsnä suuria ulkopuolisia voimia, täytyy päällystyspastan sitoutumista pohjapaperiin kontrolloida paperin ja pastan ominaisuuksilla. Pastan täytyy pysyä kiinni pohjapaperissa, muuten päällystekerros voi pahimmillaan irrota tahmeiden painovärien vaikutuksesta. Täten pastan sideaineiden täytyy imeytyä paperin huokosiin ja juuri huokoisuus onkin pohjapaperin tärkeimpiä ominaisuuksia. [4]

Päällysteen pigmenteistä ei toisaalta juuri ole hyötyä, jos ne pääsevät paperin sisäosiin. Näin ollen paperin huokosten, pastan sideainekomponenttien ja pigmenttipartikkelien koot ovat oleellisia. On huomattu, että mikäli huokosen halkaisija on vähemmän kuin 2-3 kertaa lateksipartikkelin halkaisija, menee se riittävän nopeasti tukkoon ja pigmentit eivät pääse syvemmälle. Luonnollisesti myös päällystepartikkelit pystyvät tukkimaan huokosia. Tämä selittää suurien kiintoainepitoisuuksien pastojen hyvän kiillon ja peiton. [4]

Hieno- ja täyteaineita lisäämällä saadaan huokosten kokoa pienennettyä ja näin estettyä pigmentin pääsy paperin sisäosiin. Liian pienet huokokset toisaalta aiheuttavat ongelmia liian nopean veden imeytymisen muodossa. Veden liian nopea imeytyminen paperiin johtaa sideainekomponenttien siirtymiseen z-suunnassa lähemmäs paperia ja jättää päällysteen pintakerroksen heikoksi, mikä johtaa pölyämiseen. [3, 4]

Päällystekerroksen kuivuminen pysäyttää sidosaineiden liikkumisen. Nykyisillä suurilla koneiden nopeuksilla päällystekerros saavuttaa immobilisaatiopisteen hyvin nopeasti, joten sideainekomponenttien liikkumiseen ei jää juurikaan aikaa. Veden siirtyminen paperiin on kuitenkin niin nopeaa, että se muodostaa spraypäällystyksessä ongelman. [4] Kuten kappaleessa 5 todettiin, ei ongelmaa voida ratkaista lisäämällä retentiokemikaaleja pastaan tai kasvattamalla kuiva-ainepitoisuutta. Nämä asiat yhdessä tarkoittavat, että pastasta paperiin imeytyvän veden siirtymisnopeutta pitäisi pystyä hallitsemaan juuri paperin huokoisuudella ja huokosten koolla.

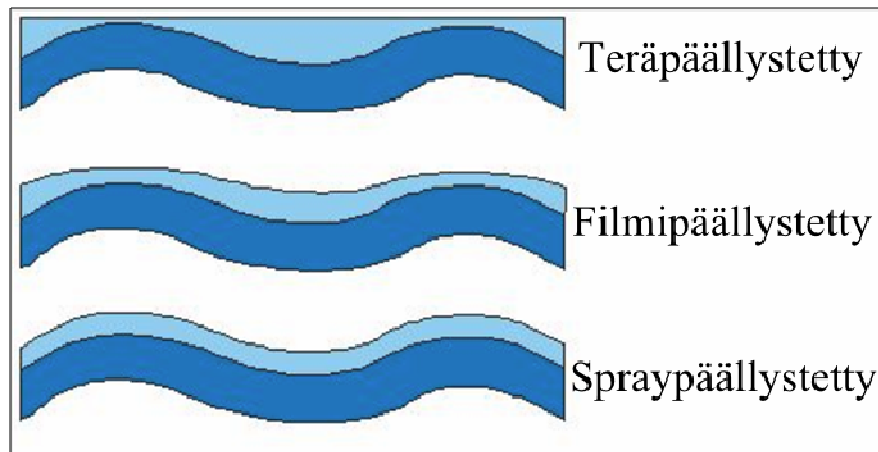
Monia, jo käytössä olevia, pohjapaperilajeja pystytään päällystämään spraylla ja kokeissa on huomattu, että tavalliset LWC- ja HFC-lajeihin käytetyt pohjapaperilajit käyvät hyvin spraypäällystyksenkin. Paperin mekaanisella kestävyydellä ei ole spraypäällystyksessä niin suurta merkitystä kuin terä- tai filmipäällystyksessä. Näin ollen voidaan saavuttaa säästöjä vähentämällä kallista pitkäkuituista sellua eli niin sanottua armeerausmassaa. [4]

Sanomalehtipaperi sopi kokeissa huonosti spraypäällystyksen, koska sen pinnan karheus on käytetystä kuituseoksesta johtuen niin suuri, ettei spraypäällystyksellä saada peitettyä sitä. Heikosti sprayllä päällystettäviksi soveltuvat myös SC laadut, joiden suuri määrä pieniä huokosia johtaa juurikin aiemmin kuvattuihin ongelmiin pinnan pölyämisen ja epätasaisen painojäljen kanssa. [4]

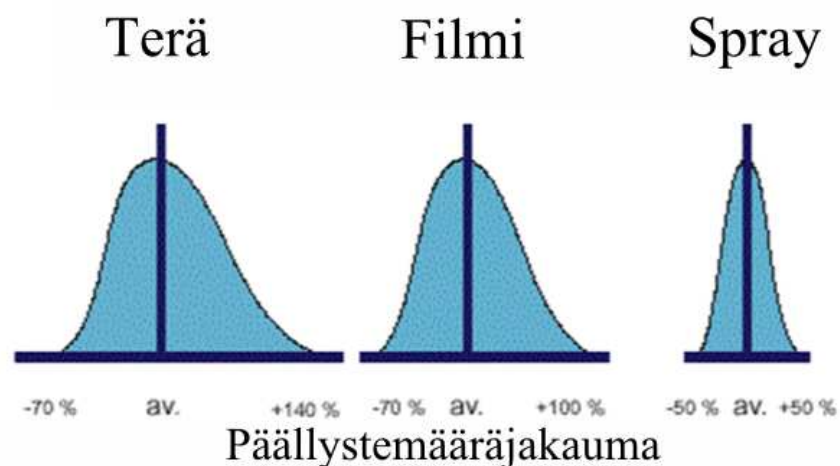
Pohjapaperitesteissä pintaliimaus havaittiin välttämättömäksi painamisen kannalta. Ilman pohjapaperin pintaliimauksen tuomaa hydrofobisuutta vesi imeytyy liian nopeasti ja aiheuttaa sideaineiden paon päällysteen pinnasta. Liiallinen pintaliimaus puolestaan johtaa päällysteen kiinnittymisongelmiin, joten on suositeltavaa etsiä sopiva taso tapauskohtaisesti. [4]

7. Paino-ominaisuudet

Verrattuna terä- ja filmipäällystykseseen, spray tuottaa tasapaksumman päällystekerroksen. Teräpäällystys täyttää paperin epätasaisuuDET, joten ohuempiin kohtiin tulee enemmän pastaa kun taas paksuimmat kohdat voivat pahimmillaan jäädä kokonaan paljaaksi. Filmipäällystyksellä saadaan hieman tasaisempaa jälkeä, mutta siinäkin on havaittavissa päällystemäärän vaihtelua paperin paksuuden mukaan. Koska spraypäällystyksessä pasta suihkutetaan paperin pintaan eikä mekaanista räsitusta synny, saadaan aikaan tasaisempi päällystemääräjakauma kuten kuvasta 13 huomataan. [10]



Kuva 13: Päällystekerroksen laatu eri päällystysmenetelmillä [10]



Kuva 14: Päällystemääräjakauma eri päällystysmenetelmillä [10]

Kuvan 14 havainnollistama muita pienempi päällystemäärän jakauma vähentää mottlingia, joka esiintyy tasaisten väripintojen tummuusvaihteluna ja ”pilvisyytenä”. Spraypäällystetyssä paperissa on myös vähemmän kuitujen karhentumista sekä opasiteetti ja kirkkaus ovat samalla tasolla verrattuna kilpaileviin tekniikoihin kuten taulukko II esittää. Lisäksi päällystekerroksen huokoisuus sallii suuremmat kosteudet painatuksessa ilman huolta blisteringistä. Huokoisuus lisää hieman painomusteen tarvetta, mutta toisaalta se helpottaa musteen jäämistä paperille, mikä on painatuksessa tärkeää. [2]

Taulukko II: Eri metelmillä päällystetyjen papereiden optiset ominaisuudet kalanteroinnin jälkeen [3]

Ominaisuus	Terä	Filmi	Spray
Neliömassa (g/m ²)	62,0	66,0	66,0
Päällystemäärä (g/m ²)	10,0	9,0	9,0
Kiilto, Hunter 75 (%)	65/70	51/57	48/53
Sileys, PPS-s10 (µm)	1,05	1,34	1,43
Kirkkaus UVlla (%)	75,9	76,9	76,5
Opasiteetti (%)	91,1	91,6	90,6

On esitetty, että spraypäällystetyn paperin hieman pienempi opasiteetti johtuisi hydrostaattisten voimien puutteesta. Spraypäällystyksessä pigmenttipartikkelit jäävät pääasiassa paperin pinnalle kun taas opasiteetin kannalta olisi tärkeää saada optisia rajapintoja paperin sisään. [4] Optinen rajapinta syntyy kun paperin läpi kulkeva valo joutuu kulkemaan väliaineesta toiseen kuten ilmasta kuituun tai kuidusta pigmenttipartikkeliin. Jokaisessa rajapinnassa osa valosta siroaa ja näin ollen paperin läpinäkyvyys vähenee. [13]

Taulukosta II huomataan, että sileydessä spraypäällyste jää kilpailijoista jälkeen, koska se koostuu pienistä pisaroista eikä sitä varsinaisesti tasoiteta millään lailla. Myös aidosti paperin muotoja seuraava päällyste huonontaa sileyttä. Pintalujuudessa

laboratoriomittaukset ovat antaneet spraypäälystetylle paperille muita menetelmiä parempia arvoja, mutta käytännön painokokeet osoittavat toisin. Ainakin matalilla päälystemäärillä (alle 6 g/m²) spraypäälystyksessä käytettyyn pastaan olisi syytä lisätä kaksi osaa lateksia verrattuna normaaliin reseptiin. [4]

8. Spraypäälystyksen käyttökohteet

Spraypäälystyksellä on lukuisia mahdollisia käyttökohteita. Näistä merkittävien löytyy ehkä sanomalehtilajien päälystyksessä. Päälystetylle sanomalehtipaperille voitaisiin painaa korkeampaa laatua vaativia tuotteita sanomalehtipainokoneilla niiden ollessa pääasiassa käyttämättöminä päivisin. Päälystys myös mahdollistaisi paremman laatuiset mainokset sanomalehdissä. [10]

Aikakausilehtiin käytetyissä paperilajeissa voitaisiin vähentää armeerausmassaa ja spraypäälysteen huokoisuus mahdollistaisi korkeammat kosteudet painettaessa ja viileämmän ilman käytön heatset offset-painatuksen kuivauksessa. Lisäksi spray tarjoaa hyvän peittokyvyn ja päälystetty paperi tuntuu sekä näyttää hyvältä. Kirkkaus ja opasiteetti ovat myös samalla tasolla kilpailevien tekniikoiden kanssa. [10]

Kartonki- ja pahvilajeille spray ei sovi kunnolla ainoaksi päälystysmenetelmäksi, koska se ei tasoita epätasaisuuksia kovin hyvin. Hyvän peittokyvynsä ansiosta sillä kuitenkin voitaisiin korvata usein esipäälystyksessä käytetty ilmaharja. Päälysteen huokoisuuden takia spray ei tosin sovellu barrierkerroksien muodostamiseen. [10]

8.1 Sprayn käyttö muualla kuin päälystyksessä

Spraypäälystyksessä käytettyä tekniikkaa voidaan helposti hyödyntää myös muualla paperinvalmistusprosessissa, koska se soveltuu hyvin erityyppisten nesteiden applikointiin. Esimerkiksi Metso on asentanut spraytä hyödyntäviä pintaliimausasemia Aasiaan ja Eurooppaan. [15] Niiden etuina filmipuristimeen

verrattuna on mainittu suuremmat tärkkelysmäärät ja ympäröivän alueen pysyminen puhtaampana. [16]

Lisäksi eräiden muovien kiinnittäminen paperin tai erityisesti pakkauskartonkien pintaan vaatii esikäsitteilyn eli primeroinnin kiinnittymisen helpottamiseksi ja barrierkerroksen kiinni pysymisen varmistamiseksi. [17] Ei ole mitään syytä, minkä takia sprayllä ei voitaisi suorittaa myös tätä vaihetta. Sprayllä muodostetun kerroksen huokoisuus ei häiritse, koska barrierkerros itsessään on tiivis.

9. Johtopäätökset

Spraypäälystys pärjää olemassaoleville päälystystavoille kaikilla oleellisilla laatumittareilla ja kustannuslaskelmissa se on todettu kilpailukykyiseksi. Sanomalehtipainotalot joiden pääasiallinen toiminta-aika on yleensä yöllä, voisivat päiväsaikaan painaa päälystetylle sanomalehtipaperille muita tuotteita. Sanomalehdissä ainakin mainostajat olisivat varmasti kiinnostuneita paremmasta painojäljestä samalla kun uutiskuvien laatu nousisi päälystetyn laadun myötä. Lukijoille parempi painojälki ilmenisi miellyttävämpänä lukukokemuksena.

Kontaktittoman päälystykseen tuoma säästö pohjapaperin raaka-aineissa ja ratakatkoihin kuluva ajassa otettaisiin varmasti ilolla vastaan teollisuudessa. Mahdollisuus nostaa modernin päälystyskoneen nopeus uudelle tasolle ja pastariskeista eroon pääseminen olisivat myös spraypäälystykseen etuja.

Suurimpia spraypäälystykseen haasteita ovat selkeästi pienien pisaroiden vaatima, olemassaolevia tekniikoita matalampi kuiva-ainepitoisuus sekä uuden tekniikan tiukemmat vaatimukset pastan koostumuksessa. Myös pohjapaperin ehdoton pintaliimaus nostaa kustannuksia ja siihen ei ole kaikissa tehtaissa mahdollisuutta ilman muutostöitä. Tutkimustulokset antavat kuitenkin olettaa, että pohjapaperin

reseptin optimoinnilla näistä ongelmista voitaisiin päästä eroon. Uuden tekniikan sisäänajo on kuluu tietenkin aina oma aikansa.

Spraypäälystyksellä olisi siis selkeästi potentiaalia korvata osa terä- ja filmipäälystysasemista teollisuudessa. Kuitenkin alan tila ainakin Euroopassa on ollut keho lähes koko 2000-luvun eli Metso Paperin OptiSpray valmistui huonoimpaan mahdolliseen aikaan. Laitteinvestointi on aina riski ja uuden, ei vielä valmiiksi hiotun ja optimoidun, vielä suurempi sellainen.

Lisäksi energian hinta on ollut nousussa, joten sprayn mukanaan tuoma kuivaustarpeen kasvu ei varmasti houkuttele. Uusien päälystystekniikoiden haittana on usein ollut aiempaa matalampi pastan kuiva-ainepitoisuus, mutta käyttöönoton jälkeen sitä on saatu nostettua muuta prosessia optimoimalla.

Ehkä juuri näistä syistä Metso Paper vaikuttaa lopettaneen OptiSprayn markkinoinnin päälystysasemana ja on sen sijaan tuonut markkinoille samaan tekniikkaan pohjautuvat pintaliimausaseman.

Lähteet:

1. Husband, J.C., Hiorns, A.G., The Trend towards Low Impact Coating of Paper and Board
2. Virtanen, J.M., Latest experiences of film coating and introduction of a new contactless optispray coating method, African Pulp and Paper Week “Adding value in global industry” (konferenssi), TAPPSA, Durban 2002
3. Hämäläinen, M., Grön, J., Nissinen, V., A New Coating Method for Surface Treatment of Woodcontaining Paper Grades, TAPPI coating conference, Orlando, 2002
4. Hämäläinen, M., Spray Coating Technique as a Surface Treatment of Woodcontaining Paper Grades, väitöskirja, Lappeenranta 2002
5. Spraying Systems Co. Suutinkatalogi, viitattu 27.11.2012, saatavilla <http://www.spray.com/cat70m/index.aspx>
6. Pat. US 4659014, Ultrasonic nozzle and method, Delavan Co, USA, Soth et al., App. 772753, 5.9.1985, Publ. 21.4.1987
7. Pat. US 5622752, Methods and system for applying a uniform coating to a moving workpiece using an ultrasonic spray head, Ultrasonic Systems Inc., USA, Erickson, S., Erickson, D., App. 427145, 24.4.1995, Publ. 22.4.1997
8. Jongthammanurak, S., Witana, M., Cheawkul, T., Thanachayanont, C., The effects of carrier gas and substrate temperature on ZnO films prepared by ultrasonic spray pyrolysis, Material Science in Semiconductor Processing, 2012
9. Hines, R.L., Electrostatic Atomization and Spray Painting, Journal of Applied Physics 37, 7/1966
10. Nissinen, V., Optispray – The New Low Impact Paper Coating Technology, Metso Paper: OptiSpray Coating and Sizing Conference, Järvenpää, 2001
11. Oinonen, H., OptiSpray yli puoli vuotta käynnissä, Paperi ja Puu 85, 8/2003
12. Tyrväinen, M., Valmet OptiSpray – expands your opportunities in paper and board coating, Fiber&Paper 3, 2/2001

13. VTT, Provledge oy, KnowPap 13.0 paperitekniikan ja automaation oppimisympäristö, LUT intranet, vaatii salasanan [viitattu 20.12.2012]
14. Hiorns, A., Fogerholm, R., Kaolin Use In Spray Coating, 2004 TAPPI Coating and Graphic Arts Conference and Exhibit, Baltimore, 2004
15. Metso-supplied spray sizing unit successfully started up at Papierfabrik Schoellershammer in Germany, www.metso.com, Pulp and paper news, 31.8.2012, viitattu 3.12.2012
16. Renvall, S., Kim, J-D., Salminen, P., Innovative approaches improve competitiveness in an industry full of challenges, Paper Conference and Trade Show 2010, PaperCon 2010 2, s. 922-956, 2010
17. Tuominen, M., Vähä-Nissi, M., Kuusipalo, J., Paper and Paperboard Conversion, Paper Making Science and Technology, Book 12, Kuusipalo, J. (Ed.), Finnish Paper Engineers' Association : Paperi ja puu, Helsinki, 2008, s.48-49