

TÄRKKELYKSEN SUIHKUTUSLAITTEEN RAKENTEEN KEHITTÄMINEN

Rolf Mätäsaho

Opinnäytetyö
Toukokuu 2010

Paperikoneteknologia
Tekniikan ja liikenteen ala





Tekijä(t) MÄTÄSAHO, Rolf	Julkaisun laji Opinnäytetyö	Päivämäärä 17.5.2010
	Sivumäärä 58	Julkaisun kieli suomi
	Luottamuksellisuus () saakka	Verkkajulkaisulupa myönnetty (X)
Työn nimi TÄRKKELYKSEN SUIHKUTUSLAITTEEN RAKENTEEN KEHITTÄMINEN		
Koulutusohjelma Paperikoneteknologia		
Työn ohjaaja(t) MATILAINEN, Jorma, yliopettaja		
Toimeksiantaja(t), yhteyshenkilö Metso Paper Oy HYPPÖNEN, Vesa, suunnitteluinsinööri		
Tiivistelmä <p>Kartongin valmistuksessa tärkkelyksen suihkutusta kartonkirainan pinnalle lisää huomattavasti kartongin kerrostenvälistä liitoslujuutta, mutta suihkutustapahtuman hallinta on haastavaa. Metso on pyrkinyt vuosien mittaan kehittämään suihkutuslaitteen rakennetta ilmenneiden ongelmien vähentämiseksi. Tästä huolimatta tarve toimivamman ratkaisun kehittämiseen on ollut jatkuva.</p> <p>Työn tavoitteena oli kehittää Tärkki'09-projektissa ideoitua rakenne-ehdotusta niin, että suihkutusmenetelmällä ilmenneiden ongelmien syntymistä saataisiin merkittävästi ehkäistyä. Merkittävin ongelma on ajokatkot, jotka aiheutuvat tärkkelyksen sumuamisesta syntyneiden likakertymien tippuessa radalle ympäroivistä rakenteista.</p> <p>Työn toteutuksen tärkein vaihe oli koelaitteen suunnittelu ja koeajojen suorittaminen, sillä rakenteen toimivuudesta ei ilman sen testaamista ollut varmuutta. Koeajotulosten analysoinnin kautta saatiin tieto suunnitellun rakenteen toimivuudesta sille asetettujen toiminnallisten vaatimusten mukaisesti.</p> <p>Tuloksena saatiin selville, että testatulla rakenteella ei saavuteta opinnäytetyölle asetettua tavoitetta. Mekaanisella ilmankaavausrakenteella ei merkittävästi voida vähentää sumuamisesta johtuvaa likaantumista eikä sitä kautta estää ongelmien syntymistä. Niinpä jatkossa tulisikin keskittyä eri toimintatapaan pohjautuvan ratkaisun kehittämiseen.</p>		
Avainsanat (asiasanat) kartonki, tärkkelys, viiraosa, monikerroskartonki, palstautumislujuus		
Muut tiedot		



Author(s) MÄTÄSAHO, Rolf	Type of publication Bachelor´s Thesis	Date 17.5.2010
	Pages 58	Language Finnish
	Confidential () Until	Permission for web publication (X)
Title DEVELOPING THE CONSTRUCTION OF A STARCH SPRAYING DEVICE		
Degree Programme Paper Machine Technology		
Tutor(s) MATILAINEN, Jorma, Principal Lecturer		
Assigned by Metso Paper Oy HYPPÖNEN, Vesa, Design Engineer		
Abstract <p>The application of starch to the web surface notably improves the bonding strength between the plies of the multi-ply board but controlling of the spraying process is a very challenging task. Metso has been trying to develop the construction of the starch spraying device to solve the problems occurred in spray application. This has not reduced the need for the development of a more functional construction.</p> <p>The aim of this study was to improve the construction of the device created in the project Tärkki'09 in order that the problems perceived in the spraying process could be prevented. The most significant problem has been the breaks caused by toppling of dirty lumps to the web from the ambient structures. The contamination, for one, is caused by the fuming starch.</p> <p>Design and testing of the pilot device were the most important stages in the thesis because the functionality of the device can not be known without testing it. Information on the functionality within the limits of the functional requirements of the device was gained through analyzing the test results.</p> <p>As a result, it was found out that the aim of the work was not reached with the tested construction. Neither the contamination caused by the fuming starch nor therefore the problems can notable be prevented with the construction. In future one should concentrate on the development of the solution based on a different functional mode.</p>		
Keywords board, starch, wire section, multi-ply board, bonding strength		
Miscellaneous		

SISÄLTÖ

1 OPINNÄYTETYÖN LÄHTÖKOHDAT	4
1.1 Toimeksiantajana Metso.....	4
1.2 Tausta ja tavoitteet	5
2 RAINANMUODOSTUS KARTONGINVALMISTUSPROSESSISSA.....	6
2.1 Rainanmuodostusosa ja sen tehtävät	6
2.2 Rainanmuodostus	7
2.3 Kartongin kerrostaminen	9
2.4 Viiraosatyyppit	11
2.4.1 Tasoviira	11
2.4.2 Hybridiformeri	12
2.4.3 Kitaformeri	13
3 MONIKERROSKARTONGIT	14
3.1 Kartonkilajit	14
3.2 Kriittiset ominaisuudet	15
3.3 Monikerroskartongin palstautuminen	17
3.3.1 Palstautuminen käsitteenä	17
3.3.2 Palstautumista aiheuttavat rasitukset	18
3.3.3 Vaikuttaminen kartongin palstautumisljuuteen	19
4 TÄRKKELYS KARTONGIN VALMISTUKSESSA.....	21
4.1 Tärkkelyksen tuotanto ja käyttötarkoitus.....	21
4.2 Tärkkelyksen rakenne	22
4.3 Tärkkelyksen modifiointi.....	23
4.4 Spraytärkkelys.....	24

	2
4.5 Levitysmenetelmänä suihkuttaminen.....	26
4.5.1 Tärkkelyksen suihkutuslaitteen rakenne ja toiminta.....	26
4.5.2 Suihkutusmenetelmässä havaitut heikkoudet	28
5 SUIHKUTUSLAITTEEN RAKENTEEN KEHITTÄMINEN	32
5.1 Pohjatietona Tärkki'09-projekti	32
5.2 Koelaitteen suunnittelu	33
5.2.1 Suunnittelun perusta	33
5.2.2 Suihkuputki.....	34
5.2.3 Kannakointi.....	35
5.2.4 Ilmanohjainlevy	37
5.3 Koeajotilaisuus.....	39
5.3.1 Järjestely ja suunnittelu	39
5.3.2 Koeajohavaintojen analysointi ja koeajotulokset.....	39
6 POHDINTA	45
6.1 Työn tulokset	45
6.2 Suuntaviivoja jatkokehitykseen	47
6.3 Työn toteutus.....	48
LÄHTEET.....	50
LIITTEET	53
Liite 1. Koeajojen ajosuunnitelma.....	53
Liite 2. Koeajoissa käytetyt suutintyytit	54
Liite 3. Koeajoissa suoritettut ajotapaukset	56
Liite 4. Koeajoissa tehdyt havainnot	57
Liite 5. Tärkki'09-projektin virtausnopeusmittausten tulokset.....	58

KUVIOT

KUVIO 1. Metson liiketoimintasegmentit ja -linjat	5
KUVIO 2. Viiraosan vedenpoiston Sankey-diagrammi	9
KUVIO 3. Kolmikerroskartonkikoneen rainanmuodostusosat	10
KUVIO 4. Tasoviira.....	11
KUVIO 5. Hybridiformeri.....	12
KUVIO 6. Kitaformeri.....	13
KUVIO 7. Yksipuoleisella (vasemmalla) ja kaksipuoleisella (oikealla) vedenpoistolla syntyvä rainan z-suuntainen hienoainejakauma	20
KUVIO 8. Rainan hienoainejakauman vaikutus kerrostenväliseen palstautumislujuteen	20
KUVIO 9. Spraytärkkelyksen tyypilliset aplikointipositiot kolmikerros- kartonkikoneella	25
KUVIO 10. Tärkkelyssuihkuputken rakenne	27
KUVIO 11. Runkoputken tyhjennysyhde	28
KUVIO 12. Likakertymiä tärkkelyssuihkuputken pinnalla	29
KUVIO 13. Likakertymiä ympäröivissä rakenteissa	30
KUVIO 14. Tärkkelyssumusta likaantuneita suihkusuuttimia.....	31
KUVIO 15. Koelaitteen kokoonpanokuva	33
KUVIO 16. Suihkuputki	34
KUVIO 17. Ylätuentarakenne	36
KUVIO 18. Ilmanohjainlevy	38
KUVIO 19. Korvausilman kulku ilmaohjainlevyn ollessa tulopuolen asemassaan.....	41
KUVIO 20. Korvausilman kulku ilmaohjainlevyn ollessa jättöpuolen asemassa	42

TAULUKOT

TAULUKKO 1. Koeajotulokset	40
----------------------------------	----

1 OPINNÄYTETYÖN LÄHTÖKOHDAT

1.1 Toimeksiantajana Metso

Metso on kansainvälinen teknologiakonserni, jonka erikoisosaamista ovat teknologia- ja palveluratkaisut kaivos-, maarakennus-, voimantuotanto-, öljy- ja kaasu-, kierrätys- sekä massa- ja paperiteollisuudelle. Metson liiketoiminta on jaettu kolmeen liiketoimintasegmenttiin, jotka ovat

- kaivos- ja maarakennusteknologia
- energia- ja ympäristö teknologia sekä
- paperi- ja kuituteknologia.

Metso-konsernin liikevaihto vuonna 2009 oli noin 5 miljardia euroa. Metsolla on toimintaa yli 50 maassa, ja konserni työllistää maailmanlaajuisesti noin 27 000 työntekijää, joista Suomessa työskentelevien osuus on noin 32 %. (Maailma vaikuttaa meihin 2009.)

Metson globaali verkosto muodostuu asiakastoimialoittain organisoiduista liiketoimintalinjoista (ks. kuvio 1). Kuten kuvioista 1 huomataan, on kukin liiketoimintasegmentti jaettu liiketoimintalinjoihin. Paperi- ja kuituteknologia -liiketoimintasegmentti on jaettu kolmeen liiketoimintalinjaan, jotka ovat paperit, kuidut ja pehmopaperit. Liiketoimintasegmentin osuus konsernin kokonaisliikevaihdosta vuonna 2009 oli noin 1,4 miljardia euroa eli 28 %. Liiketoimintasegmentti tarjoaa asiantuntija- ja huoltopalveluita sekä ratkaisuja paperin, pehmopaperin sekä kartongin valmistukseen ja jälkikäsittelyyn sekä mekaanisen ja kemiallisen massan valmistukseen. Segmentti on globaalilta markkina-asemaltaan maailman johtava laitetoimittaja niin paperin- ja kartonginvalmistuslinjoissa, pehmopaperikoneissa kuin massanvalmistuslinjoissakin. (Mt.) Opinnäytetyö tehtiin paperit-liiketoimintalinjaan kuuluvassa Jyväskylän yksikössä viiraosan suunnitteluosastolla.



KUVIO 1. Metson liiketoimintasegmentit ja -linjat (Lomperi 2009)

1.2 Tausta ja tavoitteet

Tärkkelystä käytetään monikerroskartongin valmistuksessa parantamaan kartonki-kerrosten välistä liitoslujuutta. Tärkkelys suihkutetaan kartonkirainan pintaan kartonkikoneen viiraosalla ennen rainojen yhdistämistä yhdeksi monikerroksiseksi rainaksi. Suihkutusmenetelmän tekee ongelmalliseksi pyörivän viiraosain synnyttämä ilmavirtaus. Ilmavirtaus kaappaa suihkutuksessa syntyneitä tärkkelyspitoista sumua mukaansa, minkä seurauksena viiraosan rakenteisiin alkaa syntyä likakertymiä. Rakenteisiin syntyvien likakertymien tipahtelut radalle aiheuttavat usein ajokatkoja. Lisäksi ilmavirtaus on taustatekijänä useissa muissakin suihkutuksessa ongelmia aiheuttavissa ilmiöissä. Ongelmien kanssa on painittu vuosikausia, mutta täysin toimivaa ja ongelmattonta rakenneratkaisua ei suihkutuslaitteeseen ole vielä löydetty.

Opinnäytetyö on jatkoa syksyllä 2009 tehdylle Tärkki'09-projektille, jonka projektimateriaalia opinnäytetyössä hyödynnettiin. Opinnäytetyön tavoitteena oli kehittää Tärkki'09-projektissa ideoitua rakenne-ehdotusta niin, että suihkutusmenetelmällä

ilmenneiden ongelmien syntymistä saataisiin merkittävästi estettyä. Tehtävänäni oli ideoida projektissa suunniteltuun rakenne-ehdotukseen parannuksia ja testata niiden käyttökelpoisuus. Testausta varten suunnittelin koelaitteen, jota oli määrä testata koeajoissa kevään aikana. Koeajoissa tutkittiin parannellun rakenteen toimivuutta ilmavirran aiheuttaman sumuamisen ja sitä kautta myös syntyvien likakertymien vähentämisessä. Koeajojen suunnitteleminen ja toteuttaminen kuuluivat osaksi opin- näytetyön suorittamista. Lopullinen paranneltu laiterakenne oli määrä mallintaa layouttasolle Catia V5-mallinnusohjelmalla, mikäli tämä koeajotulosten analysoinnin pohjalta katsottaisiin tarpeelliseksi. Parannellun laitekonstruktion suunnittelussa tulisi kiinnittää huomiota huollettavuuteen, säädettävyyteen ja helppokäyttöisyy- teen.

2 RAINANMUODOSTUS KARTONGINVALMISTUSPROSESSISSA

2.1 Rainanmuodostusosa ja sen tehtävät

Paperi- ja kartonkikoneissa rainanmuodostus tapahtuu perälaatikon syöttöputkiston, perälaatikon ja viiraosan avulla. Yhdessä ne muodostavat paperi- ja kartonkikoneiden rainanmuodostusosan. Rainanmuodostusosalla on suuri merkitys lopputuotteen rakenneominaisuuksiin, kuten esimerkiksi formaatioon eli pienimittakaavaisen neliö- massavaihteluun sekä orientaatioon eli kuitujen suuntautuneisuuteen rainassa. (Hägglom-Ahnger & Komulainen 2003, 131.)

Perälaatikon sijaitsee paperi- ja kartonkikoneessa lyhyenkierron ja viiraosan välissä. Perälaatikon ja sen syöttöputkiston tehtäviä rainanmuodostuksessa ovat

- massasuspension eli kuitusulpun syöttäminen tasaisesti viiraosalle koko ko- neen levyisenä suihkuna

- syöttövirtauksen painevaihteluiden sekä virtaushäiriöiden tasaaminen
- massan kuitukimppujen eli -flokkien hajottaminen massaan muodostettavien turbulenssien avulla ja
- massan sakeuden, virtausnopeuden sekä -suunnan säätäminen halutun laiseksi. (KnowPap 2007.)

Viiraosan tehtävät rainanmuodostuksessa ovat viiraosatyypistä riippumatta aina samat. Tehtävien toteutukseen puolestaan käytetään erilaisia menetelmiä, jotka ovat tunnusomaisia kullekin eri viiraosatyypille. Viiraosan tehtäviä rainanmuodostuksessa ovat

- veden poistaminen perälaatikosta tulevasta kuitusulpusta
- hydrodynaamisten voimien aiheuttaminen rainaan kuitukimppujen eli flokkien hajottamiseksi sekä uusien flokkien syntymisen estämiseksi
- kuitu- ja täyteaineretentioiden saaminen tasaisiksi ja halutun suuruisiksi sekä
- rainan siirtämien viiraosalta puristinosalle riittävän korkeassa kuiva-ainepitoisuudessa. (Hägglom-Ahnger & Komulainen 2003, 131.)

2.2 Rainanmuodostus

Paperin ja kartongin valmistus perustuu yleisimmin märkärainaukseen. Märkärainauksessa perälaatikon syöttämästä massasuspensiosta poistetaan viiraosalla vettä pääosin suotauttamalla, jolloin viiralle muodostuu raina. (Holik 2006a, 267.) Vedenpoisto viiraosalla voidaan jakaa periaatteessa kolmeen päävaiheeseen, jotka ovat varsinainen rainanmuodostusvaihe, tiivistymisvaihe ja loppukuiva-ainepitoisuuden muodostusvaihe (KnowPap 2007).

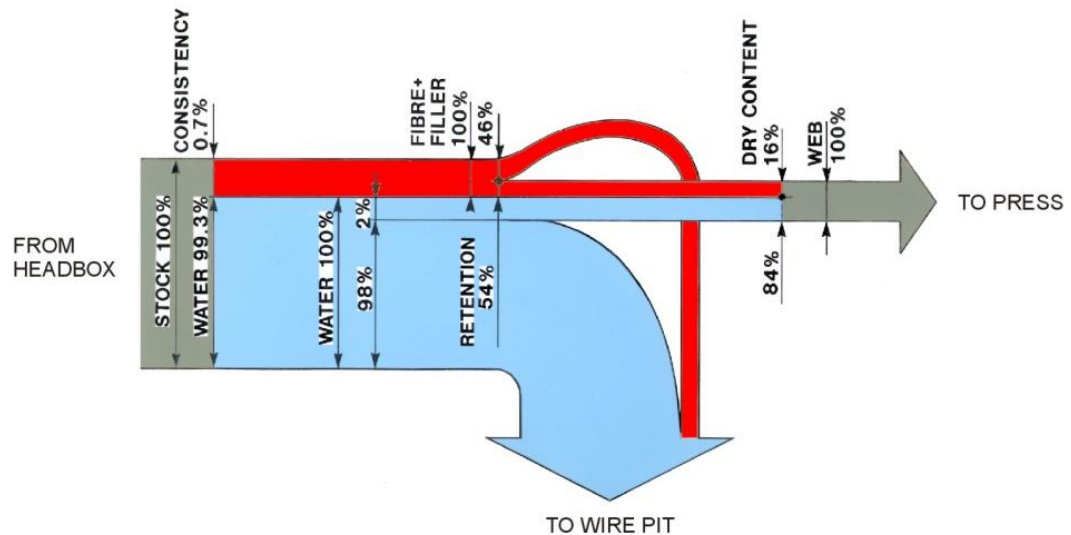
Perälaatikosta tulevan kuitusulpun sakeus on tyypillisesti 0,2 - 1,2 %. Varsinaisessa rainanmuodostusvaiheessa vedenpoisto on voimakasta ja massasuspension sakeus nousee 1 - 3 %:iin. Tämän vaiheen aikana ilma ei vielä läpäise muodostunutta rainaa, vaan rainan paksuus pienenee vedenpoistumaa vastaavasti. Rainanmuodostusvai-

heessa vedenpoistoon riittävät pääasiassa itsetoimiset vedenpoistoelementit sekä viirankireyden aiheuttama vedenpoistopaine. (Mt.)

Raina alkaa läpäistä ilmaa niin sanotun vesirajan jälkeen, jolloin rainan sakeus on 3 - 6 %:n luokkaa. Tästä alkaa vedenpoiston tiivistymisvaihe, jolloin raina alkaa myös huopautua. Tiivistymisvaiheessa tehokkaan vedenpoiston edellytyksenä on koneellisesti tuotettua alipainetta hyödyntävien vedenpoistoelementtien käyttö. (Mt.)

Vedenpoiston loppukuiva-ainepitoisuuden muodostusvaihe alkaa rainan sakeuden noustessa 6 - 8 %:iin. Tämän jälkeen rainan laatuominaisuudet eivät enää juuri muutu, vaan pääasiassa viiraosalla nostetaan enää vain rainan kuiva-ainepitoisuutta. Tämän vaiheen aikana hienoaine- ja täyteainejakaumat voivat rainan paksuussuunnassa pienissä määrin vielä muuttua. Rainan loppukuiva-ainepitoisuuteen voidaan vaikuttaa muun muassa vedenpoistoelementtien alipainetta säätämällä. (Mt.)

Viiraosan vedenpoistoa voidaan havainnollistaa Sankey-diagrammin avulla (ks. kuvio 2). Vedenpoiston myötä rainanmuodostuksessa poistetaan sulpun sisältämästä vedestä jopa yli 95 %, mutta samalla myös rainan täyte- ja hienoainemäärä vähenee suodosvirran vaikutuksesta. Lopulta viiraosalta puristinosalle siirrettävän rainan kuiva-ainepitoisuus on tyypillisesti 15 - 20 %. (Hägglom-Ahnger & Komulainen 2003, 144 - 145.)



KUVIO 2. Viiraosan vedenpoiston Sankey-diagrammi (Board machine forming sections 2010). Harmaa väri kuvaa viiraosalla muodostuvaa rainaa, jonka vesipitoisuuden muutosta kuvaa sininen väri ja kuiva-ainepitoisuuden muutosta punainen väri.

2.3 Kartongin kerrostaminen

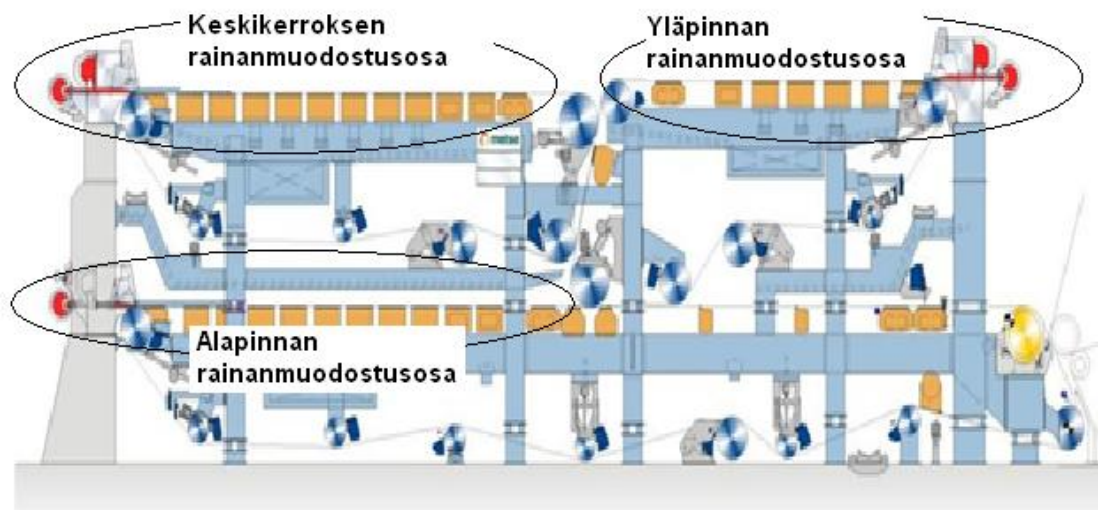
Nykyään lähes kaikki kartonkilajit valmistetaan monikerroksisina. Poikkeuksen muodostavat ainoastaan hylsykartonki ja fluting eli aallotuskartonki. Kerroksellisen rakenteen muodostamiseen voidaan käyttää monikerrosperälaatikkoa, toisioperälaatikkoa tai erillisrainausta. (Hägglom-Ahnger & Komulainen 2003, 144 - 145.)

Monikerrosperälaatikkoa käytettäessä kartongin eri kerrokset yhdistetään jo perälaatikossa tai huulisuihkussa. Monikerrosperälaatikon käyttö edellyttää aina myös kitarainaimen käyttöä viiraosatyypinä, jotta huulisuihkun kerroksellinen rakenne saadaan säilymään ja vedenpoistosta sekä täyteainejakaumasta saadaan symmetriset. Monikerrosperälaatikolla toteutettavan rainauksen haasteita ovat kerrospuhtauden ja peittävyuden hallinta. (Mts. 135.)

Toisioperälaatikolla uusi kuitukerros kerrostetaan jo olemassa olevan kuitumaton päälle. Toisioperälaatikko voidaan sijoittaa esimerkiksi tasoviiran päälle. Toisioperä-

laatikkoina käytetään yhä enenemässä määrin reikätelaperälaatikkojen sijasta hydraulisia perälaatikoita. (Mts. 137.)

Yleisin menetelmä kartonkikoneen rainanmuodostuksessa on erillsrainaus, jossa jokainen kerros muodostetaan erikseen omalla rainanmuodostusosalla (ks. kuvio 3). Kerrokset liitetään yhteen huopauttamalla ne yhdeksi monikerroksiseksi rainaksi ennen rainan siirtämistä viiraosalta puristosalle. Kartonkien tyypillisesti melko suuri neliömassa vaikeuttaa vedenpoistoa, sillä neliömassan kasvaessa myös suotautumisvastus kasvaa. Erillsrainauksen myötä vedenpoisto kartonkirainasta helpottuu. (Mts. 144 - 145.)

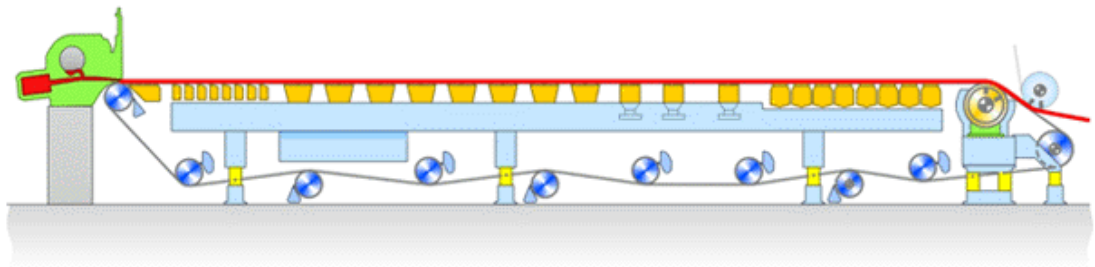


KUVIO 3. Kolmikerroskartonkikoneen rainanmuodostusosat (Board machine forming sections 2010, muokattu)

2.4 Viiraosatyytit

2.4.1 Tasoviira

Tasoviira (ks. kuvio 4) on nykyajan viiraosatyypeistä vanhin. Tasoviiralla vedenpoisto tapahtuu ainoastaan yhteen suuntaan eli rainan alapuolelle, jonne on sijoitettu viiraosan vedenpoistoelementit. (Norman 2008, 252.)



KUVIO 4. Tasoviira (KnowPap 2007)

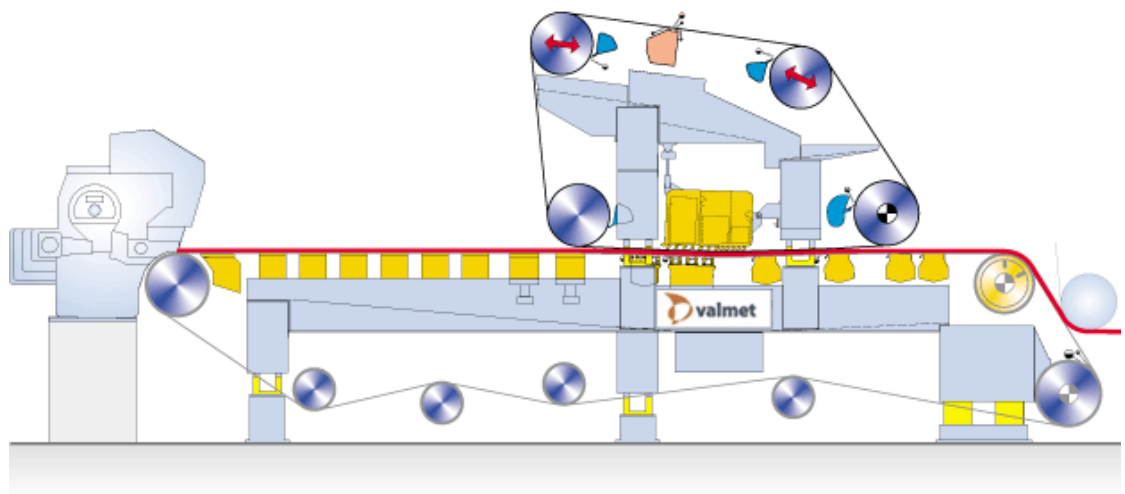
Tasoviiralla vedenpoisto tapahtuu jaksottaisesti painovoiman sekä vedenpoistoelementtien avulla. Painovoiman vaikutus on suurimmillaan alkuvedenpoiston aikana ja pienenee voimakkaasti suotautumisvastuksen eli yhtenäisen kuitumaton paksuuden kasvaessa. Suurin osa vedenpoistosta tapahtuu kuitenkin vedenpoistoelementeillä, joita ovat muun muassa märkäimulaatikot, päästölistat eli foilit, tasoimulaatikot sekä viiran imutela. (Holik 2006a, 273)

Yksipuoleisesta vedenpoistosta johtuen tasoviiralla valmistetun rainan rakenteesta tulee epäsymmetrinen. Rainan paksuussuunnassa täyte- ja hienoaines on sijoittunut pääosin yläpinnalle, sillä alaspäin tapahtuvassa vedenpoistossa suodosvirta huuhtelee täyte- ja hienoaineita rainan alapinnalta. Erityisesti rainan alapinnasta tulee suhteellisen huokoista pulseeraavien vedenpoistoelementtien vaikutuksesta johtuen.

Lisäksi rainan kerroksellisesta orientaatiosta muodostuu epäsymmetrinen ala- ja yläpinnan suotautuessa eri aikaan. (KnowPap 2007.)

2.4.2 Hybridiformeri

Hybridiformeri (ks. kuvio 5) on nimensä mukaisesti tasoviiran ja kaksoisviirarainaimen yhdistelmä.



KUVIO 5. Hybridiformeri (KnowPap 2007)

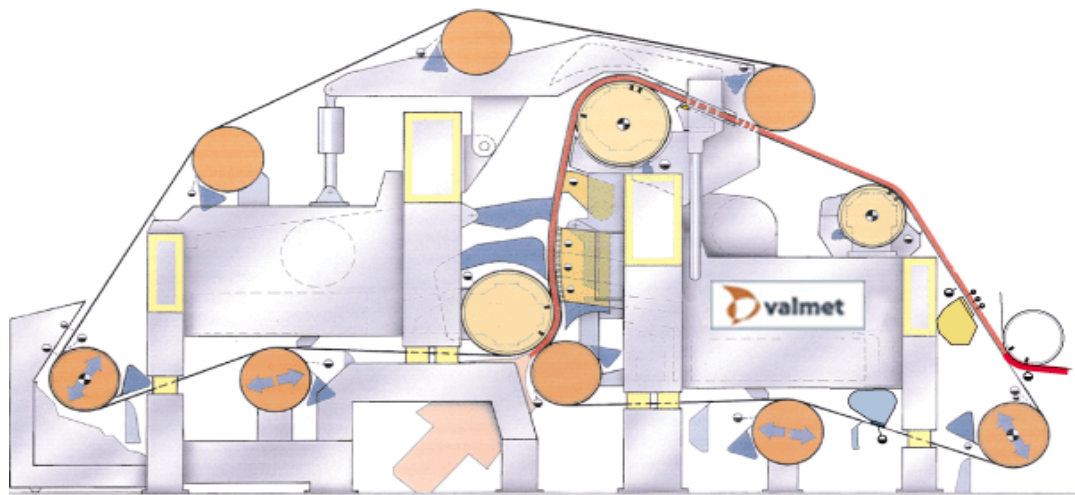
Hybridiformerilla alkuvedenpoisto tapahtuu tasoviiraosuudella yhteen suuntaan eli alaspäin. Yläviirayksikkö on sijoitettu tasoviiran päälle ennen vesirajaa. Yläviirayksikön alueella vedenpoisto rainasta tapahtuu sekä ala- että yläpuolelle. Hybridiformerin vedenpoistoelementteihin kuuluvat sekä edellä mainitut tasoviiran vedenpoistoelementit että yläviirayksikön vedenpoistoelementit. Yläviirayksiköissä käytetään monenlaisia vedenpoistoelementtejä, joita ovat muun muassa formeritelat, listakengät, tasoimulaatikot ja kuormitettavat listat. (KnowPap 2007.)

Hybridiformeria käytettäessä rainan rakenteesta saadaan symmetrisempää kuin tasoviiralla. Rainan paksuussuunnassa täyte- ja hienoaine on jakautunut siten, että

pinnat ovat täyte- ja hienoainespitoisuudeltaan köyhemmät kuin keskusta. Rainan rakenne on yleensä tiiviimpää kuin tasoviiralla valmistetun rainan, mutta tiiveyteen vaikuttaa hyvin paljon yläviirayksikön pulseeraavan vedenpoiston voimakkuus. Lisäksi hybridiformerilla on mahdollista hallita kerroksellista orientaatiota paremmin kuin tasoviiralla. (Mt.)

2.4.3 Kitaformerit

Kitaformerit (ks. kuvio 6) on puhdas kaksoisviirarainain, jossa vedenpoisto kuitusul-
pusta tapahtuu alusta alkaen jatkuvana sekä ala- että yläpuolelle.



KUVIO 6. Kitaformerit (KnowPap 2007)

Kitarainaimissa vedenpoisto tapahtuu selvästi lyhyemmällä matkalla verrattuna tasoviiraan ja hybridiformeriin (KnowPap 2007). Kitarainaimissa vedenpoisto perustuu pitkälti pelkästään tela- tai listaelementteihin tai useimmiten näiden yhdistelmään. Kitaformerit voidaan jakaa kolmeen perustyyppiin sen mukaan, aloitetaanko vedenpoisto tela- vai listaelementillä ja missä järjestyksessä elementit ovat. Kitaformerit tyyppiä ovat tela-kitaformerit, lista-kitaformerit ja telalista-kitaformerit. Tärkeimmät

kitaformerien rainan ominaisuuksiin vaikuttavat vedenpoistoelementit ovat formeritela, listakenkä sekä MB -yksikkö (multi blade). Muita vedenpoistoelementtejä ovat muun muassa imutela sekä tasoimulaatikot, mutta niillä voidaan vaikuttaa vain vähän rainan ominaisuuksiin. (Hägglom-Ahnger & Komulainen 2003, 140 - 144.)

Rainan rakenne on riippuvainen kitaformerityypistä. Lista-kitaformerilla saavutetaan hyvä formaatio, mutta ajettavuus ja retentio ovat heikot ja rainan toispuoleisuus voi olla suuri. Tela-kitaformerilla formaatio jää heikoksi, mutta ajettavuus ja retentio puolestaan ovat hyvät. Telalista-kitaformerissa yhdistyy edellä mainittujen kitarainantyyppien hyvät ominaisuudet. Tällä kitarainantyyppillä saadaan aikaan hyvä formaatio samanaikaisesti hyvän retention, ajettavuuden ja vähäisen toispuoleisuuden kanssa. Kitarainaimella saadaan aikaan paremmat rainan pintaominaisuudet sekä tiiviys kuin edellä mainituilla viiraosatyypeillä ja lisäksi kitarainaimella voidaan myös vaikuttaa täyteainejakauman muotoon. (Mts. 140 - 141.)

3 MONIKERROSKARTONGIT

3.1 Kartonkilajit

Monikerroskartongit ovat yleensä sisäpakkauksetonkeja, jotka jaetaan yleisesti viiteen lajiin: valkaistu sellukartonki, valkaisematon sellukartonki, taivekartonki, valkoinen kierrätyskartonki sekä nestepakkauksetonki. Kaikki useammasta kuin yhdestä kerroksesta koostuvat kartongit luokitellaan yleisesti monikerroskartonkeihin. Yleisimmin monikerroskartongit koostuvat kolmesta kerroksesta, mutta markkinoilla on myös viisikerroksisia kartonkeja. (Laamanen & Lahti 2008, 216 - 217.) Kartonkien monikerroksisen rakenteen käyttöön vaikuttavat pääasiassa kaksi asiaa. Rainan vedenpoistovastus kasvaa neliömassan kasvaessa, mikä vaikeuttaa korkean neliömassan tuotteiden valmistusta. Toisaalta erilaisten raaka-aineiden taloudellisen käytön

edellytyksenä on, että eri kuiduista valmistettavat kerrokset voidaan asettaa haluttuihin kohtiin kartongin paksuussuunnassa. (Norman 2008, 276.)

3.2 Kriittiset ominaisuudet

Kartongeilta vaaditaan korkeaa taivutusjäykkyyttä sekä muutoinkin hyviä lujuusominaisuuksia. Lisäksi pakattavat tuotteet asettavat pakkausmateriaalille käytettävälle kartongille erityisvaatimuksia. Yleisesti kartongilta vaadittavat ominaisuudet voidaan jakaa kolmeen kategoriaan, jotka ovat

- mekaaniset ja toiminnalliset ominaisuudet
- visuaaliset ominaisuudet sekä
- puhtaus- ja siisteysominaisuudet. (Kiviranta 2000, 56 - 58.)

Mekaaniset ja toiminnalliset ominaisuudet

Pakkauskartonkien korkea taivutusjäykkyys on välttämätön ominaisuus hyvän ajettavuuden saavuttamiseksi ja hyvän pakkauksen aikaansaamiseksi. Monikerroskartonkien yhtenä tarkoituksena on koettaa saavuttaa riittävä jäykkyys alhaisella neliömassalla. Jäykkyyteen liittyvien ongelmien takana on yleensä poikkisuuntaisen jäykkyyden riittämättömyys, sillä se on 2 - 4 kertaa pienempi kuin konesuuntaisen jäykkyyden. (Kajanto 2008, 230 - 237.)

Taivutusjäykkyyden ohella pakkauskartongeilla tulee olla hyvä puristuslujuus, joka mahdollistaa pakkausten turvallisen pinoamisen kuljetuksen ja varastoinnin aikana (Kiviranta 2000, 56 - 58). Lisäksi jalostusprosesseista muun muassa nuuttaus eli kartongin taitekohtien teko vaatii kartongilta hyvää puristuslujuutta (Kajanto 2008, 245). Kartongin puhkaisulujuus on merkittävä tekijä pakkauksen kestävyuden ja suojaamiskyvyn kannalta. Lisäksi pakkauskartonki ei saisi palstautua liian helposti kerrosten väliltä eikä niiden sisältä. Palstautumislujuus ja taivutusjäykkyys ovat usein vastakkaisiin suuntiin kehittyviä ominaisuuksia, joten niiden yhtäaikaisen ja hyvän lujuustason

saavuttaminen on hankalaa. Yleensä taivutusjäykkyys pyritäänkin maksimoimaan siten, että palstautumislujuus täyttää vielä asiakkaan vaatimukset. (Laamanen & Lahti 2008, 217 - 219.).

Monikerroskartongin toiminnallisiin ominaisuuksiin voidaan lukea muun muassa sen saumattavuus ja nuutattavuus. Nuutattavuus vaatii jo itsessään kartongilta tiettyjä ominaisuuksia, kuten esimerkiksi joustavuutta, venymistä, vetolujuutta, z-suuntaista kokoonpuristuvuutta sekä edellä mainittua puristuslujuutta. (Hatanpää, Lahti & Lahtinen 2008, 253 - 254.)

Visuaaliset ominaisuudet

Pakkauksen tehtävänä tuotteen suojaamisen lisäksi on myös antaa kuluttajalle informaatiota tuotteesta. Tämän myötä kartongin painettavuusominaisuuksista on tullut yhä tärkeämpiä. Pakkauksen täytyy kiinnittää kuluttajan huomio ja vaikuttaa siten ostopäätökseen. (Hatanpää ym. 2008, 244.) Hyvät painettavuusominaisuudet vaativat pinnalta riittävää sileyttä, kiiltoa ja vaaleutta, jotta painatuksesta tulee selkeä pieniä yksityiskohtia myöten (Holik 2006b, 322).

Visuaaliset ominaisuudet määräytyvät pitkälti pintakerroksien ominaisuuksien mukaan, mutta myös sisäkerroksella tulee olla riittävän hyvä formaatio ja vaaleus loppukäyttökohteen vaatimuksiin nähden. Pintakerroksilta vaaditaan hyvää opasiteettia eli valon läpäisemättömyysominaisuutta, jotta ne pystyvät peittämään tummemman sisäkerroksen. Kartongin taustapuoli jää piiloon pakkauksen sisäpuolelle, joten sille ei aseteta niin suuria vaatimuksia kuin pintakerrokselle. (Kiviranta 2000, 57 - 58.)

Puhtaus- ja siisteysominaisuudet

Elintarvikkeiden pakkauksessa korostuvat kartongilta vaadittavien kosteuden sekä kaasujen ja makujen vastustusominaisuudet. Tuotteeseen ei saa varastoinnin aikana tulla laatumuutoksia. Kartongin läpäisemättömyysominaisuuksia parannetaan usein muovi- tai alumiinipäällysteellä vastaamaan loppukäyttökohteen vaatimuksia. (Holik 2006b, 322)

Elintarvikepakkauksien materiaalit eivät saa sisältää mikrobeja tai myrkyjä. Tätä ajatellen hygieenisiltä ominaisuuksiltaan massoista parasta on valkaistu sellukuitu, toisin kuin esimerkiksi ligniiniä ja hartseja sisältävä mekaaninen massa tai puhumat-takaan kierrätysmassasta, jonka alkuperä on usein tuntematon. Lisäksi kartongin valmistuksessa tulisi kemikaalien käyttöä pitää vähäisenä, sillä elintarvikkeet sitovat helposti niistä siirtyviä makuja, hajuja ja värejä. (Karhuketo, Seppälä, Törn & Viluksela 2004, 171.)

3.3 Monikerroskartongin palstautuminen

3.3.1 Palstautuminen käsitteenä

Kartongin palstautuminen tarkoittaa sen paksuussuuntaista halkeamista. Palstautu-mislujuuden suuruus puolestaan kertoo kartongin kyvystä kestää siihen kohdistuvaa paksuussuuntaista eli z-suuntaista vetoa. Palstautumista voi tapahtua niin kerrosten välisellä rajapinnalla kuin kerroksen sisälläkin. Monikerroskartongin sisäkerros val-mistetaan usein mekaanisesta massasta, jonka sitoutumiskyky on muihin massoihin verrattuna heikompaa. Tämän vuoksi kerroksen sisäinen palstautuminen onkin yleisintä sisäkerroksessa. Erillisirainauksella kerrosten välisestä sitoutuneisuudesta ei tule yhtä hyvää kuin monikerrosperälaatikolla muodostetussa rainassa, jossa kerros-ten välinen palstautuminen ei yleensä ole ongelma. Erillisirainausmenetelmällä val-mistetuissa monikerroskartongeissa kerrosten rajapinnat ovatkin heikoimpia, sillä kuituverkko on näissä kohdissa epäjatkua. (Kajanto 2008, 253 - 260.)

Kuitujen väliset sidokset vaikuttavat palstautumiseen. Sidokset ovat pääasiassa sellu-loosan tai hemiselluloosan hydroksyyliiryhmien välisiä vetysidoksia. Vetysidosten määrä ja laatu rainassa vaikuttaa kerroksen sisäiseen lujuuteen, kuten myös niiden määrä ja laatu kerrosten rajapinnalla vaikuttaa kerrosten väliseen lujuuteen. (Mts. 260.)

3.3.2 Palstautumista aiheuttavat rasitukset

Kartongin palstautumislujuus on kriittinen tekijä monen jatkojalostusprosessin sekä tuotteen loppukäytön kannalta. Pakkauksessa ei saa tapahtua palstautumista varastoinnin aikana tapahtuvien kosteusvaihteluiden eikä jatkojalostuksessa syntyvien rasituksienkaan myötä. Lisäksi pakkauksen pitäisi aueta vaivattomasti, niin ettei kartonki halkea.

Kartonkiin kohdistuu tasonsuuntaista rasitusta muun muassa painatuksessa. Pääasiassa kartongin painatuksessa käytetään arkkioffsetmenetelmää, mutta suurien erien painatuksessa käytetään usein syväpainomenetelmää. Arkkioffsetmenetelmästä poiketen syväpaino ei aseta suuria vaatimuksia kartongin z-suuntaiselle lujuudelle eikä pinalujuudelle. (Auhorn & Kogler 2006, 338 - 340.) Offset-painatuksessa painofilmin haljetessa painovärit vetävät kartongin pintaa mukaansa. Jos kartongin kerrokset ovat sitoutuneet huonosti toisiinsa, voi kartongissa tällöin tapahtua palstautumista. (KnowPap 2007).

Palstautumislujuuden heikkeneminen on vaarana elintarviketarkoituksiin valmistettavilla kartongeilla, eritoten nestepakkauskartongeilla. Niiden läpäisemättömyysominaisuuksia parannetaan usein muovipäällistyskäsittelyllä. Päällistysprosessissa esiintyvät korkeat lämpötilat saattavat aiheuttaa kerrosten välisten kuiturakenteiden löyhtymistä. (Hägglom-Ahnger & Komulainen 2003, 76.)

Kartongin taitekohtien tekemiseen käytetään nuuttausmenetelmää, jossa kartonkia painetaan taiteuraan nuuttausterällä. Nuuttauksessa kartongin tulee jakautua ohuiksi kerroksiksi siten, että kerrokset eivät pullistu ulos tasosta eikä pintakerros repeä. Kartongin monikerroksinen rakenne auttaa jakautumista eli delaminoitumista, sillä kerrosten välinen sitoutuneisuus on heikompi kuin kerroksen sisäinen sitoutuneisuus. (Hatanpää ym. 2008, 253 - 254.)

Edellä mainittujen rasitusten lisäksi kartonkiin vaikuttaa myös jännityksiä, jotka pyrkivät heikentämään palstautumislujuutta. Kuivatusosalla kartongin eri materiaaleilla voi tapahtua erilaista käyristymistä, joka aiheuttaa kerrosten välille jännityksiä. Jänni-

tykset alentavat materiaalien sitoutuneisuutta, joten palstautumislujuus voi olla jopa 20 % heikompi radan keskellä kuin reuna-alueilla. (Fellers, Hansson, Lund & Wahlström 2000, 237 - 242.)

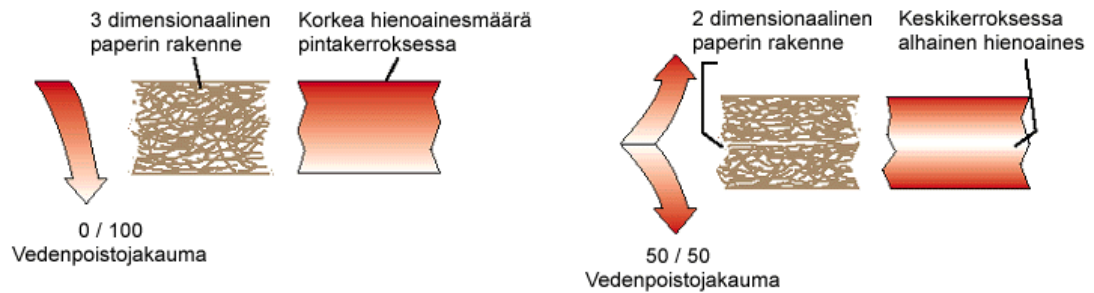
3.3.3 Vaikuttaminen kartongin palstautumislujuuteen

Yleisesti voidaan todeta, että kaikki, mikä lisää kuitujen välisiä sidoksia, lisää myös lujuuksia. Palstautumislujuuteen vaikuttavia tekijöitä ovat muun muassa

- massatyyppi
- formerityyppi
- formerin ajoparametrit
- märkäpuristus sekä
- lämpötila (KnowPap 2007).

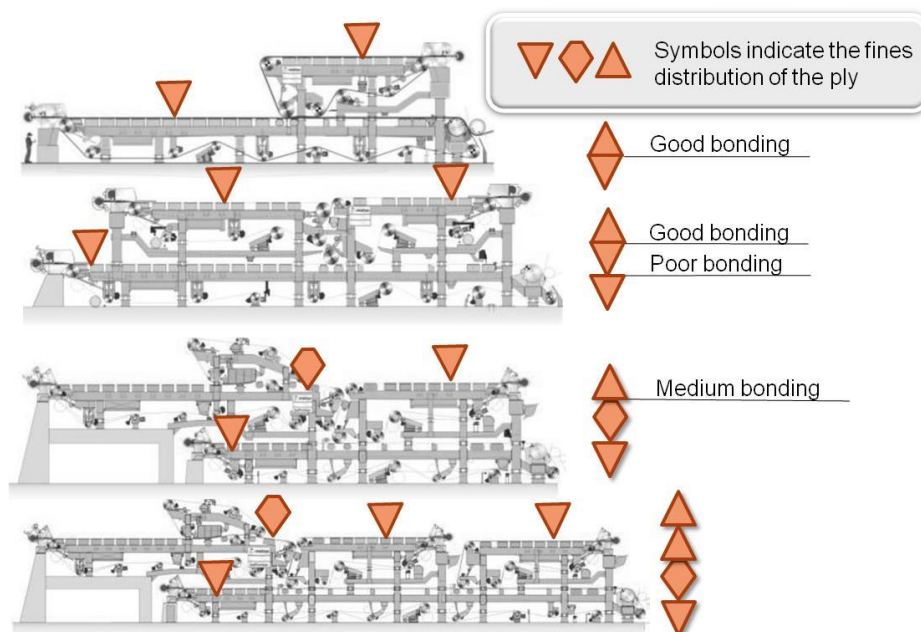
Kuten edellä on mainittu, on monikerroskartongin sisäkerroksella suuri neliömassa ja se valmistetaan usein huonommin sitoutuvasta mekaanisesta massasta. Tästä johtuen on tämän nimenomaisen kerroksen muodostus palstautumislujuuden kannalta tärkein. Sitoutuneisuuden merkitys on sitä suurempi, mitä lyhyempiä kuidut tai niiden projektiot rasisuunnassa ovat. Tämän johdosta sitoutuneisuuden paraneminen vaikuttaa eniten rainan z-suuntaisiin lujuusominaisuuksiin. Mekaanisen massan sitoutumiskyvystä suurin osa on peräisin hienojakeesta, jolloin palstautumislujuus riippuu hienoaineen kokonaismäärästä ja laadusta. Samoin hienoaineen retentiolla sekä hienoaineen jakaumalla rainan z-suunnassa on merkitystä rainan palstautumislujuuteen. (Mt.)

Hienoaineen z-jakauman muoto rainassa määräytyy ensisijaisesti sen mukaan, onko vedenpoisto rainasta jaksottaista vai yhtäjaksoista. Z-jakauman muotoon vaikuttaa myös se, tapahtuuko vedenpoisto yhteen vai kahteen suuntaan (ks. kuvio 7). Formereista paras palstautumislujuus saavutetaan tasoviiralla, jolla yksipuoleisen vedenpoiston ansiosta rainan paksuussuunnassa ei muodostu heikkoja kohtia eli hienoainesköyhiä alueita. Kaksoisviiraformereilla vettä poistetaan molempien pintojen läpi, jolloin rainaan muodostuu aina hienoainesköyhä alue. (Mt.)



KUVIO 7. Yksipuoleisella (vasemmalla) ja kaksipuoleisella (oikealla) vedenpoistolla syntyvä rainan z-suuntainen hienoainejakauma (KnowPap 2007)

Monikerroskartongin kerrosten välisen palstautumislujuuden kannalta tärkeimpiä muuttujia ovat jauhatusaste, kerrosten kuiva-ainepitoisuudet sekä edellä mainittu rainan z-suuntainen hienoainejakauma (ks. kuvio 8). Jauhatusaste ja hienoainejakauma ovat luonnollisesti vaikuttamassa myös kerroksen sisäiseen palstautumislujuuteen, johon vaikuttaa voimakkaasti myös suotautettavan rainan rakenne. (Mt.)



KUVIO 8. Rainan hienoainejakauman vaikutus kerrostenväliseen palstautumislujuuteen (Board machine forming sections 2010)

Monikerroskartongin valmistuksessa rainojen kuiva-ainepitoisuudella vaikutetaan eri kerrosten väliseen lujuuteen. Lisäksi kerrosten liittäminen yhteen huopattamalla parantaa kerrosten välistä palstautumislujuutta. Huopautuneessa rakenteessa kuituja on orientoituneena myös z-suunnassa, jolloin kartongin palstautumiseksi joudutaan sidosten lisäksi rikkomaan myös kuituja, mikä vaatii suurempaa rasitusvoimaa. Huopautus tulisi tehdä mahdollisimman alhaisessa kuiva-ainepitoisuudessa. Mitä kosteampina rainat yhdistetään, sitä paremmin ne pystyvät keskenään muodostamaan kuitusidoksia. (Mt.)

Palstautumislujuutta voidaan parantaa myös tärkkelyksellä tehtävän massaliimauksen ja pintaliimauksen avulla. Tärkkelyksen kuivalujuutta parantava vaikutus perustuu kuitujen välisten sidosten vahvistamiseen. Sidosten vahvistuminen tapahtuu vapaiden glukoosi-hydroksyyliyhmiin muodostaessa vetysidoksia kuitujen ja hienoainien kanssa, jolloin palstautumislujuus kasvaa. Vetysidosten ansiosta kuitusidokset jakautuvat rainassa tasaisemmin. Tärkkelyksen formaatiota parantava vaikutus puolestaan perustuu täyte- ja hienoaineretention parantumiseen tärkkelyksen käytön myötä. (Auhorn 2006, 71.) Pintaliimauksessa arkin sisäistä lujuutta parantaa arkin sisälle tunkeutunut tärkkelys. Kuivassa rainassa liimauslujuus perustuu jokseenkin yksinomaan vetysidoksiin, joten eri tärkkelyksillä saadaankin tässä mielessä samanlainen liimaustulos. (KnowPap 2007.)

4 TÄRKKELYS KARTONGIN VALMISTUKSESSA

4.1 Tärkkelyksen tuotanto ja käyttötarkoitus

Tärkkelyksen vuosittainen tuotanto on noin 48,5 miljoonaa tonnia, josta valtaosa eli 52 % tuotetaan Yhdysvalloissa. Tärkkelyksen tärkein raaka-aine on maissi, josta valmistettavan tärkkelyksen osuus on 75 % tärkkelyksen kokonaistuotannosta. Muita

tärkkelyksen raaka-aineita ovat muun muassa tapiokajauho, vehnä ja peruna. (Auhorn 2006, 68.)

Tärkkelys on eniten käytetty kemiallinen lisäaine paperin ja kartonginvalmistuksessa. Tärkkelys voidaan lisätä suoraan massan sekaan tai se voidaan myös applikoida rai-
nan pintaan pintakäsittelymenetelmällä. Tärkkelysjohdannaisia käytetään pääosin
parantamaan paperin ja kartongin kuivalujuutta sekä täyte- ja hienoaineretentiota.
(KnowPap 2007.) Lisäksi tärkkelyksen käytöllä on suuri merkitys sidosaineena pig-
menttipäällystyksessä ja pintaliimauksessa. Tärkkelystä käytetään paperiteollisuu-
dessa vuosittain noin 5,5 miljoonaa tonnia. (Auhorn 2006, 68 - 69.)

4.2 Tärkkelyksen rakenne

Tärkkelys on luonnon polymeeri, joka koostuu glukoosimonomeereista. Tärkkelys on
selluloosan jälkeen toiseksi eniten biologisesti tuotettu orgaaninen aine. Tärkkelyspo-
lymeeri on kemiallisesti hyvin samanlainen kuin selluloosa, mutta niiden välinen
eroavaisuus piilee niiden rakenteissa. Rakenteellisten erojen myötä niiden ominai-
suudetkin ovat erilaiset. (Bruun 2009a, 192 - 193.)

Rakenteelliset erot tärkkelyspolymeerin ja selluloosan välillä johtuvat niiden sisältä-
mien glukoosimonomeerien erilaisista sidoksista. Glukoosiosien välisiä sidoksia kut-
sutaan glykoosisidoksiksi, joiden suuntautuneisuus on erilainen tärkkelyksellä ja sel-
luloosalla. Tärkkelyksessä glykoosisidokset ovat samansuuntaisia, kun taas selluloo-
sassa kaksi peräkkäistä sidosta ovat vastakkaisesti suuntautuneet. Tämän ja gly-
koosisidoksen ominaisuuden vuoksi selluloosa on suora ja tärkkelys kierteinen poly-
meeri. (Mts. 192 - 193.)

Tärkkelyspolymeeri on sekoitus lineaarisia ja haarautuneita molekyyleja. Lineaarista
osaa kutsutaan amyloosiksi ja haarautunutta osaa amylopektiiniksi. Näiden moleky-
lien suhteellinen määrä tärkkelyksessä sekä tärkkelysgranulaattien eli -jyvästen muo-
to ja koko riippuvat siitä, mistä kasvista tärkkelys on peräisin. Samoin muiden ainei-

den määrät ja tyypit tärkkelyksessä riippuvat tärkkelyksen alkuperästä. (Mts. 192 - 193.)

Tärkkelyslajit eroavat toisistaan liukoisuus- ja viskositeettiomaisuuksiltaan. Tärkkelykset voidaan jakaa liukoisuusomaisuuksiltaan kahteen ryhmään: kuumaliukoisiin ja kylmäliukoisiin. Natiivitärkkelykset ovat kaikki kuumaliukoisia ja niiden viskositeettiomaisuudet riippuvat paljolti kunkin tärkkelyslajin raaka-aineesta. Esimerkiksi perunatärkkelyksellä on huomattavasti korkeampi viskositeetti kuin maissitärkkelyksellä. (KnowPap 2007.)

4.3 Tärkkelyksen modifiointi

Paperiteollisuudessa käytettävät tärkkelykset voidaan jakaa pintakäsittelytärkkelyksiin ja massatärkkelyksiin. Sekä pintakäsittelytärkkelykset että massatärkkelykset ovat modifioituja. (Krogerus 2007, 81.)

Tehokkaan käytön aikaansaamiseksi paperin ja kartonginvalmistuksessa natiivitärkkelystä täytyy modifioida. Modifioinnilla voidaan vaikuttaa muun muassa seuraaviin tärkkelyksen rakenteellisiin ominaisuuksiin:

- amylopektiini - amyloosi sidosten lukumääriin
- raekokoon
- keittymislämpötilaan sekä
- molekyylipainoon. (Auhorn 2006, 70.)

Modifiointi mahdollistaa tärkkelysmolekyylien toiminnallisuuksien lisäämisen tai uusien ominaisuuksien lisäämisen niihin. Lisäksi modifioinnilla on mahdollista muuttaa tärkkelyksen reologisia ominaisuuksia ja itse asiassa modifioinnin mahdollisuudet ovat rajattomat, sillä tärkkelysmolekyylien kemiallinen reaktioherkkyys on hyvä. Modifiointimenetelmät voidaan jakaa karkeasti kahteen pääryhmään: degradaatioon sekä substituutioon. (Bruun 2009a, 197.)

Degradaatiomenetelmä perustuu tärkkelyksen polymeeriketjujen pilkkomiseen, jonka myötä tärkkelyksen molekyylipaino vähenee. Jokainen degradaatiomenetelmä synnyttää ominaisuuksiltaan ja toiminnaltaan erilaisen lopputuotteen. Degradaatio toteutetaan hapoilla ja entsyymeillä käyttäen hyväksi hapetus- tai lämpökäsittelymenetelmää. (Krogerus 2007, 81.)

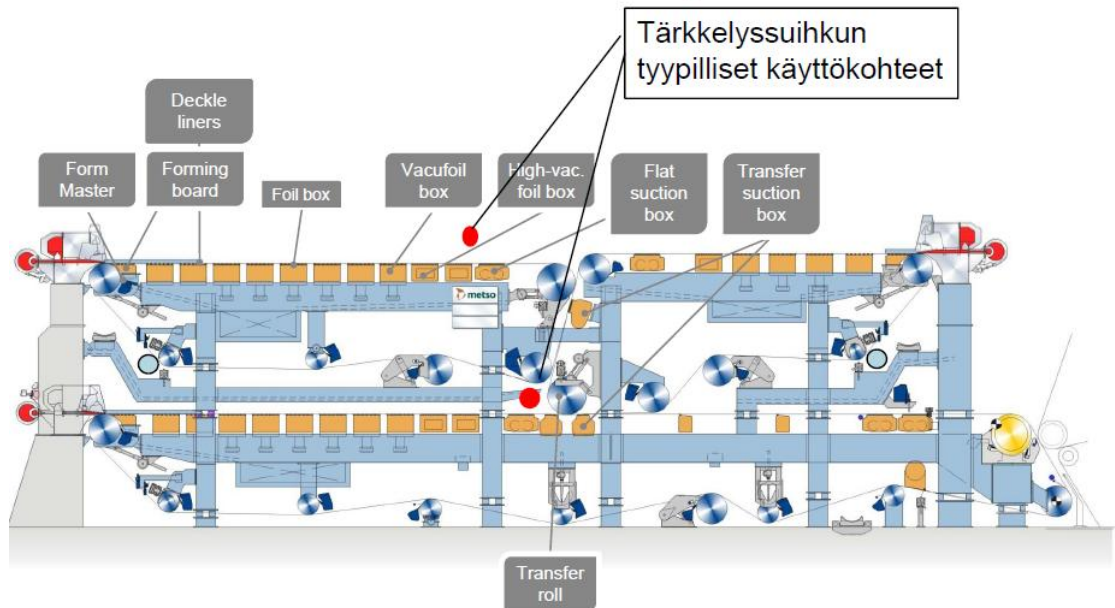
Substituutiointimenetelmä puolestaan perustuu tärkkelyksen eri molekyyliyhdyntien korvaamiseen joillain toisilla ryhmillä. Pintakäsittelytärkkelyksiä modifioidaan muutamia menetelmiä käyttäen, jotta niiden toimivuus ja tärkeät ominaisuudet voidaan saavuttaa. (Bruun 2009a, 198.)

4.4 Spraytärkkelys

Pintakäsittelyyn käytetään 80 % paperiteollisuuden tärkkelyksen kokonaiskulutuksesta. Pintakäsittelyn tärkkelyskulutus pitää sisällään pintaliimaukseen, päällystykseen sideaineeksi ja spraysuihkutukseen käytettävät tärkkelysmäärät. Pintakäsittelyn tärkkelyskulutuksesta 62 % jakautuu pintaliimaukseen, 15 % päällystykseen ja 3 % spraysuihkutukseen. (Auhorn 2006, 72.)

Monikerroskartongin valmistuksessa käytettävän spraytärkkelyksen päätavoite on parantaa kerrosten välistä liitoslujuutta. Yleisesti ottaen pintakäsittelytärkkelyksen päätavoite on parantaa paperin ja kartongin pintaominaisuuksia lisäämällä pintalujuutta sekä sitomalla kuituja sekä pigmenttejä voimakkaammin rainan pintaan. Tärkkelyksellä kasvatetaan myös kerroksen sisäistä lujuutta rainan paksuussuunnassa eli z-suunnassa. (Mts. 72.)

Spraytärkkelys aplikoidaan monikerroskartonkikoneilla halutun kerroksen pintaan hienojakoisena sumuna ennen kerrosten yhteenliittämistä. Kolmikerroskartongeilla tärkkelys aplikoidaan tyypillisesti sisäkerroksen ja alapinnan pinnalle (ks. kuvio 9). Tällöin puhutaan tärkkelyssuihkulaitteiden sijaitsevan ylä- ja alapositioissa.



KUVIO 9. Spraytärkkelyksen tyypilliset aplikointipositiot kolmikerroskartonkikoneella (Partanen 2009)

Rainan sisäisiin lujuuksiin luetaan puhkaisulujuus, vetolujuus ja plybond eli kerrosten välinen palstautumislujuus. Puhkaisulujuudessa voidaan saavuttaa 10 - 35 %:n ja vetolujuudessa 8 - 13 %:n parannus spraytärkkelyksen käytön myötä. Maksimaalinen parannus puhkaisu- ja vetolujuuteen voidaan saavuttaa vain, jos tärkkelyksen tunkeuma rainaan on riittävän hyvä. Käytännössä tämä edellyttää tärkkelyksen aplikointia ennen vesirajaa, mikä ei puolestaan toteudu hyvää palstautumilujuutta tavoittelevassa tärkkelysaplikoinnissa monikerroskartongin valmistuksessa. Palstautumislujuus voi parantua jopa 20 - 200 % spraytärkkelyksen käytön myötä. Palstautumislajuuden kasvu riippuu pitkälti tärkkelyksen aplikointipaikasta viiraosalla. Mitä määrempää raina aplikointipaikalla on, sitä vähemmän tärkkelystä jää rainan pintaan sen kulkeutuessa suodosvirran mukana rainan sisään. (Starch Spraying n.d.) Monikerroskartonkien viiraosilla tärkkelys aplikoidaan rainan pintaan vasta vesirajan jälkeen, jolloin tärkkelyksen saanti rainan pinnalla kasvaa pintaveden suodosvirran vaikutuksen lakattua. Näin ollen tärkkelyksen vaikutus palstautumislajuuteen on suurempi kuin aplikoidaessa ennen vesirajaa ja lisäksi tärkkelyksen kulutus on vähäisempää paremman saatavuuden ansiosta.

Spraytärkkelyksenä voidaan käyttää natiivitärkkelyksiä, joiden alkuperä voi olla niin viljat tai maissi kuin perunakin. Lisäksi myös modifioidut tärkkelykset, kuten esimerkiksi kationisoitu tärkkelys ovat sopivia spraytärkkelykseksi. Spraytärkkelys valmistetaan sekoittamalla tärkkelys mekaanisesti puhdistettuun veteen, jonka lämpötilan tulee olla alle 40°C. Sekoituksesta muodostuu sumutukseen tarvittava spraytärkkelysliete, jonka sakeus on tyypillisesti 1 - 6 % välillä. (Bruun 2009b.)

Spraytärkkelyksen yksi tärkeimmistä ominaisuuksista on keittymislämpötila, sillä spraytärkkelys annostellaan keittämättömänä lietteenä rainan pintaan (mt). Tärkkelys on liimauskykyistä vasta keittyneenä, jolloin sen granulaatit eli jyväset ovat liuenneet ja niiden sisältämät sidoksia muodostavat hydroksyyliiryhmät ovat vapautuneet (Lehtinen & Paltakari 2009, 311). Spraytärkkelyksen tulisi keittyä heti kuivatusosan alussa, jolloin koko rainan kosteus on vielä melko korkea. Tällöin vapautuvat hydroksyyliiryhmät pystyvät muodostamaan lujuttavaa sidoksia kerrosten rajapinnoilla. (Starch Spraying 2008.)

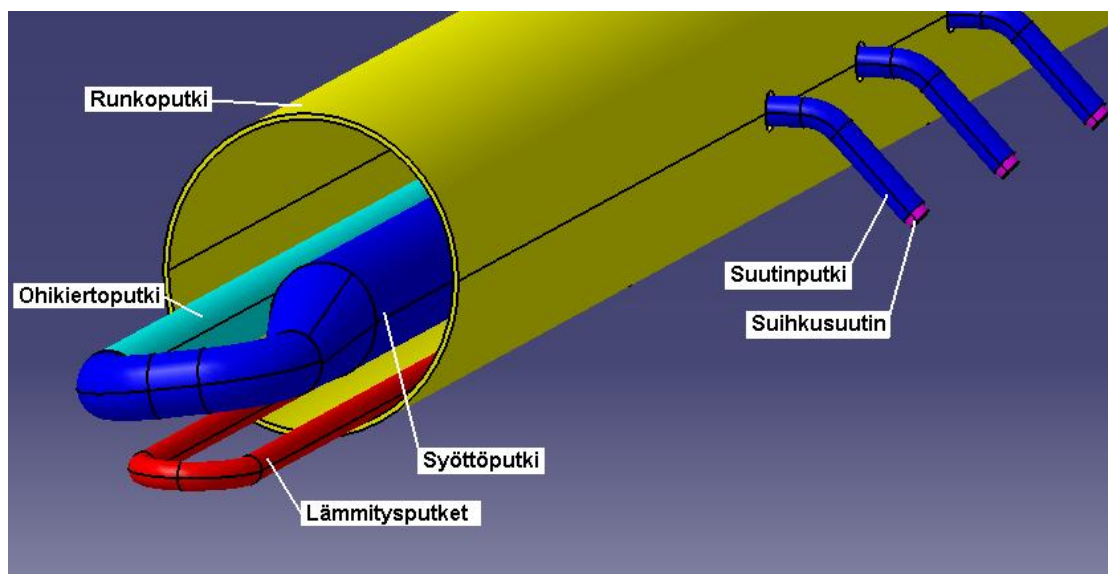
4.5 Levitysmenetelmänä suihkuttaminen

4.5.1 Tärkkelyksen suihkutuslaitteen rakenne ja toiminta

Tärkkelyksen suihkutuslaitteen rakenne koostuu tärkkelyssuihkuputkesta ja sen kannakinnistä, jonka rakenne määräytyy toimitusprojektikohtaisen viiraosan rakenteen mukaan. Tärkkelyssuihkuputken toiminta perustuu spraytärkkelyslietteen suihkuttamiseen rainan pinnalle tasaista suihkutuspainetta, syöttö- ja ohikertoputkistoa sekä suihkusuuttimia hyväksikäyttäen. Tavoitteena on saada laadultaan ja pitoisuudeltaan sopiva tärkkelysliete suihkutettua tasaisesti rainan pinnalle koneen leveysuunnassa. Levityksen tavoitteena on saavuttaa vähintään kaksinkertainen peitto rainan pinnalla. (Hyppönen 2008.)

Tärkkelyssuihkuputken rakenne koostuu karkeasti jaoteltuna kuudesta osasta (ks. kuvio 10), jotka ovat

- runkoputki
- runkoputken sisään sijoitetut syöttö- ja ohikierto putket
- optiona olevat runkoputken lämmityspotket
- syöttöputkeen kiinnitettävät suutinputket sekä
- suutinputkiin kiinnitettävät suihkusuuttimet.



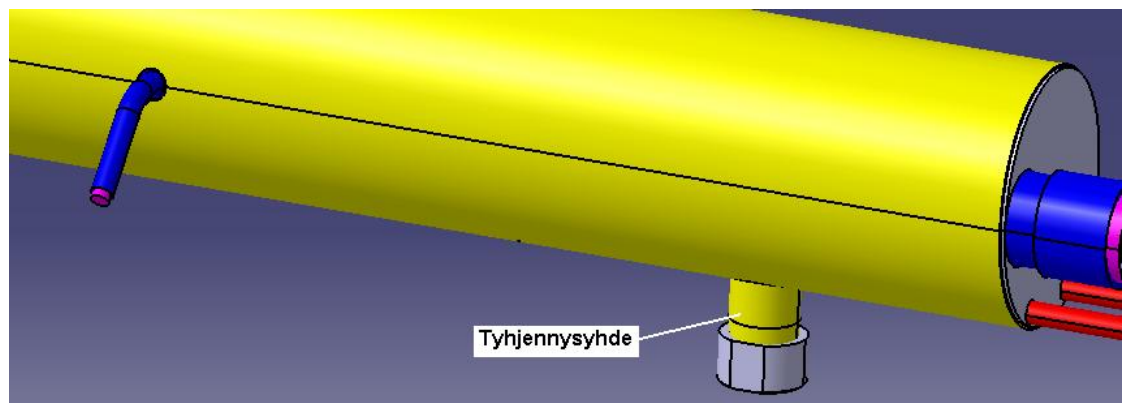
KUVIO 10. Tärkkelyssuihkuputken rakenne

Tärkkelysliete syötetään syöttöputkeen, jossa osa lietteestä ohjautuu suutinputkiin ja osa ohikiertoputkeen. Suutinputkista tärkkelysliete suihkutetaan rainan pinnalle suihkusuuttimien avulla. Tärkkelyslietteen ohikierron päätehtävänä on estää tärkkelyslietteen sakkautumista putkistossa (Hyppönen 2010).

Runkoputken lämmityspotkien tehtävänä on estää tärkkelyspitoisen veden kondensoituminen runkoputken alapinnalle. Viiraosan lämpimässä ilmassa olevan veden joutuessa kosketuksiin kylmemmän runkoputken pinnan kanssa, aiheuttaa veden kondensoitumista putken alapinnalle. Ajan myötä kondensoitumisessa syntyvät likakertymät alkavat tipahdella rainalle aiheuttaen katkoja. Kondensoituminen pyritään

estämään runkoputkea lämmittämällä. Tosin menetelmän käytöstä eikä sen toimivuudesta käytännössä ole dokumentoitua aineistoa. (Mt.)

Runkoputken rakenteeseen kuuluu osaksi myös sen toisen pään alapinnalle sijoitettu tyhjennysyhde (ks. kuvio 11). Tyhjennysyhde helpottaa runkoputken sisälle kertyvien nesteiden sekä runkoputken huuhteluvesien poistamista putken sisältä. (Mt.)



KUVIO 11. Runkoputken tyhjennysyhde

4.5.2 Suihkutusmenetelmässä havaitut heikkoudet

Useimpien tärkkelyssuihkuputken käytössä havaittujen ongelmien taustavaikuttajana on ilmavirta. Viiralenkin pyörivä liike muodostaa viiran pinnalle sen suuntaisesti liikuvan ilmavirtauksen, jolla on suurin nopeus viiran pinnan tuntumassa olevassa rajakerroksessa. Ilmavirtauksen nopeus on pääosin riippuvainen viiran pyörimisnopeudesta. Rajakerroksen suuruuteen vaikuttavat pääosin radan ilmanläpäisy sekä radan yli vallitseva paine-ero. Lisäksi rajakerroksen suuruuteen vaikuttaa muun muassa viiran karheus, mutta sen merkitys ei ole missään nimessä suuri verrattuna läpivirtauksen merkitykseen. (Åkerholm 2006.) Tärkkelyssuihkutuksessa esiintyvät ongelmat ovat karkeasti rajattuna ajokatkot ja huono levityslaatu. Seuraavassa on esitelty näiden ongelmien aiheuttajat sekä niiden taustatekijät.

Viiran pinnalla kulkeva ilmavirtaus kaappaa mukaansa tärkkelyksen suihkutuksessa syntyvää hienojakoista sumua. Ilmavirran kaappaaman sumun määrään voi osaltaan vaikuttaa käytettävän suihkusuuttimen malli. On epäilty, että sumuaminen olisi parempaa kartiosuuttimia kuin tyypillisiä viuhkasuuttimia käytettäessä. (Hyppönen 2007.) Tärkkelyspitoinen sumu leviää ilmavirran mukana ympäristöön sekä ympäröiviin rakenteisiin, kuten esimerkiksi hoitosilloille sekä itse tärkkelyssuihkutuslaitteeseen. Kuviossa 12 on havainnollistettu tärkkelyssumun aiheuttamaa likaantumista tärkkelyssuihkuputken pinnalla ja kuviossa 13 tärkkelyssuihkuputken alapositiota ympäröivissä rakenteissa. Tärkkelyspitoisen aineen kerääntyminen rakenteisiin aiheuttaa usein vaikeuksia ajettavuuteen, sillä ajan myötä likakertymiä tipahtelee rakenteista radalle aiheuttaen katkoja.



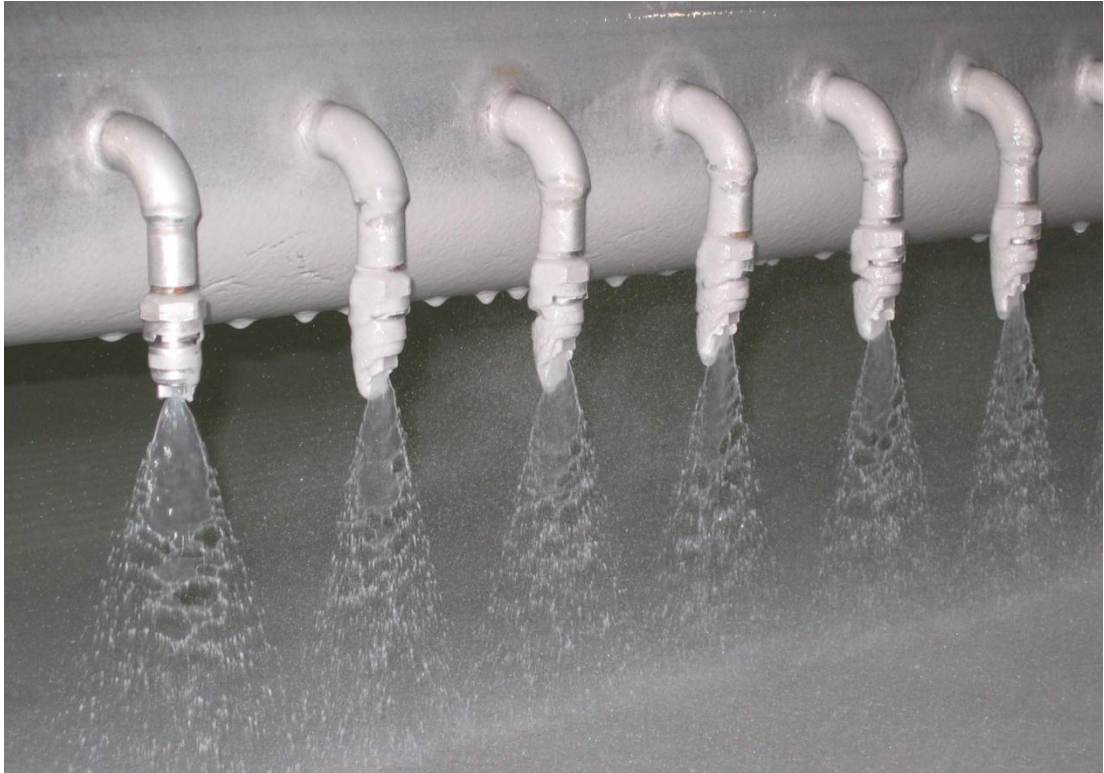
KUVIO 12. Likakertymiä tärkkelyssuihkuputken pinnalla (Partanen 2007b)



KUVIO 13. Likakertymiä ympäröivissä rakenteissa (Partanen 2009)

Rakenteiden likaantumisen ohella ongelmia on ilmennyt myös levityksen laadussa. Ongelman taustalla vaikuttavat useat eri tekijät, mukaan luettuna edellä mainittu ilmavirran aikaansaama likaantuminen.

Eräs levityksen laatuun vaikuttava tekijä on suihkusuuttimien ajonaikainen toiminta. Ongelmana on ollut suuttimien ajonaikainen likaantuminen (ks. kuvio 14) ja niiden tukkeutuminen osittain tai kokonaan. Tämän takia levityksen laatu ja eritoten levityksen peitto on heikentynyt. Suutinten likaantumiseen ja tukkeutumiseen vaikuttaa varmasti osaltaan ilmavirran kuljettama tärkkelyssumu, mutta myös puutteellinen tärkkelyslietteen suodatus voi olla ongelman taustalla. (Sjolin 2010.) Toisaalta suuttimien tukkeutumisen riski kasvaa sitä suuremmaksi, mitä pienempi suutinkoko käyttöön valitaan.



KUVIO 14. Tärkkelyssumusta likaantuneita suihkusuuttimia (Pousi 2007)

Levityksen laatuongelmaan voi osaltaan vaikuttaa myös suihkujen vaillinainen avautuminen, jolloin tärkkelyssuihkun peittävyys rainan pinnalla heikkenee. Vaillinaisen avautumisen taustalla, edellä mainitun suutinten likaantumisen ohella, voi olla liian lyhyt suihkutusetäisyys. Liian lyhyen suihkutusetäisyyden takia tärkkelyssuihku ei ehdi avautua tarpeeksi ennen osumistaan rainan pintaan. (Pihlajasaari 2007.) Toisaalta tärkkelyssuihkun avautumiseen ja sitä kautta peittävyyteen sekä levityslaatuun voi vaikuttaa myös suihkutuspaine. Liian alhaisella paineella suihku ei saavuta suuttimelle luvattua levityskulmaa, jolloin peitto rainan pinnalla voi jäädä vajaaksi. Liian pieni suihkutuspaine alentaa myös suihkun hienojakoisuutta, minkä takia levitysjäljestä tulee epätasaisempaa. (Partanen 2007a.)

Levityksen laatuun, eritoten käytettäessä viuhkasuuttimia, voi osaltaan vaikuttaa myös suuttimien suuntaus. Jos viuhkasuuttimien suutinhahlot asennetaan toistensa kanssa samansuuntaisesti, niin viuhkat törmäävät toisiinsa ennen suihkujen osumista

rainan pintaan. Tällöin levityksen laatu heikkenee ja suihkujen törmäyksessä syntyy pisarointia, jota ilmavirtaus voi kaapata mukaansa. Viuhkasuuttimet tulisikin asentaa siten, että niiden suutinahahlot eivät asettuisi samansuuntaisesti. Tällöin suihkut asettuisivat limittäin eivätkä törmäisi suihkutuksessa toisiinsa. (Starch Spraying n.d.)

5 SUIHKUTUSLAITTEEN RAKENTEEN KEHITTÄMINEN

5.1 Pohjatietona Tärkki'09-projekti

Kuten aiemmin mainittiin, on opinnäytetyö jatkoa Jyväskylän ammattikorkeakoulussa syksyllä 2009 tehdyille projektityölle Tärkki'09. Tärkki'09-projektissa opiskelijaryhmän tehtävänä oli ideoida parannusehdotuksia tärkkelyksen suihkutuslaitteen rakentamiseen, niin että suihkutusmenetelmällä esiintyvä ilmavirran aiheuttama likaantumisongelma saataisiin poistettua tai sitä saataisiin pienennettyä. (Humalajoki & Mätäsaho & Riihimäki 2009.)

Projektissa ideoiduista parannusehdotuksista valittiin vertailun pohjalta toteutuskelpoisin vaihtoehto, josta suunniteltiin ja rakennettiin koelaitte. Koelaitetta testattiin koeajoissa, joissa pyrittiin selvittämään ideoidun rakenteen vaikutusta viiran pinnalla kulkevan ilmavirran suuruuteen ja käyttäytymiseen. (Mt.)

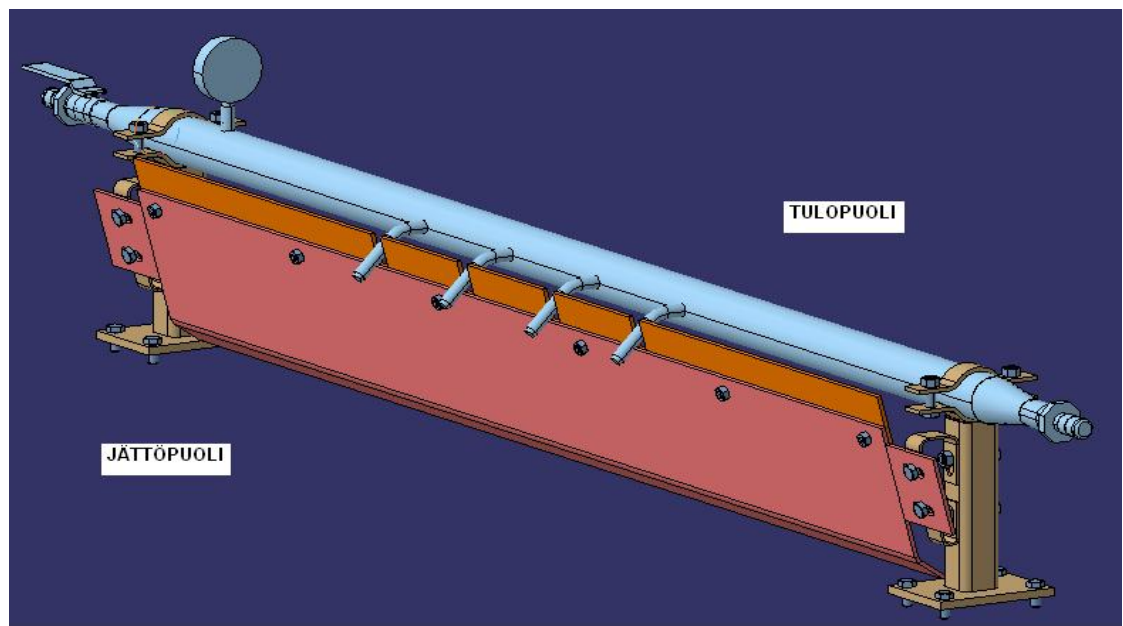
Koeajotulosten analysoinnin pohjalta tehtiin koelaitteen eri säätömalleista malliverailu. Vertailun ja koko projektin tuloksena muodostui käsitys siitä, millaista tärkkelyssuihkuputken rakennemallia kannattaisi jatkossa kehittää. Valittu rakenne-ehdotus koostuu tuotemallina olevasta tärkkelyssuihkuputkesta sekä sen eteen asetetusta ilmanohjainlevystä. Rakenteen toiminta perustuu haitallisen ilmavirtauksen kaavaamiseen ja ohjaamiseen ilmanohjainlevyllä suihkujen ohi. Vertailussa tämän rakenne-ehdotuksen etuihin kuuluivat muun muassa yksinkertaisuus sekä toimivuus

ilmavirran ohjauksessa ja sen nopeuden pienentämisessä. Opinnäytetyön taustatietona oli tämän projektin dokumentoitu materiaali ja lähtötietona projektissa annettu rakenne-ehdotus, jota hyödynnettiin koelaitteen ideoinnissa ja suunnittelussa. (Mt.)

5.2 Koelaitteen suunnittelu

5.2.1 Suunnittelun perusta

Kuviossa 15 esitetyn koelaitteen suunnittelun lähtökohtana oli kehittää Tärkki'09-projektissa annettua tärkkelyssuihkutuslaitteen rakenne-ehdotusta. Käytännössä tämä tarkoitti ilmanohjainlevyyden liittyvien parannuksien ideoimista. Rakenteen suunnittelussa täytyi kiinnittää huomiota yksinkertaisuuteen ja säädettävyyteen, jotta suoritettavissa koeajoissa olisi mahdollista testata useita eri säätövaihtoehtoja mahdollisimman vaivattomasti. Näin tulosten analysoinnissa voitaisiin havaita paremmin laitteen hyvät puolet sekä heikkoudet.

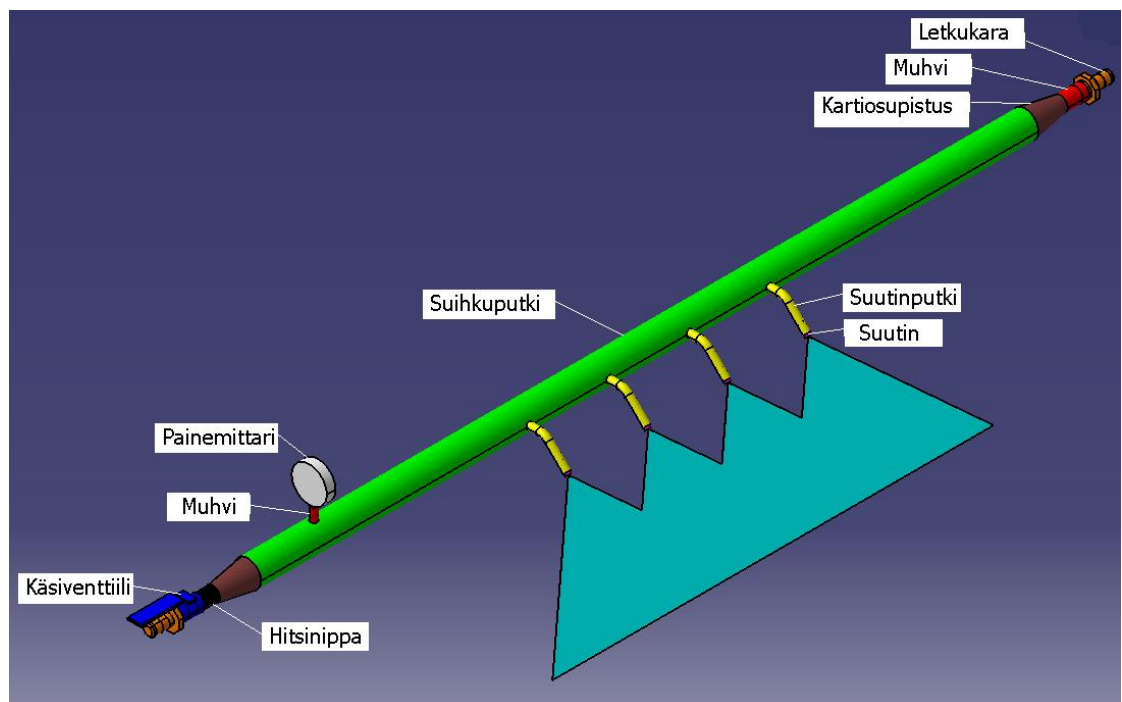


KUVIO 15. Koelaitteen kokoonpanokuva

Koelaitteen suunnittelu jakautui suihkuputken, kannakoinnin ja ilmanohjainlevyn suunnitteluun. Suunnittelu tehtiin Catia V5-mallinnusohjelmaa hyväksikäyttäen. 3D-mallinnusohjelma mahdollistaa suunniteltujen osien ja kokoonpanojen yhteensopivuuden tarkastelun jo ennen laitteen valmistusta sekä helpottaa mittasuhteiden ja muotojen hahmottamista.

5.2.2 Suihkuputki

Koelaitteen suunnittelun ensimmäinen vaihe oli muokata tuotemallina olevasta tarkelyssuihkuputkesta koekoneen mittoihin ja käyttötarkoitukseen sopiva malli. Koekoneelle suunniteltu suihkuputki komponentteineen on esitetty kuviossa 16.



KUVIO 16. Suihkuputki

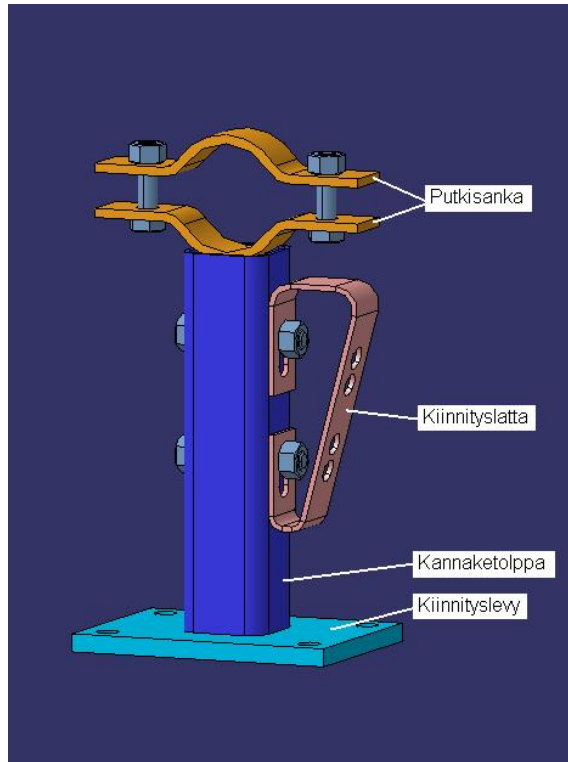
Suihkuputken rakenteessa päädyttiin ratkaisuun, jossa suihkuputken rakennetta yksinkertaistettiin vastaamaan sen käyttötarkoitusta. Koska koearjoissa käytettiin suih-

kutukseen vain vettä ja ajotapahtumankin oli kertaluontoinen, päätettiin suihkuputken rakenteesta karsia kaikki ”ylimääräinen” pois. Koelaitteen suihkuputken rakenne perustui tuotemallin syöttöputken, suutinputkien ja suutinputkien jakovälin hyödyntämiseen. Suihkuputki oli halkaisijaltaan tuotemallin syöttöputken kokoinen. Veden ohikierto oli järjestetty suoraan suihkuputken toisesta päästä, joka varustettiin käsi-käyttöisellä paineensäätöventtiilillä tasaisen suihkutuspaineen takaamiseksi sekä painesäädön mahdollistamiseksi. Suutinputket puolestaan olivat mitoiltaan tuotemallin mukaiset ja jakoväliltään sellaiset, että levityksessä saavutettiin kaksinkertainen peitto käyttämällä 80°:n levityskulmalla olevia viuhkasuuttimia. Suihkuputken päädyt varustettiin kartiosupistuksilla jouhevan virtauksen aikaansaamiseksi sekä suihkuputken huuhtelemisen helpottamiseksi. Letkuliitännät suihkuputken päätyihin toteutettiin letkukaroilla.

Suihkuputken komponenttien valinnassa pyrittiin ottaa huomioon valmistettavuuden helppous ja nopeus. Mahdollisimman moni suihkuputken komponenteista valittiin standardikokoisina ja mahdollisuuksien mukaan kierrelitoksellisina, jolloin komponenttien hankinta-aika ja toisaalta koko suihkuputkirakenteen valmistusaika saatiin minimoitua.

5.2.3 Kannakointi

Koelaitteen kannakointirakenne koostui kahdesta osasta: alatuennasta ja ylätuennasta. Alatuennasta hyödynnettiin MicroJet-tärkkelyksenlevityslaitteelle valmiiksi suunniteltua tuentarakennetta, johon suunnittelemani ylätuentarakenne (ks. kuvio 17) liitettiin ruuviliitoksella. Koelaitteen kannakoinnin tärkeimmäksi halutuksi ominaisuudeksi muodostui säädettävyys. Kannakointiin suunnitelluissa säädöissä yhdistyivätkin mahdollisuudet sekä koko tärkkelyssuihkuputkilaitteiston että ilmanohjainlevyn aseman muutokseen.



KUVIO 17. Ylätuentarakenne

Lähtökohtaisesti kannakointi suunniteltiin siten, että suihkuputki asetui tuotemallinmukaisesti 250 mm:n korkeudelle viiran pinnasta. Alatuennassa mahdollistettiin ylätuennan konesuuntainen säätö, joka siis samalla mahdollisti koko tärkkelyssuihkuputkilaitteiston konesuuntaisen säädön. Konesuuntainen säätö toteutettiin alatuennassa olevan ylätuennan kiinnityslevyn kolmella kiinnitysruuvireikäparilla, jolloin ylätuentaa voidaan siirtää konesuunnassa ruuvireikäpareista seuraavaan.

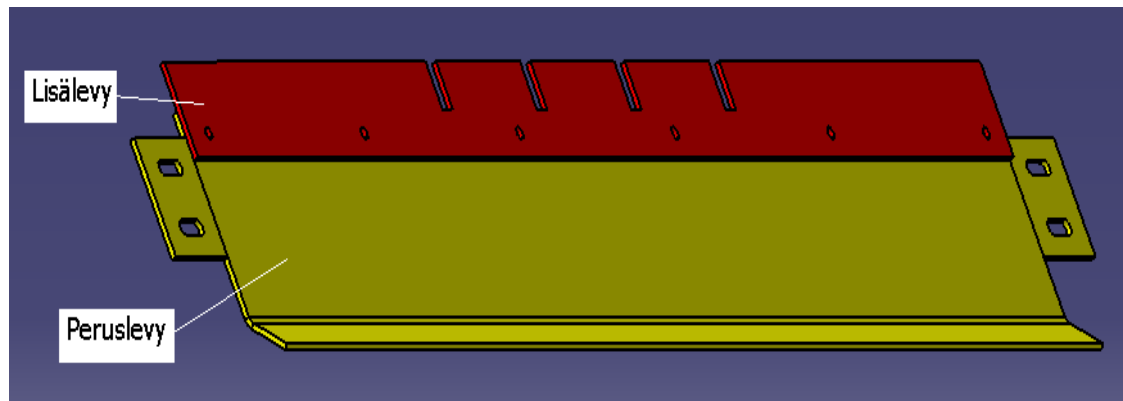
Ilmanohjainlevyä koskevia säätömahdollisuuksia olivat korkeussäätö ja asemasäätö. Korkeussäätö toteutettiin kiinnityslatteaan koneistetuilla ruuviurilla, jotka mahdollistivat latalle ja siten koko ilmanohjainlevylle pystysuuntaisen säädön. Asemasäätö voitiin toteuttaa kiinnityslatan paikkaa muuttamalla sekä vaihtamalla ilmanohjainlevyn kiinnityspaikkoja latassa. Kierrettäessä kiinnityslatteaa 180° koneen poikkisuuntaisen x-akselin ympäri, saatiin latte asennettua myös kannaketolpan toiselle puolelle. Kiinnityslatte ja sen kiinnitys kannaketolppaan suunniteltiin niin, että ilmanohjainlevyn

kulma ja etäisyys viiran nähden sekä kiinnityslatan korkeussäädön suuruus pysyivät muuttumattomina kiinnityspaikkaa vaihdettaessa.

Kiinnityslatan suunnittelun kautta pyrittiin parantamaan Tärkki'09-projektissa annettua rakenne-ehdotusta. Kyseisen projektin koelaitteen testeissä ilmanohjainlevyn kulma-arvoina olivat 30°, 37.5° ja 45°. Koeajotulosten analysoinnissa ei havaittu eroja ilmanohjainlevyn kyvyssä kaapata ja ohjata ilmavirtausta pois viiran pinnalta, kun käytettiin edellä mainittuja kulma-arvoja. Toisaalta kulma-arvojen pienuudella arveltiin olevan vaikutusta ilmanohjainlevyn taustapinnan eli suihkujen puoleisen pinnan kastumiseen. Pienen kulma-arvon vuoksi ilmanohjainlevyn ja viiran väliin syntyi avautuva "kita", jonka oletettiin aiheuttavan imua kitaan syntyvän alipaineen vaikutuksesta. Imun myötä suihkutuksessa syntynyttä vesisumua kertyi myös ilmanohjainlevyn taustapinnalle. Opinnäytetyön koelaitteessa ilmanohjainlevyn kulmaa viiraan nähden kasvatettiin 75°:een, siinä toivossa että imua aiheuttavaa alipainetta ei syntyisi ja näin levyn taustapinta ei kastuisi. Ilmanohjainlevy ei saisi kastua, sillä se tarkoittaisi oikeassa käyttötilanteessa tärkkelyspitoisen aineksen kertymistä levyrakenteeseen, jonka on edellä mainittu aiheuttavan ongelmia ajettavuuteen.

5.2.4 Ilmanohjainlevy

Ilmanohjainlevyn rakenne koostui peruslevystä ja siihen kiinnitetystä, irrotettavasta lisälevystä (ks. kuvio 18). Ilmanohjainlevyn suunnittelussa pääpaino oli muodolla ja säädettävyydellä. Levyn muotoilulla pyrittiin vaikuttamaan ilmavirran ohjauksen tehokkuuteen sekä levyn jäykkyyden lisäämiseen. Säädettävyydellä haluttiin lisätä erilaisia variaatioita levyn kokoon ja asemaan.



KUVIO 18. Ilmanohjainlevy

Tärkki'09-projektin rakenne-ehdotusta pyrittiin kehittämään peruslevyn alalaitaan tehdyllä pokkauksella, jolla parannettaisiin ilmanohjautuvuutta levyn pintaa myöten. Lisäksi pokkaus kasvattaisi myös levyn poikkisuuntaista jäykkyyttä. Levyrakenteeseen kuului osaksi myös irrotettava lisälevy. Ilmanohjainlevy kiinnitettiin ylätuennan kannaketolppaan sijoitettuun kiinnityslattaan ruuvikiinnityksellä. Levyrakenteen kiinnityskorvakkeiden ruuviurat mahdollistivat levyllä asennusta helpottavan säätöliikkeen koneen poikkisuunnassa.

Lisälevyn irrotettavuus mahdollisti ilmanohjainlevyn koon ja aseman variaatiot. Irrotettavan lisälevyn ansiosta ilmanohjainlevyn vaikutuksia ilmavirtauksiin ja sumuamiseen voitiin testata sekä lisälevyn kanssa että ilman sitä. Lisäksi ilmanohjainlevyn asemaa voitiin halutessa vaihtaa suihkuputken molemmin puolin. Lisälevyyn tehdyt koneistukset mahdollistivat levyn asettumisen limittäin suutinputkien kanssa, jolloin ilmavirta voitiin ohjata suutinputkien yli, toisin kuin ajettaessa ilman lisälevyä.

5.3 Koeajotilaisuus

5.3.1 Järjestely ja suunnittelu

Koeajotilaisuuden järjestely toteutettiin yhteistyössä tuotekehitysryhmän kanssa, joka vastasi tilaisuuden varaamisesta ja koeajojen valvonnasta. Opinnäytetyön tekijän vastuulla olivat koelaitteen suunnittelu ja koeajojen ajosuunnitelman laadinta. Lisäksi opinnäytetyöntekijän toimenkuvaan kuuluivat koeajoissa tarvittavien laitteiden hankinta ja asennuttaminen sekä koeajojen ajosuunnitelman toteuttaminen yhteistyössä koekoneen henkilöstön kanssa. Ensimmäinen koeajotilaisuus järjestettiin viikolla 9 Rautpohjan koelaitoksen koekone 1:llä. Koekoneessa ilmenneiden ongelmien takia koelaitteella ei tuolloin kuitenkaan päästy tekemään yhtään testiä, jonka vuoksi päätettiin järjestää uusi koeajotilaisuus huhtikuussa viikolla 15.

Koeajojen ajosuunnitelman (ks. liite 1) laatimisessa täytyi kiinnittää huomiota koelaitteen säätömalleihin, jotta mahdollisimman moni säätövariaatio olisi mahdollista testata koeajoissa. Niinpä koeajojen ajosuunnitelmassa otettiin huomioon sekä ilmanohjainlevyn asema- että kokovariaatiot, joiden toimivuutta voitaisiin tutkia erityyppisillä suuttimilla, suihkutuspainearvoilla sekä ajonopeuksilla ajettaessa.

Koeajojen tavoitteena oli tutkia ilmanohjainlevyn käyttömahdollisuuksia tärkkelys-suihkutustapahtumassa. Jotta ilmanohjainlevyn käyttö ja kehittäminen olisi perusteltua, sen tulisi vähentää ilmavirran aiheuttamaa tärkkelyssumun leviämistä ja sitä kautta myös rakenteiden likaantumista. Lisäksi levypintojen sekä suihkuputken tulisi pysyä puhtaana, jotta niihin ei todellisessakaan tilanteessa alkaisi syntyä ajokatkoja aiheuttavia likakertymiä. Koeajoissa oli myös tarkoitus havainnoida eri suihkutuspaineiden ja suutintyyppien vaikutuksia sumuamisen määrään ja ilmanohjainlevyn kasutumiseen.

5.3.2 Koeajohavaintojen analysointi ja koeajotulokset

Koeajotilaisuus jäi ajallisesti hyvin lyhyeksi. Tämän vuoksi koeajoissa ehdittiin testata ajosuunnitelmasta poiketen vain kahta suutintyyppiä (ks. liite 2) sekä vain osa näiden

suuttimien ajotapauksista. Lisäksi jokaisessa koeajoissa suoritettussa ajotapauksessa (ks. liite 3) jouduttiin käyttämään samaa ajonopeutta, joten eri ajonopeuksien vaikutuksia sumuamiseen ei päästy havainnoimaan. Tästä huolimatta koeajot antoivat paljon tietoa laitteen toimivuudesta. Koeajoissa tehdyt havainnot (ks. liite 4) pohjautuvat kussakin ajotapauksessa suoritettuun silmämääräiseen tarkkailuun sekä tallennettuun video- ja kuvamateriaaliin. Koeajotulokset (ks. taulukko 1) on koottu havaintojen analysoinnin pohjalta.

TAULUKKO 1. Koeajotulokset

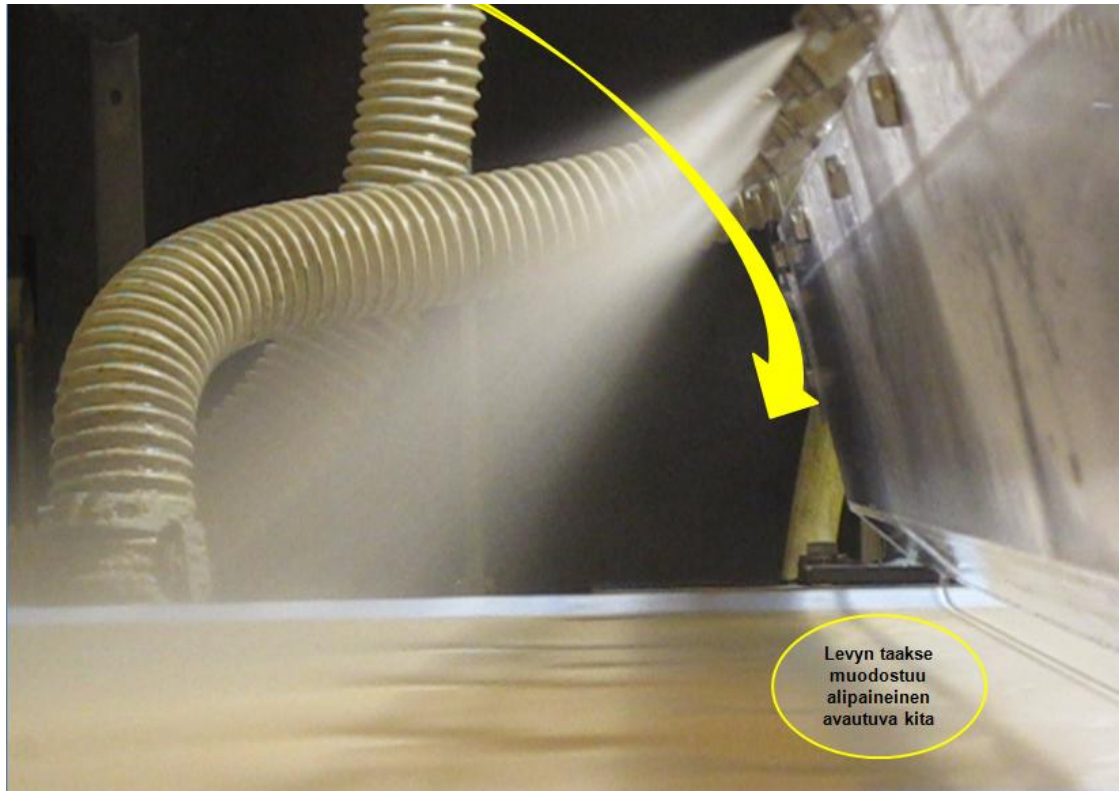
<i>TUTKITTU ASIA</i>	<i>TULOKSET</i>
<i>Suutintyyppien vaikutukset</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Viuhkasuuttimella ilmavirran aiheuttama sekä kidassa tapahtuva sumuaminen huomattavasti vähäisempää kuin kartiosuuttimella
<i>Suihkutuspaineen vaikutukset</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Käytetyillä painearvoilla ei ollut eroavaisuuksia sumuamisen eikä levyn kastumisen suhteen
<i>Levyrakenteen toiminnallisuus</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Levyrakenteen toteutti vain osaksi puhtaanapysymistä koskevan vaatimuksen • Levyrakenteella ei merkittävästi saatu vähennettyä ilmavirran aiheuttamaa sumuamista

Ilmanohjaimen kokoa muutettiin levyn asemamuutoksen yhteydessä. Ilmanohjainlevy koostui sekä perus- että lisälevystä, kun levy oli jättöpuolen asemassaan. Ilmanohjainlevyssä käytettiin vain peruslevyä, kun levy oli tulopuolen asemassaan. Näin haluttiin varmistaa, että koeajoissa ehdittiin testata myös levyn koon vaikutusta suihkutuksessa syntyvään sumuamiseen. Koeajoissa huomattiin, että ajettaessa tulopuolen

asemassa olleella peruslevyllä levyn taakse avautuvaan kitaan ei syntynyt sumuamista niin paljon kuin ajettaessa jättöpuolen asemassa olleella ilmanohjainlevyllä. Tähän lienee selityksenä korvausilman pääsy kitaan osittain levyn ylälaidan ja suihkuputken väliin jäävästä raosta sekä suutinputkien välistä (ks. kuvio 19). Jättöpuolen asemassa ollut täysmittainen ilmanohjainlevy puolestaan pakotti korvausilman kulkemaan suihkujen väliin jäävistä raoista (ks. kuvio 20), jolloin se aiheutti hienojakoista sumuamista kitaan. Korvausilman saannin helppous sekä sen kulkusuunta lienevät tärkeimmät kitaan syntyvään sumuamiseen vaikuttavat tekijät. Tätä päätelmää ja edellä mainittuja havaintoja tuki myös koeajoissa suoritettu vertailuajo. Vertailuajossa ei käytetty lainkaan ilmanohjainlevyä, jolloin tulosuuntaan eli kitaanpäin tapahtuvaa sumuamista ei ollut havaittavissa.



KUVIO 19. Korvausilman kulku ilmaohjainlevyn ollessa tulopuolen asemassaan



KUVIO 20. Korvausilman kulku ilmanohjainlevyn ollessa jättöpuolen asemassa

Ilmanohjainlevyyn parannuksena tehty kulma-arvon kasvattaminen ei tuonut toivottua parannusta levyn likaantumisen estämiseen, kun levy oli jättöpuolen asemassa. Kulmamuutoksesta huolimatta ilmanohjainlevyn yli syntyi paine-ero, jonka seurauksena levyn muodostamaan avautuvaan kitaan virrannut korvausilma aiheutti levyn taustapinnan kastelevan sumuamisen. Kuten edellä mainittiin, tulopuolelle asetettu ilmanohjainlevy aiheutti vähemmän sumuamista kidassa, jolloin taustapinnan kastumista ei myöskään ollut havaittavissa. Tällöin kuitenkin suihkuputken pinnalle alkoi kertyä kosteutta. Vaikka tulopuolen asema vähentääkin levyn likaantumista, se toisaalta lisää ilmavirran rajakerroksen kasvumatkaa sekä suihkuputken likaantumista. Näin ollen levyn aseman vaihdon tuoma hyöty on kokonaistilanteen kannalta merkityksetön. Toisaalta täytyy myös muistaa koeajojen lyhyt suoritus aika, joka ei välttämättä anna täydellistä ja todellista kuvaa levyn likaumisesta. Voisihan olla, että pitemmän aikaa ajettaessa levy kastuisi myös tulopuolen asemassa, jolloin

todellisessa tilanteessa likakertymiä keräävää rakenteiden pinta-alaa olisi viiraosalla yhä enemmän.

Kussakin ajatus koeajotapauksessa suihkutuspaineena kokeiltiin ajosuunnitelman mukaisesti kolme eri arvoa. Suihkutuspaineen nosto lisää teoriassa suihkun hienojakoisuutta sekä nopeutta. Suihkun nopeuden kasvaessa myös sen liike-energia kasvaa, jolloin periaatteessa myös rainaan osuvan suihkun synnyttämä sumumäärä kasvaa. Käytettyjen painearvojen väliset vaikutuserot syntyvään sumumäärään taitavat kuitenkin teoriassakin olla vähäiset, sillä koeajoissa ilmavirtauksen aiheuttamassa sumuamisessa ei huomattu eroavaisuuksia eri paineiden välillä. Niinpä suihkutuspaineen alentamiseen ei syntyvän sumumäärän vähentämisen vuoksi ole juuri perusteita. Paineen pitäminen tyypillisessä 3 baarin mitoituspaineessa puolestaan parantaa suihkun hienojakoisuutta ja takaa suuttimelle luvatus levityskulman toteutumisen. Hienojakoisemmalla sumulla saadaan tasaisempi levitysjälki rainan pinnalla ja luvatus levityskulman toteutuminen puolestaan takaa suunnitellun suihkujen peittävyysden rainan pinnalla.

Koeajoissa tuli todistetuksi aiemmin tekstissä esitetty epäily, jonka mukaan kartiosuuttimen käytöllä olisi suurempi vaikutus syntyvän sumuamisen määrään ja sen myötä myös likaantumiseen kuin viuhkasuuttimella. Kartiosuutinta käytettäessä havaittiin rajakerroksen kuljettaman sumupatjan korkeuden olevan jopa yli kaksinkertainen viuhkasuuttimella esiintyneeseen korkeuteen nähden. Lisäksi kartiosuutinta käytettäessä myös kidassa tapahtunut sumuaminen oli hivenen voimakkaampaa kuin viuhkasuutinta käytettäessä. Niinpä yksi tapa sumuamisesta aiheutuvan likaantumisen vähentämiseen onkin käyttää suihkutukseen viuhkasuuttimia kartiosuuttimien sijaan.

Tärkein sumuamiseen vaikuttava tekijä lienee kuitenkin levyrakenteen ja viiran välinen etäisyys. Koeajotapauksissa ilmanohjainlevyn alareunan etäisyys viirasta oli 10 mm. Tämän lähemmäksi viiraa ei levyä saa asentaa, ettei levy kaappaisi vahingossa rainaa irti viirasta. Kuten aikaisemmin on mainittu, viiran pinnalle syntyvällä ilmavirran rajakerroksella on suurin nopeus aivan viiran tuntumassa. Itse asiassa sillä on suurin nopeus juuri tuolla 10 mm:n alueella, jota ei ilmanohjainlevyllä voitu kaavata.

Tärkki'09-projektin virtausnopeusmittausten tuloksista (ks. liite 5) voidaan todeta, että levyrakenteella saadaan pienennettyä suihkujen kohdalla vaikuttavan ilmavirran nopeutta minimissäänkin jopa kolmanneksella. Se ei kuitenkaan näytä riittävän, sillä koeajoissa kaavauksen vaikutuksen sumuamisen suhteen huomattiin olevan merkityksetön. Toisin sanottuna, levyn alta päässeen rajakerroksen kasvunopeus on niin suuri, että levyrakenteella tehdyllä kaavauksella ei ole merkitystä sumuamiseen.

Kuten aikaisemmin todettiin, opinnäytetyön tavoitteena oli kehittää Tärkki'09-projektissa ideoitua rakenne-ehdotusta niin, että suihkutusmenetelmällä ilmenneiden ongelmien syntymistä saataisiin merkittävästi estettyä. Parannusehdotuksena suihkutuslaitteen rakenteeseen ideoidun ja kehitetyn ilmanohjainlevyn tarkoitus oli huomattavasti vähentää sumuamista niin, että itse levyrakenne ei alkaisi kastua ja kerätä likaa. Jos ilmanohjainlevy olisi toiminut ajatellulla tavalla, sillä voitaisiin todellisessa tilanteessa vähentää likakertymien syntymistä sekä sitä kautta ajokatkojen syntymistä. Lisäksi, jos levyrakenne olisi vähentänyt sumuamisen määrää ja leviämistä, se vähentäisi todellisessa tilanteessa osaltaan myös levityslaatuongelmaa aiheuttavien tekijöiden syntymistä.

Koeajohavaintojen analysoinnin ja sen myötä koottujen tulosten tarkasteluiden pohjalta voidaan kuitenkin todeta, että ilmanohjainlevy ei toteuttanut sille asetettuja toiminnallisia vaatimuksia eikä tällä rakenteella saavutettu opinnäytetyölle asettua tavoitetta. Havaintojen ja niiden analysoinnin pohjalta voidaan myös todeta, että pelkästään mekaaniseen ilmankaavaukseen perustuvalla rakenteella ei voida saavuttaa tarvittavan suurta hyötyä sumuamisen eikä sitä kautta myöskään likaantumisen estämisessä, jotta sen jatkokehittäminen ja mahdollinen toteuttaminen olisi järkevää. Tätä käsitystä on osaltaan tukenut myös pohdinta rakenteen toteuttamisen vaatiman työmäärän ja kustannusten sekä laitteessa havaittujen toiminnallisten vajavuuksien ja epävarmuuksien suhteesta mahdollisesti saavutettaviin hyötyihin.

6 POHDINTA

6.1 Työn tulokset

Opinnäytetyön tavoitteena oli ideoida ja suunnitella parannusehdotuksia Tärkki'09-projektissa annettuun tärkkelyksen suihkutuslaitteiston rakenteeseen, niin että laitteella voitaisiin estää suihkutusmenetelmällä esiintyvien ongelmien syntymistä. Parannusideoiden pohjalta suunniteltiin koelaitte, jolla rakenteen toiminnallisuutta testattiin koeajoissa.

Koeajojen tuloksista tehdyn analysoinnin myötä insinööriyön tuloksena syntyi käsitys siitä, että suihkutusmenetelmällä ilmeneviä ongelmia ei kehitetyllä laiterakenteella voida ratkaista. Rakeneratkaisun toimintaa ei ollut koekoneen mittakaavassa koskaan testattu, mutta Tärkki'09-projektissa samaan toimintaperiaatteeseen pohjautuvaa rakennetta testattiin paljon pienemmässä mittakaavassa Koelaitoksen erilliskoe-paikalla. Projektissa tehdyt testit silloisella koelaitteella antoivat uskoa rakenteen toimivuudesta. Niinpä opinnäytetyön myötä haluttiin vielä parantaa laitteen rakeneideaa ja tutkia sen toimivuutta isomman mittakaavan ja todellisemman tilanteen tuovassa käyttöympäristössä koelaitoksen koekoneella.

Koeajoista saadut tulokset tekivät selväksi sen, että mitä todellisempi on koelaitteen koko sekä toimintaympäristö, sitä heikommin rakenne toimii ajatellulla tavalla. Tämä tuli itselleni pienenä yllätyksenä. Ajattelin rakenteen vaikutuksen sumuamiseen olevan suuremman, sillä Tärkki'09-projektissa saadut hyvät testitulokset ilmavirran nopeuden pientymiseen liittyen antoivat perusteen odottaa enemmän. Toisin kuitenkin kävi, ja se toi konkreettisesti esille uuden laitteen kehittämiseen liittyvän tutkimustyön tärkeyden. Ratkaisuehdotus saattaa näyttöpäätteellä tuntua toimivalta, mutta todellisuus on aivan eri. Toisaalta, jossain tilanteessa laite voi näyttää toimivan hyvin, mutta mittasuhteiden ja ympäristön muuttuessa sen toimivuuskin muuttuu.

Tällöin voi käydä, kuten opinnäytetyössä kävi: tarkoitettuun toimintaan kykenemättöä laiterakennetta ei ole järkevä jatkokehittää tai ylipäänsä valmistaa.

Koeajojen havainnointitavat antoivat koeajotuloksista melko yksipuoleisen kuvan. Havainnointimenetelmillä huomattiin, että levyrakenteella ei näyttänyt juurikaan olevan vaikutusta sumuamiseen. Koeajojen suunnittelussa mietittiin erilaisien havainnointimenetelmien käyttömahdollisuuksia ja yhtenä vaihtoehtona käytettyjen menetelmien lisäksi oli määrittäukseen perustuva menetelmä. Menetelmän ajatus oli käyttää ajoissa oikeanlaista tärkkelyslietettä sekä mitata ajotapauksien välille syntyvät erot lopputuotteen lujuudessa ja tärkkelysmäärässä. Menetelmän käytöstä kuitenkin luovuttiin, sillä se olisi vaatinut rakenteita liikaavan lietteen käytön koeajoissa sekä suuren työmäärän mahdollisesti syntyvien lujuus- ja tärkkelysmääräerojen selvittämiseksi. Niinpä koeajoissa päädyttiin käyttämään vain silmämääräistä havainnointia sekä video- ja valokuvausta. Näitä havainnointimenetelmiä pidettiin myös tarpeeksi tarkkoina laiterakenteen toiminnallisuuden tutkimiseen. Käytetyt menetelmät eivät kuitenkaan antaneet merkittäviä eroja ajotapausten välille. Niinpä herää kysymys siitä, olisiko määrittäyksellä mahdollisesti eroja ilmennyt. Jos esimerkiksi määrittäyksen myötä olisi lujuusarvoissa eri tapauksilla havaittu merkittäviä eroja, olisi rakenteen toiminnallisuutta täytynyt arvioida laajemmasta näkökulmasta kuin työssä nyt tehtiin. Loppujen lopuksi voidaan kuitenkin ajatella, että määrittäyksellä mahdollisesti todettavissa olleet lujuusarvoerot eivät kuitenkaan voisi vakuuttaa ketään rakenteen toimivuudesta tai täysin syrjäyttää työssä tehtyjen havaintojen merkitystä. Vaikka lujuudessa saavutettaisiinkin rakenteen käytöllä parannusta, se ei poistaisi sitä tosiasiaa, että rakenteella ei merkittävästi saatu eikä saada vähennettyä sumuamista eikä sitä kautta myöskään ongelmana olleiden ajokatkojen syntymistä.

Opinnäytetyöstä oli kuitenkin omalla tavallaan hyötyä toimeksiantajalle, joka on paininut suihkutusmenetelmän ongelmien parissa jo vuosia. Työn myötä toimeksiantajallekin selvisi, että tällaiseen toimintaperiaatteeseen pohjautuva laiterakenne ei ole yksinään ratkaisu ilmenneiden ongelmien poistamiseen tai vähentämiseen. Niinpä toimeksiantaja voi sulkea pois pelkästään tutkittuun toimintaperiaatteeseen pohjau-

tuvien rakenneratkaisujen käyttömahdollisuudet, kun jatkossa etsitään ratkaisua ongelmiin. Tutkimus ei kuitenkaan sulje pois tällaisen toimintaperiaatteen käyttömahdollisuutta jatkossa kehitettävän laiterakenteen osaratkaisuna.

6.2 Suuntaviivoja jatkokehitykseen

Jatkossa mielestäni kannattaisi käydä huolella läpi samankaltaiseen toimintaan tarkoitettujen, jo olemassa olevien laitteiden rakenteellisia ratkaisuja sekä toimintaperiaatteita. Tällöin voitaisiin mahdollisuuksien mukaan hyödyntää niissä hyviksi ja toimiviksi todettuja ratkaisuja uuden suihkutustaliterakenteen ideoimisessa ja kehittämässä. Suihkutustapahtuman hallinta on vaikeaa siihen vaikuttavien monien muuttujien ansiosta, joten olemassa olevan tieto-aidon hyödyntäminen tälläkin alueella on kaikin puolin ajateltuna kannattavampaa kuin täysin uuden luominen.

Lisäksi opinnäytetyön aikana aloittamaani ulosvedettävän tärkkelyssuihkuputkirakenteen ideoimista ja suunnittelua kannattaisi jatkaa. Ulosvedettävä tärkkelyssuihkuputkirakenne mahdollistaisi helpomman ja nopeamman suihkusuuttimien puhdistamisen kuin nykyinen putkirakenne. Nykyisellä rakenteella suuttimien puhdistaminen ja vaihto onnistuu vain, jos koko suihkuputkirakenne nostetaan koneesta pois. Ulosvedettävyytensä ansiosta suihkuputken poisnosto ajonaikana olisi myös turvallisempaa kuin nykyrakenteella. Ulosvedettävä tärkkelyssuihkuputki olisi eritoten käytännöllinen suihkuputken alaposition, josta putken poisnostaminen nostoliinon avulla suoraan ylöspäin on yläpuolisten viiraosan rakenteiden ansiosta mahdotonta. Ulosvedettävä putkirakenne helpottaisi huomattavasti suihkuputken alaposition sivulta-päin tapahtuvaa poisnostoa, jossa koko suihkuputkirakenteen sijaan vain ulosvedettävä putkirakenne tarvitsisi nostaa pois.

6.3 Työn toteutus

Työn aihe oli mielenkiintoinen ja liittyi vahvasti koulutusohjelmaani kuuluvien opintojen sisältöön. Työ vaati hyvin paljon itsenäistä työskentelyä, niin tiedonhankinnan kuin käytännön työtehtävienkin parissa.

Työn alkuvaiheessa aikataulu oli äärimmäisen tiukka koeajojen suunnitellusta ajankohdasta johtuen. Tärkki'09-projektin rakenne-ehdotuksen pohjalta ideoitu koelaitte piti mallintaa Catia V5-ohjelmalla, jotta laitteeseen kuuluvista osista saatiin tehtyä valmistukseen tarvittavat työkuvat. Haastavuutta suunnitteluun toi osaltaan koelaitteen säätömahdollisuuksien ideoiminen ja niiden toteuttaminen suunnittelussa. 3D-mallinnusohjelman opintokokonaisuuden suorittamisesta oli vierähtänyt tovi ja muutenkin ohjelman käyttö oli jäänyt todella vähäiseksi, joten vei aikaa palautella mieleen ohjelman perustoimintojen käyttö. Loppujen lopuksi koelaitte saatiin valmistukseen ja se valmistui aikataulussaan ensimmäisiin koeajoihin, lukuun ottamatta ilmanohjainlevyä, joka jouduttiin valmistamaan pikaisella aikataululla Rautpohjassa. Ensimmäisen koeajotilaisuuden epäonnistuttua, saatiin alkuperäinen ilmanohjainlevy toimitettua toiseen koeajotilaisuuteen mennessä. Kaiken kaikkiaan olen tyytyväinen panokseeni koelaitteen suunnittelemiseen sekä sen valmistukseen saattamiseen liittyneissä toimissa.

Koelaitteen suunnittelun jälkeen oli aika paneutua opinnäytetyön teoriaosuuden sisällön suunnitteluun ja tiedonhankintaan. Vaikeinta tämän vaiheen toteutuksessa oli ylivoimaisesti teoriaosuuden rajaus ja jäsentäminen. Teoriaosuuden pyrin rakentamaan siten, että se etenisi aihealueittain loogisesti ja johdonmukaisesti eteenpäin. Tiedonhankinnassa eniten ongelmia tuotti tärkkelykseen liittyvän teorian sisäistäminen ja sen tiivistäminen yhtenäiseksi kokonaisuudeksi. Mielestäni opinnäytetyön teoriaosuus on sopivan tiivis ja antaa lukijalleen yleistietämyksen opinnäytetyössä aiheeseen liittyen.

Koeajojen suunnittelu ja järjestäminen vaati yhteistyötä niin tuotekehitysryhmän kuin koekoneen henkilöstön kanssa. Tämä vaihe opinnäytetyöstä vaati myös hyvin paljon itsenäistä ja oma-aloitteista työskentelyä. Koeajojen suunnittelussa haastavin-

ta oli löytää niille sopiva ajankohta, sillä opinnäytetyön koeajot jouduttiin suorittamaan muiden koeajojen sen salliessa. Esimerkiksi ensimmäisen koeajotilaisuuden epäonnistuttua sain seuraavan mahdollisuuden vasta kuuden viikon kuluttua. Tämä osaltaan vaikutti suunnitellun aikataulun muuttumiseen ja työvaiheiden uudelleen järjestelyyn. Itsenäisen ja omatoimisen työskentelyn vaatimus teki koeajojen suorittamisesta mukavan ja mielenkiintoisen tapahtuman. Koeajojen toteuttamiseen liennyt aika oli lyhyt, joten suoritettavien ajotapausten suhteen oli tehtävä kompromisseja. Oli testattava vain tärkeimmiksi ajatellut ajotapaukset. Niinpä toisen tyyppisen viuhkasuuttimen ajotapauksia ei suoritettu lainkaan, sillä tärkeämmäksi koettiin tyyppillisemmin käytettävän viuhkasuutintyyppin ja optiona tuotemallissa olevan kartiosuutintyyppin ajotapauksien suorittamiset. Kun huomioidaan koeajojen ajankohdan järjestämisen vaikeus sekä suoritettujen koeajojen ajallinen rajallisuus, niin olen saamiini tuloksiin ja työpanokseeni koeajojen osalta tyytyväinen.

Koeajotulosten esittämisen vaikeus piili havainnointimenetelmässä. Koeajoissa suoritettiin kunkin ajotapauksen aikana videokuvausta, valokuvausta sekä silmämääräistä havainnointia. Valokuvista tutkimuksen kohteena ollutta sumuamista ja likaantumista oli vaikea havaita. Silmämääräistä havainnointia ei yleisesti voida pitää kovin tarkkana menetelmänä, sillä vertailukohtien hahmottaminen voi olla hankalaa ja niiden dokumentointi mahdotonta. Onneksi tilanteita tallennettiin myös videomateriaaliksi, josta silmämääräisten havainnointien oikeellisuus oli mahdollista tarkistaa. Harmittavinta oli huomata koeajotulosten analysoinnin kautta, että kehitetty rakenneratkaisu pohjautui toimintaperiaatteeseen, jolla opinnäytetyölle asetettua tavoitetta ei saavutettu. Tavoitteeseen pääsyn epäonnistumisesta huolimatta, oli tärkeää käsittää työstä olleen kuitenkin aiemmin mainitulla tavalla hyötyä opinnäytetyön toimeksiantajalle.

LÄHTEET

Auhorn, W. 2006. Chemical Additives. In Handbook of Paper and Board. Ed. by H. Holik. Weinheim: WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, 62 - 149.

Auhorn, W. & Kogler, W. 2006. Coating of Paper and Board. In Handbook of Paper and Board. Ed. by H. Holik. Weinheim: WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, 332-382.

Board machine forming sections. 2010. PowerPoint-esitysmateriaali. Viitattu 15.4.2010. Metson intranet.

Bruun, S-E. 2009a. Binders. In Pigment Coating and Surface Sizing of Paper. Papermaking Science and Technology. 2nd ed. Ed. by J. Paltakari. Helsinki: Finnish Paper Engineers' Association/ Paperi ja Puu Oy, 192 - 225.

Bruun, S-E. 2009b. Spray. Sähköpostiviesti 16.3.2010. Vastaanottaja R. Mätäsaho. Aplikointispecialistin vastauksia tärkkelykseen liittyviin kysymyksiin.

Fellers, C., Hansson, T., Lund, A. & Wahlström, T. 2000. Biaxial straining of handsheet during drying-Effect on delamination resistance. Nordic Pulp and Paper Research Journal 15, 3, 237 - 242.

Hatanpää, I., Lahti, J. & Lahtinen, K. 2008. Converting of fibre-based packaging materials. In Paper and Board Converting. Papermaking Science and Technology. 2nd ed. Ed. by K. Niskanen. Helsinki: Finnish Paper Engineers' Association/ Paperi ja Puu Oy, 243 - 283.

Holik, H. 2006a. Wire Section. In Handbook of Paper and Board. Ed. by H. Holik. Weinheim: WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, 267 - 275.

Holik, H. 2006b. Paper and Board Machines. In Handbook of Paper and Board. Ed. by H. Holik. Weinheim: WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, 318 - 326.

Humalajoki, O., Mätäsaho, R. & Riihimäki, L. 2009. Tärkki'09. CD-levy. Suunnittelun projekti -opintojakson projektimateriaali. Jyväskylän ammattikorkeakoulu, paperikoneteknologian koulutusohjelma.

Hyppönen, V. 2007. Jian tärkkisuihku. Kommentti. Metson sisäinen tietokanta.

Hyppönen, V. 2008. Shower & Trim Squirt equipment for forming section. Laiteohjeistus. Metson sisäinen tietokanta.

Hyppönen, V. 2010. Suunnitteluinsinööri, Metso Paper Oy, viirasuunnittelun osasto. Haastattelu 29.3.2010.

Hägglom-Ahnger, U. & Komulainen, P. 2006. Paperin ja kartongin valmistus. Kemiallinen metsäteollisuus 2. 5.p. Helsinki: Opetushallitus.

Kajanto, I. 2008. Structural mechanics of paper and board. In Paper Physics. Papermaking Science and Technology. 2nd ed. Ed. by K. Niskanen. Helsinki: Finnish Paper Engineers' Association/ Paperi ja Puu Oy, 230 - 264.

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

Kiviranta, A. 2000. Paperboard grades. In Paper and Board Grades. Papermaking Science and Technology. Ed. by H. Paulapuro. Jyväskylä: Fapet Oy, 55 - 72.

KnowPap. 2007. Paperitekniiikan ja automaation oppimisympäristö. Versio 9.0. VTT & Pronowledge Oy.

Krogerus, B. 2007. Papermaking additives. In Papermaking Chemistry. Papermaking Science and Technology. 2nd ed. Ed. by R. Alén. Helsinki: Finnish Paper Engineers' Association/ Paperi ja Puu Oy, 56 - 121.

Laamanen, M. & Lahti, J. 2008. Fibre-based packaging materials. In Paper and Paperboard Converting. Papermaking Science and Technology. 2nd ed. Ed. by J. Kuusipalo. Helsinki: Finnish Paper Engineers' Association/ Paperi ja Puu Oy, 210 - 242.

Lehtinen, E. & Paltakari, J. 2009. Surface sizing chemicals. In Pigment Coating and Surface Sizing of Paper. Papermaking Science and Technology. 2nd ed. Ed. by J. Paltakari. Helsinki: Finnish Paper Engineers' Association/ Paperi ja Puu Oy, 310 - 315.

Lomperi, E. 2009. Paperi- ja kuituteknologia. PowerPoint-esitysmateriaali. Viitattu 9.3.2010. Metso intranet.

Maailma vaikuttaa meihin. 2009. Metso Oyj:n vuosikertomus 2009. Viitattu 9.3.2010. <http://www.metso.com/fi>, raportit, vuosikertomus 2009.

Norman, B. 2008. Web forming. In Papermaking Part 1, Stock Preparation and Wet End. Papermaking Science and Technology. 2nd ed. Ed. by H. Paulapuro. Helsinki: Finnish Paper Engineers' Association/ Paperi ja Puu Oy, 216 - 288.

Partanen, H. 2007a. Spray starch pipes drawing. Sähköpostiviesti 13.7.2007. Vastaanottaja Gao Jungiang. Metson sisäinen tietokanta.

Partanen, H. 2007b. Starch application. PowerPoint-esitysmateriaali. Metson sisäinen tietokanta.

Partanen, H. 2009. JAMK tärkkelyksen levityssuihku. PowerPoint-esitysmateriaali. Metson sisäinen tietokanta.

Pihlajasaari, J. 2007. Ningbon tärkkelyssuihku. Sähköpostiviesti 5.3.2007. Vastaanottaja Hannu Partanen. Metson sisäinen tietokanta.

Pousi, M. 2007. Ningbon tärkkelyssuihku. Sähköpostiviesti 23.2.2007. Vastaanottaja Hannu Partanen. Metson sisäinen tietokanta.

Sjolin, H. 2010. Bohui starch shower nozzles. Sähköpostiviesti 25.1.2010. Vastaanottaja Jussi Mannila. Metson sisäinen tietokanta.

Starch Spraying. 2008. Artikkel. World PATES Co Ltd:n sivusto 27.9.2008. Viitattu 22.3.2010. <http://www.wpates.com/zbxe/156>.

Starch Spraying. n.d. Artikkel. Metson sisäinen tietokanta.

Åkerholm, J. 2006. Liikkuvan viiran rajakerros. PowerPoint-esitysmateriaali. Metson sisäinen tietokanta.

LIITTEET

Liite 1. Koeajojen ajosuunnitelma

Koeajojen ajosuunnitelma					
TAPAUS	NOPEUS (m/min)	PAINE (bar)	SUUTIN	LEVYN KOKO	LEVYN ASEMA
1.		3	B1/4-HH-SS-6.5 (kartio)	Perus+Lisä	Jätö
		2,5			
		2			
2.		3	B1/4-HH-SS-6.5 (kartio)	Perus	Jätö
		2,5			
		2			
3.		3	B1/4-HH-SS-6.5 (kartio)	Perus	Tulo
		2,5			
		2			
4.		3	B1/4-HH-SS-6.5 (kartio)	Perus+Lisä	Tulo
		2,5			
		2			
5.		3	HB1/4-VV-SS-80-09 (viuhka)	Perus+Lisä	Jätö
		2,5			
		2			
6.		3	HB1/4-VV-SS-80-09 (viuhka)	Perus	Jätö
		2,5			
		2			
7.		3	HB1/4-VV-SS-80-09 (viuhka)	Perus	Tulo
		2,5			
		2			
8.		3	HB1/4-VV-SS-80-09 (viuhka)	Perus+Lisä	Tulo
		2,5			
		2			
9.		3	HB1/4-VV-SS-50-09 (viuhka)	Perus+Lisä	Jätö
		2,5			
		2			
10.		3	HB1/4-VV-SS-50-09 (viuhka)	Perus	Jätö
		2,5			
		2			
11.		3	HB1/4-VV-SS-50-09 (viuhka)	Perus	Tulo
		2,5			
		2			
12.		3	HB1/4-VV-SS-50-09 (viuhka)	Perus+Lisä	Tulo
		2,5			
		2			

Liite 2. Koeajoissa käytetyt suutintyyppit



Standard Full Cone Nozzles

Ordering Number: B1/4HH-SS6.5

Description: FullJet Spray Nozzles, Standard Spray, Small Capacity

Common Applications

Washing and rinsing processes; Cooling of coke, primary metals, and other materials; Suppression of fugitive dust in the processing of bulk ores, coal, limestone, sand, and gravel; Scrubbing, washing, and cooling of flue gases to remove fly ash and other products of combustion; Breaking up and deaerating foam; Creating and dispersing drops in chemical reaction processing; Fire suppression and prevention.

Design Features

Small capacity FullJet nozzles feature a solid, cone-shaped spray pattern with a round impact area. Their uniform spray distribution of medium to large-sized drops results from a unique vane design with large flow passages and superior control characteristics.

- Precision-engineered and manufactured to exacting dimensions to ensure accurate and reliable performance.
- Produce excellent results in spraying applications requiring complete coverage of an area or zone.
- Model HH has a one-piece body and non-removable vanes.



Image is representative only, actual part may vary.

[Printable Page](#)

[Add to RFQ](#)

Specifications	
Nozzle Inlet Connection	Male BSPT
Capacity (gpm @ 10 psi)	0.65
Nozzle Type	HH
Inlet Connection	1/4
Capacity Size	6.5
Material	303 Stainless Steel
Material Code	SS
Length (inches)	29.02
Hex (inches)	17.02
Net Weight (oz)	1.2
Spray Angle @ 80 psi (degrees)	46
Spray Angle	Standard
Maximum Free Passage Diameter (inches)	0.063
Connection Style	Standard Inline
Orifice Diameter Nom. (inches)	0.094
Spray Angle @ 7 psi (degrees)	46
Spray Angle @ 20 psi (degrees)	50
Minimum Pressure (psi)	5
Maximum Pressure (psi)	150
Accessories	Split-eyellet Connector, Adjustable Ball Fittings, Strainers, Pressure Gauges, Pressure Regulators, Pressure Relief Valves, Control Valves, Solenoid Valves, Check Valves



Flat Spray Standard Nozzles

Ordering Number: HB1/4VV-SS8009

Description: VeeJet Spray Nozzles, Standard Spray, Small Capacity



Image is representative only, actual part may vary.

[Printable Page](#)

[Add to RFQ](#)

Common Applications

Cooling and quenching, Product washing, Water cooling, Air and gas washers, Scrubbers, Liquor washers, Dust control, Fire protection

Design Features

Standard VeeJet spray nozzles feature a high impact solid stream or flat spray pattern with spray angles of 0° to 110° at 40 psi (3 bar). They produce a uniform distribution of small-to medium-sized drops. Specially tapered spray pattern edges provide even spray coverage when several nozzles with over-lapping patterns are required. Model H-VV VeeJet nozzles feature flow rates below 1 gpm at 40 psi (3.9 l/min at 3 bar).

Specifications

Nozzle Inlet Connection	Male BSPT
Spray Angle @ 40 psi (degrees)	80
Spray Pattern Type @ 40 psi (degrees)	Tapered Edge
Capacity (gpm @ 40 psi)	0.9
Nozzle Type	H-VV
Inlet Connection	1/4
Capacity Size	09
Material	303 Stainless Steel
Material Code	SS
Length (inches)	29/32
Hex (inches)	9/16
Net Weight (oz)	3/4
Option	Integral Strainer
Minimum Pressure (psi)	5
Maximum Pressure (psi)	500
Accessories	Split-eyelet Connector, Pressure Gauges, Adjustable Ball Fittings, Pressure Relief Valves, Strainers, Control Valves, Check Valves Swivel Connectors

Liite 3. Koeajoissa suoritettut ajotapaukset

<i>Koeajoissa suoritettut ajotapaukset</i>					
TAPAUS	NOPEUS (m/min)	PAINES (bar)	SUUTIN	LEVYN KOKO	ASEMA
vertailuajo	700	3	B1/4-HH-SS-6.5 (kartio)	ei levyä	
		2,5			
		2			
1.	700	3	B1/4-HH-SS-6.5 (kartio)	Perus+Lisä	Jätö
		2,5			
		2			
3.	700	3	B1/4-HH-SS-6.5 (kartio)	Perus	Tulo
		2,5			
		2			
5.	700	3	HB1/4-VV-SS-80-09 (viuhka)	Perus+Lisä	Jätö
		2,5			
		2			
7.	700	3	HB1/4-VV-SS-80-09 (viuhka)	Perus	Tulo
		2,5			
		2			

Liite 4. Koeajoissa tehdyt havainnot

Koeajoissa tehtyjä havaintoja eri muuttujien vaikutuksista suihkutustapahtumassa			
Ilmanohjainlevyn koko	Levyn asema	Suihkutuspainne	Suutintyyppi
<p>+ Kitaan syntyvä sumuaminen peruslevyllä ajettaessa</p>	<p>+ Levyn taustapinnan kastumattomuus levyn ollessa tulopuolella</p> <p>+ Levyn etupinnan kastumattomuus levyn asemasta riippumatta</p> <p>+ Suihkuputken kastumattomuus levyn ollessa jättöpuolen asemassa</p> <p>+ Ilmavirranohjautuvuus levyn asemasta ja koosta riippumatta</p>		<p>+ Viuhkasuuttimella tapahtuva sumuaminen vs. kartiosuuttimella tapahtuva sumuaminen</p>
<p>- Kitaan syntyvä sumuaminen täysmittaisella ilmanohjainlevyllä ajettaessa</p> <p>- Levyn koon merkityksettömyys rajakerroksen aiheuttamaan sumuamiseen</p>	<p>- Levyn taustapinnan kastuminen levyn ollessa jättöpuolella</p> <p>- Suihkuputken kastuminen levyn ollessa tulopuolella</p> <p>- Levyn aseman merkityksettömyys rajakerroksen aiheuttamaan sumuamiseen</p>	<p>- Suihkutuspaineen merkityksettömyys levyn kastumiseen ja syntyvän sumun määrään</p>	<p>- Kartiosuuttimella tapahtuva sumuaminen vs. viuhkasuuttimella tapahtuva sumuaminen</p>

Liite 5. Tärkki'09-projektin virtausnopeusmittausten tulokset

Kuvio 1. Ilmavirran nopeuden mittauspisteet

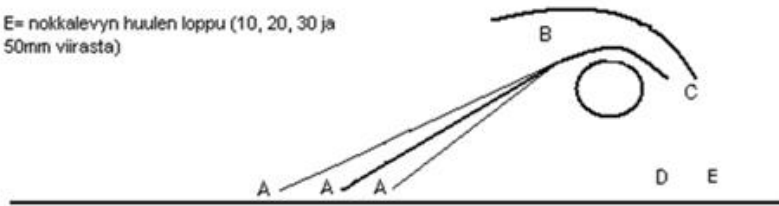
A= ilmanohjainlevyn alareuna (10mm viirasta)
kullakin kulmalla (30, 37.5 ja 45 astetta)

B= nokan suulla (ohjainlevyn kiinnikepiste ja pinta)

C= nokan huulella (nökkalevyn pinta)

D= nökkalevyn huulen alku (50mm viirasta)

E= nökkalevyn huulen loppu (10, 20, 30 ja
50mm viirasta)



Kuvio 2. Ilmanopeudet vertailuajossa mittauspisteessä E

VIIRAN NOPEUS	E			
	10mm	20mm	30mm	50mm
7250 r/min n. 730 m/min	12 m/s	10 m/s	8,2 m/s	6 m/s

Kuvio 6. Koeajoissa saatuja ilmanopeuden mittaustuloksia mittauspisteissä

MALLI	A (m/s)	B (m/s)	C (m/s)	D (m/s)	E (m/s)			
					10 mm	20 mm	30 mm	50 mm
1	11,5	2,7	3,1	±1,3	7,5	5,5	3,5	±1
2	11,6	3,6	3,2	±1,2	8	4,5	2,8	±1,1
3	9,6	4	3,4	±1,4	8,2	5,5	2,9	±1