

Miika Tilus

PAPERIRADAN REUNAN LEPATUKSEN MITTAUS



PAPERIRADAN REUNAN LEPATUKSEN MITTAUS

Miika Tilus
Opinnäytetyö
25.10.2010
Automaatiotekniikan koulutusohjelma
Oulun seudun ammattikorkeakoulu

Koulutusohjelma	Opinnäytetyö	Sivuja	+	Liitteitä
Automaatiotekniikka	Insinöörityö	77	+	6
Suuntautumisvaihtoehto	Aika			
Projektointi	16.3.2011			
Työn tilaaja	Työn tekijä			
Mikko Vuoti	Miika Tilus			
Työn nimi				
Paperiradan reunan lepatuksen mittaus				
Avainsanat				
Mittausjärjestelmän suunnittelu, lepatus, kireysprofiili, paperikone, laser, iRoll				

Tämän insinöörityön aiheena oli suunnitella mittausjärjestelmä paperiradan reunan lepatuksen mittaukseen. Työhön kuului mittalaitteiden valinta, mittausjärjestelmän suunnittelu, koemittauksen tekeminen työn aikana sekä mittaus-
tulosten analysointi. Lisäksi työn aikana tutustuttiin paperikoneen rakenteeseen,
rainanmuodostukseen ja rainan lepatukseen. Työn tavoitteena oli löytää ja to-
teuttaa mittausjärjestelmä, jolla lepatusta voitaisiin luotettavasti ja objektiivisesti
mitata myös pidemmällä aikavälillä.

Työ aloitettiin koekäyttöön tilattavien mittalaitteiden kartoittamisella. Mittalaittei-
den valinnan jälkeen perehdyttiin työssä tarvittavaan teoriaan. Laitteiden saa-
vuttua ne valmistettiin asennettavaksi prosessiin koemittauksia varten. Kalib-
rointien ja asennusten jälkeen aloitettiin mittausdatojen keräys ja analysointi.
Mittauksen aikana tuloksia tarkasteltiin säännöllisesti asiantuntijoiden kanssa ja
tehtiin tarvittavat linjaukset työn etenemisestä.

Työn aikana löydettiin mittaus tapa ja -järjestelmä, jolla lepatusta voidaan luotet-
tavasti ja objektiivisesti mitata. Toteutetussa järjestelmässä etäisyyden mittauk-
seen suunnitellut laseranturit mittaavat paperiradan reunan värähtelyä rainan
molemmista reunoista. Insinöörityölle asetetut tavoitteet saavutettiin kokonai-
suudessaan.

ALKULAUSE

Tämän insinöörityön tilaajana on toiminut eräs paperinvalmistuslinja. Työn valvojana kohde yrityksessä on toiminut Diplomi-insinööri Mikko Vuoti. Työn ohjaavana opettajana on toiminut lehtori Tero Hietanen Oulun seudun ammatti-korkeakoulun tekniikan yksiköstä.

Työn ohjaamisesta ja suuresta avusta eri työvaiheiden yhteydessä haluan ensimmäisenä kiittää Mikko Vuotia. Suuret kiitokset ansaitsevat koko PK6:n henkilöstö 4. kerroksen porukasta prosessinhoitajiin sekä ne Eforan ja Metson henkilöt, jotka ovat työssäni olleet mukana. Teidän apunne työn suorittamiseksi on ollut ensiarvoisen tärkeää. Lisäksi haluan kiittää työtäni ohjannutta Tero Hietasta ja työni kieliasun tarkastanutta Pirjo Partasta.

Henkisestä tuesta, kuuntelemisesta ja jaksamisesta haluan kiittää kihlattuani Suvia.

Oulussa 16.3.2011

Miika Tilus

SISÄLTÖ

TIIVISTELMÄ

ALKULAUSE

SISÄLTÖ

1 JOHDANTO	7
2 PAPERINVALMISTUS	8
3 PAPERIKONE	10
3.1 Perälaatikko.....	10
3.2 Perälaatikon vaikutus rainanmuodostukseen	14
3.3 Viiraosa	15
3.4 Rainanmuodostus viiraosalla	16
3.5 Puristinoso.....	18
3.6 Kuivatusosa.....	20
3.7 Kuivatusosan vaikutukset rainan ominaisuuksiin	22
3.8 Kalanteri	23
3.9 Kiinnirullain	24
3.10 Paperin päällystys	25
3.11 Päällystysmenetelmät	25
3.12 Kuivatus päällystyskoneella.....	27
4 PAPERIN MITTAUSMENETELMÄT	28
4.1 Online-mittaukset	28
4.2 Offline mittaukset	34
5 TYÖN SUORITUSOSA.....	35
6 LASER	37
6.1 Laser etäisyysmittarina.....	37
6.2 Lepatuksen mittaus	38
7 KIREYSPROFIILIN MITTAUS	40
7.1 Kireysprofiilin mittausmenetelmät.....	40
7.2 iRoll	41
8 PAPERIRAINAN DYNAMIIKKAA.....	44
9 KIREYSPROFIILI.....	46
10 AJETTAVUUS	48
10.1 Paperikone	48
10.2 Päällystyskone	49
10.3 Lepatus	50

11 MITTALAITTEIDEN ASENNUS JA KALIBROINTI	54
11.1 iRoll Portablen asennus	54
11.2 iRoll Portablen kalibrointi	56
11.3 Laserin kalibrointi	57
11.4 Laserin asennus	58
12 MITTAUSTULOKSET	59
12.1 Laser	59
12.2 iRoll	62
12.3 Tapio	68
12.4 SCHMIDT Concrete Hammer L/LR	69
13 YHTEENVETO	70
LÄHTEET	73
LIITTEET	77

1 JOHDANTO

Paperinvalmistuslinjan tuotantoa voidaan mitata usealle eri suureella. Yksi tärkeimmistä suureista on vuorokauden aikana valmistettu myyty tuotanto. Myydyt tuotannon suuruus muodostuu koko paperinvalmistuslinjan yhteistoiminnan tuloksena pohjapaperi- ja paperinpäälytystykoneen sekä jälkikäsittelykoneiden toimintaan perustuen. Toiminnan voidaan yksinkertaisimmillaan ajatella muodostuvan kokonaishyötysuhteesta, johon vaikuttaa esimerkiksi koneen ajettavuus.

Paperinpäälytystykoneella suurin yksittäinen katkonaiheuttaja on reunarisa. Reunarisa voi syntyä usealla eri tavalla eikä niitä kaikkia tiedetä. Tämän työn lähtökohtana oli oletus, että reunarisa voisi syntyä paperiradan reunan lepatuksen seurauksena. Tämän vuoksi työssä yritettiin löytää mittaustapa ja järjestelmä, jolla lepatusta ja sen tasoa prosessissa voitaisiin mitata objektiivisesti myös pidemmällä aikavälillä. Tarkoituksenmukaisen mittausmenetelmän löytämisen jälkeen tuli työssä suunnitella mittausjärjestelmä koemittauksia varten ja selvittää sen toimivuutta sekä soveltuvuutta pysyvänä järjestelmänä prosessissa.

2 PAPERINVALMISTUS

Sanalla paperi tarkoitetaan ohutta, levymäistä tuotetta, joka valmistetaan kasvikuituja sisältävästä vesilietteestä suodatuksen, huopauttamisen, puristamisen ja kuivattamisen avulla. Tärkein raaka-aine on puukuitu, jonka ominaisuudet riippuvat puulajista, sen kasvualustasta ja ilmastollisista olosuhteista. Puulajista riippumatta kuitu koostuu aina hemiselluloosasta, selluloosasta ja ligniinistä. Paperinvalmistusprosessin tarkoitus on erottaa nämä kuidut toisistaan ja muodostaa veden avulla yhtenäinen ja tasalaatuinen kuituverkko eli paperiraina. (Jortama 2003, 2; KnowPap 2005.)

Puu kerätään metsistä ja kuljetetaan jatkokäsittelyä varten esimerkiksi sellutehtaalalle, missä rungot kuoritaan ja haketetaan. Hakkeesta voidaan valmistaa puumassaa pääasiassa kahdella eri tavalla: keittämällä se lipeässä, jolloin saadaan sellumassaa, tai hiertämällä haketta mekaanisesti, jolloin saadaan hioketta. Keittämällä haketta korkeassa lämpötilassa kemikaalien kanssa saadaan hakkeesta poistettua puun sisältämä ligniini, joka sitoo kuituja toisiinsa ja aiheuttaa kellastumista. (Wikipedia 2010a; KnowPap 2005.)

Keittämällä tai mekaanisesti muodostettu sellumassa jauhetaan jauhimossa kuitujen rakenteellisten ominaisuuksien muuttamiseksi, tavoitteena lisätä kuitujen välistä sitoutumiskykyä. Ennen jauhamista kuidut ovat sileitä ja jäykkiä, jolloin niiden sidostenmuodostamiskyky on huono. Kun sellumassaa jauhetaan erityisillä jauhinterillä, kuidut notkistuvat ja kuitujen sisäiset sidokset aukeavat, jolloin kuidut turpoavat ja niiden sitoutumispinta-ala kasvaa. Jauhaminen myös poistaa kuidun pinnalta niin sanotun primäärikalvon, joka jäykistää kuitua. (Jortama 2003, 32; KnowPap 2005.)

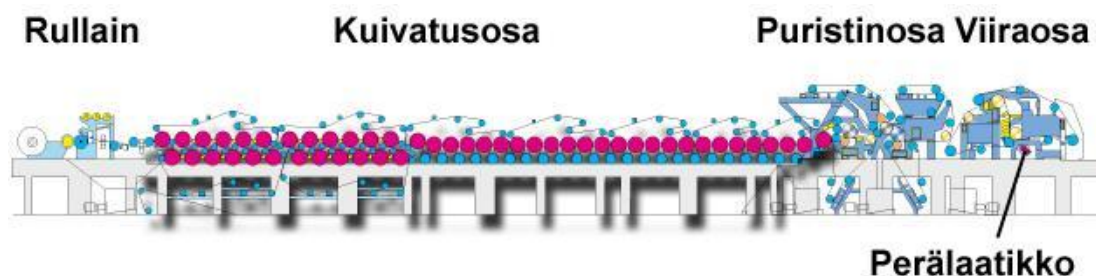
Seuraavaksi sellumassa siirretään paperikoneen massaosastolle. Valmistettavan tuotteen haluttujen ominaisuuksien mukaan massaosastolla sekoitetaan haluttuja komponentteja keskenään oikeassa suhteessa. Massakomponentteja voivat olla esimerkiksi mänty- ja koivusellu, päällystämätön ja päällystetty hylky sekä paperissa käytetyt lisä- ja täyteaineet. Massojen annostelun jälkeen ne

johdetaan sekoitussäiliöön komponenttien sekoitusta varten. Sekoitussäiliöstä massa pumpataan konesäiliöön ja sieltä edelleen paperikoneen lyhyeen kiertoon rainanmuodostusta varten. (KnowPap 2005; Jortama 2003, 42.)

3 PAPERIKONE

Paperikoneen tehtävä on muodostaa yhtenäinen paperiraina. Paperikoneelle voidaan asettaa erinäisiä vaatimuksia. Yksi tärkeimmistä on sen suorittamien toimintojen tehokkuus suurella nopeudella. Rainalle voidaan myös asettaa vaatimuksia, joista ehkäpä tärkeimpänä on sen rakenteen tasalaatuisuus eli homogeenisuus. Tasalaatuisuus koskee rainan kaikkia suuntia: MD-, CD- ja ZD-suuntia. Homogeenisen rainan valmistus edellyttää koneen kaikilta osilta tietynlaista suunnittelua. Tästä näkökulmasta tarkasteltaessa koneen tärkeimmät osaprosessit ovat viira- ja puristinosa. (Paulapuro 2000, 18.)

Paperikone koostuu neljästä suuremmasta osakokonaisuudesta: perälaatikosta, viira-, puristin- sekä kuivatusosasta. Lisäksi paperikone sisältää pienempiä osakokonaisuuksia, kuten konekalanteroinnin ja kiinnirullauksen. Seuraavaksi on esitelty näiden osakokonaisuuksien toiminta ja merkitys osana paperinvalmistusprosessia. Kuvassa 1 on esitetty paperikoneen tärkeimmät osakokonaisuudet pääpiirteissään.



KUVA 1. Paperikoneen osakokonaisuudet (KnowPap 2005)

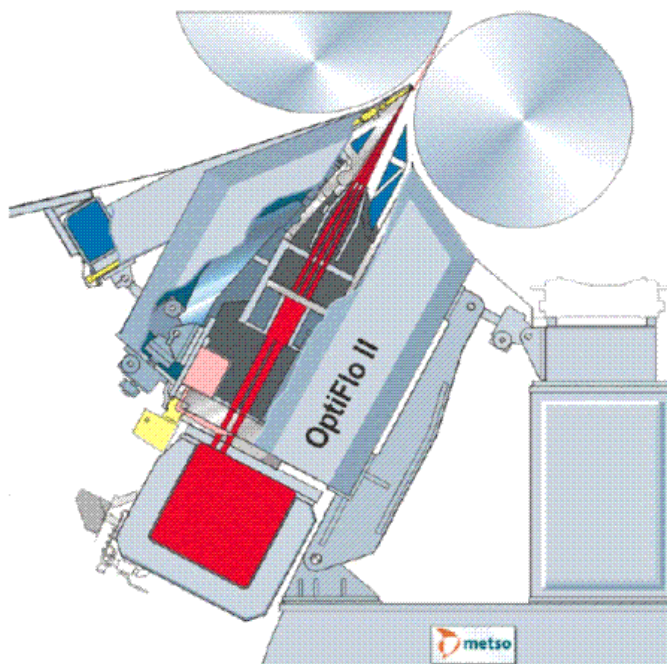
3.1 Perälaatikko

Perälaatikon ja sen sisältämien laitteiden tehtävänä on levittää syöttöputkistosta tuleva massasuspensio tasaisesti viiraosalle koko koneen leveydeltä. Perälaatikossa muodostetaan myös massan haluttu sakeus, tasataan syöttöputkiston mahdolliset virtaus- ja painevaihtelut sekä hajotetaan turbulenssin avulla syöttöputkistossa syntyneet kuituflokkit yksittäisiksi kuiduiksi. Kaikessa yksinker-

taisuudessaan perälaatikon tärkein tehtävä on syöttää viiraosalle mahdollisimman homogeeninen massaseos. Tämä varmistaa osaltaan laadukkaan pohjapaperin muodostumisen. (KnowPap 2005; Paulapuro 2000, 206; Jortama 2003, 51.)

Perälaatikkotyyppejä on toimintaperiaatteen mukaan kaksi erilaista: hydraulinen ja reikätelaperälaatikko. Paperikonetta valmistettaessa valinta näiden kahden välillä riippuu käyttötarkoituksesta. Käytännössä kuitenkin yleisempi näistä kahdesta on hydrauliperälaatikko reikätelaperälaatikon soveltuessa nykyään enää hyvin hitaille erikoispaperikoneille. (KnowPap 2005.)

Hydrauliperälaatikko koostuu jakotukista, jakopillistöstä, tasauskammioista, turbulenssigeneraattorista sekä huuliosasta. Kuvassa 2 on nähtävillä hydrauliperälaatikon rakenne. (KnowPap 2005.)



KUVA 2. Hydrauliperälaatikko (KnowPap 2005)

Perälaatikkoon syötetään massaa jakotukin kautta. Jakotukki voi olla muodoltaan suorakulmion tai neliön muotoinen, ja se kapenee massan virtaussuuntaan päin. Jakotukin muodolla voidaan vaikuttaa massan virtausprofiilin muodostumiseen. Tasaisen virtauksen saavuttaminen edellyttää saman suuruista painetta jakotukin molemmissa päissä. Tämä on ratkaistu siten, että jakotukin

kapeammassa päässä on yhde ohikierrätystä varten. Yhteessä olevan säätöventtiilin avulla säädetään ohikierrätyksen virtausta, jonka seurauksena saadaan tasainen paine jakotukkiin koko koneen leveydeltä. Virtauksen pienentäminen nostaa painetta jakotukin kapeammassa päässä ja kasvattaminen taas laskee painetta. Kuvassa 2 jakotukki erottuu punaisena neliönä perälaatikon alaosassa. (KnowPap 2005.)

Jakotukista massa etenee jakopillistöön. Jakopillistö on eräänlainen putkipatteristo, jossa massan virtausnopeutta kasvatetaan hetkellisesti jopa kaksin- tai kolminkertaiseksi jakotukin painevirheiden tasaamiseksi. Virtausnopeuden kasvattaminen on ratkaistu pillin muodolla; pillin poikkipinta-ala kasvaa massan virtaussuunnassa. Tämän niin sanotun kuristusosan jälkeen virtausnopeus palaa takaisin entiselle tasolleen. Jotta jakopillistö toimisi oikein ja tarkoituksenmukaisesti, on jakotukin tasainen paineen jakautuminen koko koneen leveydeltä erittäin tärkeää. (KnowPap 2005.)

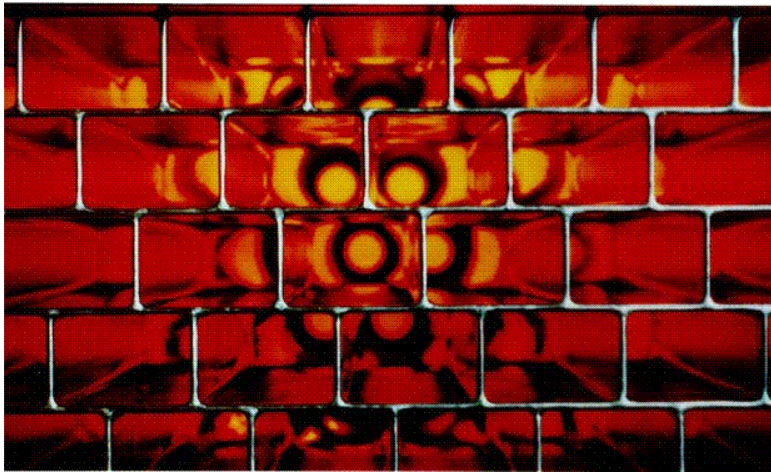
Tasauskammion tarkoitus on tasata jakopillistön jälkeistä nopeusprofiilia. Tasauskammio voidaan varustaa myös erityisellä ilmatilalla. Ilmatilan tarkoitus on tasoittaa lyhyen kierron aiheuttamia painevaihteluja ja -häiriöitä. Yleensä ilmatilaan on myös sovitettu ylivirtauskouru, jota pitkin tasauskammiossa syntyneen massasulpun pintakerros kuoriutuu ylivirtauskourua pitkin ulos. Kuvassa 3 on nähtävillä tasauskammion rakenne ilmatilalla varustettuna. Huomioitavaa kuitenkin on, että uusissa perälaatikkotyypeissä tällaista ilmatilaa ei ole käytössä koneiden suurien nopeuksien vuoksi. (KnowPap 2005.)



KUVA 3. Tasauskammio ilmatilalla (KnowPap 2005)

Tasauskammion tasattua nopeusprofiilia massa jatkaa matkaansa turbulenssigenaattorille. Sen tarkoituksena on hajottaa kuituflokkeja syntyvän virtaustilan avulla. Turbulenssigenaattorin rakenne on hieman vastaava kuin jakopillistön. Erona kuitenkin putkien rakenteen osalta on, että putkien sisääntuloaukko on pyöreä ja ulostuloaukko suorakaiteen mallinen. (KnowPap 2005.)

Turbulenssigenaattorin vaikutusta pohjapaperin laatuun ei voi korostaa liikaa. Sen vaikutus ulottuu muun muassa seuraaviin asioihin: huuliosan virtauksen stabiiluus (pienet neliömassan satunnaisvaihtelut), kuituorientaation tasaisuus CD-suunnassa, sekä virtauksen turbulenssitila joka vaikuttaa esimerkiksi formaation muodostumiseen. Kuvassa 4 on tarkasteltavissa turbulenssigenaattorin putkien päitä ulostuloaukon suunnasta. (KnowPap 2005.)



KUVA 4. Turbulenssigenaattorin putkia (KnowPap 2005)

Huuliosa koostuu huulikanavasta, ylä- ja alahuulesta sekä kärkilistasta. Huulikanavan tärkein tehtävä on kohottaa massan virtausnopeus perälaatikkonopeudesta konenopeuteen ja muodostaa huulisuihku massasta viiraosalle. Muina tehtävinä on vaimentaa turbulenssigenaattorin synnyttämät nopeuserot ja turbulenssit sopivalle tasolle, jotta arkinmuodostus onnistuisi. Jos edellä mainituissa asioissa ei onnistuta, seurauksena on leikkaus- ja painevoimia viiraosalla sekä neliömassan vaihteluita pohjapaperissa. (KnowPap 2005.)

Joissain tapauksissa turbulenssigenaattorin putkien loppuosaan on lisätty PC:stä tai PVC:stä valmistetut hetulat, joiden tarkoitus on tasata nopeusprofiilia

ja muokata turbulenssia. Hetuloilla voidaan myös vaikuttaa mahdolliseen vaimenmuodostukseen. (KnowPap 2005.)

Huuliosa päättyy huulirakoon. Huuliraon muodostavat ala- ja ylähuuli sekä kärkilista. Huuliraon suuruutta tulee voida säätää esimerkiksi lajinvaihtojen yhteydessä. Säätäminen tehdään huulikanavan etuseinän ja ylähuulen asentoa muuttamalla. Alahuuli on kiinteä ja ylähuulta voidaan liikuttaa koneen poikki- ja pystysuunnassa. Koneen poikkisuuntaisen virtausprofiilin säätämiseksi ylähuulella on erillinen kärkilista ja säätökarat, joiden avulla haluttuja säätöjä voidaan suorittaa. (KnowPap 2005.)

3.2 Perälaatikon vaikutus rainanmuodostukseen

Raina muodostuu paperikoneen mässässä päässä niin sanotussa rainanmuodostusosassa. Siihen kuuluvat perälaatikon syöttöputkisto, itse perälaatikko sekä viiraosa. Rainanmuodostuksessa määräytyy syntyvän lopputuotteen monet tärkeät ominaisuudet, yhtenä tärkeimmistä formaatio, joka kuvaa neliömassan pienimittakaavaista vaihtelua. Esimerkiksi formaatioon voidaan rainanmuodostusosan jälkeisillä osaprosesseilla vaikuttaa enää marginaalisesti. (KnowPap 2005.)

Perälaatikon sisäisten rakenteiden ja lyhyen kierron ominaisuuksilla voidaan vaikuttaa hyvän huulisuihkun muodostumiseen. Tässä esimerkiksi jakotukin merkitys tasaisen virtausprofiilin ja sitä kautta tasaisen poikkiprofiilin aikaansaamiseksi koko koneen leveydeltä on merkittävä. Tosin virheellistä neliöpainoprofiilia voidaan korjata osittain mahdollisen päällystyksen avulla. (Jortama 2003, 51; KnowPap 2005.)

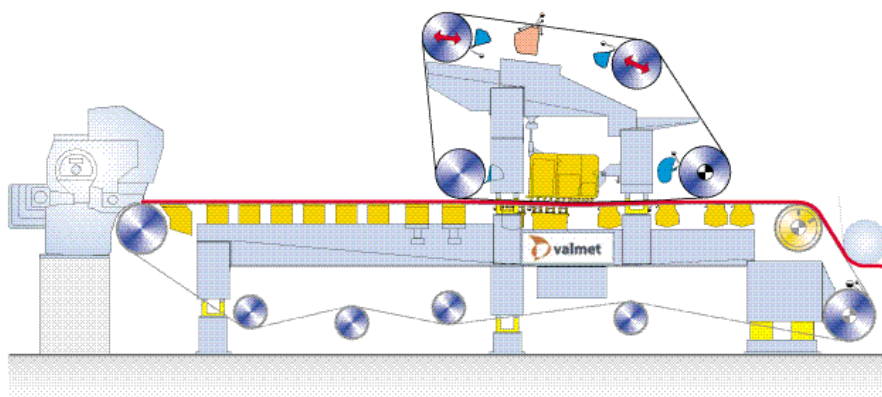
Perälaatikossa muodostetun huulisuihkun nopeuden sekä viiran nopeuden ero vaikuttaa rainan ominaisuuksiin. Huulisuihkun ja viiran välistä nopeuseroa kuvaa suihkuviirasuhde (S/V -suhde), joka on tärkeä hallintasuure rainan ominaisuuksien kannalta. Formaatiota tarkasteltaessa S/V -suhteen tulisi olla joko hieman suurempi tai pienempi kuin yksi, tyypillisesti 0,95–0,99 tai 1,01–1,05.

Tämä lisää kuitujen orientaatiota, mikä taas vaikuttaa paperin ominaisuuksiin. (Jortama 2003, 51.)

3.3 Viiraosa

Viiraosan merkitys pohjapaperin valmistuksessa on suuri. Siinä poistetaan syntyvästä rainasta eniten vettä suhteessa muihin paperikoneen osiin ja sillä vaikutetaan myös paperin rakenneominaisuuksiin. Rakenneominaisuuksia ovat muun muassa formaatio, MD/CD-suuntainen vetolujuussuhde, palstautumislujuus, täyteainajakauma ja neliömassan jäännösvaihtelu. (KnowPap 2005.)

Viiraosa voidaan toteuttaa paperikoneessa monella tavalla. Tässä esitellään kuitenkin niin sanottu hybridiformeri, joka PK6:lla on käytössä. Hybridiformeri tarkoittaa käytännössä sitä, että viiraosa sisältää kaksi viiraa, ylä- ja ala- eli ta-soviiran. Hybridiformerilla huopautetaan perälaatikosta suihkutettu massa, ja samalla poistetaan suurin osa massan sisältämästä vedestä. Kun vettä poistetaan radasta sekä ylä- että alaviiran läpi, voidaan paperin eri ominaisuuksiin vaikuttaa tehokkaammin. Kuvassa 5 on nähtävillä SymFormer MB -viiraosan perusrakenne. (KnowPap 2005.)

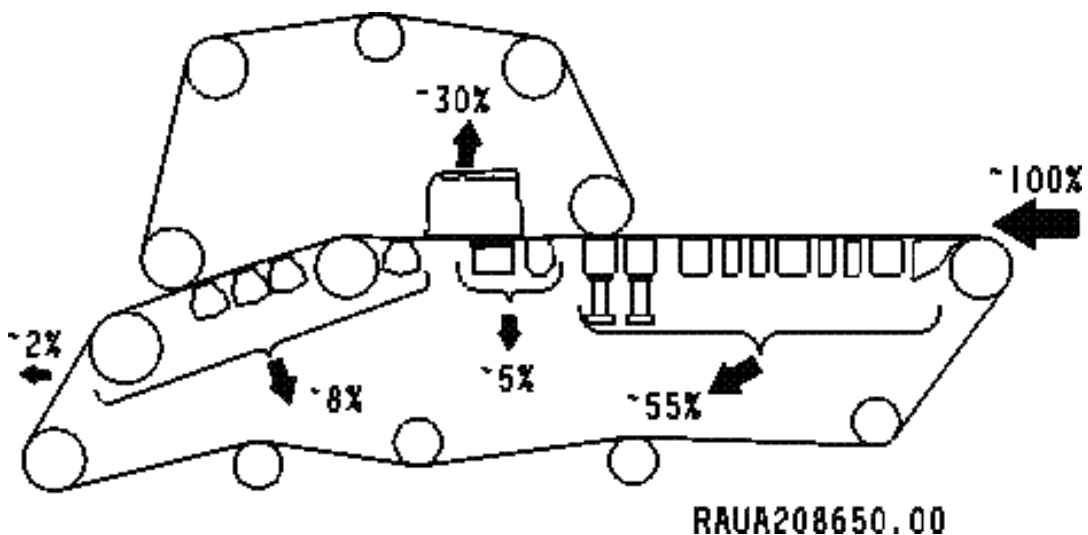


KUVA 5. SymFormer MB, paperimassa ja -rata kuvassa punaisena viivana (KnowPap 2005)

Kuten jo aikaisemmin todettiin, viiraosalla poistetaan suurin osa massan sisältämästä vedestä, noin 98 prosenttia perälaatikon virtaamasta. Vedenpoisto ja-

kautuu siten, että alaviiran läpi vettä poistuu noin 70 prosenttia ja yläviiran läpi noin 30 prosenttia. (Penttinen 2001, 1–3.)

Viiraosa sisältää useita elementtejä, joiden avulla vettä poistetaan paperirainasta. Näihin kuuluvat rainan kulkusuunnassa esitettynä esimerkiksi rintapöytä, foililaatikot, imufoili, kaareva pöytä, MB-kuormituspöytä, MB-imulaatikko, ta-soimulaatikot ja siirtoimulaatikko. Näiden elementtien vedenpoisto rainasta perustuu muun muassa liike-energiaan, alipaineeseen ja pulsaatioon. (Penttinen 2001, 1–3.) Kuvassa 6 on esitetty viiraosan tyypillinen vedenpoisto prosenttiosuuksina kutakin vedenpoistovaihetta kohti, rainan kulkusuunta kuvassa oikealta vasemmalle.



KUVA 6. Vedenpoisto viiraosalla (Penttinen 2001, 3)

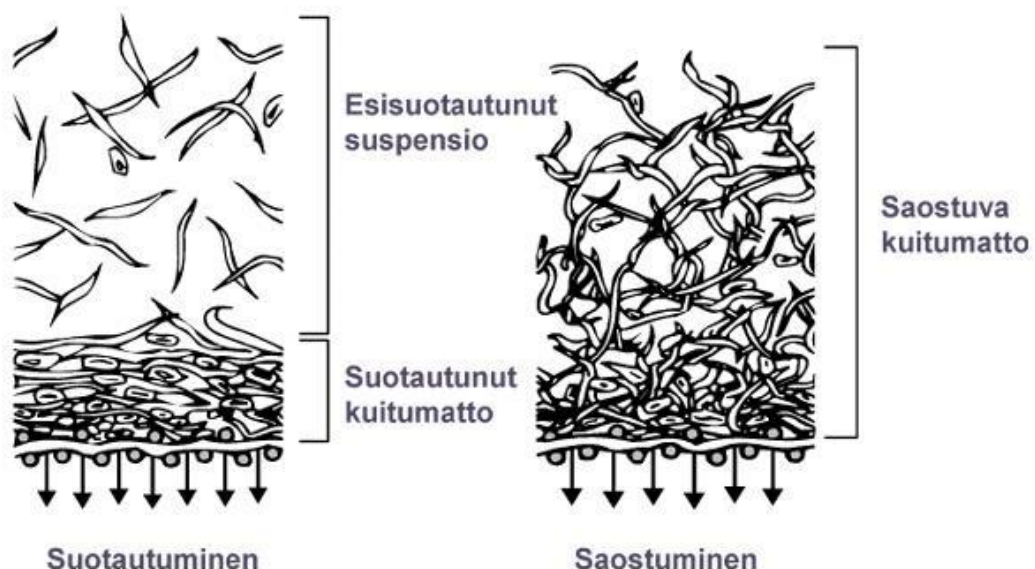
3.4 Rainanmuodostus viiraosalla

Kautta aikojen raina on muodostettu paperikoneilla samaa peruseriaatetta hyödyntäen: perälaatikosta viiraosalle syötettävän kuitususpension sisältämä vesi poistetaan viiraosalla paine-eron avulla. Syntyvä paine-ero voi muodostua joko imua, painovoimaa tai viiran kireyden aiheuttamaa painetta hyväksikäyttäen. Huomioitavaa tässä kuitenkin on se, että jos syntynyt paine-ero olisi tasainen, rainan ominaisuudet olisivat riittämättömät. Tasainen, jatkuva paine-ero synnyttäisi flokkeja, palstautumislujuus olisi riittämätön ja rainan pinta voisi tii-

vistyä liikaa. Viiraa vasten oleva rainan pinta vaikeuttaisi tiivistyessään vedenpoistoa. (Paperikoneen viiraosa, 3.)

Raina voidaan muodostaa myös sakeuttamalla. Siinä vedenpoistossa jäljelle jäävää massasuspensiota sekoitetaan leikkausvoimien ja turbulenssien avulla jatkuvasti. Tämä varmistaa sakeuden säilymisen ZD-suunnassa vakiona. Sakeuttamalla voidaan hajottaa muodostuneita flokkeja ja parantaa palstautumislujuutta, mutta jäljellä jäävät muut lujuusominaisuudet jäävät heikoiksi. Myös rainan pinnassa olevat lyhyet kuidut ja hienoaineet huuhtoutuvat pois. (Paperikoneen viiraosa, 3; KnowPap 2005.)

Kaikkien paperilajien valmistuksessa käytetään rainanmuodostuksessa molempia edellä mainittuja vedenpoistomenetelmiä. Se, missä suhteessa niitä käytetään, riippuu lopputuotteelle asetetuista laatuvaatimuksista. Laatuvaatimuksina voidaan pitää muun muassa tasaista neliömassan vaihtelua, hallittua ja poikkisuunnassa tasaista kuituorientaatiota ja paperin lujuusominaisuuksia MD-, CD- ja ZD-suunnissa. Kuvassa 7 on esitetty kahden esitetyn vedenpoistomekanismin, sakeuttamisen ja suotauttamisen periaate. (Paperikoneen viiraosa, 3; KnowPap 2005.)

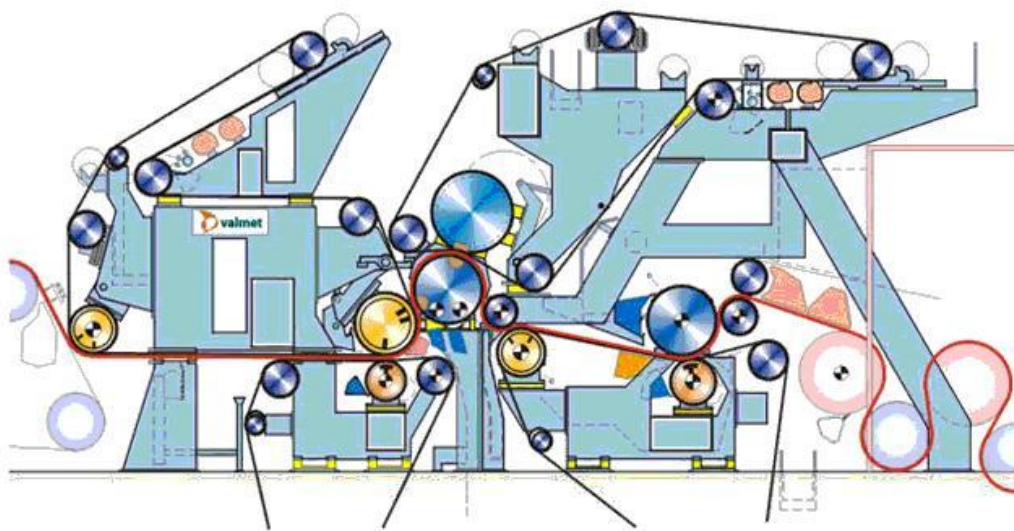


KUVA 7. Vedenpoiston periaatteet (KnowPap 2005)

3.5 Puristinosa

Paperirainan kuljettua viiraosan lävitse seuraava osakokonaisuus on niin sanottu puristinosa. Puristinosan päätehtävä on vedenpoisto rainasta huopien, nippien ja lämmön avulla. Puristimen tehtävänä on myös rainan hakeminen viiraosalta. Puristinosalla vesi poistuu joko huopaan ja siitä imutelaan tai erikoisvalmisteisen uratelan pinnalle, josta se kaavareiden avulla poistetaan. (KnowPap 2005.)

Puristinosamalleja on useita erilaisia. Niistä esitellään tarkemmin PK6:lla käytössä oleva keskitelapuristin. Kuvassa 8 on esitetty keskitelallisen puristimen rakenne pääpiirteissään.



KUVA 8. Paperikoneen puristinosa, kuvassa Metso SymPress B (KnowPap 2005)

Puristimen vaikutus pohjapaperin ominaisuuksiin on merkittävä. Telojen, niiden pinnoitteiden sekä huopien ja viivapaineyhdistelmien valinnoilla voidaan vaikuttaa muun muassa seuraaviin asioihin: paperin sileyteen ja sen symmetriaan, hienoainejakaumaan, pintalujuuteen, kosteuteen ja sen profiiliin, huokoisuuteen sekä bulkkiin. (KnowPap 2005; Rajala 2001b, 3)

PK6:n puristinosa muodostuu pääpiirteissään neljästä nipistä, neljästä huovasta, 35 erillisestä telasta ja höyrylaatikosta. Muutamat telat on sijoitettu siten, et-

tä vastakkain aseteltuna toisen telan kanssa ne muodostavat niin sanottuja nippejä, joissa vettä poistetaan rainasta mekaanisesti puristamalla joko huopaan tai uritetun telan pinnalle. Höyrylaatikolla voidaan vaikuttaa rainan kuiva-ainepitoisuuden kohottamiseen muutamilla prosenteilla (KnowPap 2005).

Raina haetaan viiraosalta Pick-up-telan ja -huovan avulla. Tässä kohdassa rata kiinnittyy huovan pintaan yläpinnastaan telan alipaineen auttamana ja etenee kohti 1. puristinta. 1. puristimella rata on kahden huovan, Pick-up- ja 1. huovan välissä. Rataan kohdistuu mekaaninen puristus Sym-telan ja puristinimutelan välissä, ja vettä siirtyy rainasta molempiin huopiin. (Rajala 2001b, 2-3.)

Seuraavaksi rata siirtyy 2. puristimelle. 2. puristimen muodostavat toinen Sym-tela ja SymZLC-tela. Rata ohjataan 1. huovan ja SymZLC-telan väliin. Vettä poistetaan mekaanisen puristuksen avulla paperin yläpinnan puolella olevan Sym-telan uritettuun pintaan, josta se poistetaan kaavareiden avulla. (Rajala 2001b, 3-4.)

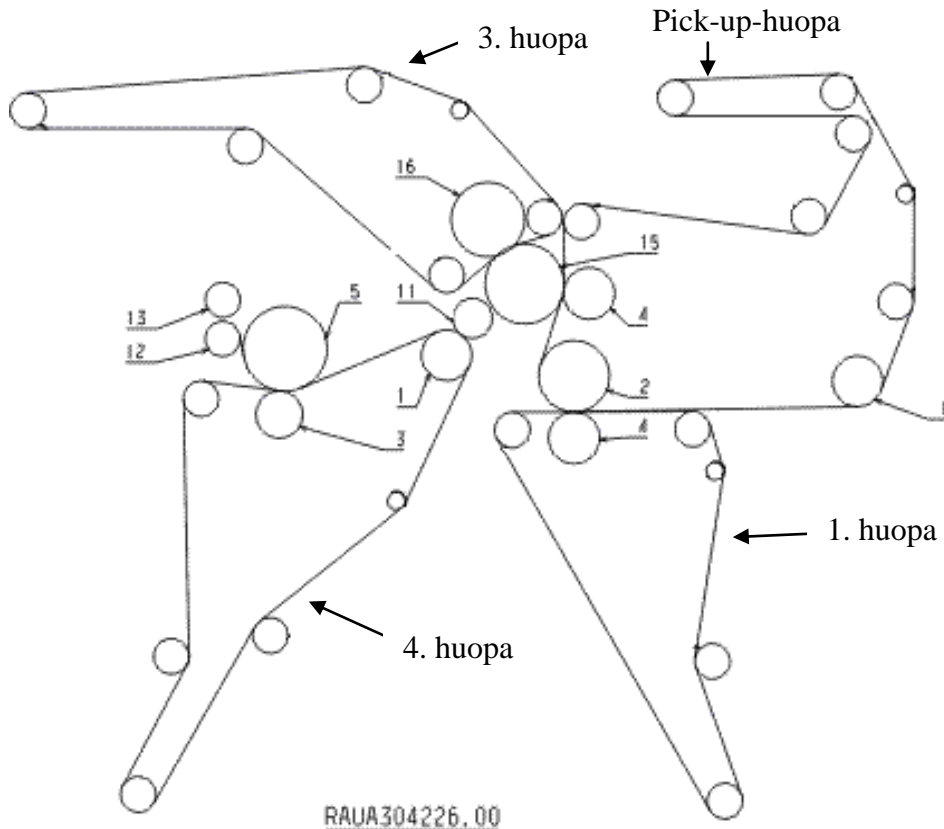
3. puristimessa rata on Belt- ja SymZLC-telan puristuksessa. Vesi siirtyy nipissä radasta 3. huopaan, jälleen mekaanisen puristuksen avulla. 3. puristimen jälkeen rata siirtyy SymZLC-telan pinnasta paperinjohto- ja siirtoimutelan avulla kohti 4. puristinta. (Rajala 2001b, 4.)

4. puristimelle rata saapuu 4. huovan pinnassa. Rata kulkee huovan ja keskitelan välissä. Nipin muodostavat graniittinen keskitela ja uritettu SymZS-tela. Vesi poistuu nipissä radasta alaspäin 4. huopaan. (Rajala 2001b, 4.)

4. puristimen jälkeen rata siirtyy keskitelan mukana paperinjohtotelalle ja siitä PressRun-telan avulla kuivatusosan ensimmäiselle viiralle. Radan pysyminen kuivatusviirassa on varmistettu PressRun-laatikoilla. (Rajala 2001b, 3-4.)

Kuvassa 9 on esitetty PK6:lla olevan keskitelapuristimen rakenne telojen ja huopien osalta. Kuvan numeroiden selitykset: 1 = Pick-up -tela, 2 = Puristinimutela, 3 = SymZS-tela, 4 = Sym-tela, 5 = Keskitela, 11 = Paperinjohtotela, 12 =

Paperinjohtotela, 13 = PressRun-tela, 15 = SymZLC-tela ja 16 = Belt-tela (Rajala 2001a, 1).



KUVA 9. Keskitelapuristimen rakenne (Rajala 2001a, 1)

3.6 Kuivatusosa

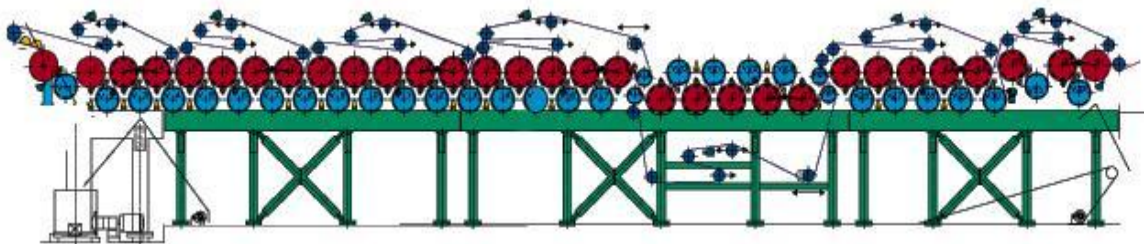
Yleensä paperirainan kuiva-ainepitoisuus kuivatusosalle saavuttaessa on noin 50 prosenttia. Kuivatusosan tarkoitus on kuivata rainaa mahdollisimman tasaisesti välttämällä rainan kutistumista ja mahdollisia reunakäyristymiä. (Laurikainen 2005, 7.)

Kuivatus voidaan toteuttaa usealla eri menetelmällä. Esimerkkeinä yleisimmistä tavoista voidaan mainita sylinteri-, puhallus- ja säteilykuivatus. Kaikille kuivatus-tavoille on yhteistä se, että energia kuivatusosalle tuodaan jostain prosessin ulkopuolelta, tavoitteena haihduttaa lämmön avulla kosteutta rainasta. Haihtunut kostea ilma poistetaan prosessista tehokkaiden höyrynpoistolaitteiden avulla. Erilaisista energiantuontitavoista johtuen rakenteet ja laiteratkaisut eri kuiva-

tusmenetelmien välillä vaihtelevat hyvinkin suuresti. PK6:lla on käytössä sylinterikuivain, joka esitellään tarkemmin seuraavaksi. (KnowPap 2005.)

Kuten aikaisempienkin prosessivaiheiden kohdalla, myös kuivatusosalla on merkitystä pohjapaperin laatuun ja ominaisuuksiin. Esimerkiksi viirojen ominaisuuksilla ja kuivatussylintereiden lämpötiloilla voidaan vaikuttaa rainan kosteusprofiiliin MD-, CD- ja XD-suunnissa, pinta- ja lujuusominaisuuksiin, venymään, vaaleuteen ja karheuteen sekä käyristymiseen. (KnowPap 2005.)

Kuivatusprosessin kannalta sylinterikuivaimen tärkeimmät ja keskeisimmät laitteet ovat kuivatussylinterit, Vac-telat sekä höyrynsyöttölaitteet ja lauhdevesijärjestelmä. Sylinterikuivain PK6:lla koostuu 11 kuivatusryhmästä. Kuivatussylintereitä ryhmissä on yhteensä 60 kappaletta. Sylinterit ovat höyryllä lämmitettäviä, rainan nopeudella pyöriviä paineastioita. Vac-tela on alipaineistettu tela. Sillä muodostetaan imuvaikutus kuivausviiran läpi rainaan, mikä mahdollistaa rainan pysymisen viirassa. PK6:lla Vac-teloja on käytössä 48 kappaletta. Höyrynsyöttölaitteiden tarkoitus on tuoda kuumaa höyryä kuivaussylintereiden sisään, josta se lauhtuessaan luovuttaa lämpönsä kuivaussylinterin vaippaan. Syntynyt lauhde poistetaan sylintereistä lauhteenpoistolaitteilla. Kuvassa 10 on esitetty sylinterikuivaimen rakenne yleisesti. (Varis 2001, 1–6; Laurikainen 2005, 7.)



KUVA 10. Sylinterikuivaimen rakenne (KnowPap 2005)

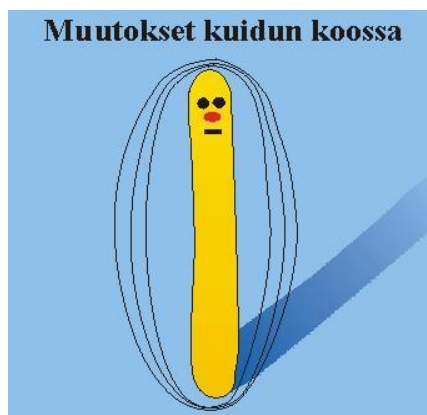
Kuvassa 10 rainan kulkusuunta on vasemmalta oikealle. Punaisella värjättyt sylinterit ovat kuivatussylintereitä ja sinisellä värjätty Vac-teloja. Kuvasta voi myös havaita kuivatusviiroja, joiden tehtävä on kuljettaa raina kuivatusosan läpi.

3.7 Kuivatusosan vaikutukset rainan ominaisuuksiin

Kuivatusosalla voidaan vaikuttaa rainan seuraaviin ominaisuuksiin: karheus, lujuus, valonsirontakerroin, käyristyminen, venymä, vaaleus ja kosteusprofiili. Näihin ominaisuuksiin voidaan vaikuttaa muun muassa kuivatusosan lämpötilavaihteluilla, kuivatusvirojen ominaisuuksilla ja käytettävällä kuivatusmenetelmällä. (KnowPap 2005.)

Kuivatusosalle saapuessaan raina voi joutua lämpötila-kosteusalueelle, jossa rainan muodostavat kuidut pehmenevät. Jos lämpötila kohoaa, se vaikuttaa esimerkiksi karheuden, vetolujuuden ja tiheyden kasvamiseen sekä ilmanläpäisevyyden ja valonsirontakertoimen alenemiseen. Koska kuivatusosan alkupään lämpötilan merkitys on suuri, se on tyypillisesti alhaisin verrattuna kuivatusosan muihin osiin. Tämä voidaan toteuttaa muun muassa erillisellä lämpötilasäädöllä. (KnowPap 2005.)

Kuivuessaan raina kutistuu, CD-suunnassa jopa kolme kertaa enemmän kuin MD-suunnassa. Kutistumisen määrään vaikuttavat kuitujen orientaatio, kuivatusvirojen kireys ja rainaan kohdistuvien vetojen suuruus ja suunta. Monisylinterikuivatuksessa rainan MD-suuntaista kutistumista pyritään estämään, mikä johtaa rainan sisäisiin jännityksiin. Kuivatusosan ominaisuuksista johtuen rainan reunat kuivuvat keskiosaa enemmän. Tämän vuoksi niiden karheus on myös suurempi. Kuvassa 11 on demonstroitu kuidun kutistumista eri suunnissa. (KnowPap 2005; Karlsson 2000, 336-341.)

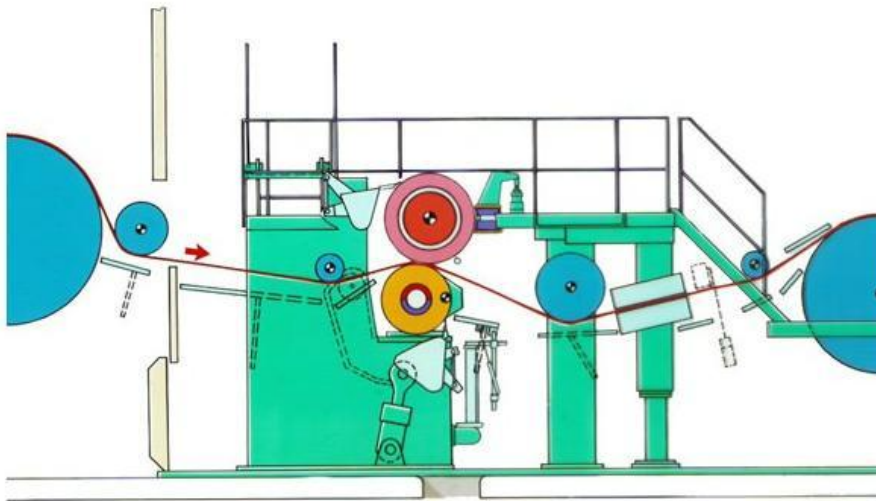


KUVA 11. Kuidun kutistuminen kuivatuksen aikana (KnowPap 2005)

Kuivatuksen tärkein laatutekijä on kosteusprofiili. Huono kosteusprofiili aiheuttaa ajettavuusongelmia kaikissa jälkikäsitteilyn vaiheissa muun muassa rynkkyjen ja katkojen vuoksi. Myös huono ja epätasainen painojälki painokoneilla johtuu osittain epätasaisesta kosteusprofiilista. Jotta profiili olisi tasainen, täytyy viira- ja puristinosan toiminta olla moitteetonta; rainan kosteusprofiilin on oltava tasainen jo ennen kuivatusosalle saapumistaan. Huonoon tulokseen voi johtaa myös kuivatussyilintereiden epätasainen lauhteenpoisto. (KnowPap 2005; Karlsson 2000, 353.)

3.8 Kalanteri

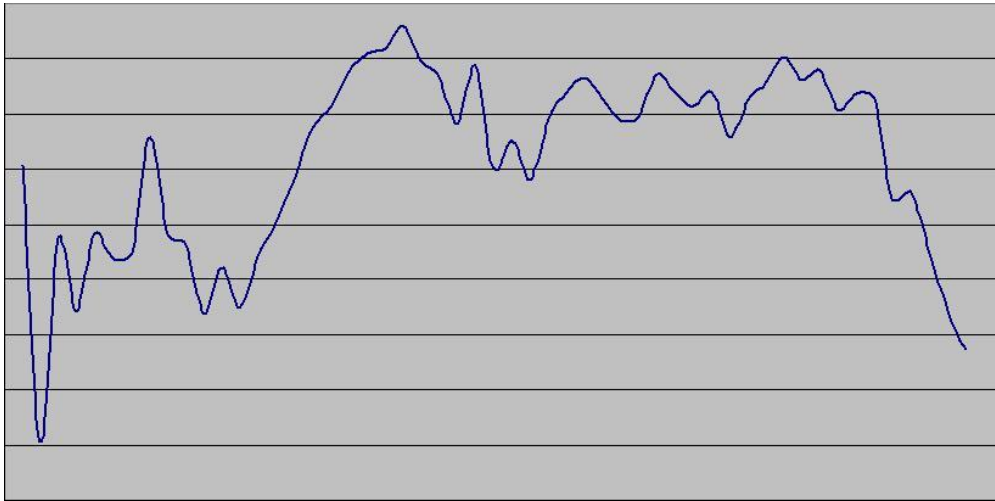
Kuivatusosan jälkeen ennen kiinnirullainta paperikoneessa on usein kalanteri. Kalanterin tarkoitus yleisesti on vaikuttaa paperin seuraaviin ominaisuuksiin: pintaominaisuuksiin, kuten kiilto ja sileys, paperin paksuuteen sekä paksuusprofiilin tasaamiseen. Kalanterityyppejä on useita, esimerkiksi kone-, väli-, super- ja mattakalanteri. Kuvassa 12 on esitetty konekalanterin rakenne yleisesti. (KnowPap 2005.)



KUVA 12. Konekalanteri yhdellä nipillä (KnowPap 2005)

Kalanteroitessa pohjapaperia paperikoneen konekalanterilla rainan reunat alueita kuormitetaan yleensä enemmän kuin keskialuetta. Tämä johtuu kuitujen kuivatuskutistuman aiheuttamasta suuremmasta karheudesta rainan reunat alueilla. Joissakin tapauksissa tämä voi johtaa paksuusprofiilin CD-suuntaiseen

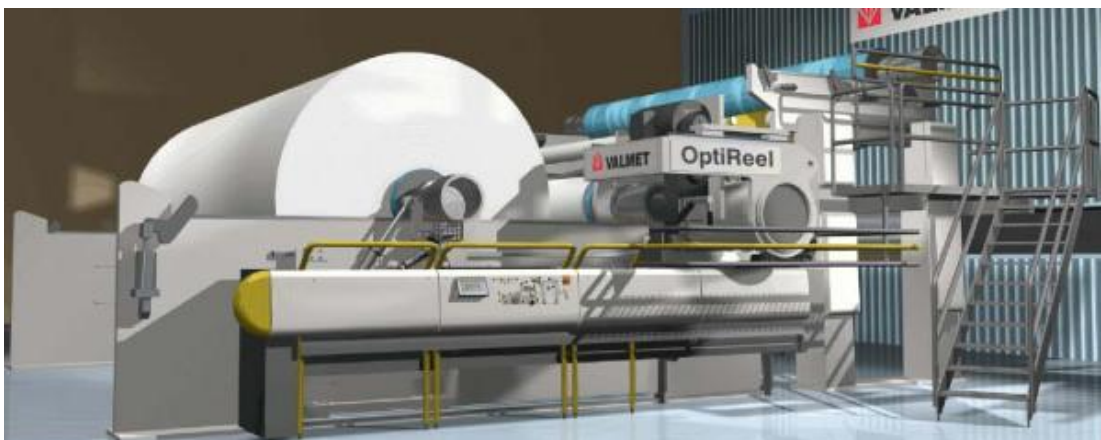
epätasaisuuteen. (Turunen 2011; Koivuranta 2011.) Kuvassa 13 on esitetty erään paperikoneen pohjapaperilajien keskiarvoinen paksuusprofiili.



KUVA 13. Pohjapaperin paksuusprofiilia CD-suunnassa

3.9 Kiinnirullain

Paperikoneen viimeinen osa on niin sanottu kiinnirullain. Kiinnirullaimen tehtävä on rullata paperikoneesta tuleva raina halutun pituiseksi konerullaksi tyhjän tampuuritelan ympärille. Kiinnirullain koostuu sähkökäyttöistä, vaihteesta, rullaussylinteristä ja kytkimestä. Vaikutukset etenkin vapaasti rullaavissa kiinnirullaimissa rainan rakenteellisiin ominaisuuksiin ovat pienet. Kuvassa 14 on nähtävillä Metson valmistama OptiReel-kiinnirullain. (Parviainen 2001, 1-2; KnowPap 2005.)



KUVA 14. Metson OptiReel-kiinnirullain (KnowPap 2005)

Vaikka kiinnirullaimen vaikutukset paperin ominaisuuksiin ovat pienet, sen säädöillä voidaan vaikuttaa tuotteen ajettavuuteen jälkikäsittelyssä. Ratakireydetään ja kovuudeltaan oikeanlainen konerullan rakenne vähentää konerullissa ilmaantuvien vaurioiden määrää. (KnowPap 2005; Uhlbäck 2008, 9-10.)

3.10 Paperin päällystys

Paperin päällystyksen tarkoituksena on parantaa valmistettavan tuotteen ulkonäköä ja painettavuutta. Ulkonäköä voidaan kuvata muun muassa käsitteillä kiilto, vaaleus ja opasiteetti. Painettavuuteen vaikuttavat esimerkiksi paperin siileys, pintalujuus sekä tietysti painettavan värin imeytymisominaisuudet. (KnowPap 2005.)

Paperin pintakäsittelymenetelmiä on kolmea eri laatua. Nämä kolme menetelmää voidaan nimetä pintaan siirrettävän aineen määrän ja ominaisuuksien mukaan seuraavasti: pintaliimaus, pigmentointi ja päällystys. (KnowPap 2005.)

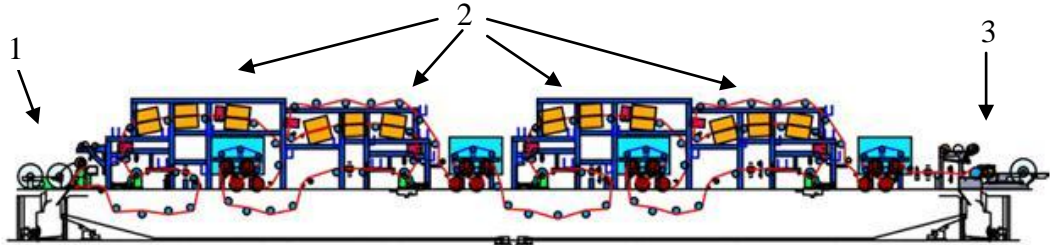
Päätoimintaperiaate kaikissa paperinpäällystyskoneissa on yhtenäinen. Paperi saapuu päällystyskoneelle joko aukirullaimelta tai paperikoneelta. Seuraavaksi rainan pintaan applikoidaan eli levitetään päällystyspastaa. Kun pastan määrä on säädetty halutuksi, se kuivataan haluttuun kuiva-ainepitoisuuteen kuivauslaitteiden avulla.

3.11 Päällystysmenetelmät

Päällystysmenetelmistä yleisin on teräpäällystys. Muita mahdollisia ratkaisuja on sauva-, filminsiirto- ja ilmaharjapäällystys. Tehtaalla tehtävä päällystys voidaan suorittaa joko on-machine- tai off-machine-ratkaisulla. On-machine-päällystys suoritetaan paperikoneen yhteydessä olevalla laitteistolla ja off-machine-päällystys erillisellä päällystyskoneella. (KnowPap 2005.)

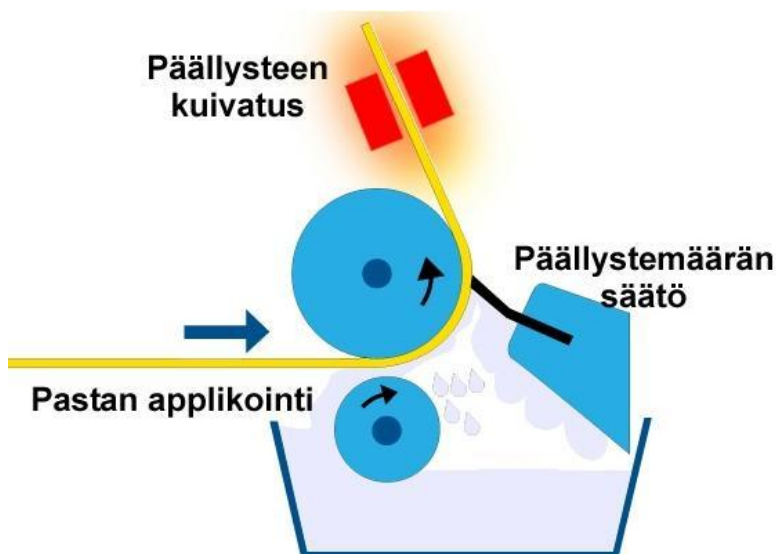
Työ suoritettiin tehtaalla, jossa on käytössä off-machine-tyyppinen päällystyskone. Kyseinen kokonaisuus pitää sisällään neljä OptiCoat Jet -tyyppistä päällystysasemaa, auki- ja kiinnirullaimen sekä kuivatuslaitteet. Päällystysasemien

lukumäärä määräytyy sen mukaan, kuinka monta kerrosta päällysteainetta rai-
nan pintaan halutaan. Neljä päällystysasemaa mahdollistaa rainan päällystämi-
sen kahteen kertaan molemmin puolin. Kuvassa 15 on esitetty neliasemaisen
päällystyskoneen perusrakenne. (KnowPap 2005; Lielähti 2007, 3.)



KUVA 15. Neliasemainen päällystyskone, 1 = aukirullain, 2 = päällystysasemat, 3 = kiinnirullain (KnowPap 2005)

Paperia päällystettäessä sen pintaan applikoidaan päällystyspastaa käytössä
olevalla menetelmällä ylimäärin. Applikointimenetelmiä on kolme: suutin, lyhyt-
viipymä- ja sivelytela-applikointi. Näissä menetelmissä pastan lopullinen määrä
rainan pinnassa säädetään sopivaksi teriä käyttämällä, ja ylimääräinen pasta
palautuu konekiertoon uudelleen käytettäväksi. Pastan levityksen jälkeen raina
kuivataan. Kuvassa 16 on esitetty sivelytela-applikoinnin pääperiaate. (Know-
Pap 2005.)

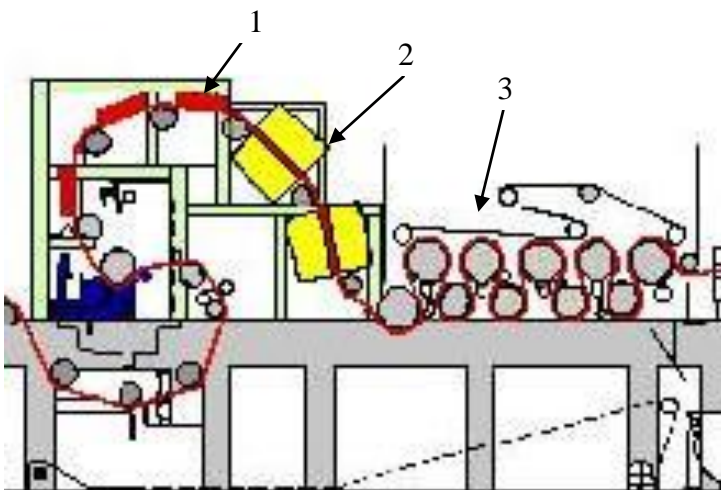


KUVA 16. Pastan applikointi sivelytelalla teräpäällystyksessä (KnowPap 2005)

3.12 Kuivatus päällystyskoneella

Kuivatus yksittäisenä prosessina on yksi tärkeimpiä vaiheita päällystettävän tuotteen lopullisen laadun kannalta. Ei kuitenkaan sovi unohtaa, että jopa 80 prosenttia lopputuotteen laadusta määräytyy pohjapaperin laadun perusteella. Kun päällystepasta levitetään rainan pintaan, pastan sisältämä vesi alkaa välittömästi imeytyä rainan huokosiin. Imeytymistä jatkuu niin kauan kun pastassa on vapaata vettä. Kuivatuksen tarkoituksena on säätää rainan haluttu loppu- tai välikosteus riippuen kuivauslaitteen sijainnista prosessissa. (KnowPap 2005.)

Kuivatus voidaan toteuttaa kolmella erilaisella kuivausmenetelmällä. Kaksi ensimmäistä ovat niin sanotut infra- ja leijukuivaimet. Näille ominaista on rainan koskemattomuus kuivaimeen. Jos tarve vaatii, on kuivatuksen viimeisessä vaiheessa mahdollista käyttää sylinterikuivatusta. Erona kahteen edelliseen on, että sylinterikuivaimessa raina koskettaa sylinterin pintaa. Kuvassa 17 on nähtävillä kuivaimien yleismallinen sijoittelu päällystysasemalla. (KnowPap 2005; Lielähti 2007, 8-10.)



KUVA 17. Kuivaintyyppit päällystyskoneella, 1 = infrakuivain, 2 = leijukuivain ja 3 = sylinterikuivain (KnowPap 2005)

4 PAPERIN MITTAUSMENETELMÄT

Tekniikka kehittyi, ja asiakkaiden vaatimukset paperin laadun suhteen kasvasivat jatkuvasti. Laadun parantaminen kilpailukykyisellä hinnalla kiinnostaa niin paperin- kuin paperikoneidenkin valmistajia ympäri maailmaa. Jotta paperin laatua voitaisiin parantaa, tarvitaan itse raaka-aineiden ja koneiden ominaisuuksien parantamisen lisäksi entistä monipuolisempia, tarkempia ja parempia mittaussuomenetelmiä ja -tapoja. (Mäkelä 2003, 8–9.)

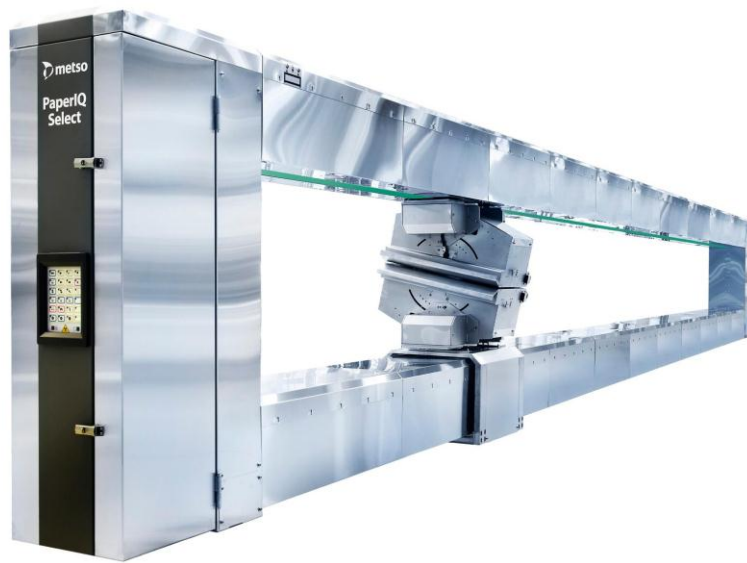
Paperiteollisuudessa yleisesti käytetään niin online- kuin offline-mittauksia. Online-mittauksilla tarkoitetaan prosessista suoraan mitattavia suureita, kuten lämpötilaa, painetta, tuotteen ominaisuuksia ja materiaalivirtoja. Offline-mittauksella tarkoitetaan mittauksia, joka suoritetaan esimerkiksi laboratoriossa prosessista tai tuotteesta otetusta näytteestä. Mittauksia suoritetaan prosessin ohjauksen ja optimoinnin, osto- ja myyntilaskutuksen sekä viranomaisvaatimusten vuoksi. Kattavilla ja luotettavilla mittauksilla saavutetaan muun muassa prosessin parempi ohjaus ja optimointi sekä kehittäminen. Näiden seurauksena saavutetaan raaka-aine- ja energiasäästöjä sekä lopputuotteen parempi laatu. Lisäksi voidaan minimoida laaturiskejä. (Kangasrääsiö 2007, 3–11.)

Mittaukset voidaan karkeasti jakaa kahteen kategoriaan, joita ovat prosessi- ja laatumittaukset. Prosessimittaukset koostuvat perusmittauksista, kuten lämpötila ja paine, massan mittauksista, kuten tuhka ja retentio, sekä muista mittauksista, joita ovat esimerkiksi värähtelyn, johtokyvyn ja pH:n mittaukset. Laatumittaukset sen sijaan koostuvat nimensä mukaisesti tuotteen laadullisten ominaisuuksien mittauksista, kuten neliömassa, kosteus, paksuus, tuhka, kiilto ja sileys. Mittaukset voidaan edelleen jakaa pienempiin kategorioihin mittaustavan mukaisesti: online- ja offline-mittauksiin. (KnowPap 2005.)

4.1 Online-mittaukset

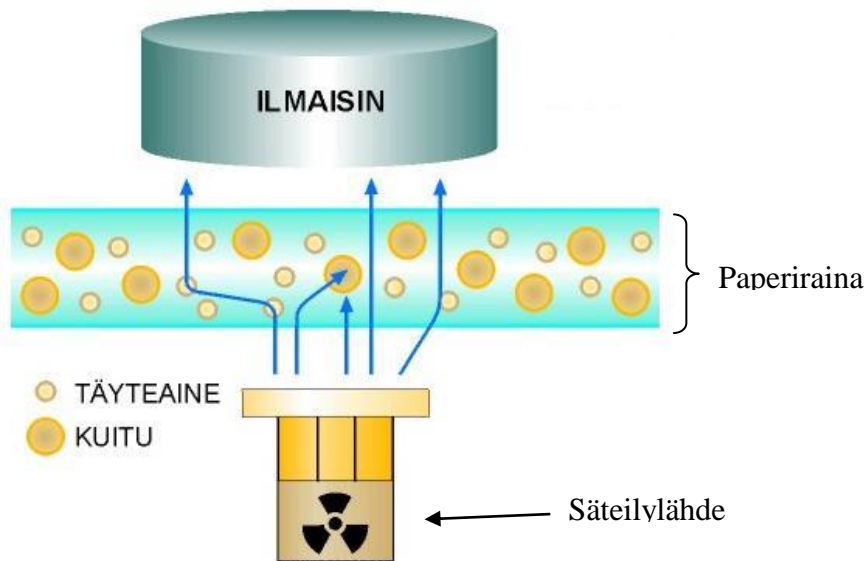
Elintason nousun myötä 1950-luvulla alettiin erityisesti kiinnittää huomiota paperin laatuun. Tämän seurauksena Pohjois-Amerikassa julkaistiin käsitteet ko-

ne- ja poikkisuuntainen vaihtelu sekä jäännösvaihtelu. Tämä loi pohjan paperin laatusuureiden online-mittauksille ja ensimmäiset mittalaiteratkaisut tulivatkin markkinoilla jo 60-luvun alussa. Valmistusprosessista ja tuotteen ominaisuuksista johtuen mittaukset ovat epäsuoria. Tämä tarkoittaa käytännössä sitä, että tuotteesta ei mitata haluttua suuretta suoraan, vaan se muodostetaan välillisesti esimerkiksi säteilyn vaimenemisen kautta. Paperin laatusuureiden online-mittauksiin käytetään mittapalkkia, jonka sisältämän mittakelkan läpi raina kulkee. Mittapalkki on esitetty kuvassa 18. (Mäkelä 2003, 26.)



KUVA 18. PaperIQ-mittapalkki (Metso Automation Inc. 2009, 3)

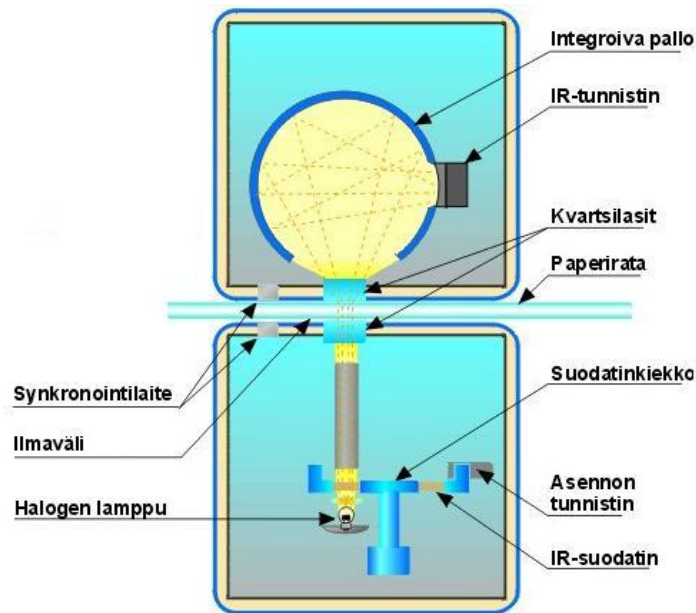
Neliömassa on tärkein tuotteesta mitattavista laatusuureista. Sen mittaamiseen käytetään mittapalkissa sijaitsevaa anturia, jonka toiminta perustuu radioaktiivisen beeta- tai gammasäteilyn absorption mittaamiseen. Kun säteilylähde ja ilmaisinosi sijoitetaan rainan eri puolille, säteilylähteen lähettämän ja ilmaisinosan vastaanottaman säteilymäärän erotuksen perusteella voidaan päätellä rainan neliömassa. Kuvassa 19 on havainnollistettu säteilymittausanturin toimintaperiaatetta. Säteilylähteenä voidaan käyttää useita eri radioaktiivisia isotooppeja. Valinta niiden välillä tapahtuu mitattavan paperin neliömassa-alueen perusteella. (Mäkelä 2003, 26-27; KnowPap 2005.)



KUVA 19. Neliömassan mittaus säteilyn absorptioon perustuen (KnowPap 2005)

Kuten muidenkin laatusuureiden mittaus, myös kosteuden mittaustapa on epä-suora. Kosteuden arvo saadaan laskennallisesti neliömassan ja vesimassan avulla. Vaikka perusmittauksista tärkein onkin neliömassan mittaus, voidaan kosteuteen vaikuttaa huomattavasti enemmän. Asetettuun kosteusarvoon pääseminen on tärkeää lopputuotteen laadun kannalta. Kosteus vaikuttaa myös paperi-, päällystys- ja painokoneiden ajettavuuteen. Kosteutta voidaan tunnetusti mitata neljällä eri menetelmällä, jotka ovat resistiiviset ja kapasitiiviset menetelmät, mikroaaltotekniikka sekä mittaus infrapunalla. (KnowPap 2005.) Näistä hieman tarkemmin esitellään infrapuna sen käytön yleisyyden vuoksi.

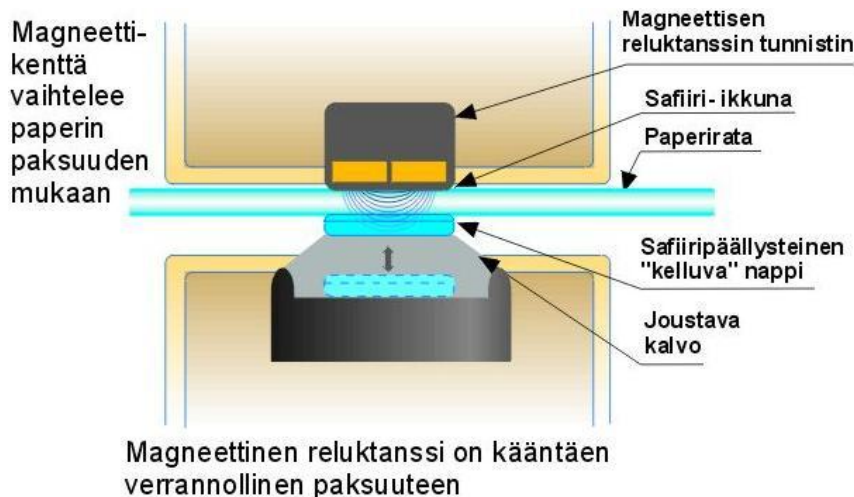
Infrapunavalon avulla kosteutta mitattaessa anturin lähetinosan sisältämä valolähde lähettää infrapunasäteilyä rainaan. Osa valosta läpäisee rainan ja heijastuu anturin ilmaisinosalle. Osa valosta heijastuu paperista pois ja osa absorboituu siihen. Absorboitunut osuus on verrannollinen kosteuteen siten, että mitä enemmän kosteutta paperissa on, sitä enemmän absorboitumista tapahtuu. Kun anturin ilmaisinosalle saapuneen säteilyn määrä mitataan, voidaan kosteus laskea. Tärkeää anturin valolähteen kannalta on se, että lähetetty infrapunasäteily on oikealla aallonpituusalueella, jotta se voidaan mitata ja määritellä. Kuvassa 20 on esitetty erään kosteusmittarin tärkeimmät komponentit. (Mäkelä 2003, 30-31.)



KUVA 20. Kosteudenmittausanturin komponentit (KnowPap 2005)

Paperin oikea paksuus ja sen tasaisuus kaikissa suunnissa on tärkeää. Epätasainen paksuusprofiili voi aiheuttaa ajettavuusongelmia päällystyskoneella ja pituusleikkurilla. Myös painokoneiden toiminta ja painojälki voivat kärsiä paksuuden vaihteluista. Muun muassa edellä mainittujen seikkojen vuoksi luotettava paksuuden mittaus on tärkeä osa paperikoneen online-mittauksia. (KnowPap 2005.)

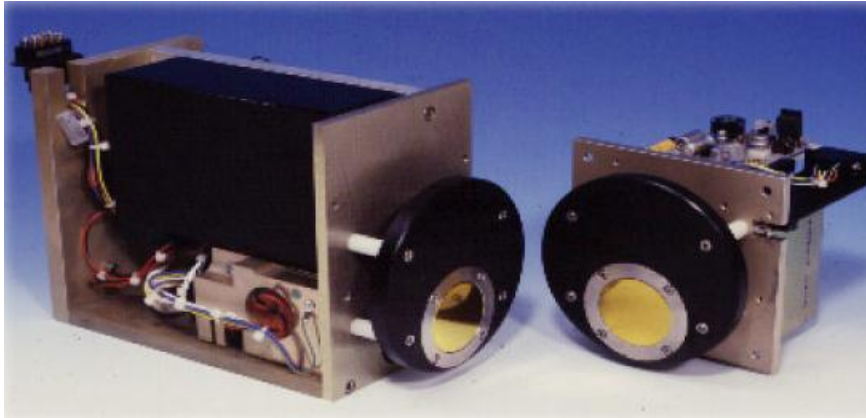
Paksuuden mittaus perustuu sähkömagnetismiin. Anturipäät sijaitsevat rainan molemmin puolin. Anturityypistä riippuen, anturipäät koskettavat rainaa joko molemmin puolin tai toiselta puolelta. Anturin toisessa osassa olevaan rautasydämeen on tehty käämitys, johon syötetään sähkövirtaa. Tähän kelaan johdettu sähkövirta synnyttää magneettipiirin anturipäiden välille. Paperirainan kulkiessa anturipäiden välistä, sen paksuuden muutokset aiheuttavat anturipäiden etäisyydenmuutoksen toisiinsa nähden. Tämän seurauksena magneettipiirissä voidaan havaita reluktanssin muutos, joka on kääntäen verrannollinen paksuuteen. Kuvassa 21 on havainnollistettu anturin toimintaperiaatetta ja rakennetta. (Mäkelä 2003, 36; KnowPap 2005.)



KUVA 21. Paksuuden mittaus reluktanssin muutoksen perusteella (KnowPap 2005)

Tuhkapitoisuuden mittaukseen käytettävät online-anturit ovat toimintaperiaatteiltaan hyvin samanlaisia kuin neliömassan mittauksessa käytetty menetelmä. Suurimpana erona kuitenkin säteilytyyppi, joka siis tuhkapitoisuuden mittauksessa on röntgensäteily. Kun röntgensäteilyä kohdistetaan rainaan, osa siitä absorboituu paperin sisältämiin orgaanisiin aineksiin eli tuhkaan ja osa säteilystä läpäisee rainan. Rainan läpäisseen säteilyn jäännösintensiteetti synnyttää anturin ilmaisinosassa virtasignaalin, jonka suuruuden perusteella tuhkapitoisuus voidaan määrittää. (Mäkelä 2003, 39.)

Anturi itsessään koostuu neljästä pääkomponentista: säteilylähde, sulkija, detektori ja virransyöttö-/vahvistinlaitteisto. Anturin detektori eli ilmaisinosana on jalokaasutäytteinen kammio. Kuvassa 22 on esitetty erään valmistajan tuhkapitoisuuden määrittämiseen valmistettu anturi. (KnowPap 2005.)

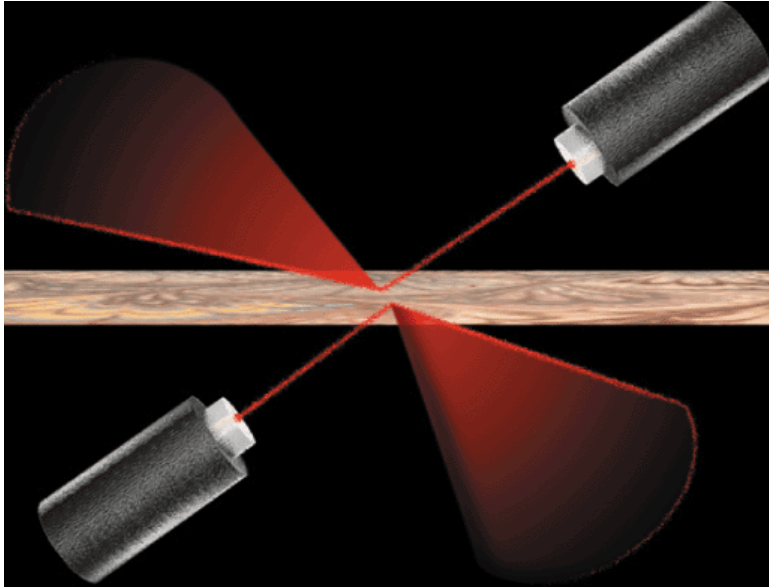


KUVA 22. Tuhkapitoisuuden mittaukseen käytettävä anturi (KnowPap 2005)

Kuituorientaatio on paperin ominaisuus, jolla tarkoitetaan paperin tasossa eri suuntiin osoittavien kuitujen suhteellista osuutta. Yleisesti suurin osa kuiduista on MD-suunnassa ja vain osa CD-suunnassa. Kun kuituorientaatiosta puhutaan, kuvataan sitä yleensä luvulla eli orientaationsuhteella. Orientaationsuhde on suhdeluku, joka kuvaa kuitujen asettumisen suhdetta MD/CD-suunnassa. Jos suhdeluku on yksi, tarkoittaa se sitä, että kuidut ovat asettuneet tasaisesti joka suuntaan. Mitä suurempi suhdeluku on, sitä enemmän kuidut ovat asettuneet MD-suuntaisesti. (KnowPap 2005.)

Kuituorientaation mittaus online-mittauksissa on suhteellisen uusi asia. Tällä hetkellä markkinoilla olevat mittausmenetelmät perustuvat laservalon polarisaation mittaukseen ja suhteellisen korkeaan, jopa 1 kHz:n näytteenottotaajuuteen. (Mäkelä 2003, s.42-43; KnowPap 2005.)

Esimerkkiratkaisuna on ABB:n valmistama AccuRay Smart Fiber Orientation Sensor –kuituorientaatioanturi jonka toiminta perustuu infrapuna-alueen laservalon polarisaation mittaukseen. Anturin valolähde lähettää lähes monokromaattista, kiinteäaallonpituista infrapunavaloa. Anturi koostuu kahdesta rainan eri puolille asennetusta lähetin-vastaanotin-yksiköstä, mikä mahdollistaa orientaatiomittaukset rainan molemmilta puolilta. Kuvassa 23 on esitetty valolähteiden sijoitus rainaan nähden. Vastaanottimet sijaitsevat heijastuneiden laserkeilojen suunnassa. (Mäkelä 2003, 42-43.)



KUVA 23. Kuituorientaation mittaus rainan molemmilta puolilta (KnowPap 2005)

4.2 Offline mittaukset

Aikana, jolloin online-mittauksia ei vielä ollut tuotu kaupalliseen käyttöön, valmistettavan tuotteen laatua voitiin mitata vain laboratorioanalyysien avulla. Huolimatta online-mittausten yleistymisestä ja tärkeydestä nykyään, ovat laboratorioissa suoritettavat mittaukset ja analyysit tärkeä osa laaduntarkkailua ja tuotekehitystä. Näitä varten on kehitetty erilaisia testausrobotteja ja raina-analysointilaitteita, joilla voidaan käsitellä suuria näyte-eriä suhteellisen lyhyessä ajassa. Laboratorioiden analyysimenetelmät ovat kehittyneet kovaa vauhtia viime vuosien aikana, ja niitä voidaan käyttää tarvittaessa myös online-mittausten kalibrointiin. (Mäkelä 2003, 44.)

Offline-mittaukset koostuvat siis laboratorioanalyysistä, testausroboteista ja raina-analysointilaitteista. Laboratorioanalyysihin kuuluvat muun muassa neliömassan, kosteuden ja tuhkapitoisuuden määrittäminen. Näiden analyysien suorittamiseen on määritetty tarkat tehdasstandardit luotettavien tulosten varmistamiseksi. Testausrobotit ja raina-analysointilaitteet on kehitetty paperin ominaisuuksien ja laatusuureiden mittaukseen. Niiden antamia tuloksia voidaan käyttää online-mittausten kalibroinnin lisäksi niiden luotettavuuden määrittämiseen ja prosessianalysointiin. (Mäkelä 2003, 44–48.)

5 TYÖN SUORITUSOSA

Työn tarkoituksena oli löytää mittausmenetelmä, jolla voitaisiin mitata radan reunan lepatusta eli liikkeitä ZD-suunnassa päällystyskoneen alueella. Mittausmenetelmän valinnan jälkeen tuli toteuttaa lopullinen mittausjärjestelmä radan reuna-alueiden seurantaan. Tähän kuului muun muassa kerätyn datan tallentaminen tehtaan historiatietokantaan sekä laitteiston liittäminen tehtaalla käytössä olevaan automaatiojärjestelmään.

Työn varsinainen suoritusosa aloitettiin tutustumalla erilaisiin mittausmenetelmiin, joilla paperin eri ominaisuuksia valmistusprosessin aikana voidaan mitata. Tämä tehtiin siksi, että näin saatiin käsitys työssä käytettävistä mahdollisista mittausmenetelmistä lepatuksen mittauksessa.

Seuraavaksi valittiin mittausmenetelmät, joilla työn koemittausten aikana kerättäisiin informaatiota tutkittavasta ilmiöstä eli lepatuksesta. Laajan taustatyön ja useiden mittalaittevalmistajiin tehtyjen yhteydenottojen kautta päädyttiin työn aikana käyttämään kahta erillistä kaupallista tuotetta. Ensimmäinen näistä oli etäisyydenmittaukseen käytettävä lasertekniikkaa hyödyntävä anturi. Toiseksi sovellukseksi valittiin kireysprofiilin mittaukseen käytettävä järjestelmä.

Tämän jälkeen perehdyttiin tarkemmin paperin laadullisiin ominaisuuksiin ja tekijöihin, jotka voisivat mahdollistaa lepatuksen syntymisen. Vaikka työn tarkoituksena olikin kehittää vain mittausjärjestelmä, jolla ilmiötä voitaisiin luotettavasti mitata, oli lepatukseen johtavien syy-yhteyksien etsiminen ja niihin perehtyminen ensiarvoisen tärkeää työn onnistumisen kannalta.

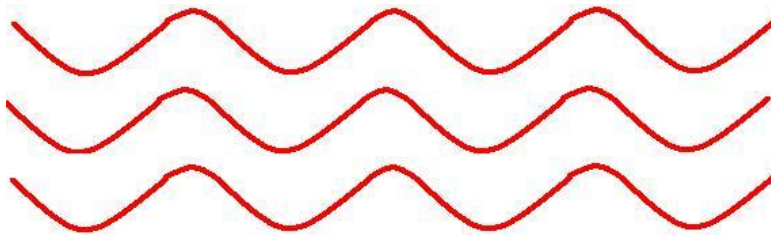
Työn edetessä hyödynnettiin myös muita mittausmenetelmiä. Tärkein syy tähän oli rainan reuna-alueiden löysyyden aiheuttavien paperin rakenteellisten ominaisuuksien ja niissä ilmenevien epähomogeenisuuksien selvittäminen. Muita mittausmenetelmiä olivat esimerkiksi paperin kovuuden mittaus sekä tehtaan laboratorion tekemät Tapio-mittaukset. Tapio-mittauksissa tarkasteltiin erityisesti rainassa ilmeneviä paksuuden muutoksia koneen CD-suunnassa. Li-

säksi käytössä oli paperin laatusuureiden mittausdataa tehtaan tietokantajärjestelmästä.

Koska työn edetessä mittausdataa kertyi huomattavan paljon, sen analysointi täytyi aloittaa käytännössä heti ensimmäisten tulosten ollessa saatavilla. Tämä mahdollisti säännöllisin väliajoin pidettävät tilannekatsaukset tehtaan henkilökunnan kanssa, missä tuloksia käytiin läpi analyyttisesti asiantuntijoiden kanssa ja päätettiin mahdollisista jatkotoimenpiteistä. Työn toteutunut aikataulu pääpiirteissään on esitetty liitteessä yksi.

6 LASER

Sana laser muodostuu sanoista **L**ight **A**mplification by **S**timulated **E**mission of **R**adiation. Se tarkoittaa koherenttia valonsädettä emittoivaa laitetta, jonka tuottama valonsäde on monokromaattista ja kollimoitunutta. Koherenttisuudella tarkoitetaan sitä, että kaikki valonsäteen sisältämät aallot ovat samassa vaiheessa keskenään. Monokromaattisuus tarkoittaa säteen koostumista ainoastaan yhden aallonpituuden suuruista aalloista. Kollimoituminen kuvaa taas valonsäteiden kulkeman reitin yhdensuuntaisuutta. Valo ei siis hajoa ympäristöön, vaan pysyy tiiviisti kulkusuunnassaan. Kuvassa 24 on havainnollistettu lasersäteen aaltomuodon ominaisuuksia, jotka edellä esiteltiin. (Wikipedia 2010b; NASA 2006.)



KUVA 24. Lasersäteen muotoa ja ominaisuuksia

6.1 Laser etäisyysmittarina

Laseretäisyysmittarilla mitataan kohteen etäisyyttä anturista laservalon avulla. Tällaisille laitteille on useita sovelluskohteita niin teollisuudessa kuin yksityiskäytössäkin. Kohteen etäisyys anturista voidaan määrittää hyvin yksinkertaisesti: anturi lähettää valonsäteen kohteeseen, ja kohteesta takaisin heijastuva säde tunnistetaan anturin vastaanottimella. Anturi mittaa ajan, joka säteellä kestää lähettimeltä vastaanottimelle. Kun säteen nopeus väliaineessa on tiedossa, voidaan etäisyys kohteeseen laskea. Etäisyys voidaan määrittää myös lähettämällä kohteeseen pitkä pulssi, jonka taajuus muuttuu tasaisesti, ja syntynyt vaihe-ero kertoo etäisyyden. Kolmas tapa on käyttää kolmiomittaustekniikka, jossa lähetin ja vastaanotin sijaitsevat eri paikoissa. Kun niiden välinen etäisyys ja sijainti on tiedossa, saadaan säteen heijastaneelle kohteelle tarkka

sijainti anturiin nähden. Kuvassa 25 on esitetty yksi laseretäisyysanturi. (Ekman 2010, 45.)



KUVA 25. Laseranturi etäisyyden mittauksessa (ThomasNet News[®] 2010)

6.2 Lepatuksen mittaus

Työssä myöhemmin esiteltävällä kireysprofiilin mittaamiseen valitulla laitteistolla ei voida mitata rainan reunan lepatuksen fyysisiä ominaisuuksia, kuten taajuutta ja amplitudia. Tämän vuoksi tehdyn taustatyön perusteella toiseksi mittausmenetelmäksi valittiin anturi, jolla lepatuksen fyysisiä ominaisuuksia voitaisiin mitata.

Koska rainan reunan lepatuksesta ja ilmiön ominaisuuksista ennen työn aloittamista ei tiedetty juuri mitään, asetti se valittavalle anturille ja sen ominaisuuksille tiettyjä vaatimuksia. Anturin etäisyys rainasta tuli olla riittävä, jotta se ei häiritsisi päänvientiä, ja anturin näytteenottotaajuuden tulisi olla kohtuullisen suuri, jotta koemittauksia tehtäessä löydettäisiin tiedonkeruuta varten halutut värähtelytaajuuudet. Lisäksi anturin tuli olla vallitseviin prosessiolosuhteisiin sopiva, näistä esimerkkinä pölyn-, kosteuden- ja lämpötilankestä tiettyihin arvoihin saakka. Taulukossa 1 on esitetty koemittausvaiheeseen tilattavan anturin vaadittuja ominaisuuksia.

TAULUKKO 1. Anturilta vaaditut ominaisuudet

Anturin ominaisuudet:	
Käyttölämpötila (max):	+50°C
Näytteenottotaajuus:	≥ 1 kHz
Tarkkuus:	≤ 1 %
Ilmankosteus:	0,9
Toimintaetäisyys:	≥ 100 mm
Mittausalue:	$\geq \pm 50$ mm
Output:	analog

Työn koemittausvaiheeseen valittiin SICKin valmistama etäisyydenmittausanturi, joka hyödyntää lasertekniikkaa kohteen etäisyyden määrittämiseen. Anturin toimintaperiaate yleisellä tasolla on esitetty kappaleessa 6.1. Työssä käytetyn anturin valintaan vaikuttivat muun muassa seuraavat asiat: mittausalueen, tarkkuuden ja näytteenottotaajuuden sekä mittausetäisyyden sopivuus. Lisäksi saman valmistajan antureita on käytössä kyseisellä tehtaalla jo ennestään. Anturin tekniset ominaisuudet on esitetty liitteessä kaksi.

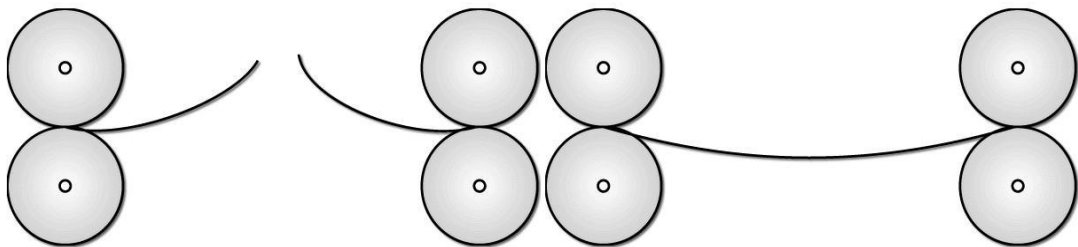
Käytössä ollut anturi välittää mittaustuloksesta muodostetun signaalin analogisena jänniteviestinä tiedonkeruulaitteistolle. Jänniteviestinä käytössä oli standardien mukainen 0...10V. Jotta jänniteviestistä saataisiin esille lepatuksen fyysiset ominaisuudet, täytyi signaali kerätä ja käsitellä ohjelmallisesti. Tähän käytettiin DAQ-laitteistoa, LabVIEW-ohjelmistoa ja tietokonetta. LabVIEW ohjelmisto on National Instruments Corporationin kehittämä graafisen ohjelmoinnin työkalu mittaus- ohjaus- ja testaussovellusten suunnitteluun (National Instruments Corporation 2011). Kuvassa 26 on esitelty DAQ-laitteiston dataloggerin vaatima kytkentäyksikkö.



KUVA 26. Laseranturin signaalinkeruuseen käytetty dataloggerin kytkentäyksikkö

7 KIREYSPROFIILIN MITTAUS

Kireyttä mitataan, jotta kireyden säätäminen olisi mahdollista. Kireyden mittauksella voidaan vaikuttaa huopien ja virojen kestävyYTEEN sekä niiden ominaisuuksiin ja toimintaan. Kireyssäädön varsinainen tarkoitus on estää rainan katkeaminen tai liian löysä konesuuntainen raina, joka johtaisi ajettavuusongelmiin. Koska edellä mainitut tilanteet edustavat vain silmillä havaittavia kireyden ääripäitä, on kireyden mittaus erillisillä antureilla tarpeen. Kuvassa 27 on havainnollistettu kireyden ääripäiden tilannetta rainan kulkiessa vapaassa välissä. (KnowPap 2005.)



KUVA 27. Vasemmalla raina liian kireä, oikealla liian löysä (KnowPap 2005)

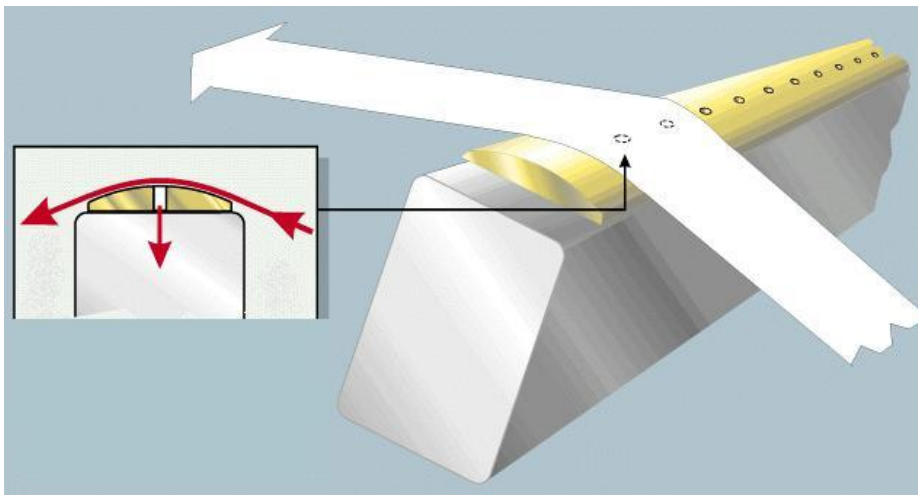
Kireyden mittaus on yksinkertaistettuna rainaan kohdistuvan jännitysvoiman mittausta kahden tasapainossa olevan pisteen väliltä. Kun näitä mittauksia asetellaan useita vierekkäin koneen CD-suunnassa, voidaan muodostaa rainan kireysprofiili. (KnowPap 2005.)

7.1 Kireysprofiilin mittausmenetelmät

Kireysprofiilin mittaukseen on tällä hetkellä käytössä muutamia eri tavalla toteutettuja mittausjärjestelmiä. Ensimmäisenä niistä on ABB:n Tenscan, jonka toiminta perustuu niin sanottujen kalvoaaltojen etenemisnopeuden mittaamiseen rainassa. Järjestelmässä sijaitseva kaiutin lähettää rainaa kohti lyhyen äänipulssin, joka indusoi rainaan siinä etenevän aallon eli kalvoaallon. Aallon etenemistä seurataan laserantureiden avulla. Järjestelmä osaa optimoida kutakin paperin neliöpainoa vastaavat äänipulssin taajuudet ja amplitudin. Näin kalvo-

aallon etenemisnopeuden perusteella voidaan määrittää rainan kireys. (Know-Pap 2005; VTT Information Technology 2010a.)

Toisena menetelmänä on Metson kehittämä IQTension mittausjärjestelmä, jonka toiminta perustuu rainaa poikkeuttavan pinnan ja rainan välisen ilmatyynyn leijuntapaineen mittaamiseen. Kun raina kuljetetaan sitä poikkeavan pinnan ylitse, rainan mukana kulkeva ilmamassa puristuu rainan ja kyseisen pinnan väliin. Tässä pinnassa sijaitsee paineantureita vierekkäin koneen CD-suunnassa, joiden avulla kireysprofiili voidaan muodostaa. Kuvassa 28 on tarkasteltavissa leijuntapainemittausjärjestelmää havainnollistava kuva. (KnowPap 2005; VTT Information Technology 2010b; Metso Paper Inc. 2005.)



KUVA 28. Leijuntapaineen mittaus muodostuvasta ilmatyynystä (KnowPap 2005)

7.2 iRoll

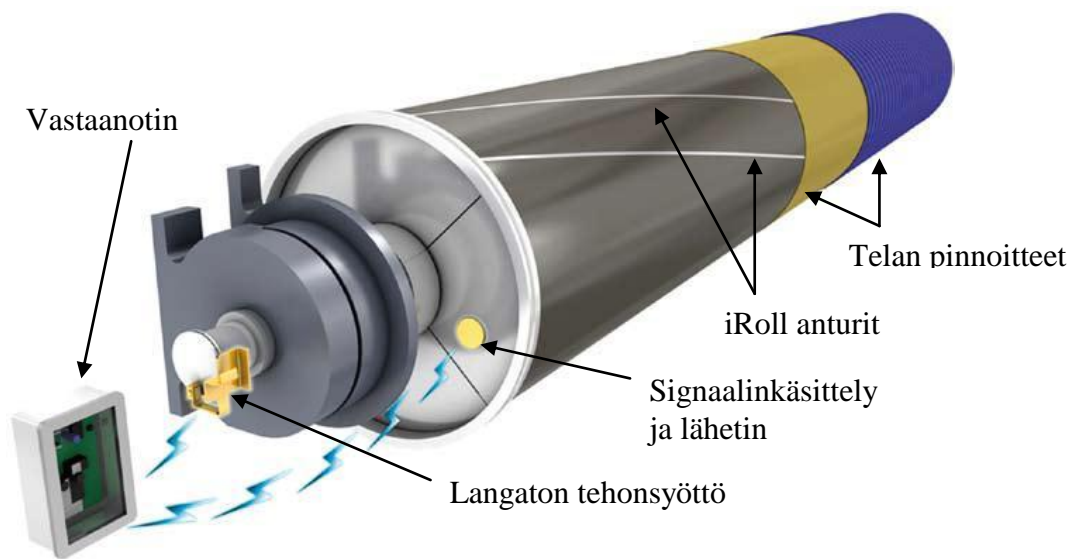
Kun työn alkuvaiheessa tehtiin taustatyötä paperiradan reuna-alueiden ongelmiin liittyen, rainan kireysprofiili ja siinä ilmenneet viat nousivat esille monen tutkimuksen kohdalla. Tämän vuoksi myös tässä työssä oli perusteltua mitata kireysprofiilia ja siinä mahdollisesti esiintyviä poikkeavuuksia ja epälineaarisuuksia. Mittausjärjestelmäksi valittiin Metson valmistama iRoll Portable. Sillä voidaan mitata rainan kireysprofiilia periaatteessa minkä telan pinnasta tahansa.

iRoll on Metson kehittämä mittausjärjestelmä, jolla voidaan mitata rainan kireysprofiilia. Muita sovelluskohteita mittausjärjestelmälle ovat kalantereiden nippivoimat ja rullaimien konerullaprofiilit sekä ratavärähtelyiden mittaukset. Järjestelmästä on kehitetty kolme erilaista kaupallista sovellusta. Ensimmäinen niistä on ajettavuusanalyysihin ja profiiliongelmien etsimiseen tarkoitettu iRoll Portable, joka tarkoittaa telan pintaan väliaikaisesti teipin avulla kiinnitettävää anturia. Esimerkkinä tästä on kuva 29.



KUVA 29. iRoll Portable - anturi paperinjohtotelassa (Pitkänen 2008, 7)

Toinen, pysyvä mittausjärjestelmä on iRoll Tension, jossa anturi on upotettu telan pintaan. Tämä versio on kehitetty kireysprofiilin online-mittaukseen. Kolmantena on iRoll Reel Drum / Winding Drum. Sillä voidaan mitata esimerkiksi nippikuorma- ja konerullaprofiileita. iRoll Tension -järjestelmästä ja sen pääkomponenteista on esimerkki kuvassa 30.



KUVA 30. iRoll Tension -järjestelmä (Nylund – Pitkänen 2009, 1)

8 PAPERIRAINAN DYNAMIIKKAA

Paperikoneen tuottavuutta rajoittaa sen suurin mahdollinen ajonopeus. Tuottavuuden parantamiseksi nopeuksia on aikojen saatossa nostettu. Suuret nopeudet tuovat mukanaan ongelmia. Yksi suurimmista on lepatus, joka aiheuttaa ajettavuusongelmia koneissa ja laatuongelmia lopputuotteessa. Lepatus voidaan havaita esimerkiksi rainan kulkiessa vapaassa välissä, missä se ei ole tuettu esimerkiksi viiran toimesta. Lepatuksen aiheuttamia ongelmia on pyritty ratkaisemaan lisäämällä viiroja ja näin vähentämällä vapaiden välien osuutta prosessissa. On myös kehitetty erilaisia puhalluslaitteita joiden avulla rainan etenemistä prosessissa suurilla nopeuksilla on voitu stabiloida. (Kulachenko, 2.)

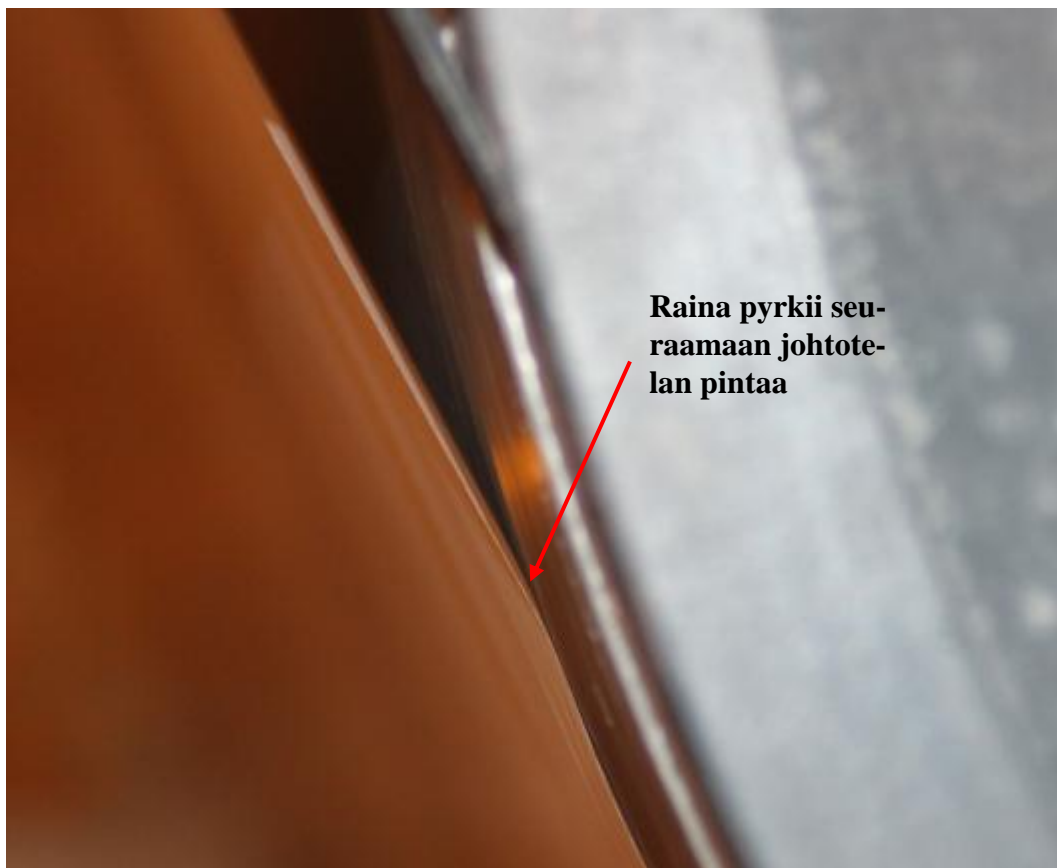
Jotta lepatuksen aiheuttamiin ongelmiin voitaisiin puuttua, täytyy sen aiheuttaneet syyt ja komponentit kuitenkin tuntea. Lukuisista tutkimuksista huolimatta yhteistä mielipidettä lepatuksen aiheuttajasyiksi ei ole löydetty. On kuitenkin selvää, että lepatuksen aiheuttavia fysikaalisia syitä on useita, joihin kytkeytyy aerodynamiikkaa, rainan liikkeitä ja ominaisuuksia sekä prosessin geometriaa. (Kulachenko, 2.)

Rainaan kohdistuvat voimat voidaan jakaa karkeasti kahteen eri luokkaan, jotka ovat sisäiset ja ulkoiset voimat. Ulkoisilla voimilla tarkoitetaan voimia, jotka syntyvät rainan ulkopuolella. Sisäisillä voimilla tarkoitetaan voimia, jotka vallitsevat rainan sisällä. Tyypilliset rainan sisäiset voimat ovat yleensä seurausta jostain osaprosessista, joka muodostaa jännityksiä rainaan. Tästä hyvänä esimerkkinä on kuivatuksessa tapahtuva kuitujen kutistuminen tai veden haihtumisesta aiheutuva negatiivinen jännitys. Nämä vaikuttavat voimakkaasti rainan sisäisiin vetysidoksiin kuitujen välillä ja näin ollen myös rainan jäykkyyteen ja kimmoisuuteen. (Karlsson 2000, 376.)

Rainaan vaikuttavia ulkoisia voimia ovat esimerkiksi painovoima, paine- ja kitkavoimat sekä vastus- ja adheesiovoimat. Suurin osa näistä voimista aiheutuu rainan liikkeestä sen edetessä koneessa kaasun tai nesteen ympäröimänä.

Edellä mainittujen voimien kriittisimmät pisteet paperikoneen osalta ovat rainan saapuminen ja lähteminen nipistä. (Karlsson 2000, 376-377.)

Adheesiovoimat ovat havaittavissa yleensä kaikissa kohteissa, missä kaksi pintaa koskettaa toisiaan. Voiman suuruuteen vaikuttavat monet asiat kuten lämpötila sekä toisiaan koskettavien pintojen kemialliset ja fyysiset ominaisuudet. (Karlsson 2000, 378.) Käytännössä voiman vaikutus voidaan nähdä hyvin esimerkiksi rainan kulkiessa kahden johtotelan välisessä vapaassa välissä. Esimerkiksi kireysprofiilin ollessa vino tai epätasainen rainan löysä reuna-alue pyrkii seuraamaan sen johtotelan pintaa joka vapaan välin aloittaa. Tätä ilmiötä on havainnollistettu kuvassa 31.



KUVA 31. Adheesiovoimien vaikutus rainan edetessä vapaaseen väliin

9 KIREYSPROFIILI

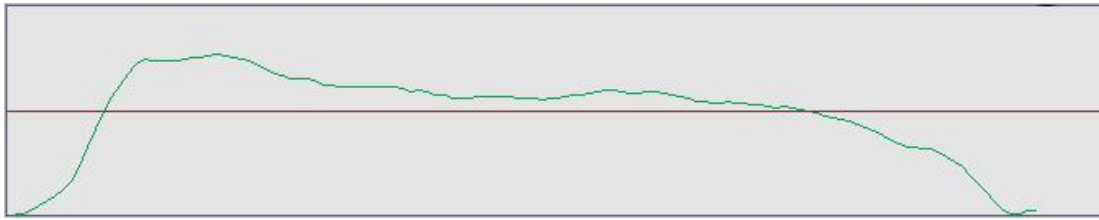
Kireysprofiili tarkoittaa radan MD-suuntaisen kireyden jakaantumista CD-suunnassa. Tasainen kireysprofiili edesauttaa koneiden ajettavuuden ja tuotteen laadun optimointia. (Lielähti 2007, 48.)

Tyypillinen paperikoneelta valmistuvan rainan kireysprofiili on hieman kupera siten, että rainan keskiosa on kireämpi kuin reuna-alueet. Kireysprofiilin muodostumisesta ei ole tarkkaa tietoa, koska siihen vaikuttavat monet asiat perälaatikolta kuivatusosalle saakka. On kuitenkin havaittu, että esimerkiksi perälaatikon reunavirtauksilla ja huuliaukon säädöillä siihen voidaan vaikuttaa. On myös tiedossa, että kuituorientaation voimakkuus ja suunta sekä kosteusprofiili vaikuttavat kireysprofiilin muodostumiseen. Kosteusprofiili vaikuttaa kireysprofiiliin siten, että kuivemmat alueet ovat tyypillisesti kireämpiä kuin kosteammat alueet. Kosteusprofiilin kautta kireysprofiiliin voidaan vaikuttaa höyrylaatikon ja puristinosan säädöillä. Näiden säätöjen kautta muodostuvaa kosteusprofiiliin epätasaisuutta voidaan tasoittaa kuivatusosalla mahdollisesti tehtävällä jälkikostutuksella. (Lielähti 2007, 49-50.)

Tasainen kireysprofiili edellyttää muun muassa rainan kimmoisten ominaisuuksien ja palautumattoman venymän tasaisuutta, joihin voidaan vaikuttaa valmistusprosessin monessa eri vaiheessa. Valmistusprosessin luonteesta johtuen vaihtelut rainan kireydessä ovat väistämättömiä. Siihen vaikuttavat muun muassa sähkökäyttöjen toiminnan vaihtelu, olosuhteiden muutokset lämpötilassa, kosteudessa sekä koneeseen kertynyt lika ja ratakatkojen synnyttämät ylikuormitustilanteet. (KnowPap 2005.)

Paperinvalmistuksessa on tärkeää hallita CD-suuntainen kireysprofiili; sen merkitystä ei voida vähätellä. Huono kireysprofiili aiheuttaa ongelmia rullauksessa sekä ajettavuudessa, kuten reunan lepatusta ja vekkautumista. Vääränlainen kireysprofiili aiheuttaa ongelmia myös paperin jatkokäsittelyssä, esimerkiksi ajettavuusongelmat ja huono painojälki painokoneilla. Kireysprofiilin säätäminen voi olla kuitenkin erittäin haasteellista. Sen niin sanottuna avain-

elementtinä pidetään rainan reunojen tilaa ja sen säätämistä. Kuvassa 32 on esitetty malli huonosta kireysprofiilista. (Karlsson 2000, 423; Lielähti 2007, 53.)



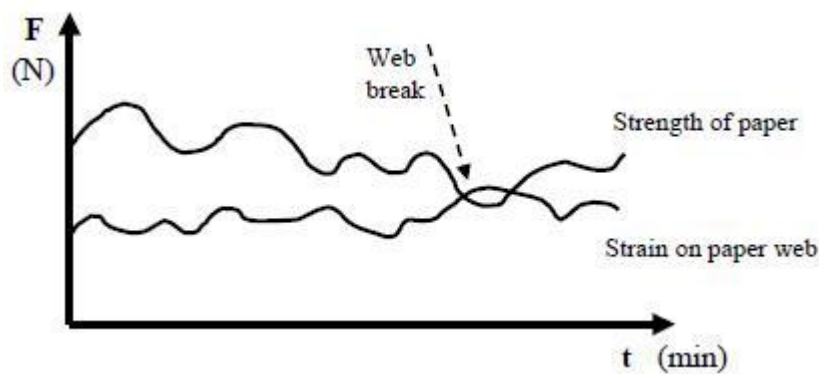
KUVA 32. Epätasainen kireysprofiili (*iRoll for Tension Profile Optimization*, 21)

Rainan reuna-alueiden ominaisuuksiin voidaan vaikuttaa läpi koko valmistusprosessin. Ominaisuuksiin voidaan vaikuttaa määrässä päässä perälaatikon reuna-alueiden virtauksilla, huuliaukon säädöillä, viiraosan vedenpoistolla, puristinosan nippivoimilla, huopien ominaisuuksilla, puristinosan höyrylaatikon säädöillä ja keskitelan yhtenäisillä CD-suuntaisilla adheesio-ominaisuuksilla. Kuivatusosalla kireysprofiiliin voivat vaikuttaa esimerkiksi kuivatussyylintereiden CD-suuntainen lämpötila, rainan käyttäytyminen kuivatusviirujen ja sylinteripintojen välillä, telojen linjaukset, rainan CD-suuntainen kutistuminen sekä rainaan vaikuttavat kitkavoimat. Myös jälkikäsittelyssä voidaan vaikuttaa kireysprofiiliin nippivoimien jakaantumisella päällystyksessä sekä kalanteroinnin säädöillä. Rainan ominaisuuksilla, kuten CD-suunnan paksuus- ja kosteusprofiilin muutoksilla on myös omat vaikutukset asiaan. Levitystelosten käyttö, rullauskireyksien säädöt ja kireyspoikkeamat vaikuttavat myös kireysprofiilin muodostumiseen. (Karlsson 2000, 423-424.)

Kuten edeltävästä kappaleesta voidaan huomata, kireysprofiiliin vaikuttavat useat paperin ja koneen ominaisuudet. Tämän vuoksi ongelmaksi muodostuu kireysprofiilin säädön monimutkaisuus. Usein kireysprofiilin parantamiseksi tehdyt muutokset vaikuttavat myös rainan muihin ominaisuuksiin, eikä se välttämättä ole toivottavaa. (Karlsson 2000, 424.)

10 AJETTAVUUS

Ajettavuudella tarkoitetaan yleensä ratakatojen määrää suhteessa ajonopeuteen, oli kyseessä sitten paperi- tai päällystyskone. Katko tarkoittaa käytännössä sitä, kun yhtenäinen paperiraina katkeaa ja sen häntä saavuttaa kiinnirullaimen. Tämä taas johtuu siitä, kun paperirainaan kohdistuva kuormitus on suurempi kuin paperin lujuus. Kuvassa 33 on esitetty ratakatkon synty, kun rainaan kohdistuva kuormitus ylittää rainan lujuuden. (Ahola 2005, 3-25.)



KUVA 33. Katkon synty

Ajettavuuteen vaikuttavat useat eri tekijät. Niitä ovat esimerkiksi kosteus, neiliömassa ja vetolujuus. Muun muassa näiden tekijöiden oikeaoppinen hallinta parantaa ajettavuutta ja koneen hyötysuhdetta sekä näin ollen pienentää katkoista syntyviä tuotannollisia menetyksiä. (KnowPap 2005; Ahola 2005, 13.)

10.1 Paperikone

Paperikoneen ajettavuusongelmat, käytännössä siis katkot, muodostuvat useista tekijöistä. Näiden määrittäminen on kuitenkin vaikeaa. Tämä johtuu siitä, että paikka jossa mahdollinen katko tapahtuu, ei ole sama missä katkoon johtanut vika tai häiriö on ilmaantunut. Koska rainanmuodostuminen tapahtuu koneen perälaatikossa ja viiraosalla, tapahtuvat siellä myös ajettavuuden kannalta merkittävimmät tapahtumat. (KnowPap 2005; Ahola 2005, 23.)

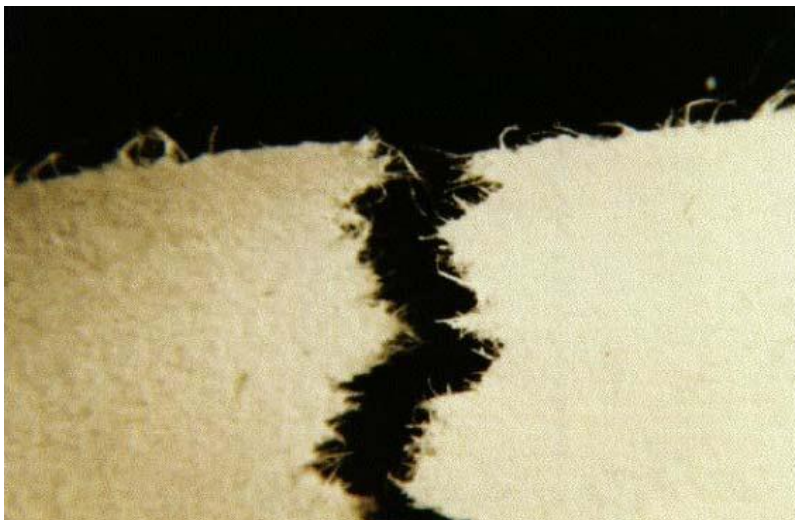
Viiraosan säädöillä ja tapahtumilla voidaan vaikuttaa niin paperi- kuin päällystyskoneenkin ajettavuuteen. Viiraosalla voidaan vaikuttaa esimerkiksi paperin neliömassaprofiiliin, paperin MD-suuntaiseen vetolujuuteen, orientaatiokulmaprofiiliin sekä neliömassan alhaisiin jäännösvaihteluihin eli stabiilisuuuteen. (KnowPap 2005.)

Puristinosalla käytössä olevilla höyrylaatikoilla puhalletaan lähellä lauhtumispestettä olevaa höyryä paperirainaan juuri ennen puristimen nippiä. Tämä lämmitteää rainassa olevaa nestettä ja näin ollen pienentää sen viskositeettiä, jolloin neste virtaa paremmin rainasta huopaan. Tällä saavutetaan tasaisempi kosteusprofiili, paperin laatuominaisuudet paranevat ja koneen ajettavuus etenkin kuivatusosalla paranee. (KnowPap 2005.)

10.2 Päällystyskone

Kuten paperikoneellakin, myös päällystyskoneella ajettavuutta häiritsevät katkot. Päällystyskoneella ajettavuusongelmia ja katkoja voi aiheutua useasta erisyystä: pohjapaperin laatuongelmista ja vioista, päällystysaseman likaisuudesta, päällystemäärän säätöön käytettävien kaavinterien säädöistä ja ominaisuuksista, päällystyspastan applikointitavasta ja pastan ominaisuuksista kuten kuiva-ainepitoisuudesta. (KnowPap 2005.)

Tehtaalla jonne työ tehtiin, päällystyskoneella suurin yksittäinen katkonaiheuttaja on niin sanottu reunarisa. Reunarisa on rainan reunassa oleva vika joka voi olla esimerkiksi repeytymä tai murtuma. Kuvassa 34 on esimerkki yhdenlaisesta reunarisasta. Jo tällainen pienikin repeytymä voi aiheuttaa rainan katkeamisen esimerkiksi päällystyksen aikana kaavinterällä.



KUVA 34. Repeytymä rainan reunassa (KnowPap 2005)

Yleisesti reunarisa syntyy, kun tampuuri on rullattu liian tiukaksi. (KnowPap 2005.) Rainan reunassa voi esiintyä myös muita vikoja. Niiden syntypaikat voivat olla esimerkiksi paperikoneella, välirullaimella tai päällystyskoneella. Mahdollisia aiheuttajia ovat muun muassa reunanauhojen vesi- ja teräleikkauslaitteiden toimintahäiriöt paperikoneella, välirullaimella ja päällyskoneella, paperikoneen puristin- ja kuivatusosalla tapahtuvat tarttumet sekä rainan reunan löysyydestä johtuvat häiriöt päällystysasemien kaavinterillä.

10.3 Lepatus

Tässä työssä suunnitellun mittausjärjestelmän tarkoituksena on pidemmällä aikavälillä seurata objektiivisesti paperirainan reunojen lepatusta ja siinä tapahtuvia muutoksia. Seuraavissa kappaleissa on pyritty havainnollistamaan lepatusta ilmiönä sekä siihen työn aikana liitettyjä asioita.

Yhtenäisen paperirainan kulkiessa telojen kautta koneessa raina voi liikkua kolmeen eri suuntaan. Näitä suuntia ovat MD-, CD-, ZD-suunnat. Rainan liikumista koneen ZD-suunnassa voidaan pitää lepatuksena. Lepatuksen syntymekanismi prosessissa on monimutkainen. Tämän vuoksi uskotaankin, että lepatus on useiden syiden summa. Suurimpina vaikuttajina pidetään kuitenkin rainan suurta etenemisnopeutta, kireyttä, paperin ympärillä vaikuttavia ilmapir-

toja sekä rainan rakenteellisia ominaisuuksia. On myös tiedossa, että lepatus voi aiheuttaa rynkkäystä ja ratakatkoja. (Seshadri – Pagilla 2009, 1)

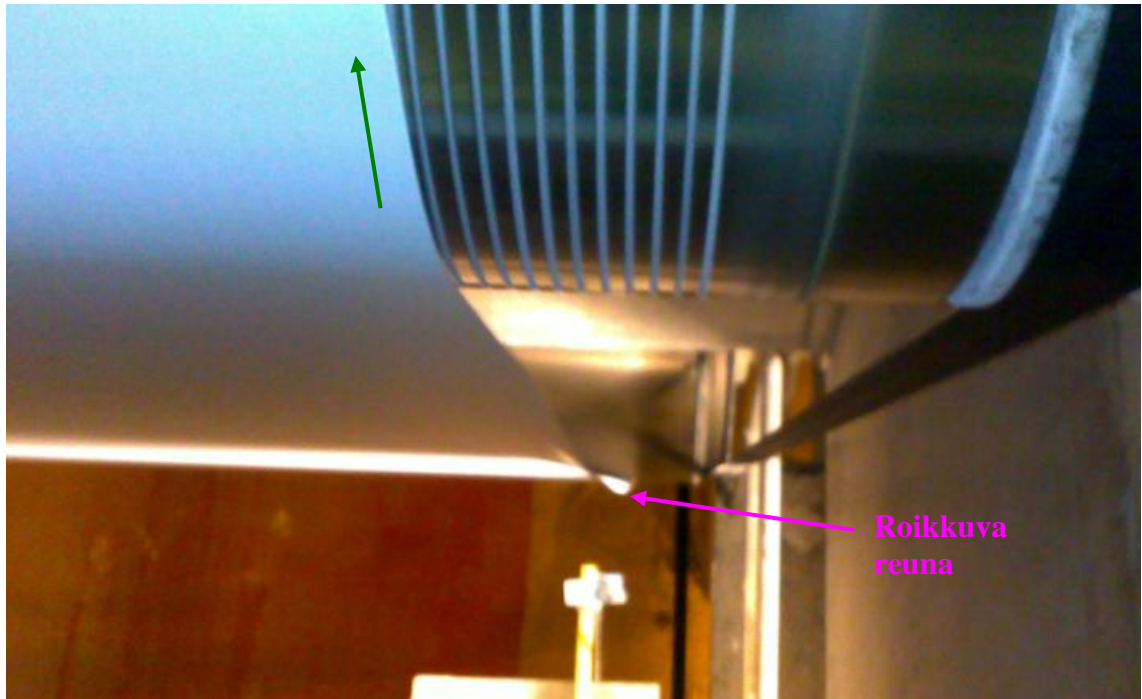
Työn alkuvaiheessa pohdittiin syitä, jotka voisivat mahdollistaa rainan reuna-alueen lepatuksen. Pitkien pohdintojen ja aiheesta löydettyyn teoriaan pohjautuen päädyttiin muutamiiin perusasioihin. Jotta raina voisi lepattaa, täytyy lepat-tavan kohdan olla löysä. Löysyyden voi aiheuttaa esimerkiksi vino kireysprofiili (Kulachenko 2006, 16). Myös paperirainan rakenteellisilla ominaisuuksilla on asiaan oma vaikutuksensa. Rakenteellisista ominaisuuksista esiin nousivat rai-nan paksuus- ja kosteusprofiili sekä kuituorientaatio. Epätasaisen kireysprofiilin voi aiheuttaa esimerkiksi koneessa olevat virheelliset linjaukset. Virheellisten linjausten tai rainassa esiintyvien sisäisten jännitysten vuoksi rainan kulkema matka MD-suunnassa ei jakaudu tasaisesti CD-suunnassa. Tätä on havainnol-listettu kuvassa 35. Kuvan harmaa suorakaide edustaa paperirainaa ja mustat viivat esittävät rainan osien kulkemaa matkaa MD-suunnassa. Kuvassa rainan kulkusuunta koneessa on vasemmalta oikealle.



KUVA 35. Rainan kulkema matka paperikoneessa

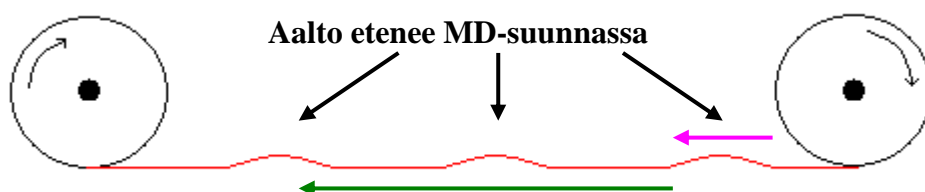
Jotta rainan löysä kohta voisi lepattaa, täytyy siihen kohdistua ulkoisia voimia. Ulkoisista voimista tärkeimpänä nousi esiin ilmapirroista aiheutuvat paine-erot ja niiden rainaan kohdistavat voimat. Toisena ulkoisena voimana voidaan pitää kahden toisiaan koskettavan pinnan välisiä adheesiovoimia jotka on esitelty lu-vussa 8. Ulkoisten voimien lisäksi rainan sisäisillä voimilla on vaikutusta reuna-alueiden käyttäytymiseen. Niitä on esitelty tarkemmin luvussa 8.

Työn alkaessa lepatuksesta ei tiedetty juurikaan mitään. Seuraavaksi on pyritty kuvien avulla havainnollistamaan työn aikana ilmenneitä lepatuksen ominaisuuksia. Kuvassa 36 on esitetty liikkuvassa rainassa nähtävä seisova aalto. Tämä ilmiö ei ole niinkään varsinaista lepatusta, mutta indikoi hyvin rainan reuna-alueen löysyyttä jonka vuoksi reuna 'roikkuu' ajoittain hyvinkin paljon.



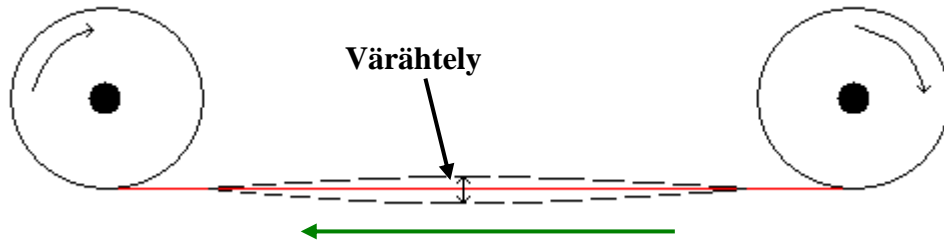
KUVA 36. Rainassa oleva seisova aalto eli roikkuva reuna, kuvassa vihreällä MD-suunta

Seuraavaksi kuvassa 37 on esitetty vapaassa välissä etenevä aalto. Tämän aallon syntymiseen vaikuttavat johtotelan adheesiovoimat sekä ilmavirrat.



KUVA 37. Rainan reunassa MD-suunnassa etenevä aalto, kuvassa vihreällä MD-suunta

Viimeisenä, ja samalla ehkä parhaiten varsinaisen lepatuksen nimeä kuvaavana ilmiönä on rainan reuna-alueen värähtely ZD-suunnassa. Kuvassa 38 on havainnollistettu rainan reunan värähtelyä sen kulkiessa vapaassa välissä.



KUVA 38. Rainan reunan värähtelyä ZD-suunnassa, kuvassa vihreällä MD-suunta

11 MITTALAITTEIDEN ASENNUS JA KALIBROINTI

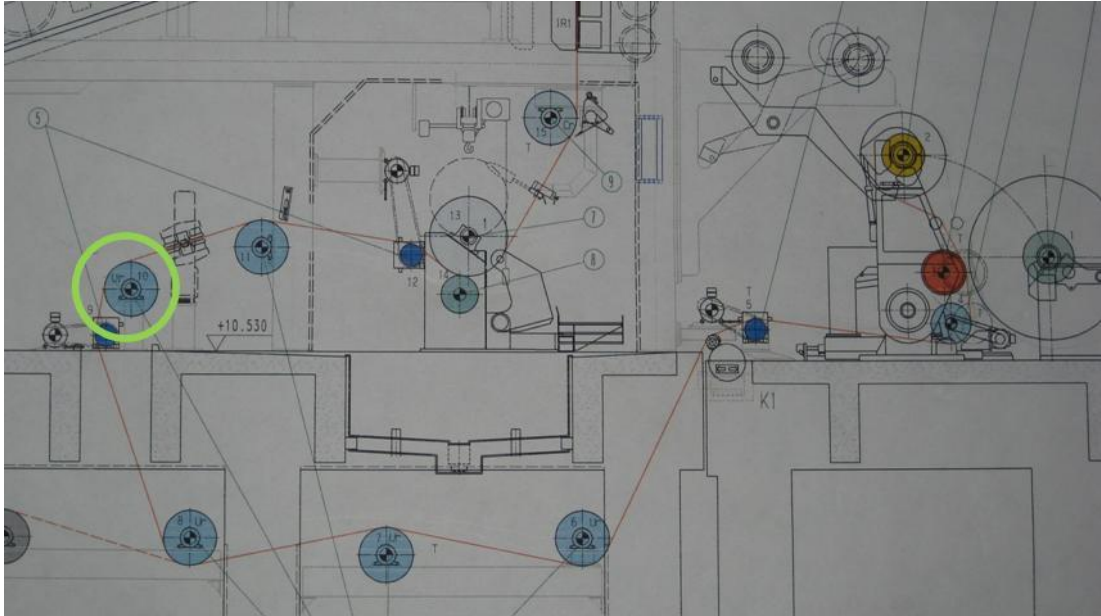
Kuten jo työn nimestä voidaan päätellä, työn ensisijaisena tuloksena oli päätyä fyysiseen mittausjärjestelmään. Tämä edellytti kaupallisten mittalaitteiden hankkimista työn koemittausvaihetta varten.

Koska ostetut tuotteet olivat luonteeltaan kasattavia järjestelmiä, ne vaativat toimiakseen tässä työssä halutulla tavalla kalibrointia ja laitteiden asennusta. Seuraavissa luvuissa on esitelty käytettyjen mittausjärjestelmien asennukseen ja kalibrointiin liittyvät tärkeimmät asiat.

11.1 iRoll Portablen asennus

Koska työssä tutkittava ilmiö näkyi parhaiten päällystyskoneen aukirullaimen ja ensimmäisen päällystysaseman välissä, oli perusteltua asentaa laitteisto sinne. Itse asennusta suunniteltaessa tuli ottaa huomioon laitteiston asennuksen vaatima aika joka oli noin kahdeksan tuntia. Tämä tarkoitti käytännössä sitä, että laitteiston asennus tuli suorittaa päällystyskoneen huoltoseisokin aikana.

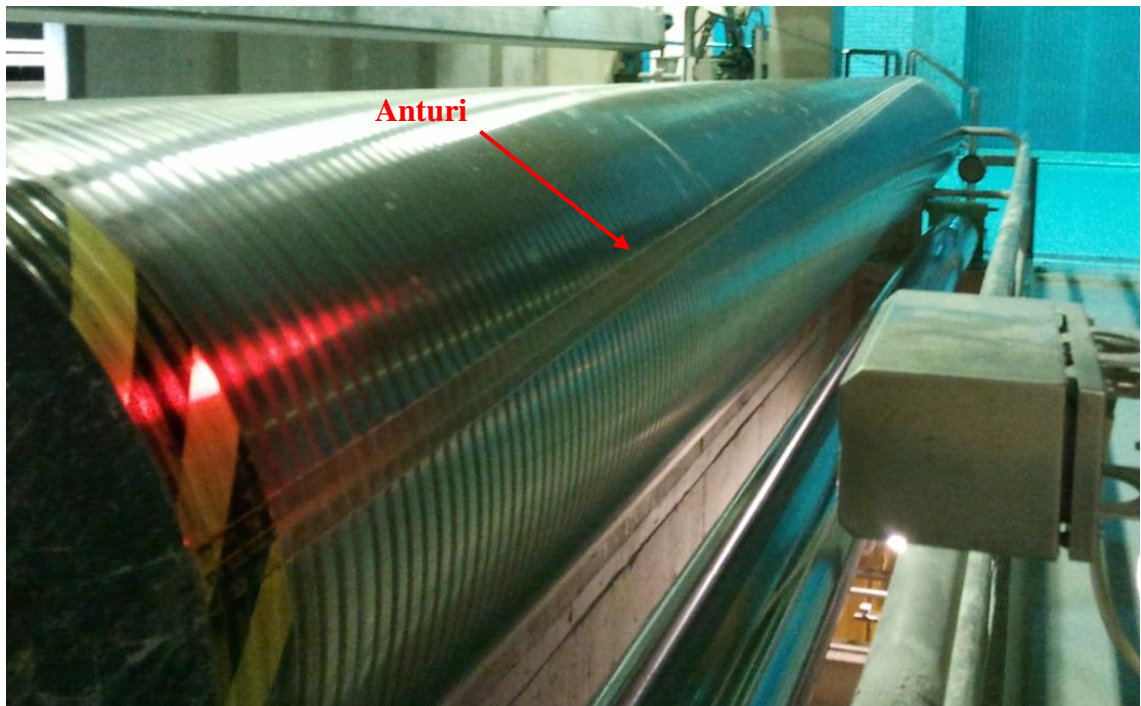
Luotettavien mittaustulosten varmistamiseksi paikka johon laitteisto asennettaisiin, tuli valita oikein. Päällystyskoneen alueella on usein käytössä levitysteloja joilla rainaa pyritään paikallisesti levittämään tai kaventamaan. Rainan levittäminen tai kaventaminen vaikuttaa kireysprofiiliin siten, että levitettäessä rainaa kireysprofiili kasvaa rainan keskeltä ja kavennettaessa reuna-alueilla. Tämän vuoksi laitteisto asennettiin paikkaan, jossa levitystelojen vaikutus ei näkyisi mittaustuloksia häiritsevästi. Kuten jo aikaisemmin todettiin, sopiva paikka kireysprofiilin mittauksessa käytettäville antureille löytyi päällystyskoneen alkupäästä, hieman ennen ensimmäistä päällystysasemaa paperinjohtotelan numero 10 pinnasta. Kuvassa 39 on esitetty anturoinnin paikka päällystyskoneella. Kuvassa keskellä on ensimmäinen päällystysasema ja oikealla päällystyskoneen aukirullain.



KUVA 39. Asennuspaikaksi valittiin kuvassa vihreällä ympäröity johtotela

Itse laitteisto koostui muutamasta erillisestä komponentista. Näitä olivat tehonsyöttölaitteisto, telan pinnassa olevat kaksi anturia, laskentayksikkö, lähetinosa sekä tiedonkeruuta varten vastaanotin ja kannettava tietokone. Yleensä iRoll Portable -mittauksia tehtäessä on käytetty tehonsyöttölaitteistona akkuja joita on vaihdettu noin kolmen vuorokauden välein. Tämä oli ongelma, koska mittausjaksoimme oli tarkoitus kestää noin kaksi kuukautta ja akkujen vaihtaminen vaatisi aina PPK:n pysäyttämisen. Tämän vuoksi päädyttiin eräänlaisen prototyypin kokeiluun, jossa tehonsyöttölaitteistossa jäljiteltiin kiinteässä iRoll-telassa olevaa induktiivista tehonsyöttöä. Tämä ratkaisu mahdollisti akkujen jättämisen pois, ja näin ollen laitteisto ei rajoittaisi PPK:n käynnissäoloaika.

Laitteiston asennuksesta ja kalibroinnista vastasi Metso. Asennus aloitettiin kiinnittämällä kaksi iRoll-anturia johtotelan pintaan. Mahdollisimman hyvän CD-suuntaisen resoluution saamiseksi anturit asennettiin telan pintaan hieman kierteelle. Rainan ja anturin väliseksi peittokulmaksi valittiin 60 astetta. Tällöin saavutetaan 200 mittauspisteen resoluutio radan CD-suunnassa. Kuvassa 40 on havainnollistettu anturin sijaintia ja suuntakulmaa telan pinnassa.



KUVA 40. iRoll anturi asennettuna telan pintaan peittokulmalla 60 astetta

Seuraavaksi asennettiin induktiivisen tehonsyöttöyksikön vaatimat komponentit. Siihen kuuluu johtotelan akseliin tehty käämitys ja koneen rakenteisiin kiinnitetty magneetti jonne syötettiin virtaa. Magneetti aseteltiin siten, että se tuli sopivalle etäisyydelle käämityksestä jolloin telan pyöriessä saatiin käämitykseen syntymään antureiden, laskentayksikön ja lähettimen vaatima jännite. Asennuksen viimeisessä vaiheessa asennettiin telan päähän laskentaa ja signaalin lähetystä varten omat yksikkönsä. Yksiköt kiinnitettiin teräspantojen ja liiman avulla paperinjohtotelan akselin kehälle.

11.2 iRoll Portablen kalibrointi

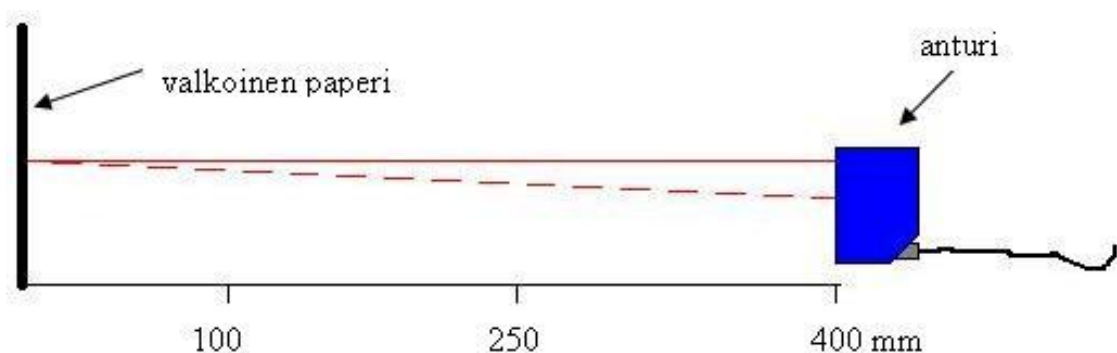
Telan pintaan asennetut kaksi anturia täytyi kalibroida ennen lopullista mittauksen ja tiedonkeruun aloittamista. Kalibroinnin tarkoituksena tässä tapauksessa on saada molemmat anturit kohdistettua samaan kohtaan PPK:n CD-suunnassa. Toisena tärkeänä asiana oli saada paperirainan keskikohta vastaamaan tiedonkeruusovelluksen kartan keskikohtaa. Tällä varmistettiin se, että kireysprofiili saataisiin mitattua ja tallennettua koko rainan leveydeltä.

Kalibrointi voidaan suorittaa vain PPK:n normaalissa ajotilanteessa paperin ollessa päällä. Koska laitteisto asennettiin huoltoseisakin aikana, kalibrointi suoritettiin vasta muutama päivä asennuksen jälkeen. Kalibrointi tehtiin tiedonkeruuseen käytettävällä iMap-ohjelmistolla.

11.3 Laserin kalibrointi

Koekäyttöön tilattu laseranturi täytyi kalibroida ennen lopulliseen mittauspaikkaan asentamista. Kalibrointi suoritettiin anturivalmistajan kotisivuilta löytyvän videon ohjeiden mukaisesti (SICK AG 2011). Koska mitään erityisvaatimuksia mittausalueen kokoon liittyen ei ollut, anturi kalibroitiin siten, että 0 V vastasi etäisyyden arvoa 100 millimetriä ja 10 V etäisyyden arvoa 400 millimetriä.

Kalibrointi suoritettiin toimiston pöydälle ideoidulla kalibrointilaitteistolla ja siinä tarkoin tehdyillä mittauksilla. Käytännössä kalibrointi suoritettiin siten, että kiinteä tasomainen pinta peitettiin valkoisella paperilla ja pöytätasoon jossa anturia liikuteltiin, tehtiin tarkat mittaukset mittausalueen minimi- ja maksimiarvoista. Tämän jälkeen anturi aseteltiin tarkasti näihin kahteen pisteeseen ja tallennettiin raja-arvot anturin muistiin. Kuvassa 41 on havainnollistettu kalibrointiin käytettyä kokoonpanoa. Kalibroinnin jälkeen anturi oli valmis prosessiin tiedonkeruuta varten.

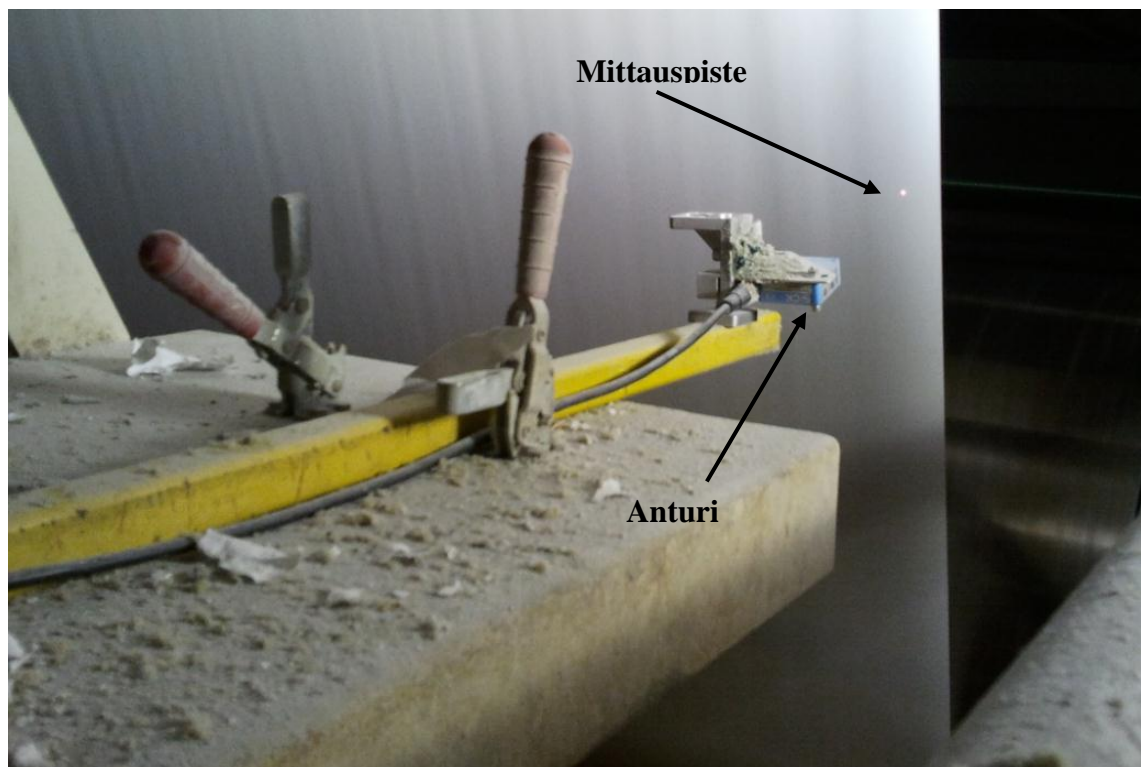


KUVA 41. Anturin kalibrointi

11.4 Laserin asennus

Kuten jo aikaisemmin todettiin, lepatusilmiö oli parhaiten havaittavissa aukirullauksen jälkeen ennen ensimmäistä päällystysasemaa. Tämän vuoksi myös lepatuksen mittaukseen käytettävän anturin asennus juuri sinne oli perusteltua.

Anturi asennettiin yhteistyössä Eforan asentajien kanssa. Asennuksessa ja sitä kautta määräytyvän mittauspisteen sijainnissa tuli ottaa huomioon seuraavia asioita: Mittauspisteen tuli sijaita mahdollisimman lähellä paperirainan reunaa CD-suunnassa, kuitenkin siten, että mahdollisten ratasiirtymien vuoksi anturi ei kadottaisi rainaa. Anturi tai sen vaatimat asennuselementit eivät saisi häiritä PPK:lla suoritettavia päänvientejä. Mittaussignaalin välittäminen datankeruulaitteistolle tuli onnistua myös kohtuullisella työmäärällä. Kuvassa 42 on esitetty laseranturin asennuspaikka ja asennuksen fyysinen kokoonpano.



KUVA 42. Laseranturin asennuspaikka ja anturin teline

12 MITTAUSTULOKSET

Työn edetessä tehtiin kireysprofiiliin, lepatukseen, paksuuteen ja kovuuteen liittyviä mittauksia. Paksuuteen ja kovuuteen liittyvät mittaukset tehtiin selvitystyönä pohjapaperin laadun ja siinä tapahtuvien mahdollisten muutosten sekä epälineaarisuuksien löytämiseksi. Selvitystyön tarkoituksena oli kartoittaa mahdollisia syy-yhteyksiä pohjapaperin laadussa tapahtuvien muutosten liittymistä rainan reuna-alueisiin liittyviin ongelmiin kuten lepatukseen.

Paksuuteen liittyvät mittaukset tehtiin laboratorion avustuksella. Halutuista konerullista otettiin näytteet heti paperikoneen jälkeen, ja näytteet vietiin laboratorioon Tapio-analysaattorilla tehtäviä mittauksia varten. Mittaustulokset välitettiin analysoitavaksi insinööriyön tekijälle, ja niitä käsiteltiin yhdessä tehtaan henkilöstön kanssa.

Paperin kovuuteen liittyvät mittaukset suoritettiin SCHMIDT Concrete Hammer L/LR -betoninkovuusmittarilla. Laite on käsikäyttöinen mekaaninen laite, ja sitä käytetään tehtaan superkalanteroitavien konerullien kovuusmittauksissa. Mittauksia tehtiin satunnaisesti työn edetessä muutamista konerullista.

Koska työssä käytettiin useita erilaisia mittausmenetelmiä, myös tulosten tarkastelussa on käyty kaikkien mittausten osalta tärkeimmät asiat läpi. Saatuja tuloksia on esitelty seuraavissa osioissa.

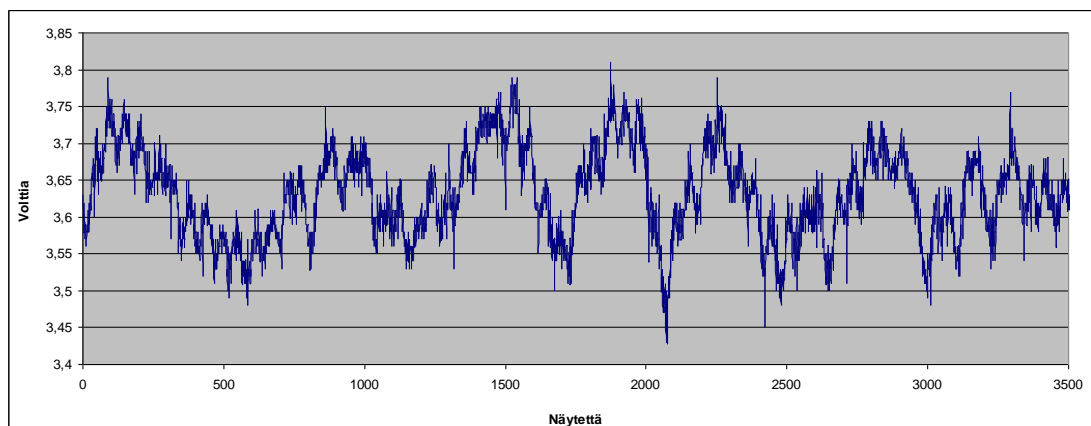
12.1 Laser

Ensimmäisiä mittauksia tehtäessä lepatuksen fyysistä ominaisuuksista ei ollut tarkkaa tietoa. Sen vuoksi ensimmäiset laseranturilla tehdyt mittaukset tehtiin suurella, yhden kilohertsin näytteenottotaajuudella. Käytännössä tämä tarkoitti sitä, että PPK:n nopeuden ollessa 1400 m/min saimme liikkuvasta paperirainasta näytteitä MD-suunnassa noin kahden senttimetrin välein. Lepatuksen mittaustuloksia tarkasteltaessa on syytä ottaa huomioon, että mittaussignaalia ei ole suodatettu millään tavalla. Jotta tulokset olisivat järkevästi tarkasteltavis-

sa, niitä on ajoittain keskiarvoistettu. Mahdolliset datan muokkaukset tai keskiarvoistukset on mainittu aina erikseen tapauskohtaisesti.

Laserin koemittausvaihe jakautui kahteen osaan. Ensimmäinen niistä oli yksittäisten näytteiden kerääminen prosessista. Näiden mittausten jälkeen dataa analysoitiin, ja sen perusteella tehtiin tarvittavat muutokset keruuohjelmaan pidemmän aikavälin tiedonkeruuta varten, joka oli koemittausvaiheen toinen osa. Ensimmäiseen tiedonkeruuvaiheeseen käytetty LabVIEW-sovellus on nähtävillä liitteessä 3.

Ensimmäisten mittausten tarkoituksena oli löytää lepatuksesta sellaiset taajuu-
det jotka kiinnostivat pidemmällä aikavälillä. Kuvasta 43 voidaan nähdä ensimmäisissä mittauksissa saadun datan kuvaaja Excelillä piirrettynä. Kuvassa on kolmen ja puolen sekunnin mittainen näyte, eikä mittausdataa ole muokattu tai keskiarvoistettu.



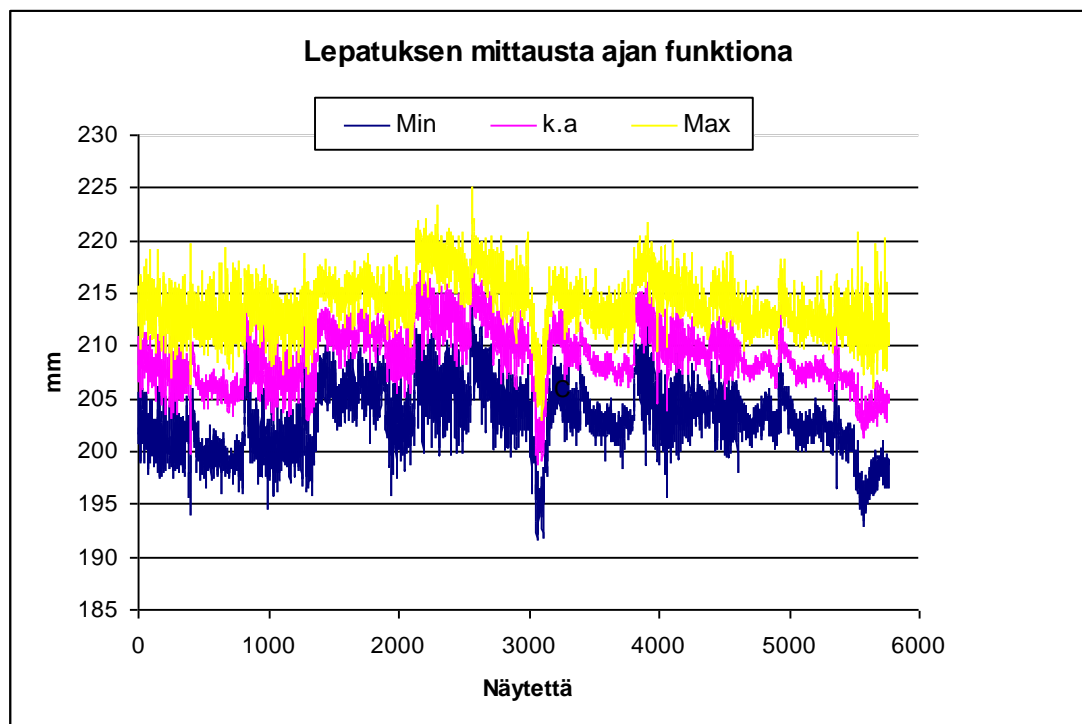
KUVA 43. Laserin mittaustuloksia 1 kHz:n taajuudella

Kuvan 43 perusteella voidaan havaita, että prosessissa lepatusta esiintyy ja sen suurimmat amplitudit tässä esimerkissä ovat noin 0.35 voltia. Se vastaa kalibroimallamme mittausalueella noin 11:tä millimetriä. Näiden mittausten perusteella selvitettiin myös värähtelyn taajuu-
det joita pidemmällä aikavälillä haluttiin seurata.

Koemittausvaiheen ensimmäisen osan jälkeen tehtiin uusi LabVIEW-sovellus. Erona ensimmäiseen sovellukseen on mittaussignaalin keskiarvoistaminen, le-

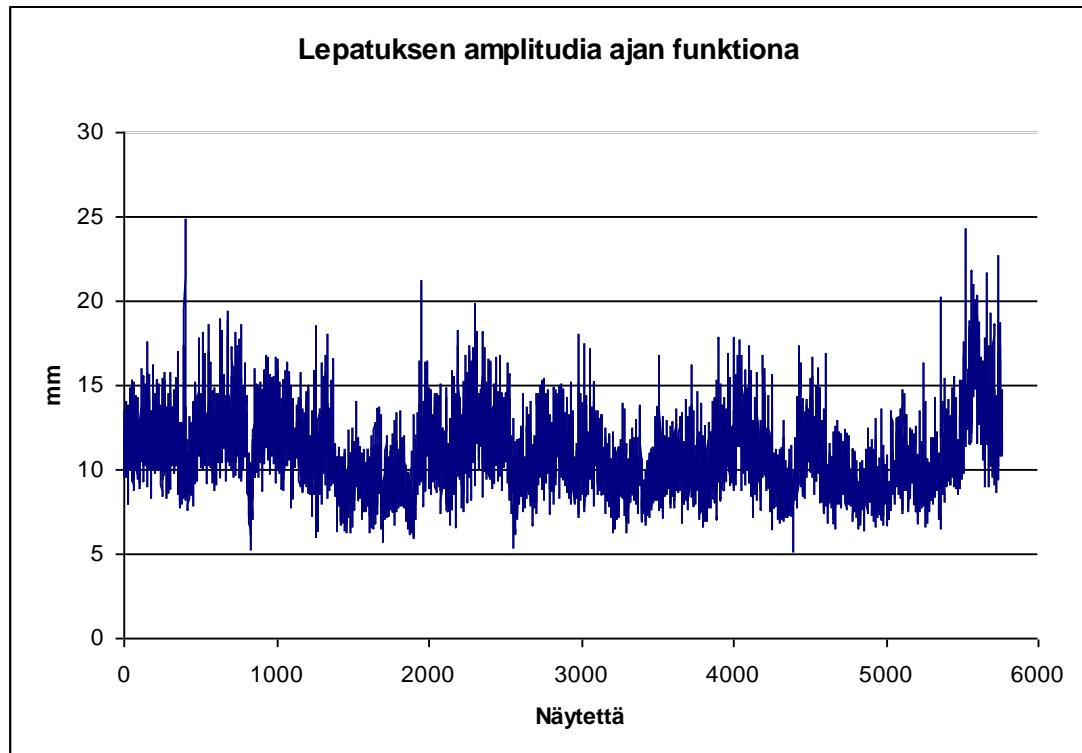
patuksen minimin ja maksimin sekä sen amplitudin laskeminen. Aikaisempien mittausten perusteella päädyttiin sovelluksen laskennassa seuraavaan järjestykseen: näytteenottotaajuudeksi valittiin 100 Hz, josta tallennetaan viiden sekunnin ajalta minimi- ja maksimiarvo sekä niiden erotus eli amplitudi. Sovellus on tarkasteltavissa liitteessä 4.

Kuvassa 44 on esitetty laseranturin mittaustuloksia lopullisella tiedonkeruusovelluksella mitattuna noin kahdeksan tunnin ajalta. Näytteenottotaajuutena on käytetty arvoa 100 Hz. Mittausdataa keskiarvoistettiin kuten edellä on esitetty: jokaiselta viiden sekunnin jaksolta on tiedostoon tallennettu mittauksen minimi- ja maksimiarvo sekä niiden laskennallinen keskiarvo.



KUVA 44. Paperirainan etäisyys anturista, kuvassa minimi- ja maksimietäisyys sekä niiden keskiarvo

Kuvassa 45 on esitetty kuvan 44 maksimi- ja minimiarvojen erotus eli lepatuksen amplitudi. Kuten kuvasta voidaan nähdä, lepatuksen amplitudi ja sen muutokset sekä pidemmällä että lyhyemmällä aikavälillä on helppo havaita.



KUVA 45. Lepatuksen amplitudia, keskiarvo 10,9 mm

12.2 iRoll

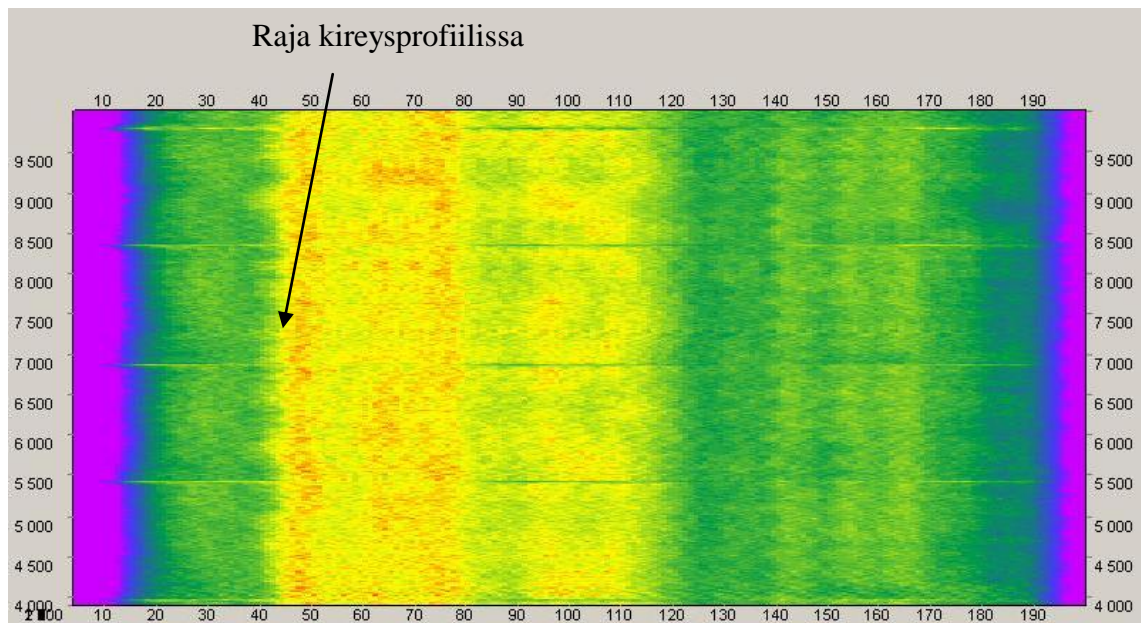
Heti kireysprofiilimittausten alkuvaiheessa huomattiin, että kireysprofiili ei ole sellainen kuin sen pitäisi olla. Se oli hyvin epäsymmetrinen, ja erot eri lajien välillä olivat suuria epäsymmetrisyyden perusmuodon säilyessä kuitenkin samana.

Kaikissa esitetyissä kireysprofiilin mittaustuloksissa mittausta on keskiarvoistettu samalla tavalla: molemmilta antureilta on laskettu keskiarvo viidestä perättäisestä mittauksesta. Näistä kahdesta keskiarvosta on vielä laskettu yhteinen keskiarvo mittaustulosten optimoinnin ja mahdollisten virheiden eliminoinnin vuoksi. Kuvaajat on piirretty tuon yhteisen keskiarvon perusteella. Kaikissa kuvissa PPK:n hoitopuoli on vasemmalla puolella.

Mittausten aikana mittausdataan ilmaantui ajoittain virheitä. Virheet näkyivät piirrettyissä värikartoissa ja profiileissa yksittäisinä piikkeinä joiden arvot olivat jopa 1000 kertaisia ympäröivään mittausdataan verrattuna. Piikit on poistettu

mittaustuloksista joko manuaalisesti tai ohjelmallisesti. Piikkien poistaminen oli välttämätöntä, jotta piirrettävien värikarttojen ja kuvaajien skaala olisi järkevä ja havainnollinen.

Kuvassa 46 on esitetty kireysprofiilikarttaa mittausten alkuvaiheesta neljän kerullan matkalta. Kuvasta voidaan nähdä, että kireysprofiili ei ole suora, vaan se on kallellaan käyttöpuolelle. Tämä aiheuttaa sen, että käyttöpuolen reuna on löysempi kuin hoitopuolen reuna. Lisäksi lähellä hoitopuolen reunaa on havaittavissa selvä raja kireydessä. Kuten kuvasta voidaan nähdä, kireyserot CD-suunnassa ovat huomattavat.



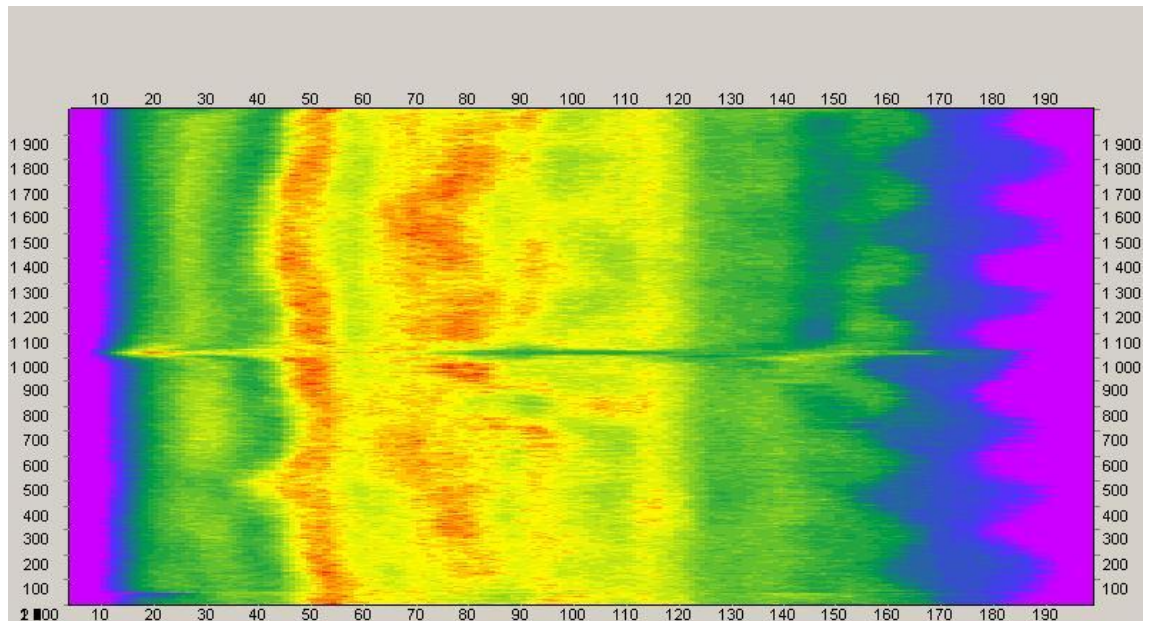
KUVA 46. Erään paperilajin kireysprofiilia

Kuvassa 47 on havainnollistettu kuvan 46 värikarttaa piirtämällä siitä Excelissä keskiarvoistettu poikkileikkaus. Kuvassa käyttöpuoli on oikealla.



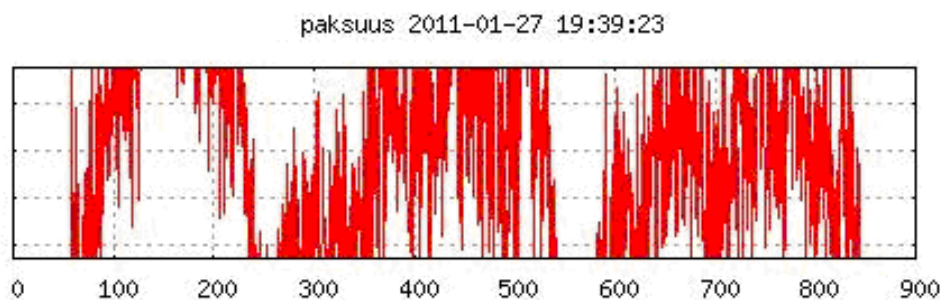
KUVA 47. Kireysprofiilin poikkileikkaus

Työn alkuvaiheessa vertailtiin myös välirullatun ja välirullaamattoman konerullan eroja. Kaikilla paperilajeilla tulos oli sama: välirullaus tasoittaa kireysprofiilin suurimpia MD-suuntaisia epälineaarisuuksia sekä tasoittaa CD-suuntaisia kireyseroja. Tätä on havainnollistettu kuvassa 48. Kuvasta voidaan myös nähdä lajinvaihdon vaikutus kireysprofiiliin, kun siirrytään kevyemmästä pohjapaperista raskaampaan lajiin; kireysprofiilin paikalliset vaihtelut ovat suurempia kuin kevyemmällä pohjapapereilla.

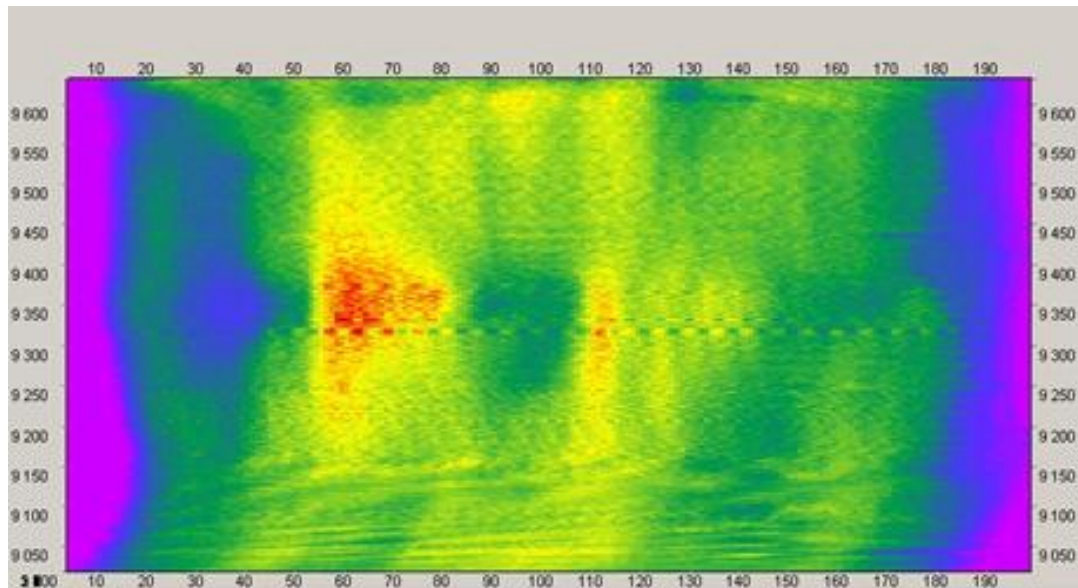


KUVA 49. Käännetyn konerullan vaikutukset kireysprofiiliin, riveillä 0-1000 välillä rullaamaton konerulla, riveillä 1000-2000 käännetty konerulla

Vaikka konerullan kääntäminen ei kääntänyt kireysprofiilin vinoutta tai tehnyt siihen suuria muutoksia, ei pohjapaperin rakenteellisten ominaisuuksien vaikutusta siihen voida kokonaan sulkea pois. Työn aikana pohjapaperin paksuusprofiiliin säädöissä on ajoittain ollut vikaa. Se on mahdollistanut tarkastelun kireysprofiilissa ja paksuusprofiilissa tapahtuvien muutosten välillä. Kuvassa 50 on esitetty paksuusprofiilia eräästä konerullasta. Kuvassa 51 on esitetty samaisen konerullan kireysprofiili. Kuvia tarkastelemalla voidaan huomata, että pohjapaperin paksuudessa tapahtuvat muutokset näkyvät myös kireysprofiilissa. Kuvan 51 värikartan alaosassa näkyvä aaltomaisuus johtuu PPK:lla tehdystä kiihdytyksestä. Normaali ajotilanne ja -nopeus alkaa riviltä 9150 ylöspäin.



KUVA 50. Paksuusprofiilia PK6:lta eräästä konerullasta



KUVA 51. Paksuusprofiilin epälineaarisuudet näkyvät myös kireysprofiilissa

Kuvia 50 ja 51 vertailemalla voidaan havaita, että paksu kohta pohjapaperissa näkyy löysänä alueena kireysprofiilissa. Tämä johtuu siitä, että konerullan muodostuessa useista päällekkäisistä paperikerroksista paksu kohta pyrkii venymään enemmän kuin ohuempi kohta. (Pitkänen 2011.)

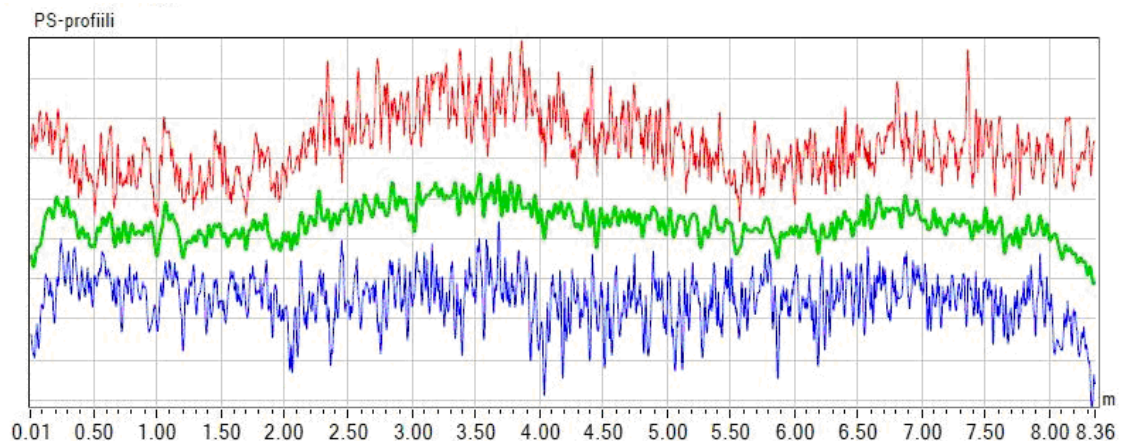
Tällaisenaan kireysprofiilin mittausjärjestelmällä ei voida mitata rainan reuna-alueilla tapahtuvia värähtelyitä tai lepatusta. Mittausjärjestelmän tarkoituksena oli mitata suuretta joka voisi mahdollistaa rainan löysän reuna-alueen. Kuten esitetyistä kuvista voidaan nähdä, järjestelmä toimi odotetulla tavalla ja löysät reuna-alueet ovat helposti havaittavissa.

iRoll mittausten mittaustuloksista yritettiin etsiä myös syitä reunarisoista johtuviin katkoihin. Tämä tehtiin siten, että katkoa edeltävää kireysprofiilia verrattiin niin sanottuun normaaliin ajotilanteeseen. Näistä profiileista laskettiin myös Excelin avulla erosuureita joista mahdolliset syyt voitaisiin löytää. Mitään mainittavia poikkeavuuksia ei niistä kuitenkaan löytynyt.

12.3 Tapio

Kireysprofiilimittausten ja niistä saatujen tulosten vuoksi oli perusteltua tehdä tarkempia mittauksia myös paperin paksuuteen liittyen. Tämän tarkoituksena oli etsiä paperin rakenteellisissa ominaisuuksissa asioita jotka voisivat osaltaan selittää muissa mittauksissa saatuja tuloksia. Tapio-mittauksia varten näytteitä otettiin muutamasta konerullasta.

Kuvasta 52 voidaan nähdä, että paksuudessa tapahtuu vaihteluita myös lyhyellä aikavälillä. Kuten jo aikaisemmin todettiin, lyhyen aikavälin muutokset pohjapaperissa kertautuvat konerullan kerrostuessa täydeksi konerullaksi. Kuvan 52 tapauksessa konerullan pinnasta otettiin näytteet 16 ensimmäisestä kerroksesta. Tällä saatiin mittaustuloksiin myös hieman konesuuntaista vaihtelua.



KUVA 52. Tapio-mittausten paksuusprofiilia CD-suunnassa, kuvassa punaisella maksimiarvo, vihreällä keskiarvo ja sinisellä minimiarvo

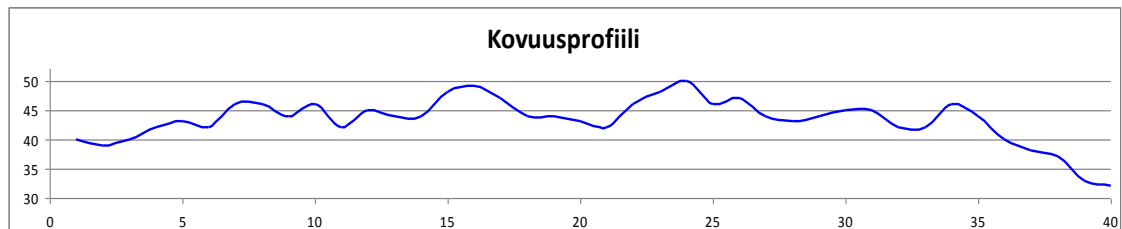
Myös muista konerullista otetuissa näytteistä huomattiin CD- ja MD-suuntaista vaihtelua etenkin paksuudessa. Loput tulokset paksuusprofiileista on esitetty liitteessä 5. Tapio-mittausten tuloksia tarkasteltaessa on muistettava, että tehty otanta on suhteellisen pieni. Näiden mittausten perusteella ei siis voida tehdä kovinkaan lopullisia johtopäätöksiä paksuusprofiloinnin toiminnan tai siinä tapahtuvien epälineaarisuuksien suhteen.

12.4 SCHMIDT Concrete Hammer L/LR

Tutkittaessa paperin rakenteellisten ominaisuuksien vaikutuksia kireysprofiiliin päätettiin tehdä myös päällystämättömistä konerullista kovuusmittauksia. Lähtökohtana oli selvittää, löydettäisiinkö konerullan kovuudesta viitteitä paksuus- ja kireysprofiilimittausten tuloksiin liittyen.

Mitatuissa kovuusprofiileissa ei löytynyt merkittäviä viitteitä kireysprofiiliin liittyen. Kuitenkin pidemmän aikavälin paksuusprofiileihin verrattaessa konerullien reuna-alueet ovat pehmeämmät kuin niiden keskialueet. Satunnaisvaihtelut olivat mittauksissa suhteellisen pieniä. Karkeita muotoja verrattaessa kovuus- ja paksuusprofiilien tulokset tukevat kuitenkin toisiaan; ohut alue paksuudessa näkyy pehmeänä alueena kovuudessa.

Kuvassa 53 on esitetty erään konerullan kovuusprofiilia. Liitteessä 6 on tarkasteltavissa mitattujen konerullien keskiarvoinen kovuusprofiili. Myös näissä kuvissa käyttöpuoli on oikealla.



KUVA 53. Erään konerullan kovuusprofiilia, lajina WDSR170

13 YHTEENVETO

Tämän insinööritoiminnan tarkoituksena oli kehittää mittausjärjestelmä paperiradan reunan lepatuksen mittaukseen PPK:n alueella. Työhön kuului erilaisten mittalaitteiden testaus, valituilla mittalaitteilla tehtävät koemittaukset sekä koemittauksista saatujen tulosten analysointi hankittavan mittausjärjestelmän soveltuvuuden kannalta. Lisäksi työn aikana perehdyttiin aktiivisesti lepatuksen mahdollistaviin ja sitä aiheuttaviin tekijöihin sekä paperikoneen yleiseen rakenteeseen ja toimintaan.

Tehtaalle tällainen mittausjärjestelmä haluttiin, koska epäiltiin, että radan reunan lepatus voisi aiheuttaa raportissakin esitellyn reunarisan. Reunarisasta johtuva katko on tällä PPK:lla suurin yksittäinen katkonaiheuttaja. Mittausjärjestelmän tarkoituksena on indikoida lepatuksen tilaa silloin, kun reunarisasta syntyvä katko ilmenee. Näin voidaan tarkastella, liittyykö lepatuksen ominaisuudet reunarisan syntyyn.

Työn valmistumisen lähestyessä oli löydetty mittalaite, jolla lepatusta voidaan objektiivisesti ja luotettavasti mitata PPK:n alueella myös pidemmällä aikavälillä. Tässä työssä saatujen tulosten perusteella on Metsolta ja SICKiltä tilattu mittausjärjestelmäkokonaisuus. Metson toimitukseen sisältyvät prosessiasema, analogitulokortti, ohjelmistosuunnittelu, laitteiston asennus ja liittäminen tehtaan tietokantajärjestelmään. SICKin toimitus käsittää laseranturit ja niiden tarvitsemat kaapelit. Muun muassa näiden asioiden perusteella työlle asetetut tavoitteet ovat täyttyneet, ja työtä voidaan pitää onnistuneena.

Työn raportti rakentuu työn aikana suoritettujen työvaiheiden mukaisesti. Ajallisesti työn ensimmäisessä vaiheessa tutustuttiin paperikoneen rakenteeseen ja toimintaan sekä rainanmuodostuksen teoriaan yleisellä tasolla. Tämän lisäksi käytiin aktiivisesti läpi eri tekniikalla toteutettuja mittalaitteita, ja oltiin yhteydessä useaan eri laitetoimittajaan. Työn koemittausvaiheeseen valittujen laitteiden asennus ja kalibrointi suoritettiin hyvässä yhteistyössä eri yhteistyökumppaneiden kanssa. Työhön kuuluvan koemittausvaiheen aikana mittausdataa kertyi

huomattavia määriä. Saatuja mittausdotoja analysoitiin täysipäiväisesti. Tehtaalla pidettiin säännöllisin väliajoin palavereita, joissa tarkasteltiin saatuja mitaustuloksia ja niistä tehtyjä analyyseja eri osa-alueiden asiantuntijoiden kanssa. Näiden tilaisuuksien aikana tehtiin myös linjaukset seuraavaksi suoritettavien toimintojen sekä työn etenemisen osalta.

Työn aikana tehdyt mittaukset sujuivat ilman suurempia vastoinikäymisiä. Tosin iRoll-antureiden pysymistä jouduttiin korjailemaan pikaliiman ja aktivaattorin avulla. Prosessista kerättävän mittausdatan keräämiseen ja tallentamiseen käytettiin kahta erillistä tietokonetta. Koko mittausjakson aikana vain toisen tietokoneen käyttöjärjestelmä kaatui yhden kerran. Tämän vuoksi menetettiin muutamia tunteja mittausdataa. Mittausjakson ollessa kuitenkin näin pitkä, ei suurta vahinkoa päässyt syntymään.

Työn aikana kertyneiden mitaustulosten ja niiden analysoinnin perusteella voidaan yhtyä tässä dokumentissa esitettyihin teorialietoihin paperirainan lepatuksesta. Koska paperinvalmistus- ja rainanmuodostusprosessi ovat monimutkaisia, myös lepatus ja sen syntyyn vaikuttavat tekijät ovat monimutkaisia tapahtumia.

Vaikka tämän työn seurauksena tehtaalle päädyttiin hankkimaan mittausjärjestelmä, ei se kuitenkaan ole täysin aukoton. Hankittavassa järjestelmässä rainaa mitataan kahdesta kohdasta pistemäisenä mittauksena. Mittaukseen käytettävillä antureilla ei esimerkiksi voida ottaa huomioon mahdollisia ratasiirtymiä, jotka voivat aiheuttaa mittaukseen virhettä. Myös mittauksista saatujen tietojen käyttö mahdollisena säätösuureena rainan ominaisuuksien säätöön on vaikeaa. Tätä voidaan kuitenkin tarkastella työlle annettujen lähtötietojen valossa; löytää mitaustapa, jolla rainan reunan lepatusta voidaan mitata objektiivisesti myös pidemmällä aikavälillä ja toteuttaa se. Tarkoituksena ei siis ollut löytää mitaustapaa, jota voitaisiin käyttää säätöperusteena paperikoneessa.

Mittauksen pistemäisyys aiheuttaa myös toisen ongelman. Reunarisan syntyä paikkaa prosessissa ei tällä hetkellä tiedetä ja katko voi ilmetä käytännössä milloin päällystysasemalla tahansa. Tosin tätäkään ei voida ajatella aivan näin yks-

sinkertaisesti. Toteutettava järjestelmä mittaa kuitenkin lepatuksen yleistä tasoa prosessissa, ja näin sen vaikutuksia reunarisan syntyyn voidaan pidemmällä aikavälillä tarkastella.

Työ eteni kokonaisuudessaan aikataulun mukaisesti. Ainoaksi ongelmaksi työn valmistumiseksi aikataulussa muodostui jatkuvasti lisääntyvien erilaisten mittauksen tekeminen. Tätä asiaa ei kuitenkaan voida pitää negatiivisena, sillä erilaisten mittalaitteiden käyttö työn aikana opetti paljon uusia ja mielenkiintoisia asioita. Työn loppuvaiheeseen osuneen hiihtoloman vuoksi työstä laadittu raportti valmistui jopa hieman ennakoitua aikaisemmin. Tässä korostuu hyvin tehty projektisuunnitelma, jonka merkitystä näin jälkikäteen ei voida vähätellä.

Oma työskentely sujui työn aikana kohtuullisen mukavasti. Mittaustulosten analysointiin ja muokkaamiseen käytettiin satoja työtunteja. Kertaakaan ei kuitenkaan menetetty toivoa, vaan loputtomalta tuntuvien tiedostojen muokkaamisen keskellä iskenyt hetkellinen motivaatiopula korjattiin istuma-asentoa muuttamalla. Työn tekemiseen motivoivat myös työn aikana tutustuttujen eri alojen asiantuntijoiden ammattimainen ja opettavainen ote työskentelyyn.

Tämän työn tekeminen insinööriyön laajuisena kokonaisuutena on ollut erittäin haastavaa. Vaikka tarkoituksena olikin vain kehittää mittausjärjestelmä lepatuksen mittaamiseen, on työ laajentunut tasaiseen tahtiin. Tämä on kuitenkin ollut erityisen tärkeää ilmiöön johtavien tekijöiden ymmärtämiseksi ja työn menestyksekkäästi suorittamiseksi. Oma oppiminen ja itsensä kehittäminen kohti alkavaa työelämää ovat olleet ehdottomasti työn tärkeimpiä anteja.

LÄHTEET

Ahola, Timo 2005. Intelligent Estimation of Web Break Sensitivity in Paper Machines. Saatavissa:

<http://herkules.oulu.fi/isbn9514279573/isbn9514279573.pdf>. Hakupäivä: 1.11.2010.

Ekman, Veikko 2010. Rakennusmittaukset, niiden laatu ja dokumentointi. Lappeenranta: Saimaan ammattikorkeakoulu, Rakennusalan työnjohdon koulutusohjelma. Opinnäytetyö. Saatavissa:

<https://publications.theseus.fi/bitstream/handle/10024/22445/Rakennusmittaukset%20niiden%20laatu%20ja%20dokumentointi.pdf?sequence=1>. Hakupäivä 2.12.2010.

iRoll for Tension Profile Optimization. Case examples. Sisäinen dokumentti. Metso Oyj.

Jortama, Timo 2003. 470112S Paperinvalmistus 3 op. Opintojakson oppimateriaali vuonna 2003. Oulu: Oulun yliopisto.

Kangasrääsiö, Juha 2007. Paperiteollisuuden mittaukset. Saatavissa:

www.jmk-instruments.fi/pdf/Paperiteollisuuden-mittaukset-2007-01-25.pdf. Hakupäivä 26.11.2010.

Karlsson, Markku 2000. Papermaking Part 2, Drying. Jyväskylä: Fapet Oy.

Koivuranta, Mauri 2011. Tuotantojohtaja, Stora Enso Oyj Oulun tehtaat. Keskustelu 28.1.2011.

Kulachenko, Artem. Paper Web Dynamics. Saatavissa:

http://www.t2f.nu/t2frapp_f_26.pdf. Hakupäivä 3.1.2011.

Kulachenko, Artem 2006. Mechanics of Paper Webs in Printing Press Applications. Saatavissa: kth.diva-portal.org/smash/get/diva2:9761/FULLTEXT01. Hakupäivä 3.1.2011.

KnowPap. 2005. Paperitekniikan ja automaation oppimisympäristö. Stora Enso Oyj. Saatavissa:

<http://oulunotes.oul.corp.storaenso.com/tuotanto/kpkirja.nsf/HTML/Main>. Hakupäivä 11.12.2010. Vaatii kirjautumisen.

Laurikainen, M. 2005. Metso Paper Inc. Kuivatusosakirja, osa 3. Rakenne ja toimintaperiaate. Sisäinen dokumentti. Stora Enso Oyj.

Lielähti, Matti 2007. Päälystyskoneen radan hallinnan kehittäminen. Oulu: Oulun yliopisto, Prosessi- ja ympäristötekniikan osasto. Diplomityö.

Metso Automation Inc. 2009. IQScanner-i. Saatavissa:

[http://www.metsomineralssystems.com/Automation/pp_prod.nsf/WebWID/WTB-090622-2256F-E7D63/\\$File/E876610-IQScanner-i.pdf](http://www.metsomineralssystems.com/Automation/pp_prod.nsf/WebWID/WTB-090622-2256F-E7D63/$File/E876610-IQScanner-i.pdf). Hakupäivä 26.11.2010.

Metso Paper Inc. 2005. IQTension. Saatavissa:

[http://www.metsoendress.com/MP/Marketing/Vault2MP.nsf/BYWID2/WID-050526-2256E-1BF13/\\$File/IQTension64003_V1.pdf?openElement](http://www.metsoendress.com/MP/Marketing/Vault2MP.nsf/BYWID2/WID-050526-2256E-1BF13/$File/IQTension64003_V1.pdf?openElement). Hakupäivä 8.12.2010.

Mäkelä, Merja 2003. Paperin laatusuureiden mittaus ja säätö. Helsinki: Suomen Automaatioseura Oy.

NASA. 2006. What is a laser?. Saatavissa:

<http://spaceplace.nasa.gov/en/kids/laser/index.shtml>. Hakupäivä 2.12.2010.

National Instruments Corporation. 2011. Product Information: What is NI LabVIEW?. Saatavissa: <http://www.ni.com/labview/whatis/>. Hakupäivä 7.12.2010.

Nylund, Markus – Pitkänen Tatu 2009. Älyä Telaan, Uusi iRoll mittaustekniikka. Saatavissa: <http://www.promaint.net/downloader.asp?id=3200&type=1>. Hakupäivä 3.12.2010.

Online Datasheet. OD2-P250W150U0. SICK AG. 2011. Saatavissa:

<https://www.mysick.com/PDF/Create.aspx?ProductID=41535&Culture=en-US>. Hakupäivä 2.12.2010.

Paulapuro, Hannu 2000. Papermaking Part 1, Stock Preparation and Wet End. Jyväskylä: Fapet Oy.

Paperikoneen viiraosa. 46474A Paperiteollisuuden koneet 3 op. Opintojakson oppimateriaali. Oulu: Oulun yliopisto.

Parviainen, P. 2001. Valmet. Konerullanpyörityslaitte 1/1, osa 3. Rakenne ja Toiminta. Sisäinen dokumentti. Stora Enso Oyj.

Penttinen, T. 2001. Metso Paper Inc. Formerikirja, osa 3. Rakenne ja toimintaperiaate. Sisäinen dokumentti. Stora Enso Oyj.

Pitkänen, Tatu 2008. Metso Paper Inc. Raporttiluonnos, iRoll Portable analyysiraportti. Sisäinen dokumentti. Stora Enso Oyj.

Pitkänen, Tatu 2011. Re: SE Oulun tehtaast, iRoll mittaukset, PPK6, Tilus. Sähköpostiviesti. Vastaanottaja: Miika Tilus. 8.3.2011.

Rajala, E. 2001a. Puristinosakirja, osa 2. Tekniset tiedot. Sisäinen dokumentti. Stora Enso Oyj.

Rajala, E. 2001b. Puristinosakirja, osa 3. Rakenne ja toimintaperiaate. Saatavissa:

http://worksite.storaenso.com/oulu_mill/Sites/Dokumentit/PPK6%20tuotantolinja/Paperikone/Puristinosakirja/Rakenne%20ja%20toimintaperiaate.doc. Vaatii kirjautumisen.

Seshadri, A – Pagilla, P, R. 2009. Web Flutter Measurement Sensor. Teoksessa IEEE Sensors Journal. Saatavissa:

http://pagilla.ceat.okstate.edu/pubs_journal/seshadri-pagilla-ieee-sensors09.pdf. Hakupäivä 16.11.2010.

SICK AG. 2011. OD Value. Demo Default Setting. Saatavissa:

<https://mysick.com/saqqara/V0000440.SWF>. Hakupäivä 3.1.2011.

ThomasNet News[®]. 2010. Laser Displacement Sensor provides 392 kHz sampling rate. Saatavissa: <http://news.thomasnet.com/fullstory/Laser-Displacement-Sensor-provides-392-kHz-sampling-rate-575459>. Hakupäivä 2.12.2010.

Turunen, Ilpo 2011. Project Manager, Metso Paper Inc. Keskustelu 21.1.2011.

Ulbäck, Sami 2008. TAPIO RQP hyödyntäminen paperin laadunvalvonnassa. Kajaani: Kajaanin ammattikorkeakoulu, Tekniikan ja liikenteen ala. Insinöörityö. Saatavissa:

<https://publications.theseus.fi/bitstream/handle/10024/7979/TKO4ISamiU.pdf?sequence=1>. Hakupäivä 19.1.2011.

Varis, R 2001. Metso Paper Inc. Kuivatusosakirja, osa 3. Rakenne ja toimintaperiaate. Sisäinen dokumentti. Stora Enso Oyj.

VTT Information Technology: Runnability Services. 2010a. Tenscan. Saatavissa: <http://virtual.vtt.fi/virtual/proj2/runnability/tenscan.htm>. Hakupäivä 8.12.2010.

VTT Information Technology: Runnability Services. 2010b. IQTension Portable. Saatavissa: <http://virtual.vtt.fi/virtual/proj2/runnability/iqtension.htm>. Hakupäivä 8.12.2010.

Wikipedia. 2010a. Vapaa tietosanakirja. Saatavissa: <http://fi.wikipedia.org/wiki/Paperi>. Hakupäivä 15.11.2010.

Wikipedia. 2010b. Vapaa tietosanakirja. Saatavissa: <http://fi.wikipedia.org/wiki/Laser>. Hakupäivä 2.12.2010.

LIITTEET

Liite 1. Työn toteutunut aikataulu

Liite 2. Laseranturin tekniset ominaisuudet

Liite 3. 1. LabVIEW-sovellus

Liite 4. 2. LabVIEW-sovellus

Liite 5. Tapio-mittausten paksuusprofiilit

Liite 6. Kovuusprofiilien keskiarvo

TYÖN TOTEUTUNUT AIKATAULU

LIITE 1

	10/2010	11/2010	12/2010	1/2011	2/2011	3/2011
Aloit						
Projektisuunnitelman laatiminen						
Alustavan sisällysluettelon laatiminen						
Mittalaitteet ja mittaukset						
Anturivalmistajien kartoitus						
Tiedustelu anturivalmistajille antureista						
Mittalaitteiden kartoitus						
Antureiden ominaisuuksiin perehtymistä						
Mittalaitteiden tilaus koekäyttöön						
Valittuihin mittausmenetelmiin perehtyminen						
Mittalaitteiden sijainti prosessissa						
iRoll asennus, kalibrointi						
Laserin kalibrointi ja asennus						
Koemittaukset						
Signaalinkäsittely						
Kovuus- ja paksuusmittaukset						
Teoria						
Paperinvalmistusprosessiin perehtyminen						
Päälystyskoneen toimintaan perehtyminen						
Lepatuksen perehtyminen						
Paperin mittausmenetelmät prosessissa						
Analysointi						
Mittauksetulosten analysointi						
Syy-yhteyksien etsintää kireysprofiilin ja laatumittausten välillä						
Arviointi ja johtopäätökset						
Työpäiväkirjan ylläpito						
Palaverit						
Aloituspalaveri						
Välipalaveri I, mittalaitteiden valinta						
Välipalaveri II, mittausdatan analyysit ja johtopäätökset, tehtaan henkilöstö						
Välipalaveri III, mittausdatan analyysit ja johtopäätökset						
Muut						
Kieliasun tarkistus						
Työn esittäminen/Lopetusseminaari						
Työ valmis → Painoon						

Performance

Resolution 0 ... 90 %:	75
Measuring frequency and output rate:	1.3 kHz
Light source:	Red laser diode class 2 (II) ¹⁾
Typ. light spot size (distance):	1.8 mm x 3.5 mm ²⁾
Additional features:	Automatic sensitivity adjustment, Teach-in of analog outputs, Teach-in of switching outputs, Invertable analog output, Invertable switching output, Averaging settings 1 ... 64x, Multi functional input: laser off, external teach, trigger, Switching window
Measuring range 0 ... 90 % remission:	100 mm ... 400 mm
Repeatability 0 ... 90% remission:	225 μ m ³⁾
Response time:	2 ms ⁴⁾
Accuracy 0 ... 90 % remission:	\pm 1.2 mm ^{5) 6)}

¹⁾ Wave length 650 nm, max. output 1 mW ²⁾ At 250 mm ³⁾ At set averaging medium and constant conditions ⁴⁾ Autom. sensitivity adjustment \leq 6 ms ⁵⁾ Equivalent to 0.4 % MS, MS= Measuring span: 002-250... = 300 mm ⁶⁾ Linearity for 90 % remission is equivalent to 0.25 % MS

Interfaces

In- and outputs:	PNP
Analog voltage outputs (min. load):	1 x 0 ... 10 V (\geq 10 k Ω)
Resolution analog outputs:	16 Bit
Switching outputs (max. output current):	2x (100 mA/High = U_s (< 2 V), Low = 0 V)
Multi functional inputs:	1x (High = U_s , Low = \leq 2.8 V) ¹⁾

¹⁾ Response time \leq 3 ms

Mechanics/electronics

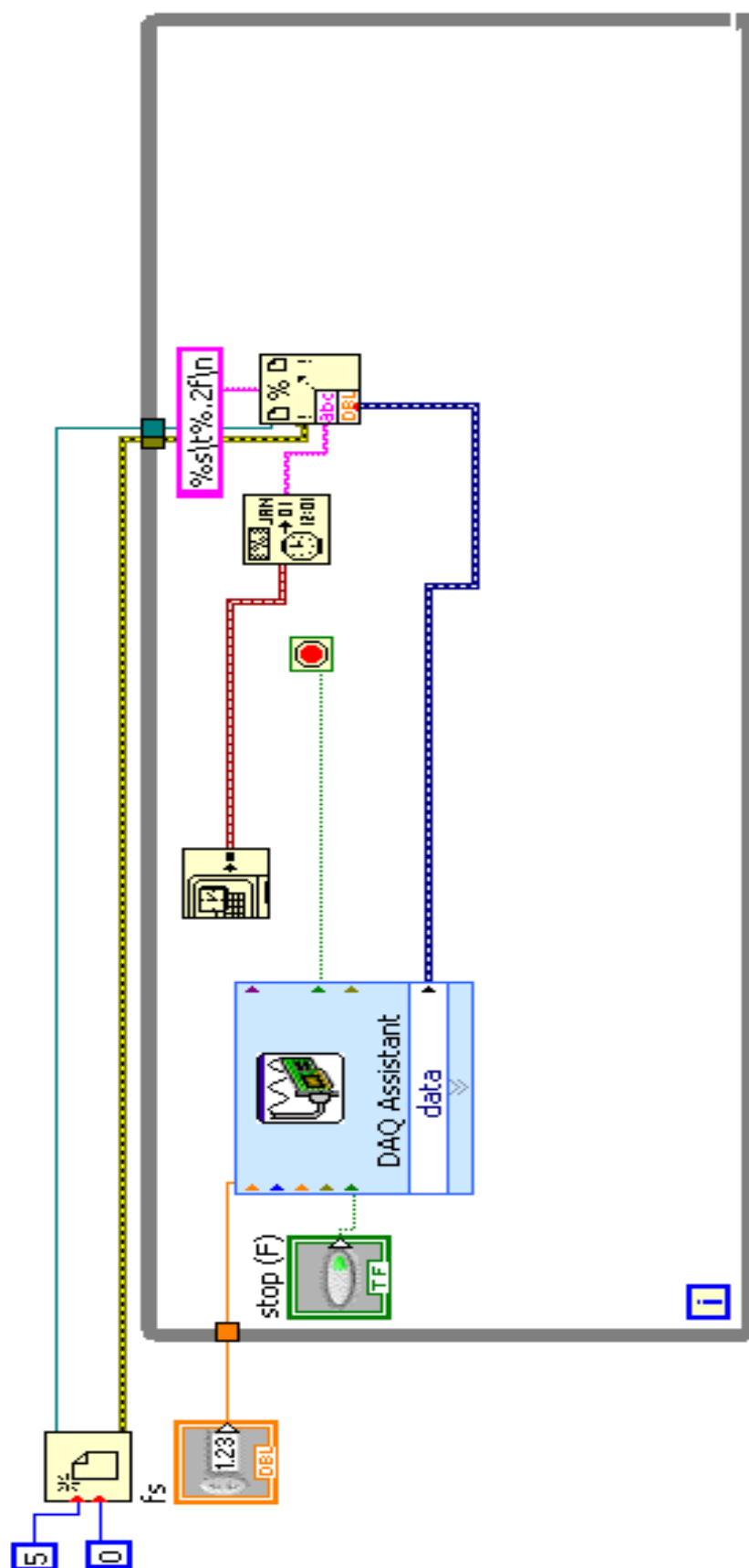
Supply voltage VS:	DC 18 V ... 24 V, -5 %/+10 %
Power consumption:	\leq 2.88 W ¹⁾
Warm up time:	\leq 5 min
Housing material:	PBT and PMMA
Electrical connection:	connector M12, 8-pin
Indication:	Distance bar graph
Typ. weight without cable:	70 g

¹⁾ Excl. load, Incl. current output

Ambient data

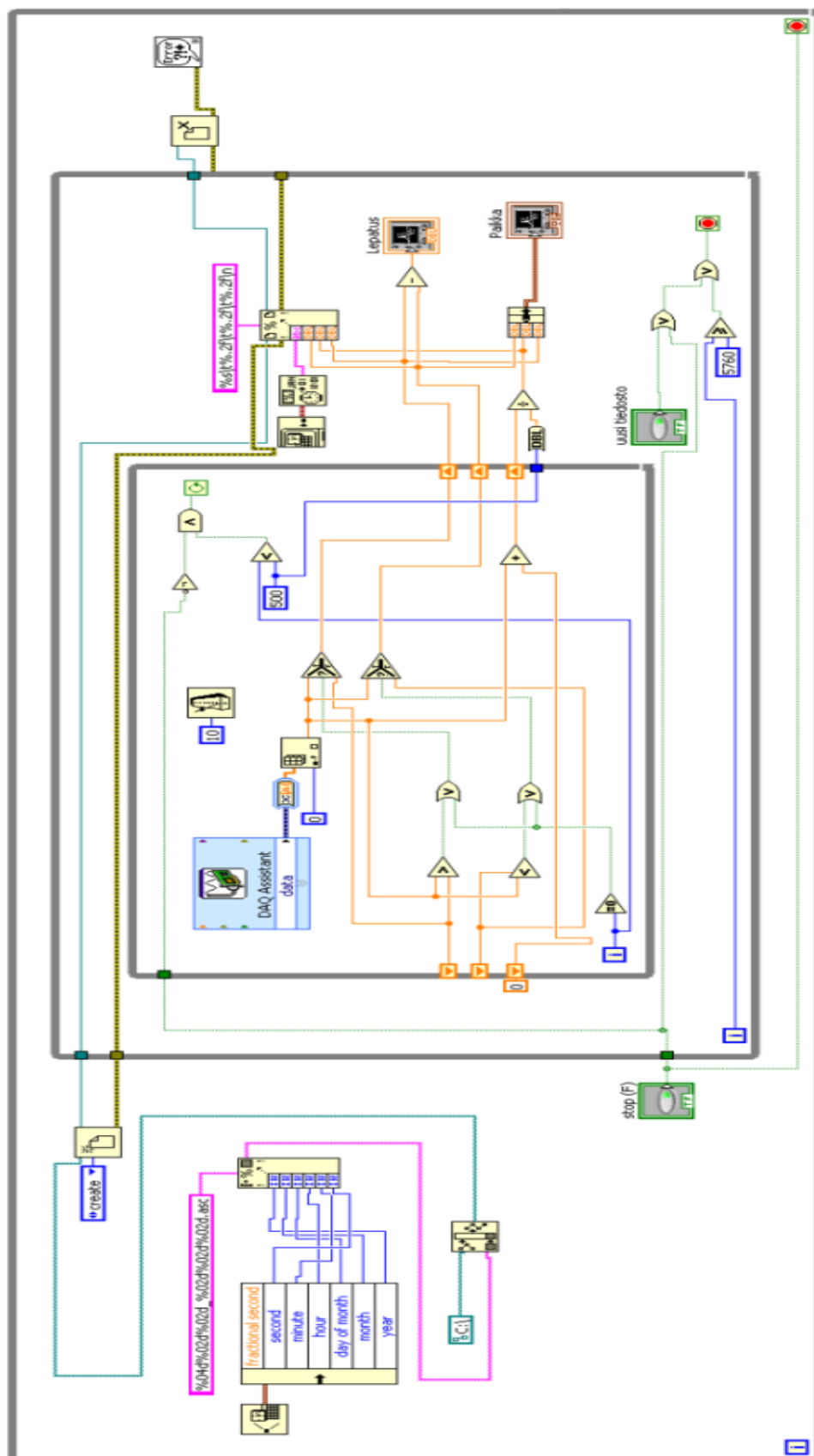
Enclosure rating:	IP 67
Ambient temperature:	Operation: -10 ... 40 °C Storage: -10 ... 60 °C
Max. rel. humidity (not condensing):	0.35 % ... 0.95 %
Vibration resistance:	10 Hz ... 55 Hz, Amplitude 1.5 mm, 2 h for axes XYZ
Shock resistance:	50 G
Protection class:	III
Typ. ambient light safety:	artificial light: \geq 3,000 Sunlight: \geq 10,000

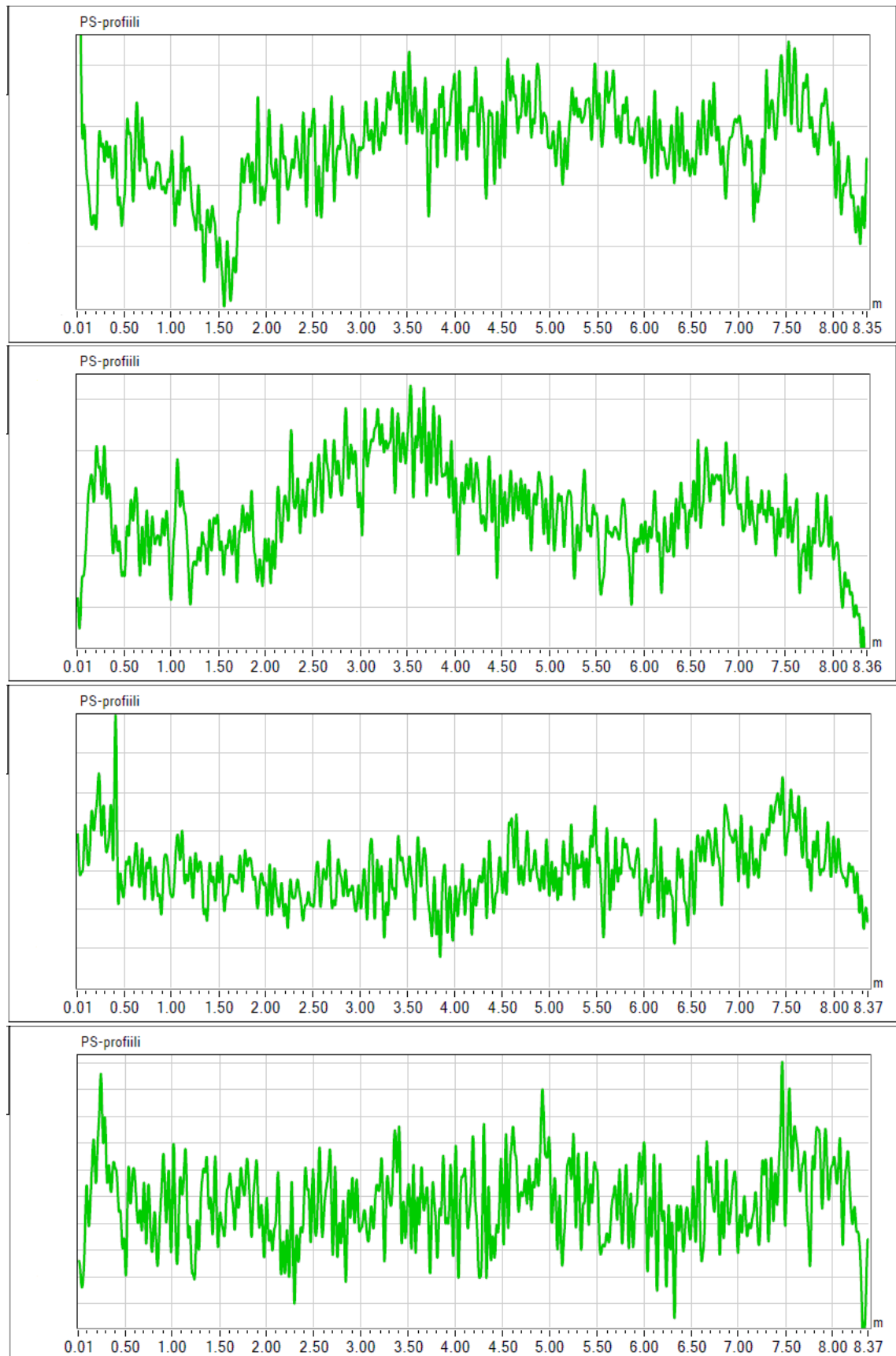
(Online Datasheet 2011)



2. LabVIEW-SOVELLUS

LIITE 4





KOVUUSPROFIILIEN KESKIVARVO

LIITE 6

