

Saimaan ammattikorkeakoulu  
Tekniikka Imatra  
Paperitekniiikan koulutusohjelma  
Paperitekniiikan suuntautumisvaihtoehto

Tomi Pöyri

# **RULLAPÖLYN MITTAUSMENETELMÄT JA NIIDEN SOVELTUVUUS KÄYTÄNNÖSSÄ**

Opinnäytetyö 2009

## TIIVISTELMÄ

Tomi Pöyri

Rullapölyn mittausmenetelmät ja niiden soveltuvuus käytännössä, 42 sivua, 17 liitettä

Saimaan ammattikorkeakoulu, Imatra

Tekniikka, Paperitekniikan koulutusohjelma

Paperitekniikan suuntautumisvaihtoehto

Opinnäytetyö 2009

Ohjaajat: Yliopettaja Pasi Rajala, Saimaan ammattikorkeakoulu, Päällikkö Jani Sund, Stora Enso Oyj

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli selvittää Stora Enso Oyj:n Imatran tehtaiden Kaukopään Päälystystehtaan ekstruusiopäälystyskone 5:n pituusleikkurille soveltuvia rullapölyn mittausmenetelmiä sekä niiden soveltuvuutta käytännössä.

Koeajoissa testattiin erilaisten muuttujien, kuten tylsien terien, vaikutusta leikkauspölyn määrään. Mittareina käytettiin Fluke-hiukkaslaskuria sekä mustaa sähköteippiä. Flukella mitattiin erikokoisten pölypartikkeleiden määrä suoraan leikkauskidasta, ja mustalla teipillä valmiin asiakasrullan päädystä. Teipit kiinnitettiin kirkkaalle kopiokalvolle ja analysoitiin silmämääräisesti.

Haitallisimpien pölypartikkeleiden todettiin olevan suurempia kuin mitä Fluke mittaa, eikä kyseisen mittarin näin ollen todettu soveltuvan tähän tarkoitukseen. Mustassa teipissä pöly näkyi selvästi ja tulokset oli helposti analysoitavissa. Menetelmän todettiin soveltuvan käytännölliseksi mittausmenetelmäksi pituusleikkurille.

Asiasanat: pöly, mittaus

## ABSTRACT

Tomi Pöyri

The Ways to Measure Roll Dust and Their Suitability in Practice

Saimaa University of Applied Sciences, Imatra

Final Year Project 2009

Instructors: Senior lecturer Pasi Rajala, Manager Jani Sund

The purpose of this Final year project was to find out practical means to measure the amount and size of dust particles on a customer roll of a slitter winder in Stora Enso Oyj, Imatra mills, Coating mill, extrusion coating machine 5.

The influence of different variables, such as dull slitting blades, to the amount of dust were tested on Fluke particle counter and black electric tape. Fluke was set to suck dust straight from slitting, and the black tape was attached and detached to the side of a customer roll and then attached on a bright transparency for analyzing.

The most harmful particle sizes were discovered to be larger than Fluke was able to count, so the particle counter was not suitable for this purpose. White dust particles were easy to see on the black tape, and therefore the tape was considered to be a practical way of measuring dust on the slitter winder.

Keywords: Dust, Measure

## ALKUSANAT

Tämä työ tehtiin Stora Enso Oyj:n Imatran tehtaiden Kaukopään Päälystystehtaalle ja koski ekstruusiopäälystyskone 5:n pituusleikkuria. Tarpeena oli selvittää leikkauspölyn mittausmenetelmiä sekä niiden soveltuvuutta käytännössä.

Haluan esittää suuret kiitokset avusta ja kärsivällisyydestä sekä yliopettaja Pasi Rajalalle että tehtaan puolesta ohjaajana toimineelle päällikkö Jani Sundille. Kiitokset kuuluvat myös tehtaan puolesta työn kulussa aktiivisesti avustaneelle Timo Lankiselle, sekä Johanna Keroselle.

Omat kiitoksensa ansaitsevat myös pituusleikkurin käyttöhenkilöt, joiden ansiosta koeajot sujuivat vaivattomasti, sekä koko päälystystehtaan henkilökunta asiantuntevista neuvoista.

Kiitokset siskolleni oikolukuavusta sekä muille perheenjäsenilleni ymmärtämisestä.

Tyttöystävälleni Valalle lämmin kiitos henkisestä tuesta.

Imatralla 18.12.2009

Tomi Pöyri

## SISÄLTÖ

1 JOHDANTO.....	6
2 KARTONGIN PITUUSLEIKKAUS.....	7
2.1 Pituusleikkurityypit.....	7
2.2 Pituusleikkausmenetelmät.....	11
2.3 Pituusleikkausterät.....	12
2.3.1 Terämateriaalit.....	12
2.3.2 Terien tylsyminen.....	14
2.3.3 Terien teroitus.....	14
2.3.4 Terien asennus ja teräheitot.....	14
2.3.5 Teräkulmat.....	16
2.3.6 Terien limitys ja sivuvoima.....	18
2.3.7 Nopeusero.....	18
2.4 Rainan kulku leikkauskitaan.....	19
2.5 Levityslaitteet.....	20
2.6 Rullaus.....	20
3 PÖLY.....	24
3.1 Pölyn synty.....	24
3.2 Staattinen sähkö.....	25
3.3 Pölyn poisto.....	26
3.4 Pölyn mittaus.....	27
3.4.1 Mac Millan Bloedel.....	31
3.4.2 SOLA.....	32
3.4.3 Black Cloth.....	32
3.4.4 Masuga.....	33
3.4.5 Finntesteri.....	34
3.4.6 SFS 3866.....	34
3.4.7 DataRAM.....	35
3.4.8 Fluke 983 Particle Counter.....	35
3.4.9 Musta teippi.....	35
4 KOEAJOT.....	35
4.1 Koeajo 1.....	37
4.2 Koeajo 2.....	38
4.3 Teippianalyysi.....	39
5 YHTEENVETO.....	40
LÄHTEET.....	41
LIITTEET	

# 1 JOHDANTO

Muovipäälystettyä kartonkia leikattaessa syntyvä pöly koostuu kartongin kuitujen ja hienoaineiden lisäksi muovista leikkautuvista suikaleista. Muovisuikaleet sitovat kartonkipölyä köynnöksiksi, jotka kertyvät pituusleikkausterille. Teriltä ne tarttuvat kartonkiradan mukaan muun muassa staattisen sähköön vaikutuksesta. Nämä pahimmillaan useamman senttimetrin pituiset, myös ”enkelin kiharoiksi” kutsutut köynnökset kulkeutuvat asiakasrullien mukana painokoneelle tarttuen siellä painoteloille ja aiheuttaen ylimääräisiä katkoja ja kustannuksia. Asiakasrullien pölyn määrän selvittämiseksi tarvitaan pituusleikkurille käytännöllisiä mittausmenetelmiä.

Tässä opinnäytetyössä selvitetään leikkauspölyn mittaukseen käytettävissä olevia menetelmiä, joista kahden soveltuvuutta käytännön mittaukseen pituusleikkurilla tutkitaan tarkemmin koeajojen avulla.

Työssä käydään läpi kartongin pituusleikkausta ja sen eri vaiheiden vaikutusta syntyvän pölyn määrään. Mittausmenetelmien lisäksi tutustutaan myös pölyn synty- ja poistotapoihin.

## 2 KARTONGIN PITUUSLEIKKAUS

Pituusleikkauksen tarkoituksena on leikata paperi-, kartonki- tai jalostuskoneelta tuleva täysleveä konerulla pituus- ja poikkisuunnassa pienemmiksi asiakasrulliksi. Samalla poistetaan mahdolliset viat, joista yleensä on merkintä konerullan päädyssä.

Pituusleikkaus on osa jälkikäsitteilyä, joten on syytä muistaa, että

- varsinainen lopputuote tehdään juuri viimeistelyssä
- viat ja erityisesti profiiliviat pitäisi korjata siellä missä ne syntyvät
- kallein hylky syntyy prosessin lopussa. (1.)

### 2.1 Pituusleikkurityypit

Pituusleikkurityypit jaetaan pääasiassa asiakasrullaa eli muuttoa kannattelevan telaston perusteella kantotela-, hihnakantotela- ja keskiöleikkureihin (Liite1: kuva 1). (1.)

**Kantotelaleikkurin** kiinnirullauksessa rulla pyörii kahden kantotelan kannattamana, ja muuton päällä on kuormitettu painotela. Kantotelat ovat usein vaakatasossa tai hiukan kallellaan. Tärinän vähentämiseksi ne ovat myös eri kokoiset. Ideaalisessa rullan rakenteessa ydin on rullattu melko tiukkaan liukumisen estämiseksi. (2.)

Modifioiduissa rullaimissa nipin maksimipainetta alentamaan on kehitetty leveämmät nipit (polymeeripinnoitus), alhaaltapäin paineilmakannatus rullalle, ja nippipaineen levitys kantohihnan avulla. Kantoteloilla nippipuristus ja rullausgeometria kasvaa rullan painon lisääntyessä kiinnirullauksen aikana. Kantoteloilla rullan ytimen ja kehän luona kerrokset pyrkivät tulemaan sopiviksi, mutta keskikerrokset tahtovat herkästi jäädä liian löysiksi. Tähän on syynä kantotelasysteemin geometria. Rullan kovuuden tulisi hiukan lineaarisesti laskea ytimestä kehälle päin. (3.)

Rullauksen aikana painotelalle pyritään tasaamaan nippipuristusta vähentämällä telan alaspäin kohdistamaa voimaa sitä mukaa kun rullan paino kasvaa. Suuren kiilavaikutuksen vuoksi tulee painotelan nippipuristuksen olla rullauksen alussa pieni varsinkin suurihalkaisijaisilla kantoteloilla. Rullausgeometria muuttuu nopeasti rullan kasvaessa, jolloin myös kiilavaikutus vähenee nopeasti. (3.)

Jotta kantotelojen puristusvaikutus saadaan pidettyä vakiona, tarvitaan painotelan nippipuristuksen lisäämistä. Jollei painotelan nippipuristusta alussa nosteta, syntyy löysä ydin. (3.)

Kantotelasysteemin värähtely on usein vakava asia, ja aiheuttaa epäkeskisesti rullattuja rullia (4). Suurin osa kartonkirullan synnyttämistä voimista on kone- ja pystysuuntaisia. Pahimpia värähtelymuotoja ovat pystysuuntaiset sekä keinuvat värähtelymuodot. (3.)

Rainan vedon parantamiseksi on kantotelojen pinnoissa yleisesti käytetty erilaisia urituksia, kuten spiraali ja chevron, sekä pinnoitteita, kuten kumi, polyuretaani, molybdeeni ja volframikarbidi, mutta nykyään on huomattu sileäpintaisen terästelan riittävän tarpeellisen vetokyvyn aikaansaamiseksi. Suurineliomassaisille kartongeille on käytetty chevron-urauksisia kantoteloja. Kartongeille on myös yleisesti käytetty spiraalikierteistä kantotelaa rainan tulosuunnan ensimmäisenä telana. Sen hyötynä on muun muassa rullan tiheyden kasvaminen nippipaineen kasvamisen myötä. (1.)

Kantotelaleikkurin hyviä puolia ovat seuraavat:

- Suuri ajonopeus, koska kolme nippiä estävät tehokkaasti ilman pääsyn rullaan.
- Rainan vienti ja reunanauhan poisto ovat yksinkertaisia toimenpiteitä.
- Suuri kiihtyvyys ja hidastuvuus, koska kahdella kantotelalla voidaan välittää suuria voimia. Toisaalta keskiökäytön kierrosluku tai rullaussylinterin suuren halkaisijan aiheuttama hitausvoima eivät ole rajoittavia tekijöitä.



- Muutonvaihto ja tampuurinvaihto on helppo automatisoida nopeiksi. Rainaa ei välttämättä tarvitse viedä kellarin kautta, ja lähes kaikki hylky syntyy hoitotason yläpuolella, mistä se on helppo saada pulperiin.
- Edellisistä johtuen suuri kapasiteetti ja pieni työvoiman tarve.
- Tarvittaessa saadaan kovat rullan pohjat, koska voidaan käyttää suurehkoja nippivoimia niiden tasaisen jakaantumisen takia. Näin voidaan myös halkaisijavaihtelua yhden rullan sisällä tasoittaa rullauksen alkuvaiheessa.
- Hylsulle ei tule suuria rasituksia, ja voidaan käyttää halvempia hylsyjä kuin keskiörollaimissa.
- Rullien fyysinen maksimihalkaisija voidaan saada suuremmaksi kuin keskiörollaimilla.
- Rullien leveysalue on laaja. Hyvin kapeat ja hyvin leveät rullat eivät tuota suurempia ongelmia. Trimmin vaihto on helppo automatisoida nopeaksi.
- Tehokkaan momenttieron ja suuren nippikuorman takia voidaan ajaa niin pienillä ajokireyksillä kuin rainan suorana pysyminen ja tehokas levitys sallivat.
- Investointikustannus on pienempi kuin muilla rollaimilla. (1.)

Kantotelaleikkurin huonoja puolia paperilajista riippumatta ovat seuraavat:

- Rullien ristiinmeno eli yhteenpunoutuminen huonon levityksen tai tärinän takia.
- Patapää eli rullien päätyjen kaareutuminen keskeltä ulospäin ja etenevästi reunaa kohti. Tämä johtuu yleensä liiallisesta ja vääränlaisesta rainan levityksestä.
- Pinnasta liian kovat rullat suurilla rullahalkaisijoilla rullan oman painon aiheuttaman nippipaineen nousun takia. Tämä aiheuttaa pintakerrosten liiallista venymistä, pussimaisuutta, kapeita pantoja, tähtikuvioitumaa eli säteitä, sekä rullan soikeutumista kuljetuksen aikana.
- Vaihteleva rullakovuus muuton rinnakkaisissa rullissa, koska painotela painaa eniten korkeimpia rullia.
- Vaaditaan sama hylsyn ulkohalkaisija rinnakkaisiin rulliin yhteisen painotelan takia.

- Suurikitkaisilla ja bulkkisilla papereilla ja kartongeilla esiintyy rullien heilumista, tärinää, ulostuloja sekä hylsyn epäkeskisyyttä. (1.)

Hyvän rullan aikaansaamiseksi käytetään nykyään automaattista radan kireyden, momentin sekä kantotelojen- ja painotelan nippipuristuksen säätöä. Lisäksi säätötekniikan rullausparametrit (radan kireys, rullausnopeus, momenttiero, rullan kovuus ja painotelan kuormitus) voidaan nähdä näytöltä tai tallentaa muistiin myöhempää käyttöä varten. (3.)

**Hihnakantotelaleikkuri** on kantotelaleikkurin kaltainen. Erona on vain kiinnirullauksessa rullan kannatuksen toisten telojen välillä pyörivä hihna maksiminippikuormitusta vähentämässä. Modifioiduissa kantotelaleikkureissa, joihin hihnakantotelaleikkuri kuuluu, on pyritty yhdistämään sekä kantotelaleikkureiden että keskiörollainten hyvät puolet. Useissa kohdissa näissä asioissa on onnistuttukin, mutta haitoiksi ovat edelleen jääneet seuraavat asiat:

- Menetelmä vaatii kaikkiin rulliin saman hylsyn ulkohalkaisijan.
- Ristiinmenoja ei voida välttää kokonaan.
- Tyypillistä patapäätä voi esiintyä.
- Rullien halkaisijaerot kasvavat kantotelaleikkuriin verrattuna, jolloin painotela jää kauas alimmista rullista. Rullat eivät tällöin ole riittävästi tuettuja, ja tärinälle herkillä papereilla voi tulla heilumista, tärinää ja ulostuloja. Tämän estämiseksi on kehitetty painotelasysteemi, jossa yksittäiset telat pystyvät mukautumaan rullien korkeusprofiiliin. (1.)

**Keskiöleikkurissa** rullaa kannatetaan kiinnirullauksessa pope-rullaimen tavoin sekä keskeltä että kehältä. Ongelmana on rullaan kohdistuvan nippipaineen ja rullan pohjan kuormituksen epätasainen jakauma. Rullain soveltuu varsinkin silloin, kun rullan halkaisija ja paperin tiheys on suuri ja paperin paksuus on pieni. (1.)

## 2.2 Pituusleikkausmenetelmät

Kartongin pituusleikkausta voidaan suorittaa mekaanisesti, laserilla ja korkeapaineisella vesisuihkulla. Mekaanisia pituusleikkaustapoja ovat tangeeraava saksileikkaus pyörivillä terillä, halkaisuleikkaus ja viiltoleikkaus (Liite 1: kuva 2). (5.) Näistä tangeeraava saksileikkaus on ollut eniten käytetty etenkin Euroopassa (6).

**Tangeeraavassa saksileikkauksessa** leikkaus tapahtuu pyöreiden moottorikäyttöisen yläterän ja alhaalla radan mukana pyörivän alaterän välillä. (5.)

**Halkaisuleikkauksessa** rainan leikkaus tapahtuu ylhäällä olevan teräpyörän ja alhaalla olevan alarummun välissä. Menetelmä on enimmäkseen käytössä USA:ssa. (6.) Halkaisuleikkauksen etuna on aseteltavien teräsuureiden vähyys. Sen on myös todettu tuottavan vähemmän pölyä kuin saksileikkauksen. (5.)

**Viiltoleikkauksessa** rainan leikkaus tapahtuu ylhäällä olevan veitsiterän ja alhaalla olevan uritetun alarummun välissä (5). Menetelmää ei juurikaan käytetä kartongin leikkauksessa, vaan sitä käytetään etupäässä ohuiden kalvojen leikkaamiseen (6).

**Ultraäänileikkauksen** ei todettu soveltuvan kotelokartongin leikkaukseen, vaan se on tullut kartonkiteollisuuteen yhdeksi uudeksi menetelmäksi (6).

**Vesisuihkuleikkauksessa** yli 400 MPa paineinen vesi johdetaan halkaisijaltaan 0,1–0,3 mm suuttimen läpi kohti leikattavaa materiaalia. Leikkausta on kokeiltu VTT:n toimesta voimapaperin ja aaltopahvin leikkaukseen. Aaltopahvin leikkauksessa on saavutettu 200 m/min leikkausnopeus, mutta leikkausjälki oli karvainen. Ongelmiksi osoittautuivat paineenmuuntimen lyhyt huoltoväli ja useamman päivän kestävä huolto sekä menetelmän työsuojelumielessä vaatimat suojaputkitukset. (7.)

Vesisuihkuleikkauksen leikkausjäljen on todettu riippuvan leikattavan materiaalin kulkunopeudesta, paksuudesta, tiheydestä, lämpötilasta ja kosteudesta sekä paranevan vesisuihkun painetta lisäämällä. Etuina ovat pölyttömyys, hiljainen leikkausääni sekä mahdollisuus automaattisiin säätöihin. (8.)

**Laserleikkaus** on ollut jo kauan tunnettu pölyttömyydestään. Kartonkiteollisuudessa sitä käytetään kuitenkin vain mallin leikkauksessa. Leikkausta on kokeiltu pituusleikkurilla vuonna 1974. Leikattaessa 400 W laserilla 330 g/m<sup>2</sup> kartonkia todettiin optimileikkauksenopeudeksi 120–155 m/min. Leikkausreuna todettiin laadultaan hyväksi ja pölyttömäksi ja sen värjäytyminen ruskeaksi pystyttiin estämään suojakaasun avulla. Suurimmat ongelmat olivat käyttöhenkilökunnan silmien suojaaminen lasersäteeltä ja ennen kaikkea palamisjätteiden synty ja poistaminen. Laserin käytöstä pituusleikkauksessa luovuttiin liian korkeiksi todettujen hankinta- ja käyttökustannusten takia. (9.)

### **2.3 Pituusleikkausterät**

Pituusleikkurilla raina leikataan yleensä pyörivillä teräpareilla, jolloin leikkautuminen tapahtuu pääasiassa murtamalla. Hyvän leikkaustuloksen saavuttaminen on tällöin melko vaikeaa. (2.)

Tangeeraavassa saksileikkauksessa käytetään sekä lautasmaisia että kuppimaisia alateriä. Kuppimaisten alaterien etuna on niiden antama parempi kannatus leikattavalle kartonkirainalle. Radan kannatuksen parantamiseen voidaan käyttää myös leikkauksessa mukana olemattomia alateriä. Rainan sivusuuntaisten jännitysten välttämiseksi kaikkien alaterien halkaisijoiden on oltava samansuuruisia. (6.)

#### **2.3.1 Terämateriaalit**

Pituusleikkausterien materiaali täytyisi valita leikattavan materiaalin mukaan. Useisiin pituusleikkaustapauksiin riittää terien materiaaliksi työkaluteräs.

Vaatimusten lisääntyessä on käytettävissä ollut myös ruostumattomat teräkset, seostetut teräkset ja karbidimetallit. (8.)

Tavallisin terien materiaali on ollut hiiliteräs. Joskus leikkauskärki on tehty eri materiaalista kuin terän runko. Leikkauskärjen materiaalina on yleisesti käytetty kromi-vanadiumseosta, jonka kromipitoisuuden nosto lisää terien kestoikää. Tällöin terien karkaisu kylläkin vaikeutuu, minkä vuoksi terien kehäalueet toisinaan kovakromataan teroituksen jälkeen. Paljon kromia sisältävistä materiaaleista voidaan mainita AISI D 2, joka sisältää 1,5 % hiiltä ja 12 % kromia. Tällainen terä on vaativa teroitukseltaan. (8.)

Pituusleikkausteriä voidaan myös pintakäsitellä nitrauksella, wolfram-plasmatekniikalla, kovakromauksella ja kovaniklauksella (8). Wolfram-plasmatekniikassa wolframia seostetaan kaasufaasista noin 2 % teräksen pintaan. Titaaninitridipinnoitus ei tuo oleellista etua työkaluterästeriin verrattuna. Kovakromaus puolestaan on erittäin kulumiskestävä, mutta leikkausteknisesti hyvän särmän valmistaminen on vaikeaa. Pinnoitetut terät jouduttaisiin lisäksi teroituksen yhteydessä pinnoittamaan uudelleen. (10.)

Parhaiten kulutusta kestävät kovametalli- ja keraamiset terät. Näiden materiaalien käytön vaikeutena on terän leikkaussärmän haureus, jolloin leikkaussärmään joudutaan hiomaan kapea tylsistys. Tämä tylsistys sopii ohuiden paperilaatujen leikkaamiseen, mutta kartongeilla se aiheuttaa leikkausnipissä suurta poikkisuuntaista venytystä lisäten pölyä ja jättäen huonon leikkausjäljen. On todettu, että yläterän leikkausreunan tulisi olla pehmeämpi ja alaterän leikkausreunan kovempi pienemmän kulumisen vuoksi. Yläterän leikkausreunan suositeltava kovuus on HRC 59–61 ja alaterän HRC 62–64. Titaanikarbideilla päästään jopa HRC 68–73 -kovuuksiin. Suuremmat terähalkaisijat vähentävät pölyävyyttä. (8.)

### 2.3.2 Terien tylsyminen

Yleisin syy pölyämiseen on tylsät terät, jolloin kartonki leikkautumisen sijasta repeytyy, ja kuituja ja hiukkasia irtoilee suuria määriä (4). Rainan leikkaaminen tylsillä terillä lisää aina pölyävyyttä (11).

Pituusleikkausterillä on kolme tylsymistapaa: mekaaninen, kemiallinen ja sähkökemiallinen tylsyminen. Kemiallisen ja sähkökemiallisen tylsymisen vaikutus on pieni. (6.)

Mekaanista tylsymistä tapahtuu terien välisessä keskinäisessä hankauksessa ja ohikulkevan rainan terän kärkeen kohdistamassa hankauksessa. Terien hankautuessa sivuvoiman vaikutuksesta toisiaan vasten leikkausreunat kuluvat asteittain niin, että pistemäinen kosketus muuttuu alueelliseksi kosketukseksi. Erityisesti mineraalipäällysteisen kartongin leikkaus pyöristää yläterän leikkauskärkeä. Yläterän tylsymistä voidaan vähentää käyttämällä mahdollisimman suurihalkaisijaisia teriä, kuitenkin huonontamatta terän stabiilisuutta. Terän tylsymistä vähentää myös hienojakoisten terämateriaalien käyttö. (6.)

Liian suuri sivuvoima ja aurauskulma kuluttavat terät nopeasti. Aurauskulman suurentaminen lisää yläterän ja yläterän puoleisen osarainan hankautumista toisiaan vasten aiheuttaen lisääntyvää pölyämistä. Yläterän puoleisen rainan reunan hankauksen minimointiin päästään pienillä leikkaus- ja aurauskulmilla, jolloin pölyävyys vähenee. Alaterän leikkaussärmässä ei saa olla pyöristymistä, vaan sen on oltava terävä. (11.)

### 2.3.3 Terien teroitus

Pituusleikkausterien teroitus suoritetaan joko kuiva- tai märkähiontana, joista märkähionta on yleisin. Terien kieroutumisen estämiseksi on teriä hiottaessa varmistettava, ettei terä kuumene liikaa. (8.) Yläterä hiotaan tavallisesti viistoa sivua hiomalla. Alaterä hiotaan aksiaalisuunnasta terien pyöriessä omissa pitimissään. (12.) Teroituksen aikana ei saa olla minkäänlaisia värähtelyitä

spiraalimaisesti terän kehältä ulos menevien hiontajälkien välttämiseksi. Hiontajälkien tulee kulkea terän tangentin suuntaisesti. (6.)

Terien terävänä pysymiseksi on kehitetty myös itseteroittuvia teriä. Vuonna 1966 kehitetyn teräparin yläterän ja alaterän välillä ei ollut aurauskulmaa, jolloin terät pyöriessään teroittivat toisiaan limitetyltä alueelta. Näitä teriä käytettiin erityisesti Kanadassa sanomalehtipaperin leikkauksessa, mutta käyttö lopetettiin kipinöinnin aiheuttamien tulipalojen takia. Itseteroittuvien terien toisiaan koskettavien pintojen kuluminen täytyy olla nopeampaa kuin kartonkirainan kuluttava vaikutus. (12.)

### **2.3.4 Terien asennus ja teräheitot**

Terien asennuksesta tai terien kieroudesta johtuvat teräheitot ovat eräs suuri pölyämisen syy. Terien asennus on tehtävä suurta huolellisuutta noudattaen, ja terän ja teräpitimen väli on muistettava puhdistaa kaikista roskista terän oikeaan asentoon asettumiseksi. Jos yläterän halkaisija on teroituksissa kulunut hyvin pieneksi, on terä poistettava käytöstä, koska leikkauspisteen oikean paikan pitämiseksi olisi limitystä huomattavasti lisättävä, jolloin taas pölyäminen lisääntyy huomattavasti. (4.)

Rullan päihin tulevat "vuosirenkaat" kertovat monesti myös pölyämisestä, sillä yksi tällaisten renkaiden syy on alaterän sivuttaisheitto, joka ei saisi ylittää 0,05 mm. (13). Kuvassa 3 (Liite 2: kuva 3) on esitetty rullan reunan muotoutuminen, kun alaterässä on sivuttaisheittoa. Rullan pään muoto riippuu siitä, miten alaterän sivuttaisheittojen maksimien väli sopii kiinnirullattavan rullan kehän pituuteen ja siten myös rullan halkaisijaan. Renkaita sormin koskettaessa havaitaan osa renkaista kuperiksi ja osa koveriksi. Erityisesti suurissa nopeuksissa alaterien sivuttaisheitot aiheuttavat pölyämistä. Sivupaineen ollessa riittämätön saattavat terät välillä erkaantua toisistaan, kuituja pääsee terien väliin ja leikkaus on repivää ja pölyävää. Alaterien sivuttaisheittojen välttämiseksi olisi terien teroituksen oltava värähtelemätön, ja terät olisi hyvä teroittaa kiinnitettynä akseleihinsa. On myös syytä tarkistaa, että teräakselit ovat suorina ja laakerit sopivan tiukkoja. (6.)

Sivuttaisheittojen lisäksi on valvottava myös terien säteittäisheittoja, koska ne vaikuttavat leikkauspisteen sijaintiin terien pyörähdyksen aikana. Säteittäisheittoja voidaan vähentää samalla tavalla kuin sivuttaisheittojakin. Yläterien laakereiden tiukkuuden pitää olla sellainen, että terä pyörii herkästi alaterän vetämänä terien kosketuskohdassa esiintyvän luiston minimoimiseksi. (12.)

Teräparin pyöriessä siihen saattaa syntyä terävärähtelyitä joko ulkoisesti rullauksesta tai sisäisesti teristä itsestään (14). Sisäisesti syntyneet värähtelyt ovat poistettavissa edellä kerrotuilla tavoilla. Ulkoisesti syntyneet värähtelyt johtuvat siitä, että teräaseman perustus ei ole riittävän hyvä, ja se tulisi eristää muusta leikkurista. Teräasemien värähtelyitä vähentää myös teränpitimien massan lisäys. Rullattavien rullien ja pyörivien telojen epäpyöreys ja epätasapainoisuus herättää helposti teräasemien värähtelyn kierroslukujensa mukaisilla taajuusalueilla. Näitä värähtelyitä voidaan vähentää telojen tasapainotuksella ja aukirullattavien rullien laadusta huolehtimalla. Samoin on kiinnirullauksessa esiintyvien jännitysten oltava hallinnassa. Terien asennuksen jälkeen on tarkistettava kaikkien terien sivuvoimat, aurauskulmat ja limitykset. Limitys ja aurauskulma voidaan tarkistaa kuvassa 4 (Liite 3: kuva 4) esitetyn esimerkin mukaisesti. Limitys mitataan työntömitalla ja aurauskulma rakotulkilla. 1,5 mm limityksellä ja 0,25 ° aurauskulmalla terien kehien leikkauspisteiden väli on 23 mm, ja terien kehien erkanema toisistaan jättöpuolen leikkauspisteessä 0,1 mm, yläterän halkaisijan ollessa 190 mm ja alaterän 250 mm. (6.)

### **2.3.5 Teräkulmat**

Tangeeraavaan saksileikkaukseen liittyviä teräsuureita on esitetty kuvassa 5 (Liite 4: kuva 5) (8). Kuvassa esiintyvien suureiden lisäksi saksileikkaukseen liittyy myös kitakulma, sivuvoima, aurauskulma, yläterän kallistus, nopeusero, alaterän korko ja terien vaiheistus. (6.)

Pituusleikkausteriä voidaan erottaa kahta eri tyyppiä: lautas- ja kuppiterät. Kuppiterissä teroituskulma on 85 - 90 ° ja lautasterissä 25 - 45 °. Kuppimaisissa alaterissä voidaan käyttää myös tasoituskulmaa, jolloin aurauskulman säätö on



suoritettava tarkasti. Edullisinta on käyttää niin pientä teroituskulmaa kuin mahdollista. (8.)

Leikattaessa  $300 \text{ g/m}^2$  kotelokartonkia  $120 \text{ m/min}$  ajonopeudella kasvoi pölyävyys terien takana noin 30 % teroituskulman kasvaessa  $10^\circ$ . Samalla myös leikkausjälki huononi. Pieniä teroituskulmia käytettäessä on otettava huomioon terien leikkausreunojen murtumisherkyys. Teroituskulman suurentaminen lisää radan poikkisuuntaista venymää aiheuttaen repeytyneitä kuituja, mikä lisää pölyämistä. (4.)

Teroituskulmia hiottaessa tulee teroituksessa syntyneet hiontajäysteet hioa lopuksi pois hienolla hiomakivellä. (6.)

Kartongeilla yläterän leikkauskulma saa olla korkeintaan  $30^\circ$  astetta (4).

Terien välistä jännityskonsentraatiota terien kosketuskohdassa pyritään joissain leikkureissa pienentämään kallistamalla yläterän pyörimisakselia pystysuunnassa alaterään nähden. Vastaavat edut voidaan saavuttaa myös sopivilla terien geometrioilla, esimerkiksi  $1 - 5^\circ$  vapaalla kulmalla. (6.)

Aurauskulma on yläterän ja alaterän akseleiden välinen kulma katsottaessa kohtisuorasti radan tasoa vasten. Aurauskulma on positiivinen, jos terien leikkausreunat koskettavat toisiaan radan tulopuolella. Yleissääntönä voidaan sanoa, että aurauskulma täytyy olla niin pieni, että terät vielä leikkaavat kunnolla sopivaa sivuvoimaa käytettäessä. Liian suuri sivuvoima ja aurauskulma kuluttavat terät nopeasti. Aurauskulman suurentaminen lisää yläterän ja alaterän puoleisen osarainan hankautumista toisiaan vasten aiheuttaen pölyämisen kasvamista. (6.)

Sopiva aurauskulma on  $0,1^\circ$  (5). Aurauskulman asennus leikkuriin kiinteäksi parametriksi vähentää terien vaihtojen jälkeisiä aurauskulmavirheitä (3).

Pituusleikkausterien muodostama kitakulma on leikkauspisteen kautta kulkevien ylä- ja alaterien tangenttien välinen kulma. Kitakulmaan vaikuttavat limitys ja

terien halkaisijat. Kitakulma vaikuttaa leikattavan materiaalin leikkausvastuksen arvoon. Suurilla terähalkaisijoilla ja pienellä limityksellä saavutetaan pieni kitakulma ja leikkausvastuksen arvo. (6.) Suuremmat terähalkaisijat vähentävät myös pölyävyyttä (4).

### **2.3.6 Terien limitys ja sivuvoima**

Limitys on pölyämisen kannalta tärkeä parametri, jolla järjestetään terien välinen kosketus terien särmien leikkauskohtaan sivuvoiman avulla. Limitys saadaan tarkimmin mitattua mittaamalla terien välinen yhteinen segmentti (Liite 3: kuva 4). (6.)

Limityksen suurentaminen lisää radan sivuttaisvenymää ja pölyämistä (4).

Limityksen kasvattaminen lisää myös yläterän ja yläterän puoleisen osarainan välistä hankausta kasvattaen pölyämistä. Jos teroituksissa halkaisijaltaan pienentyneen terän tapauksessa halutaan pitää leikkauspiste oikeassa paikassa, on limitystä lisättävä, jolloin myös pölyäminen lisääntyy. (6.) Sopivin limitys on mahdollisimman vähäinen (1 - 1,5 mm), jättäen kuitenkin pieni marginaali terien päällekkäin hyppäämisen ehkäisemiseksi. (8.)

Sivuvoiman täytyy olla kompromissi hyvän turvallisen leikkauksen ja terän kulumisnopeuden välillä, sillä sivuvoiman kasvattaminen lisää terien kulumista. Riittävä sivuvoima on sellainen, että terät pysyvät leikkauspisteessä toisissaan kiinni koko leikkauksen ajan, myös teräheittojen tapauksessa, eikä paperikuituja pääse tunkeutumaan terien väliin. (6.)

### **2.3.7 Nopeusero**

Nopeuserolla tarkoitetaan rainan ja alaterän kehänopeuden välistä eroa. Yleensä alaterää pyöritetään enintään 10 % ratanopeutta suuremmalla nopeudella, jotta yläterän kehänopeus radan tasolla olisi vähintään samansuuruinen radan nopeuden kanssa. Tällöin alaterän vaikutus rataa on vetävä. Yläterän nopeus riippuu ala- ja yläterän halkaisijasta sekä limityksestä. Alle 10 % nopeusero ei vaikuta pölyämiseen. (6.)

## 2.4 Rainan kulku leikkauskitaan

Pituusleikkauksessa on todettu rainan tulon leikkauskitaan olevan tärkeä pölyämisen kannalta. Rainan tulosuunnan tulisi olla suoraan leikkauskitaan nähden. Raina ei saa liikkua sivusuunnassa eikä kulkea löysällä muodostaen aaltoja tai lepattaen. Juuri ennen halkileikkuuteriä muodostuu muuten tilanteita, jolloin alaterä ei tue rainaa, vaan raina leikkautuu ilmassa pelkästään yläterää vasten. Kaikki leikkaukseen osallistumattomat kuppimaiset terät tulee sijoittaa rainan alle tukemaan sitä. Terien vaiheistus on ylä- ja alaterän pyörimiskeskusteiden kautta radalle piirrettyjen normaalien välinen etäisyys. (5.)

Raina ei saa koskea lautasmaista yläterää ennen saapumistaan leikkausnippiin. Niin tapahtuessa terä aiheuttaa rainaan poikkisuuntaista venytystä, repeytymistä ja pölyämisen lisääntymistä noin 40 %. Leikkaustapahtuma on tällöin tukemattoman rainan viiltoleikkausta kiilamaisella terällä. (8.)

Muutettaessa raina koskemaan kuppimaiseen alaterään ennen saapumistaan leikkausnippiin, vähenee pölyäminen noin 10 % johtuen radan stabiloitumisesta ennen leikkausnippiä. Jos sekä ylä- että alaterä ovat lautasmaiset, rainan tulo suoraan leikkauskitaan on erittäin tärkeää. (8.)

Käytettäessä yhtenäisen alaterätukin sijaan yksittäisajettuja alateriä, vähenee rainan saama tuki alateriltä ja radan stabiilisuus heikkenee. Radan stabiloimiseksi olisi syytä sijoittaa kaikki leikkaukseen osallistumattomat kuppimaiset alaterät rainan alle tukemaan rataa. (5.) Tehtaan edustajan mukaan käytäntö on kuitenkin osoittanut, että erityisesti muovipäälystetyillä kartongeilla pinnan naarmuuntumisriski kasvaa aina tukevien terien ollessa käytössä. Tämä naarmuuntuminen tuo myös aina lisää pölyä tuotteeseen, joten kokonaisuuden kannalta teriä ei ole tarkoituksenmukaista käyttää radan tukemiseen.

Rainan tulon terille voidaan vaikuttaa alaterän korolla, joka on matka, jonka alaterän kehä nousee teräpöydän muodostaman tason yli. Tällä korolla voidaan

aikaansaada radan kulku alaterän kehää pitkin ennen leikkausnippiin tuloa. (15.)

Reunanauhan kulun ohjausta parantamalla myös pölyäminen vähenee. Reunanauha ei saa erota liikaa radan kulkusuunnasta. On todettu, että reunanauhojen vienti leikkausnipistä lähtien liian jyrkästi ylöspäin ja reunanauhaimureiden imun aiheuttama reunanauhan lepatus sekä nykiminen saavat aikaan kolminkertaisen pölymittauslukeman keskiteriin verrattuna. (6.)

## **2.5 Levityslaitteet**

Jokaisessa kantotelaleikkurissa tarvitaan levityslaitteet leikkausterien ja ensimmäisen kantotelan välissä estämään leikkausreunojen päällekkäinmeno kiinnirullauksessa. Joissain leikkureissa käytetään myös toista levityslaitetta pituusleikkausterien edessä parantamaan radan poikkisuuntaista kireysprofiilia ja varmistamaan leikattujen rullien oikea leveys. (3.)

Tavallisin levityslaitte on ollut lähelle ensimmäistä kantotelaa asennettu D-parru, joka on ollut erittäin tehokas levittäjä. D-parrun huonona puolena on ollut pölyn ja nukan synnyttäminen, mitä on torjuttu kannattamalla rataa parrun kohdalta ilmasuihkujen avulla. Nykyään käytetään myös bombeerattuja (kaareva kumi, teräspinta) teloja sekä rullia. (3.)

## **2.6 Rullaus**

Aukirullattavan rullan huono kunto voi aiheuttaa radan poikkisuuntaista huojumista ja jännitysvaihteluita terillä, mistä syntyy runsaasti pölyämistä. Aukirullauksessa tapahtuvat poikkisuuntaiset huojumiset johtuvat aukirullattavan rullan löysästä ytimestä (rullan poikkisuuntaiset siirtymät aukirullauksessa), rullan teleskooppimaisuudesta (näkyä rullan pään koveruutena tai kuperuutena), ulostyöntymistä rullan päästä ja rullan vinoudesta (vinot päädyt). (6.)

Löysä ydin johtuu liian pienestä painotelan puristuksesta, huonosta radan kireydestä, ja kantotelojen väärästä kuormituksesta rullan taholta. Rullan pään kovertumisen syynä on riittämätön radan kireys, painotelan puristuksen keventyminen, suuret paksuusvaihtelut ja löysä ydin. Ulostyöntymien syynä on riittämätön radan kireys, aukirullauksen oskillointi, löysät liukummat, nopea kiihdytys, muuttuva radan kireys rullauksen keskellä, epäfunktio kireyden ohjauksessa, äkkinäiset muutokset painotelan puristuksessa ja mekaaniset epäsuoruudet. Teleskooppimaisuuden syynä on rullassa oleva liian pieni säteensuuntainen puristus. Rullan vinouden syynä voi olla käsittelyvaurio. Radan poikkisuuntaiset heilahtelut terillä aiheuttavat osarainojen reunojen poimuuntumista teriä vasten huonontaen leikkausjälkeä ja lisäksi pölyämistä. (13.)

Aukirullauksessa syntyneiden jännitysvaihteluiden syinä ovat useimmiten epäpyöreät ja epäkeskiset rullat, jotka voivat lisäksi aiheuttaa aukirullaussysteemin värähtelyn, jonka suuruus riippuu perustuksen lujuudesta ja massasta. Aukirullauksen värähtelyt voivat herättää teräasemien värähtelyn. Jos aukirullauspukki värähtelee, niin värähtely siirtyy myös kartonkirainaan aukirullaustangentin vuoksi (Liite 4: kuva 6). Tällöin rullain eri osien kireydet vaihtelevat samalla taajuudella. Rullan epäkeskisyys taas aiheuttaa kuvan 7 (Liite 5: kuva 7) mukaista kartongin nopeuden vaihtelua värähtelytaajuudella. Molemmat edellä kerrotut värähtelymuodot aiheuttavat lepatusta leikkausterillä ja runsasta pölyämistä. (6.)

Kiinnirullauksessa syntyvän rullan laatu on tärkeä seikka myöhemmän radan kulun stabiiliuden kannalta. Tässä tarkastellaan vain kantoteloilla tapahtuvaa kiinnirullausta, koska se on yleisin pituusleikkurityyppi Suomessa. (6.)

Ideaalisessa rullan rakenteessa ydin on rullattu melko tiukkaan liukumisten estämiseksi aukirullauksessa (3). Rullan kovuuden tulisi hiukan laskea lähes lineaarisesti ytimestä kehälle päin. Kantotelaleikkureiden geometrian takia rullan keskikerrokset pyrkivät helposti tulemaan liian löysiksi siten, että ytimen ja kehän luona kerrokset ovat sopivia. Kantotelaleikkurilla nippipuristus ei pysy

vakiona, vaan kasvaa rullan painon lisääntyessä rullauksen aikana ja rullausgeometria muuttuu jatkuvasti rullan koon kasvaessa (Liite 5: kuva 8). (6.)

Rullan päällä olevalla painotelalla pyritään säätämään nippipuristusta pienentämällä painotelan alaspäin kohdistamaa voimaa sitä mukaa, kun rullan paino kasvaa. Aivan alussa tarvitaan pieni painotelan nippipuristus suuren kiilavaikutuksen vuoksi, erityisesti suurihalkaisijaisten kantotelojen tapauksessa (Liite 5: kuva 8). Muuten ytimen ollessa pieni kantotelojen nippipuristus saattaa kasvaa liian suureksi. Rullan kasvaessa ytimestä rullausgeometria muuttuu nopeasti ja kiilavaikutus vähenee nopeasti. Tällöin vaaditaan painotelan nippipuristuksen lisäämistä kantotelojen puristusvaikutuksen pitämiseksi lähes vakiona. Jos painotelan puristus ei alussa kasva, syntyy löysä ydin. Rullan painon aiheuttama kantotelapuristus kasvaa suunnilleen rullan halkaisijan neliössä vaatien painotelan puristuksen vähentämistä samassa suhteessa, ettei rullaan synny ulompiin kerroksiin liiallisia kireyksiä. Sopiva painotelan nipin puristuskäyrä on esitetty kuvassa 9 (Liite 5: kuva 9). Pienihalkaisijaisia kantoteloja käytettäessä on momenttierolla tärkeä merkitys rullauksessa lähellä ydintä, koska kiilavaikutus on silloin pieni. (6.)

Kantoteloissa on käytetty erilaisia urauksia ja pinnoitteita parantamaan rullan vetoa. Vuosia sitten oli käytössä chevron-uraus, joka toimi hyvin urien reunojen tylsymiseen saakka. Myöhemmin on todettu sileäpintaisen terästelan antavan riittävän vetokyvyn, joten chevron-uraukset ovat poistuneet leikkureista, lukuunottamatta leikkureita, joilla leikataan hyvin suurineliömassaisia kartonkeja. Toinen yleinen pitkään käytetty uraus on spiraalikierteinen uraus. Tätä urausta käytetään tavallisimmin kartongin tulosuunnassa ensimmäisellä kantotelalla. Spiraalikierteisen urauksen hyötynä voidaan mainita rullan tiheyden kasvaminen nippipaineen kasvamisen myötä. Suurta vetokykyä tarvittaessa voidaan tela päällystää kumilla tai polyuretaanilla. Pinta voidaan myös ensin karhentaa ja päällystää sen jälkeen molybdeenillä tai volframikarbidilla. (6.)

Kiinnirullaukseen tulevalle rullalle joudutaan ylläpitämään jännitystä mekaanisella aukirullauspukkiin rakennetulla kitkajarrulla tai aukirullattavan

rullan pyöritysmoottorin jarrutuksella. Radan kireys voidaan mitata esim. ohjaustelan päiden alle asennetulla voima-anturilla. Voima-anturi antaa tarkan kireystiedon vain sen telan kohdalla, missä voimaa mitataan. Jos leikkurissa on muita radan ohjausteloja, on näiden kehänopeuksien oltava tarkalleen yhtä suuri kuin rainan nopeus, jotta kireys olisi sama rainan muissakin pisteissä. Näitten telojen ohjaamiseen voidaan käyttää moottoreita. Jos ohjaustelat ovat massiivisia, ei välttämättä pystytä suurten hitausmomenttien ansiosta pitämään telojen kehänopeutta samana rainan nopeuden kanssa. Tästä seuraa rainaan kireystransientteja. Näiden poistamiseksi on leikkureita varten ryhdytty kehittämään alumiiniteloja. Paras kireyden säätösystemi on sellainen, missä aukirullausmoottoria ja telojen moottoreita ohjataan samanaikaisesti. (6.)

Kantotelasysteemin värähtely on usein vakava asia, joka rajoittaa leikkausnopeutta ja aiheuttaa epäkeskisesti rullattuja rullia. (14.)

Kantotelojen päällä syntyvä epäkesko liike saattaa synnyttää tonnien herätevoiman. Värähtelyn riittävät saamaan aikaan jo 0,5 mm suuriset halkaisijan suuntaiset poikkeamat. On huomattu, että leveillä leikkureilla esiintyy valmistajasta, leikkurin raamista ja perustuksesta riippumatta useita resonansseja taajuusalueella 0-30 Hz. Muutokset suunnittelussa saattavat vähentää resonanssien lukumäärää ja voimakkuutta, mutta rullien pehmeystä johtuen ei kaikkia resonansseja pystytä poistamaan. Onneksi kaikki resonanssit eivät ole helposti herätettävissä. Voimakkaan resonanssin synnyttämiseksi voimafunktion on oltava kyllin suuri ja suuntautunut jonkin leikkurissa mahdollisen värähtelymuodon suuntaisesti ja paikallistunut johonkin vastasolmuun. Koska suurin osa kartonkirullan synnyttämistä voimista on suuntautunut pysty- ja konesuuntaan, ovat poikkisuuntaiset värähtelymuodot harvinaisia. Pahimpia rullaussysteemin värähtelymuotoja ovat pystysuuntaiset ja keinuvat värähtelymuodot (esim. rulla hyppii kantotelalta toiselle). Kyseisiä värähtelyitä voidaan vähentää perustuksen massiivisuudella ja jäykkyydellä. (6.)

Hyvän rullan saamiseksi käytetään nykyään automaattista radan kireyden (jarru), kantotelojen ja painotelan nippipuristuksen, ja momenttieron säätöä. Uusimmassa säätötekniikassa rullausparametrit (rullausnopeus, momenttiero,

radan kireys ja painotelan kuormitus) monitoroidaan näytölle rullan halkaisijan funktiona. (16.)

Rullan kovuus tulostetaan laskennallisena halkaisijan funktiona. Edellä mainitut käyrät voidaan tallentaa tietokoneen muistiin, jolloin niitä voidaan myöhemmin käyttää hyväksi laatukohtaisina parametrikäyriä samoja laatuja ajettaessa. Leikkurin monitoriin piirtyvät silloin samanaikaisesti sen hetkiset todelliset ja asetetut parametrikäyrät. Vaikeitten kartonkilaatujen leikkauksessa, erityisesti vikatapauksissa, voi myös olla hyötyä niiden leikkauksen aikana tulostetuista käyristä. (6.)

## **3 PÖLY**

### **3.1 Pölyn synty**

Leikattaessa kartonkia halki tullaan ensin repeytymistasolle, minkä jälkeen alkaa repeytymisvaihe. Repeytymistä tapahtuu siksi, että yläterä, erityisesti suuren leikkauskulman omaava terä, venyttää rataa yläterän puolelta sivulle päin. Samanlaista venymistä tapahtuu myös yläterän ollessa tylsä. Repeytymisvaiheen jälkeen leikkausreunasta esiin pistävät kuidut terä katkaisee myöhemmin muodostaen pölyä. Leikkausreunaan jää myös kevyesti roikkumaan epätäydellisesti repeytyneitä ja leikkautuneita kuituja, jotka saattavat irrota pienestäkin syystä, kuten painokoneen puristusnipin voiman vaikutuksesta. (8.)

Huonosti kuituihin sitoutuneet täyteaineet saattavat irrota leikkauksessa, mikäli kartonkiradan kulku on epästabiilia ja tärisevää. Päälylystettyä kotelokarttonkia leikattaessa päälylyste saattaa murtua leikkauskohdalta ja aiheuttaa hienojakoista pölyä. (6.)



### 3.2 Staattinen sähkö

Pöly on kiinnittynyt kartongin pintaan elektrostaattisten voimien ja molekylaaristen voimien avulla. Pölyävyyden kannalta elektrostaattinen voima on näistä merkittävin. Staattista sähköä syntyy kahden sähköstaattiselta potentiaaliltaan erilaisen materiaalin hangatessa toisiaan ja joutuessaan sen jälkeen äkkiä eroon toisistaan. Staattisen sähkön synnylle on lisäksi välttämätöntä, että ainakin toinen materiaaleista on eriste (esim. kuiva kartonki). Tällöin hankauksessa materiaalien pintoihin syntyneet varaukset eivät ehdi siirtyä takaisin pintojen irtoamishetkellä. Kriittisimpiä staattisen sähkön syntyä paikkoja ovat auki- ja kiinnirullaus, erilaiset johtotelat, levitystelat, arkkien syöttö palleteihin ja arkkien otto palleteista. (6.)

Staattista sähköä voidaan poistaa tai sen syntyä ehkäistä seuraavasti:

- Käytetään sellaisia teloja ja kartonkilajeja, joiden potentiaaliero on pieni.
- Kartongin irtoamisnopeus teloista pyritään saamaan mahdollisimman pieneksi.
- Kosketuspinnan suurenemisen takia on hyvä välttää sekä sileitä että kokoonpuristuvia kartonkeja ja teloja (ristiriitainen vaatimus painojäljen kannalta).
- Valitaan kartongin ja telojen materiaalit siten, että niiden välinen kitka on mahdollisimman pieni.
- Käytetään mahdollisimman pientä kartonkirainan jännitystä (ristiriitainen vaatimus pölyämisen kannalta).
- Estetään kartongin ja telojen hankautuminen toisiaan vasten.
- Yritetään saada kartonki mahdollisimman hyvin sähköä johtavaksi kosteuspitoisuuden noston tai kemikaalien avulla.
- Maadoitetaan telat mahdollisimman hyvin.
- Valitaan telojen materiaalit siten, että ne olisivat mahdollisimman hyvin sähköä johtavia.
- Käytetään ionisaattoreita ym. staattisen sähkö poistolaitteita. (6.)

Painokoneella staattinen sähkö on pölyn kannalta eduksi, koska se sitoo pölyn kiinni kartonkiin vähentäen siten pölyn joutumista offsettelalle. Toisaalta painokoneen ajettavuuden kannalta staattisesta sähköstä on haittaa. (6.)

Pöly on staattisen sähkön vaikutuksesta erittäin lujasti rainan pinnassa kiinni (2). Kartongin ja ympäröivän ilman kosteuden on todettu vaikuttavan suuresti staattisen sähkön määrään (17). Kosteuden on todettu lämpötilan ohella vaikuttavan myös rullaan syntyneen staattisen sähkön vähenemisnopeuteen rullan säilytyksessä (18). Fosforipentoksidia sisältävän kipsin on todettu alentavan selvästi jälkikäsitteilylaitteilla syntyvän staattisen sähkön määrää (19).

### **3.3 Pölyn poisto**

Pituusleikkauksessa syntynyttä pölyä voidaan poistaa harjauksella, staattisen sähkön poistolla, imulla, puhalluksella ja ultraäänellä. Imua voidaan käyttää muulla tavalla irrotetun (esim. harjaus tai puhallus) pölyn poiskuljettamiseen tai itse leikkauksessa irtoavan pölyn sieppaamiseen ja poiskuljettamiseen. Ionisaattoria käytetään kartongin pintaan kiinnittyneiden pölyhiukkasten sähkövarausten purkamiseen, jotta ne voidaan jollain toisella tavalla (esim. puhallus) helposti irrottaa ja kuljettaa imun avulla pois. Harjausta ja puhallusta käytetään pölyn irrottamiseen kartongin pinnalta. Harjauksella voidaan lisäksi irrottaa kartonkiarkkien reunoissa kevyesti kiinni olevat kuidut ja rikkoutuneet päällysteainepartikkelit. (6.)

Pölyä poistavat laitteet voidaan jakaa teräkohtaisiin laitteisiin sekä radan poikki kulkeviin imu- ja puhalluslaatikoihin. Laitteiden keskinäistä paremmuutta on vaikea mitata, mutta molemmat vaativat toimiakseen tarkan esisäädön, sekä molemmin puolin rataa. Teräkohtaisilla pölynpoistolaitteilla pyritään poistamaan leikkauspölyä jo ilmasta ennen kuin se ehtii laskeutua takaisin kartonkiarkille ja tarttua siihen sähköstaattisin voimin. Imusuuttimista tärkein on rainan alapuolelle sijoitettu suutin. Yläterälle sijoitettu suutin tulee tärkeäksi, kun terien kunto on huono. (8.)

Koko radan peittävät pölynpoistolaitteet joudutaan useimmiten asentamaan kauemmas teristä niiden suuremman tilantarpeen takia. Muodostuneesta pölystä ei pystytä pölynpoistolaitteillakaan poistamaan kaikkea pölyä, mutta määrää voidaan selvästi vähentää. Pölynpoistolaitteet eivät vaikuta terien käyttöikään, joten huono leikkausjälki vaatii välittömiä toimenpiteitä pölynpoistolaitteistosta huolimatta. (5.)

Täysin pölyttömään leikkaukseen ei nykyteknologialla päästä koskaan, mutta sopivia terämateriaaleja, teriä ja oikeita säätöarvoja käyttämällä pyritään pidentämään terien käyttöikää sekä päästään kuitenkin hyvin puhtaaseen leikkausjälkeen. Leikkurin hoitaja pystyy myös huolellisella terien käsittelyllä ja asiantuntevalla terien käytöllä vaikuttamaan sekä terien käyttöikään että leikkujäljen laatuun. Kun terien asettelussa ja terissä ei ole vikaa ja leikkujälki on edelleen huono, voidaan olettaa, että vika löytyy koneen rakenteellisista säädöistä tai mekaanisista vioista. (5.)

Ultraäänellä voidaan myös irrottaa pölypartikkeleita rainan pinnalta. Ultraäänellä synnytetään rataa väristävä voimavaikutus, joka irrottaa pinnasta irtopölyn. Irronnut pöly voidaan poistaa esimerkiksi imulla. (2.)

### **3.4 Pölyn mittaus**

Paperin pölyävyuden arvioimiseksi on olemassa vakuumiin, hankaukseen, sekä mekaaniseen ja kemialliseen pintalujuuden rasittamiseen perustuvia mittausmenetelmiä. Pintalujuus on yksi pinnan sitoutuneisuuden mitta, ja sitä kuvataan yleisimmin IGT-, Prüfbau-, Taber- tai Dennison-pintalujuusmenetelmin. Menetelmien hyvyttä pölyävyuden mittaamiseen on vaikea todentaa, ja siksi onkin syytä prosessikohtaisesti tutkia menetelmien käytettävyys kuhunkin käyttötarkoitukseen. (20.)

Kentälle soveltuvia pölyn mittaustapoja ovat laahausmittaus samettikankaan avulla, offsettelan stroboskooppinen valokuvaus ja pölynirroituspeipit painokoneella, kumitelamenetelmä ja pölyn imeminen samettisuodattimelle.

Laboratorioon soveltuvia pölymittareita ovat Fogran, Piran ja IGT:n mittauslaitteet. (8.)

Laahausmenetelmässä metalliseen kehykseen kiinnitetyn samettipalan annetaan omalla painollaan nojata liikkuvaan kartonkirainaan. Tietyissä mittausajassa samettikankaaseen tarttunut pöly mitataan sitten punnitsemalla, visuaalisesti tai Elrepholla. (6.)

Kumitelamenetelmässä viedään kartonkiraina kahden telan välistä, joista ainakin toinen on päällystetty offsetkumilla. Painokoneen nippipuristusta pyritään jäljittelemään säätämällä telojen välille painokonetta vastaava puristus. Pölymäärää seurataan telalta jatkuvasti optisin menetelmin (esim. stroboskooppisella valokuvauksella). (6.)

Pölyn samettikankaalle imeminen on edellä mainituista menetelmistä parhaiten leikkurille soveltuva mittaustapa (Liite 6: kuva 10). Laitteisto käsittää imurin, viirakangaspalan suodattimen kiinnitystä varten ja imusuuttimen. Imusuuttimen pohjassa on kartonkiradan pinnan suuntainen levy, jonka tarkoituksena on muodostaa levyn ja rainan väliseen rakoön (n. 4 mm) suuri ilmavirtaus imutehon lisäämiseksi. Samanlaista suutinta voidaan käyttää myös pölynpoistoon. Putkessa olevalla ilmavirrassa vapaasti pyörivällä potkurilla pyritään tasoittamaan samettikankaalle muodostuvaa pölyjakautumaa. Pöly voidaan mitata samettisuodattimelta visuaalisesti tai Elrepholla. Parhaiten pölyn mittaus onnistuu vertaamalla kerättyä pölynäytettä vertailuskaalaan, joka on tehty imemällä tunnettuja punnitsemalla määritettyjä pölynäytteitä mittauslaitteiston läpi. (6.)

Fogran laboratoriolaitteessa kartonkiarkkia liikutellaan edestakaisin poikkisuuntaan liikkuvan suukappaleen alla. Suukappaleen kautta imettävä ilma painaa arkkia kevyesti suukappaletta vasten irrottaen näin myös pintaan heikosti kiinnittyneitä kuituja. Imuilma kuljettaa pölyn mustalle suodatinkankaalle pölymäärän analysointia varten. (6.)

Piran laboratoriomenetelmässä näytearki ajetaan kahden telan välistä, joista ylempi on päällystetty offsetkumilla. Telojen välinen puristus säädetään vastaamaan painokoneen nippipuristusta. Offsetkumiin tarttuneiden pölyhiukkasten luku pinta-alayksikköä kohti todetaan visuaalisesti. (6.)

Useilla valmistajilla on savukaasu- ja hiukkaspäästömittauksiin tarkoitettuja lasertoimisia mittareita. Niissä lasersäde johdetaan joko suoraan tai prisman kautta takaisin heijastaen detektorille, jolla mitataan pölypilven aiheuttama absorptio. Nämä mittarit ovat kuitenkin liian isokokoisia leikkauspölyn mittaamiseen leikkurilla, koska niille tarkoitettu varsinainen mittauskohde on esim. savupiippu. Edellisiin verrattuna parempi herkkyys saavutetaan sironnan mittaamisella, johon perustuvia mittareita on Hundin ja Sibatan valmistamina, mutta niidenkin huonona puolena leikkauspölytarkoituksiin on liian iso koko. (6.)

Yksi pölynmittaustapa on imeä pölyä rullalta toiselle liikuteltavan teipin pintaan. Teipin liike pysäytetään mittauksen ajaksi, jolloin pölymäärä selvitetään mittaamalla teippiin tarttuneen pölyn aiheuttama  $\beta$ -säteilyn tai ominaisvärähtelyn muutos. Sen jälkeen mitattu teippikohta siirretään pois mittauskammioista ja kammioon siirtynyt uusi puhdas teippikohta mitataan taas samalla tavalla. Nämä mittarit ovat kalliita ja soveltuvat lähinnä laboratorioon. (6.)

MIP Oy:n puolijohdelaseria on kokeiltu suoraan läpimittaukseen. Pienten komponenttien ansiosta on anturi saatu tehtyä niin pieneksi, että se mahtui leikkurille leikkausnipin taakse. Tuloksena oli, että pienten pölymäärien vuoksi suora läpimittaus ei soveltunut leikkauspölyn mittaamiseen. Mittaus olisi onnistunut korkeintaan pölyhiukkasten aiheuttamien detektorin antamien jännitepulssien laskennan avulla. (6.)

Pölyn aiheuttamaa anturin ”likaantumista” on käytetty hyväksi ja rakennettu toimivaksi osoittautunut anturiprototyyppi ja kuvan 11 (Liite 7: kuva 11) esittämä pölynmittauslaitteisto. Se käsitti neljä anturia, keskusyksikön lasereitten teholähteineen, puhdistusautomaatiikan ja imuyksikön virtausnopeussäätöineen. Kuva 12 (Liite 7: kuva 12) esittää em. mittauslaitteiston anturia, jonka sisään on

työstetty hyvin sileä- ja kiiltäväpintainen pyöreäreikäinen kanava. Pölyn mittaus perustuu tämän kanavan seinämien ”likaamiseen”, sillä staattisesti varautuneet pölyhiukkaset tarttuvat seinämien pintaan, jos pölyä sisältävän ilman virtausnopeus on sopivalla alueella. Staattisesta sähköstä johtuvat tarttumisominaisuudet pidetään vakiona valmistamalla anturi ja sen kiinnityslaitteet metallista. Anturin toisessa päässä oleva valolähteenä käytetty puolijohdelaser on suunnattu siten, että lasersäde osuu kanavan seinään kanavan puolivälissä. Kanavan ollessa puhdas heijastuu lasersäde seinämästä suoraan anturin vastakkaisessa päässä olevalle detektorille. Imettäessä imupumpun avulla pölyä anturiin, tarttuu staattisen sähkönsäädön vaikutuksesta pölyä kanavan seinämiin, aiheuttaen laservalon sirontaa ja absorboitumista, jolloin detektorin näkemä valon intensiteetti heikkenee seinämiin tarttuneen pölymäärän mukaisesti. Jatkettaessa imua muuttuu pölymäärän lisääntyessä vahvistimen antama ulostulojännite ajan funktiona kuvan 13 (Liite 8: kuva 13) mukaisesti. Kuvan 13 piirturitulostuksesta nähdään myös miten jännitteen nousu lakkaa kartonkiradan pysähtyessä tai loppuessa. (6.)

Anturin optiikka pidetään puhtaana anturiin tulevan huuhteluilman avulla, jonka virtaus on säädetty sopivaan suhteeseen imuilman virtauksen kanssa säädettävän rotatometrillä avulla. Vahvistimesta tulevan jännitteen ylittäessä valittavissa olevan raja-arvon (valitaan lähelle kyllästymisrajaa), ohjaa keskusyksikkö magneettiventtiilin kautta anturiin paineilmapuhalluksen mittauskanavien seinämien puhdistamiseksi. Tämän automaattisen puhdistuksen vaikutus nähdään myös kuvassa 13. (6.)

Tulostus voidaan hoitaa joko keskusyksikköön kytketyn piirturin avulla tai lukemalla pölyävyyslukema keskusyksikön näytöltä. Samaan keskusyksikköön on kytkettynä neljä anturia, jotka kaikki mittaavat samanaikaisesti pölyä. Kaikkien neljän anturin tulostus voidaan myös hoitaa samanaikaisesti, ja niiden puhdistusautomaatti toimii toisistaan riippumatta. Piirturilla voidaan piirtää kuvan 13 mukaan ajanfunktiona mittauskanavaan kertyneeseen pölymäärään verrannollista kasvavaa jännitettä. Piirturipaperilta voidaan sen jälkeen mitata pölyävyysarvona optisen tiheyden muutos aikayksikköä kohti (mD / min). Toinen vaihtoehto on lukea edellä mainittu pölyävyysarvo keskusyksikön

näytöltä. Mitä jyrkemmin kuvan 13 käyrä nousee ajan funktiona, sitä suurempi on pölyävyys. Mittarin kalibrointiyksikköinä käytetään D-arvoja (optinen tiheys), jotka ovat laserilta tulevan lähtötehon ja detektorille saapuvan tehon suhteen logaritmeja kaavan 1 mukaisesti. (6.)

$$\text{Optinen tiheys } D = \log I_0 / I, \quad (1)$$

missä  $I_0$  on laserin lähettämä säteilyteho ja  $I$  detektorin vastaanottama säteilyteho. D-arvojen logaritmisuus on keskusyksikössä linearisoitu, joten ulostulojännite (0-1 V) on lineaarinen. Mittarin kalibrointi optisille tiheysarvoille suoritetaan optisilla suodatinlevyillä. (6.)

#### **3.4.1 Mac Millan Bloedel (MB) linting & dusting tester**

Mac Millan Bloedel Research Ltd on kehittänyt on-line-menetelmän paperin pintalujuuden mittaukseen. MB-linting-testerillä (Liite 9: kuva 14) voidaan nopeasti arvioida irtonaisten ja heikosti sitoutuneiden kuitujen, täyteaineen ja epäpuhtauksien määrä paperin pinnalta ennen rullainta. Testerin kehitettiin alun perin nimenomaan sanomalehtipaperille, mutta se on myöhemmin osoittautunut käyttökelpoiseksi monenlaisille papereille. Mittaus tehdään tyypillisesti kalanterin ja konerullaimen väliseltä alueelta. (20.)

Testerin toimintaperiaate on yksinkertaisuudessaan kolmivaiheinen (Liite 9: kuva 15). Aluksi mittapään suuttimesta purkautuva ilmavirta irrottaa heikosti sitoutuneen materiaalin paperin pinnalta ja siirtää sen imuysikköön, josta kalibroitu vakuumi edelleen siirtää materiaalin mittakammioon. Mittakammiossa irtonainen materiaali kerääntyy suodatusviiralle aiheuttaen paineen alenemisen suodattimen yli. Mittaus on mahdollista suorittaa sekä ala- että yläpuolelta paperia. Testerin suodattimelta on myös mahdollista identifioida epäpuhtauksia ja arvioida niiden syntyperä. (20.)

Laitteelle tehdyt tutkimukset, sekä PapriCanin että tehdaskäyttäjien toimesta, ovat osoittaneet hyvää korreloivuutta todellisen painatuksen yhteydessä saatuihin tuloksiin. (20.)

### **3.4.2 SOLA**

Sola on offsetrullainmenetelmä pölyämistaipumuksen määrittämiseksi. Laitteen mittarulla on päällystetty mustalla offsetpainolevykumilla, joka painetaan vasten paperirullaa yleensä aukirullauksessa. Irtonaiset partikkelit kertyvät ja tarttuvat kumirullalle. Mustalle kumipinnalle tarttuva materiaali aiheuttaa muutoksen mustan kumipinnan heijastusluvussa, ja tätä heijastusluvun muutosta käytetään kuvaamaan pölyämistaipumusta. Mittausmatka on vakioitava leikkurin nopeuden ja mittausajan avulla. (20.)

Laitteisto koostuu mittakelkasta (kumirulla, sekuntikello, kiinnipitokahvat, pyörät), digitaalimittarista, mitta-anturista, kalibroitirullasta ja kuivaimesta (Liite 10: kuva 16). Mittauksen valmistelu aloitetaan kalibroinnilla. Kalibrointi tehdään kalibroitirullalla, missä on heijastuspinnat arvoilla 0 ja 100. Kalibroitirullan molempien pintojen lukemat tarkastetaan niin pitkään, kuin rullaa käännettäessä digitaalimittari näyttää pinnoille oikean heijastusluvun. Mikäli mittalaite ei ole lämmennyt tarpeeksi ennen mittausten aloittamista, saattavat lukemat vaeltaa. Suoritetun kalibroinnin jälkeen, ennen varsinaista mittausta, mittarulla puhdistetaan, kuivataan kuivaimella ja tarkistetaan, että mitta-anturi antaa rullalle heijastuslukeman 0. Mikäli lukema on nolasta poikkeava, tulee mittarulla hioa. Hionta on hyvä suorittaa säännöllisin väliajoin, jotta mittarullan pinta pysyy kunnossa. Hionta tehdään kostutetulle rullalle vesihiomapaperilla. Varsinaisen mittauksen jälkeen mitataan mittarullan heijastusluku, joka kertoo kertyneen pölyn määrän kumipyörällä. (20.)

### **3.4.3 Black Cloth**

Black Cloth on R.A. Emerson & Companyn kehittämä ja patentoima (US Patent No. 5628228) yksinkertainen menetelmä paperin pölyävyyden arvioimiseksi. Menetelmä perustuu sauvatyyppiseen pölynmittauslaitteeseen ja mustaan kankaaseen (Liite 10: kuva 17), joita painetaan vasten paperin pintaa konerullaimella. (20.)



Mittaja pitää toisella kädellä kiinni pitkulaisen kangaspalan toisesta päästä ja asettaa kankaan samalla paperin pintaa vasten, ja toisella kädellä painaa sauvan kangasta vasten. Mittaajia tarvitaan tällöin kaksi, toinen suorittamaan mittaus ja toinen ottamaan mittausaikaa. Hiukan hankalampi vaihtoehto on suorittaa mittaus ja ajanotto samanaikaisesti (Liite 11: kuva 18). (20.)

Painettaessa jousitettua mittasauvaa (Liite 11: kuva 19) konerullaa vasten työntyy sauvan varresta esiin punainen merkkiviiva, joka osoittaa vakiovoimaa (valmistaja kalibroinut 5,0 lbs), jolla sauvaa painetaan rullaa vasten. Paperin pinnasta irtoava pöly keräytyy mustalle kankaalle, kun sauvaa painetaan haluttu mittausaika vakiovoimalla. Mittausaika vaihtelee prosessista ja konenopeudesta riippuen 15 sekunnista kahteen minuuttiin. Vertaamalla kertyneen pölyn määrää kankaalla visuaalisesti, voidaan arvioida paperin pölyävyyseroja. Mittaus voidaan suorittaa muun muassa konerullaimella paperin valmistuksen yhteydessä, aukirullaimelta pituusleikkauksessa tai aukirullauksessa painotalossa. (20.)

#### **3.4.4 Masuga**

Masuga (Liite 12: kuva 20) on Ruotsin Gävlessä toimivan Korsnäs AB:n valmistama pölynmittauslaitteisto. Mitattava pöly kerätään vakuumin avulla laitteistossa olevaan suodattimeen, joka punnitaan ennen ja jälkeen mittauksen. Tuloksena saadaan hiukkas- tai kuitupitoisuus milligrammoina. (20.)

Virtaus laitteessa on 56 l/s ja tehoa 1500 W. Mittaus tapahtuu painamalla mittakelkka paperirullaa vasten mittausaika, joka tyypillisesti vastaa mittauspituutta 1000 m. Suodattimena laitteessa suositellaan käyttämään samaa mustaa kangasmateriaalia kuin R.A. Emerson & Company:n pölynmittauslaitteessa. Sama yhtiö USA:ssa myy kangasta. (20.)

#### **3.4.5 Finntesteri**

Finntesteri-laite on kehitetty simuloimaan offsetpainatusta. Mittaus tapahtuu kastelemalla paperi nipissä, johon alatela pyöriessään nostaa vettä

kastelualtaasta (Liite 12: kuva 21). Kasteluallas toimii samalla paperista irronneen pölyn keräysastian, mistä pölynäyte kerätään, suodatetaan ja mitataan optista mittamenetelmää käyttäen. Näytteen suodatus tapahtuu käyttäen mustaa suodatinpaperia, jonka vaaleus on määritetty ennen suodatusta, ja määritetään uudestaan suodatuksen ja kuivatuksen jälkeen. Vaaleuden muutos kertoo pölyn määrän testatulla paperilla. (20.)

Mittaus ei anna pölyävyydestä absoluuttista mitta-arvoa, vaan menetelmä on suuntaa-antava, ja tulosta on verrattava referenssiin. Tulokset kertovat siis paperin pölyävän enemmän tai vähemmän kuin määritetty referenssitaso. Jokaiselle prosessille on erikseen määriteltävä sopiva mittausmatka paperia, koska mittauksen luotettavuus kärsii, mikäli suodatinpaperille kertyy liian vähän tai liikaa pölyhiukkasia. Sopivalla paperin mittausmäärällä saadaan suodatinpaperille pölykertymä, josta muutokset voidaan havaita luotettavasti. (20.)

Mittauksesta saadaan määritetyksi myös paperin vesiabsorptiokyky mittaamalla testaukseen lisätty vesimäärä, ja kastelualtaasta testauksen päätteeksi talteen otetun veden määrä. Vesiabsorptio on koettu pölyävyyden yhteydessä mielenkiintoiseksi, koska joitakin viitteitä näiden ominaisuuksien yhteyksistä on havaittu. Menetelmän kehittäjän mukaan testaukseen lisätyn veden määrä ei kuitenkaan vaikuta pölymittaustuloksiin. (20.)

#### **3.4.6 SFS 3866**

SFS 3866 on standardisoitu gravimetrinen menetelmä, jossa näyteilmaa imetään suodattimen läpi. Suodattimet punnitaan tarkkuusvaa'alla ennen ja jälkeen mittauksen. Massasta sekä imetystä ilmamäärästä saadaan pölypitoisuus mittauspisteessä. Membraanisuodattimen halkaisija on 37 mm ja huokoisuus 0,8 µm, näytteenottopumpun tilavuusvirta minimissään 20 l/min. Suodattimia valmistaa Millipore. Näytteenottopumppuja ei enää löydy Suomesta. (21.)

### **3.4.7 DataRAM**

DataRAM on jatkuvatoiminen mittari, jonka mittaus perustuu valonsirontaan (ei ota huomioon partikkelin tiheyttä). Tämänkaltaisella mittarilla nähdään lähinnä prosessin vaihtelut. Taso kannattaa korjata esimerkiksi gravimetrisellä mittauksella. (21.)

### **3.4.8 Fluke 983 Particle Counter**

Sintrolin Fluke 983 hiukkaslaskuri (Liite 13: kuva 22) mittaa ja tuo näyttöön kuuden eri kokoluokan hiukkaspitoisuudet sekä lämpötilan ja kosteuden. Laite on kevyt ja pienikokoinen, ei vaadi tasaista alustaa eikä paikoilleen telakointia mittauksen ajaksi. Muotoilun ansiosta käyttö onnistuu yhdellä kädellä. Laitteen mukana on letku, jonka avulla mittauksen voi kohdistaa hankalaankin paikkaan. Näytteenottotulona toimii isokineettinen anturi. Akku toimii kahdeksan tuntia ja muistiin mahtuu 5000 tietuetta. Mittauksen voi myös ajastaa. Virtausnopeus on 2,83 l/min. Mittarin voi liittää verkkokaapelilla tietokoneeseen. (22.)

### **3.4.9 Musta teippi**

Musta sähköteippi.

## **4 KOEAJOT**

Koeajojen mittalaitteena päädyttiin käyttämään Fluke-hiukkaslaskuria sen senhetkisen helpon saatavuuden, kannettavuuden ja pienen koon vuoksi. Mittari oli kohtalaisen helppo asentaa terän ääreen imemään pölyä suoraan leikkauskidasta. Turvallisuussyistä mittaukset tehtiin etureunaterästä, jotta välttyttiin menemästä rainan alle ajon aikana. Lisäksi päätettiin tehdä vertailumittaukset valmiiden asiakasrullien kyljestä käyttämällä mustaa sähköteippiä.

Koeajoissa testattiin terien kunnan, teroituskulman, aurauskulman, pölynpoistolaitteiden sekä staattisen sähkön poistolaitteiden vaikutus leikkauksen pölyävyyteen mittaussuunnitelman (Liite 14: taulukko1) mukaisesti. Uuden terän vaihdon jälkeen ajettiin aina yksi muutto ilman mittausta. Näin ehkäistiin uuden terän mahdollisesta aiheuttaman hetkellisen pölyämisen lisääntymisen vaikutus mittaustuloksiin.

Vertailumittauksena suoritettu teippitesti oli alun perin tarkoitus ottaa muuton molemmista päistä sekä keskeltä. Tämä todettiin kuitenkin ajon sujumuuden kannalta liian hitaaksi, joten päädyttiin ottamaan yksi näyte muuton etulaidasta samasta leikkausjäljestä, jota pölymittari mittasi.

Ennen varsinaisia koeajoja testattiin erilaisten ja erilevyisten teippien soveltuvuutta mittaamiseen. Vaaleasta maalarinteipistä oli vaikea erottaa vaaleaa pölyä, joten teipin täytyi olla väriltään mustaa. Liukuesteteipin todettiin olevan tarkoitukseen liian jäykkää sekä hankalaa käsitellä. Mustan sähköteipin todettiin olevan tarkoitukseen sopivaa. Pöly erottui selvästi, ja teippiä oli helppo käsitellä ja liimata alustana toimivalle kirkkaalle kopiokalvolle. Sähköteippiä kokeiltiin kahta eri leveyttä, 20 mm ja 50 mm. 20 mm leveän todettiin venyvän liikaa käsiteltäessä sekä olevan liian kapeaa, jotta pölyn määrästä voisi silmämääräisesti saada riittävän selvän kuvan. Näin ollen koeajoissa päädyttiin käyttämään 50 mm leveää mustaa sähköteippiä.

Mittauksessa teippi kiinnitettiin rullan säteen mittaisesti lähes rullan kehältä hylsulle asti, jotta saatiin näyte koko leikkausalueelta. Teippi painettiin rullaan kiinni käsivoimin pakkausteippirullaa telana käyttäen ja irrotettiin vetämällä toisesta päästä noin 90 asteen kulmassa. Se kiinnitettiin kopiokalvolle jälleen toisesta päästä alkaen, jotta teipin ja kalvon väliin jäisi mahdollisimman vähän ilmaa.

Koeajoissa käytettiin sivuvoimana teräpainetta 3,16 bar. Aurauskulma oli 0,3 ° / 0,1 mm rako.

## 4.1 Koeajo 1

Fluke säädettiin mittaamaan 10 s kiihdytystä, toiset 10 s leikkurin saavutettua maksiminopeuden ja kolmannet 10 s leikkurin alettua hidastaa muuton loppua kohti. Se mittasi partikkelikokoja 0,3  $\mu\text{m}$ , 0,5  $\mu\text{m}$ , 1,0  $\mu\text{m}$ , 2,0  $\mu\text{m}$ , 5,0  $\mu\text{m}$  ja 10,0  $\mu\text{m}$ . Työn kannalta olennaisimmiksi todettiin koot 5 ja 10  $\mu\text{m}$ . Näitä pienempien partikkelikokojen mittaustulosten vaihtelut eri mittauspisteissä havaittiin varsin pieniksi. Myös partikkelikoon 2  $\mu\text{m}$  vaihtelut olivat todettavissa, kuitenkin selkeästi vain muutamissa mittauspisteissä. Lisäksi samat havainnot pystyttiin tekemään tarkastelemalla isompia partikkelikokoja. Isointa eli 10  $\mu\text{m}$  esiintyi todella vähän, vain 0 - 2 kpl mittauksia kohti, eikä sitä näin ollen voitu pitää luotettavana mittana vertailtaessa pölyn määrään vaikuttavia tekijöitä. Näin ollen keskityttiin tarkastelemaan partikkelikokoja 5  $\mu\text{m}$ .

Pääsääntöisesti pienimmät mittaustulokset saatiin mittauksesta 1 eli leikkurin lähtökiihdytyksestä, ja suurimmat mittauksesta 2 eli leikkurin täydestä ajonopeudesta. Mittausten tuloksista laskettiin lopuksi keskiarvo.

Mittaustuloksia (Liite 15: kuvio 1) ei voitu pitää erityisen ennalta-arvattavina, sillä esimerkiksi uusien terien vaihto lisäsi pölyn määrää selvästi. Tältä olisi luultavasti vältytty paremmin, mikäli uusilla terillä olisi ajettu useampi kuin yksi muutto ilman mittausta. Staattisen sähköän poistolaitteiden ei todettu vaikuttavan pölyn määrään juuri lainkaan. Niiden ollessa pois päältä pölyn määrä joko pysyi samana tai väheni hieman. Mittaustuloksen väheneminen voi selittyä sillä teoriaosassa sivulla 26 mainitulla seikalla, että pöly on staattisen sähköän vaikutuksesta erittäin tiukasti rainan pinnassa kiinni. Kun staattista sähköä ei poisteta, enemmän leikkauspölyä päätyy kiinni rainaan ja vähemmän mittausturviin. Sen sijaan pölynpoistolaitteiden asettaminen pois päältä lisäsi pölyn määrää selvästi, samoin auraukskulman asettaminen nolnaan. Sopiva auraukskulma on 0,1 ° eli niin pieni, että terät vielä leikkaavat kunnolla sopivaa sivuvoimaa käytettäessä, kuten teoriaosassa sivulla 17 on mainittu. Pölyn määrää vähensi yläterän teroituskulman vaihtaminen 45 °:sta 30 °:een. Tylsä alaterä lisäsi pölyn määrää, joka taas vähentyi pölynpoisto- ja

sähkönpoistolaitteiden ollessa pois päältä. Tämä kuitenkin normalisoitui tylsän 45 ° yläterän myötä, jolloin pölyn määrä jälleen kasvoi.

Vaihtelevien tulosten myötä voitiin todeta, ettei tämän koeajon perusteella voi tehdä selkeitä johtopäätöksiä testattujen asioiden vaikutuksesta pölyävyyteen.

## 4.2 Koeajo 2

Muuton halkaisijan kasvaminen ensimmäiseen koeajoon verrattuna jäi ottamatta huomioon, joten kaikki kolme 10 s mittauksista tapahtui kiihdytysvaiheessa ennen kuin leikkuri ehti saavuttaa maksiminopeuden. Tulokset eivät näin ollen ole täysin vertailukelpoisia ensimmäisen koeajon kanssa.

Ensimmäisen koeajon tapaan myös tässä keskityttiin tarkastelemaan ainoastaan partikkelikokoja 5 ja 10  $\mu\text{m}$ . Kyseisten partikkelikokojen vaihtelut eri mittauspisteissä olivat hyvin samankaltaisia, joten keskinäisen vertailun saattoi jälleen jättää tekemättä ja keskittyä partikkelikokoon 5  $\mu\text{m}$ , jonka vaihtelu oli jälleen suurinta.

Pölyn määrän vaihtelu (Liite 16: kuvio 2) oli huomattavasti loogisempaa kuin ensimmäisessä koeajossa. Sähkön- ja pölynpoistolaitteiden poisto lisäsivät kumpikin pölyn määrää. Tylsän alaterän ja tylsän 45 ° yläterän yhdistelmän myötä pölyn määrä lisääntyi siinä määrin, että mittari tukkeutui. Yllätyksenä tuli se, että uuden 30 ° yläterän pariin vaihdettu tylsä alaterä aiheutti pölyn määrän vähenemisen. Saman aiheutti myös aurasukulman asettaminen nolnaan. Yläterän 30 ° teroituskulman todettiin edelleen aiheuttavan vähemmän pölyä kuin 45 ° teroituskulma. Myös teoriaosassa on todettu sivulla 17, että kartongeilla leikkauskulma saa olla korkeintaan 30 °.

## 4.3 Teippianalyysi

Teippitestillä tutkittiin samojen muuttujien vaikutusta pölyn määrään kuin Fluke-mittauksella. Teipistä näkyi selvästi pölyn määrä ja partikkelikoot. Mitä isompi

pölyhiukkanen sitä enemmän näkyi myös ilmaa teipin ja kalvon välissä. Ilmakuplat eivät kuitenkaan haitanneet analysointia.

Teippianalyysi suoritettiin silmämääräisesti allekirjoittaneen lisäksi kolmen, työn etenemisessä aktiivisesti mukana olleen tehtaan edustajan toimesta toisistaan riippumattomasti. Näytteille annettiin pölyn määrän perusteella arvosana asteikolla 1 - 5, pölyttömimmille 1 ja pölyisimmille 5.

Ensimmäisen koeajon analyysit (Liite 17: kuvio 3) olivat todella lähellä toisiaan. Puolet mittauspisteistä sai kaikilta saman arvion, ja loppuissa oli yhtä kahden arvosanan eroa lukuun ottamatta vain joitain hajanaisia yhden arvosanan eroja.

Toisen koeajon analyysit (Liite 17: kuvio 4) poikkesivat hieman enemmän toisistaan. Saman arvion sai kolme mittauspistettä. Kahden arvosanan eroja oli neljä, mutta muuten oli vain yhden arvosanan eroja.

Eniten eroavaisuuksia oli odotetusti allekirjoittaneen ja tehtaan edustajien analyyseissä, kuitenkin yhtä lukuun ottamatta vain yhden arvosanan suuruisia. Erojen todettiin johtuvan lähinnä siitä, millaisia pölyhiukkasia ja pölymääriä kokenut ja kokematon silmä pitää haitallisina.

Analyysit olivat kuitenkin yleisesti ottaen niin lähellä toisiaan, että testiä voitiin pitää onnistuneena.

Teippitestin analyysituloksista määritettiin keskiarvot, joita vertailtiin Fluke-mittaukseen. Teippitesti ja Fluke-mittaus tukivat toisiaan kohtalaisesti. Ensimmäisessä koeajossa vastaavuuksia saatiin lähinnä terien terävyyksien mukaan. Toisessa koeajossa tulokset olivat jo huomattavasti lähempänä toisiaan. Selkeimmät vastaavuudet löytyivät siinäkin terien terävyyksien mukaan.

## 5 YHTEENVETO

Pölyn määrän seuraamiseksi oli tarpeen selvittää mittaamenetelmiä. Mainituista menetelmistä varteenotettavimmiksi tämän työn kannalta valikoituivat Fluke-hiukkaslaskuri ja musta sähköteippi.

Fluken mittaamien partikkelien koot todettiin liian pieniksi tämän työn kannalta selkeiden tulosten saamiseksi. Kyseiseltä valmistajalta on kehitteillä suurempia partikkeleita mittaava laite, jonka soveltuvuutta online-mittaukseen kannattaisi kokeilla. Käytännölliseksi laitetta ei voi kuitenkaan tässä tapauksessa sanoa, vaikka sen asennus ja käyttö kohtalaisen helppoa olikin, eikä sen käyttö jatkuvatoimisena mittauksena pituusleikkurilla olisi välttämättä järkevää. Mittaustulosten luotettava analysointi vaatisi pidempiaikaisen mittaamisen myötä saatavia vertailuarvoja. Laitteen hankkiminen ilman perusteltua hyötyä on myös kustannuskysymys.

Teippitesti todettiin helpoksi ja käytännölliseksi pölynmittaustavaksi. Testi on helppo suorittaa esimerkiksi kerran vuorossa pituusleikkurihoitajan toimesta, ja tulokset on heti analysoitavissa silmämääräisesti. Sähköteippiä on helposti saatavissa, se ei ole kovin kallista ja sitä kuluu mittauksessa vähän.

Työssä tutkittiin myös mahdollisuuksia pölymäärän mittaamiseen punnitsemalla pituusleikkurin pölynkeräyspusseja. Tämä todettiin kuitenkin varsin epäkäytännölliseksi, eikä pölypartikkelien kokojakaumasta olisi saatu mitään käsitystä ilman jatkotutkimuksia.

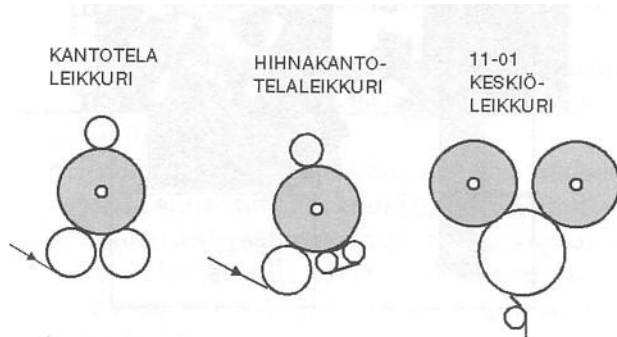
Myös pituusleikkurin pölynpoistolaitteiston toiminnan tehostamista mietittiin esimerkiksi erilaisilla hormoneilla. Tästä ajatuksesta luovuttiin jo kustannussyistä. Lisäksi työssä oli tarkoitus keskittyä pölynmittausmenetelmiin, eikä itse pölynpoistoon.



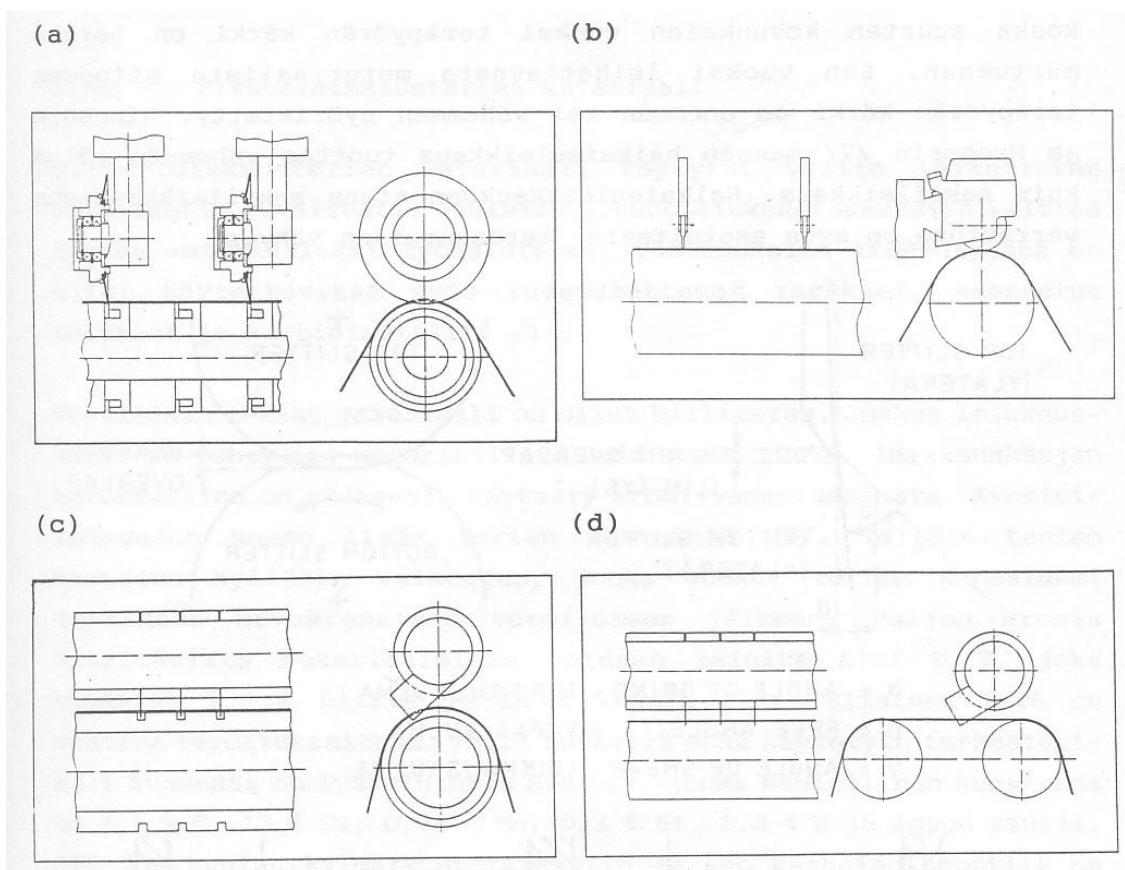
## LÄHTEET

- 1 Häggblom-Ahnger, U., Komulainen, P. 2000. Kemiallinen metsäteollisuus 2: Paperin ja kartongin valmistus. Helsinki: Opetushallitus. 223 – 229.
- 2 Ahtiainen, T. 2003. Nestepakkauskartongin pölyäminen. Etelä-Karjalan ammattikorkeakoulu, prosessitekniikan koulutusohjelma. Imatra. Opinnäytetyö. 47-61.
- 3 Forsberg, G. 1989. Two drum winders 1950 to 1990. 1989 Calendering and Winding Seminar. Holiday Inn – Hobby Airport. Houston. TX. April 30 – May 3. 53-67.
- 4 Frye, K.G. 1986. Web separation and slitter dust. Tappi journal, 12/86. 52-54.
- 5 Wingen, P.- Haeger, J. 1987. A primer on longitudinal slitting. Paper, Film & Foil Converter 61. 7/87. 43-47.
- 6 Kivikangas, K.: Oy Keskuslaboratorio, julkaisematon seloste 1990
- 7 Vilppo, J. Vesisuihkuleikkaus. Valtion Teknillinen Tutkimuskeskus (VTT), tiedote 656, 1987.
- 8 Kivikangas, K.: Oy Keskuslaboratorio, julkaisematon seloste 1979.
- 9 Ainsworth, H.S.: Laser cutting. Paper technology and Industry. 9/1978. 220-225.
- 10 Paavola, A. – Viitanen, T.: Pituusleikkurin teräkustannukset kuriin. Paperi ja Puu – Papper och Trä, 69 9/1987. 711-712.
- 11 Schneyer, H. 1978. The various slitting processes, esitelmä. Jagenberg Werke AG.
- 12 Laumer, E.P.: How to improve slitter performance on highspeed winders. Finishing & Converting Conference, TAPPI, Oct 4-8, 1987, Grand Rapids, MI, 99-108.
- 13 Frye, K.G. 1986. Finishing defects: slitter rings and slitter runout. Tappi Journal. 11/86. 98-101
- 14 Roisum, D.R. 1987. Winder Vibration. Finishing & Converting Conference. TAPPI. Oct 4-8/87. Grand Rapids. MI. 109-118
- 15 Valmet Paperikoneet Oy. Koulutusaineistoarkisto. Kartongin pituusleikkaus. 1993. AEL / METSKO. Varkaus.
- 16 Riordan, P.D. Control improvements and automation can improve roll quality and winder productivity. Tappi Journal. 70 (1987):10. 73-75.

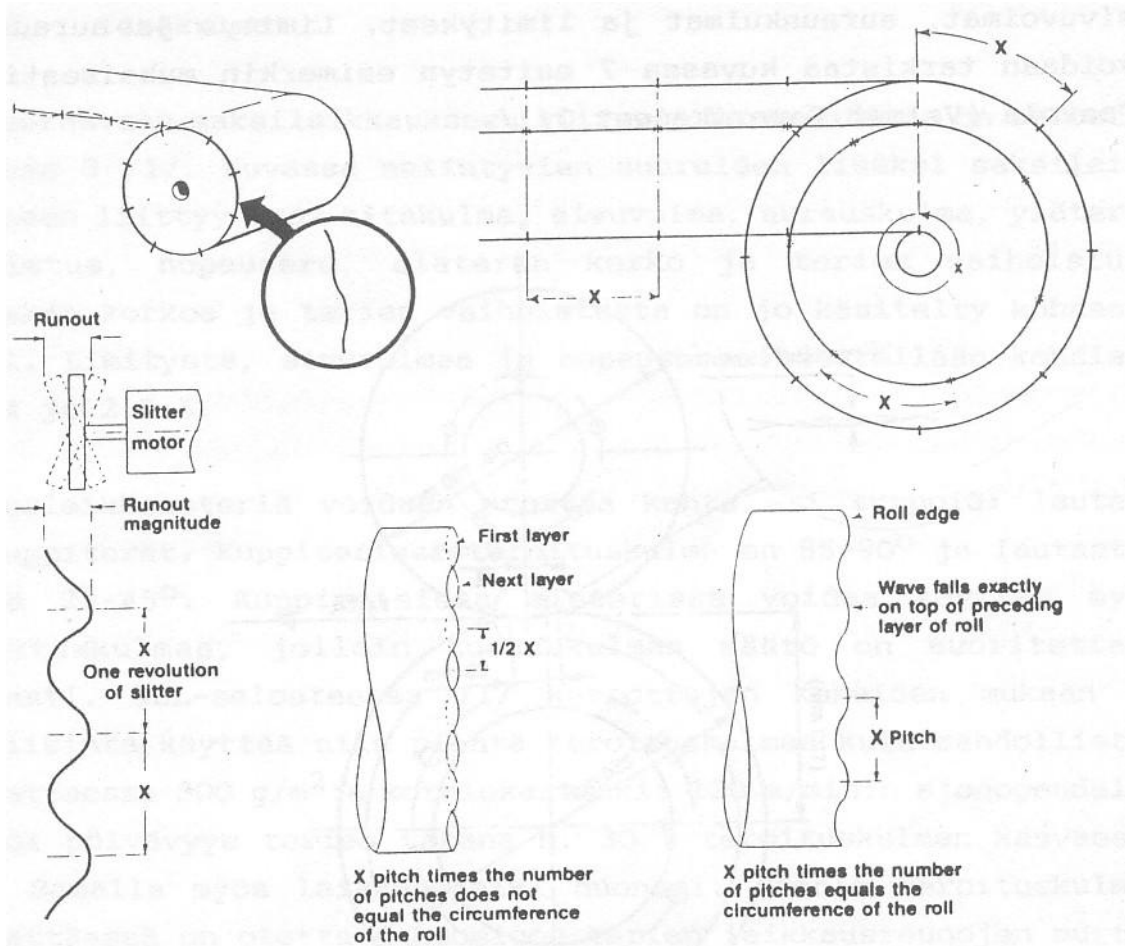
- 17 Ryabova, S.V. – Sakharova, T.V.- Ryabov, D.D.: Protection from the harmful effect of static electricity at mills. Bumazh. Prom. no. 12, (1986), 27-28.
- 18 Chernyshev, V.N. – Frolov, M.V. Mechanism of electrification during paper processing. Bumazh. Prom. no. 4, (1983):4, 11-12.
- 19 Sologub, V.A. – Mar'yanchik, L.V. – Shestakova, E.G. Electrification of school copybook paper with phosphogypsum filler. Bumazh. Prom. no. 6, (1984):6, 25-26.
- 20 Hietala, E-K. 2005. Pölymittausmenetelmien luotettavuuden arviointi ja prosessiolosuhteiden vaikutus pölyävyyteen. Lappeenrannan teknillinen yliopisto. Kemiantekniikan osasto. Lappeenranta. Diplomityö. 20-28.
- 21 Muhonen, K . [kalle.muhonen@metso.com](mailto:kalle.muhonen@metso.com). (1.2.2007)
- 22 <http://www.sintrol.com/files/sintrol/productfiled/593file1Upload.pdf>. (Luettu 16.12.2009)
- 23 Elonen, E. 1996. Päälystetyn nestepakkauskartongin pölyämiseen vaikuttavat tekijät. Lappeenrannan teknillinen korkeakoulu. Kemiantekniikan osasto. Lappeenranta. Diplomityö.



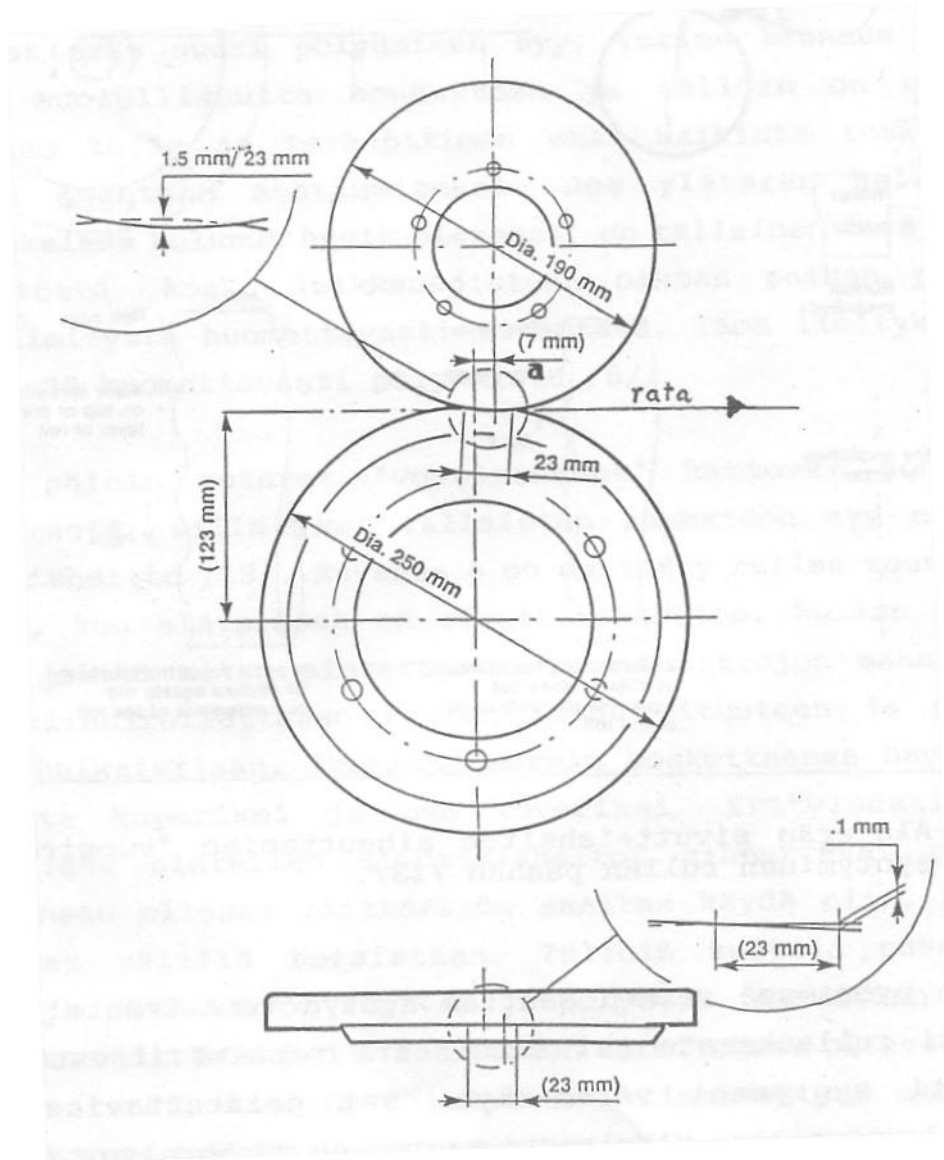
Kuva 1. Erityyppisiä pituusleikkureita (1)



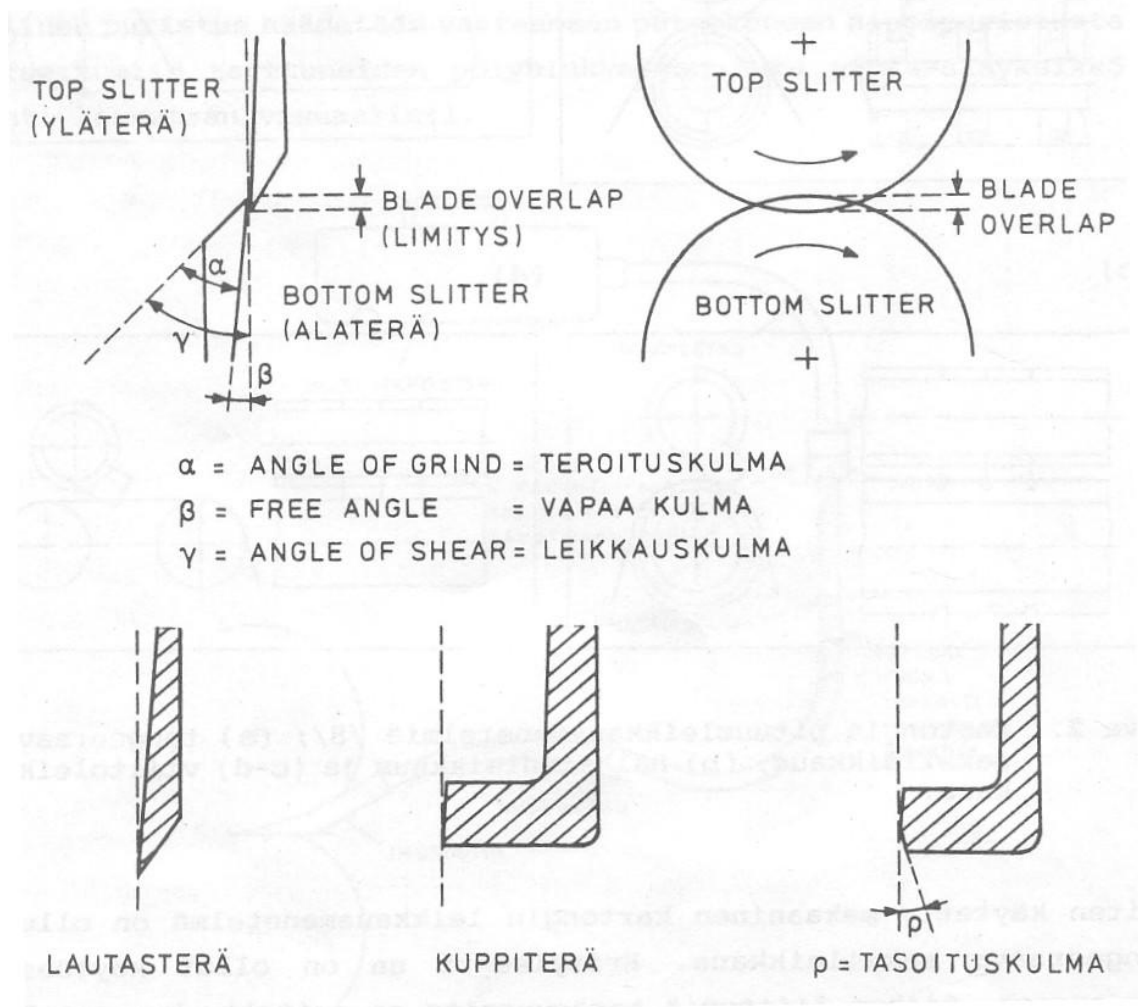
Kuva 2. Kartongin pituusleikkausmenetelmiä. a. tangeeraava saksileikkaus, b. halkaisuleikkaus, c ja d. viiltoleikkaus (6)



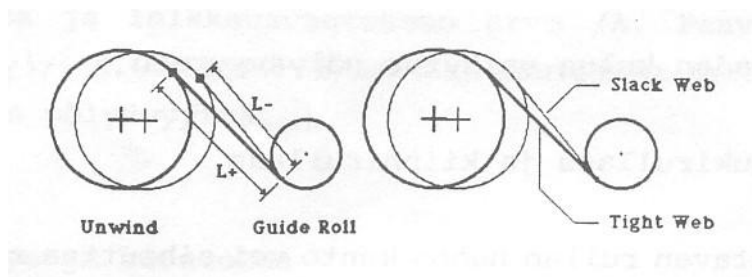
Kuva 3. Alaterän sivuttaisheiton aiheuttamien 'vuosirenkaiden' syntyminen rullan päähän (13)



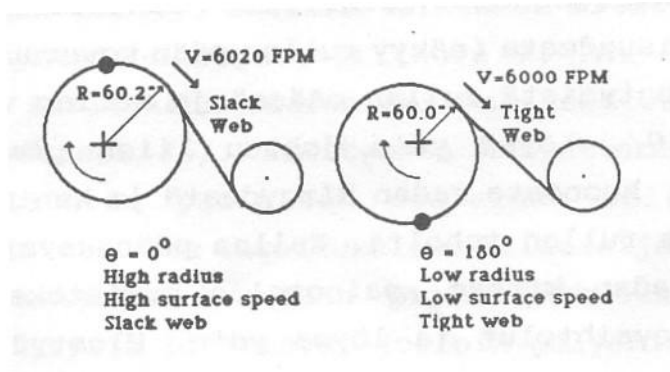
Kuva 4. Esimerkki limityksen ja aurasikulman mittauksesta. a = vaiheistus (6)



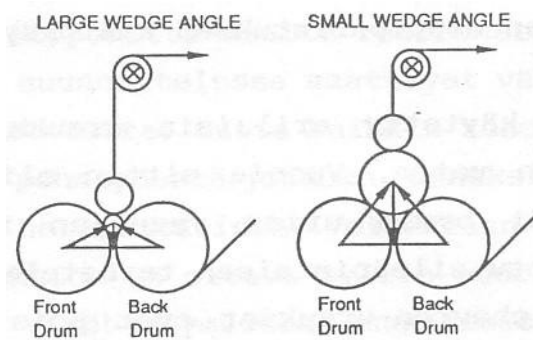
Kuva 5. Tangeeraavien saksileikkausterien geometria ja terätyypit. Katkoviivalla on merkitty terän akselia vastaan kohtisuora taso. (8)



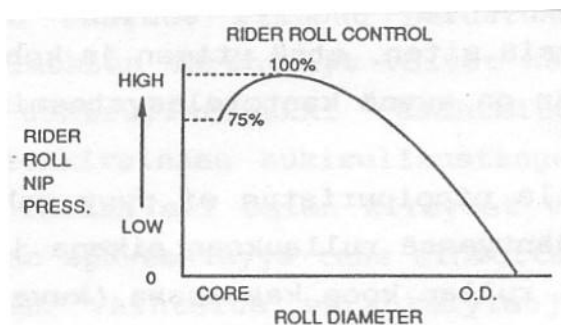
Kuva 6. Aukirullauspukin värähtely (14)



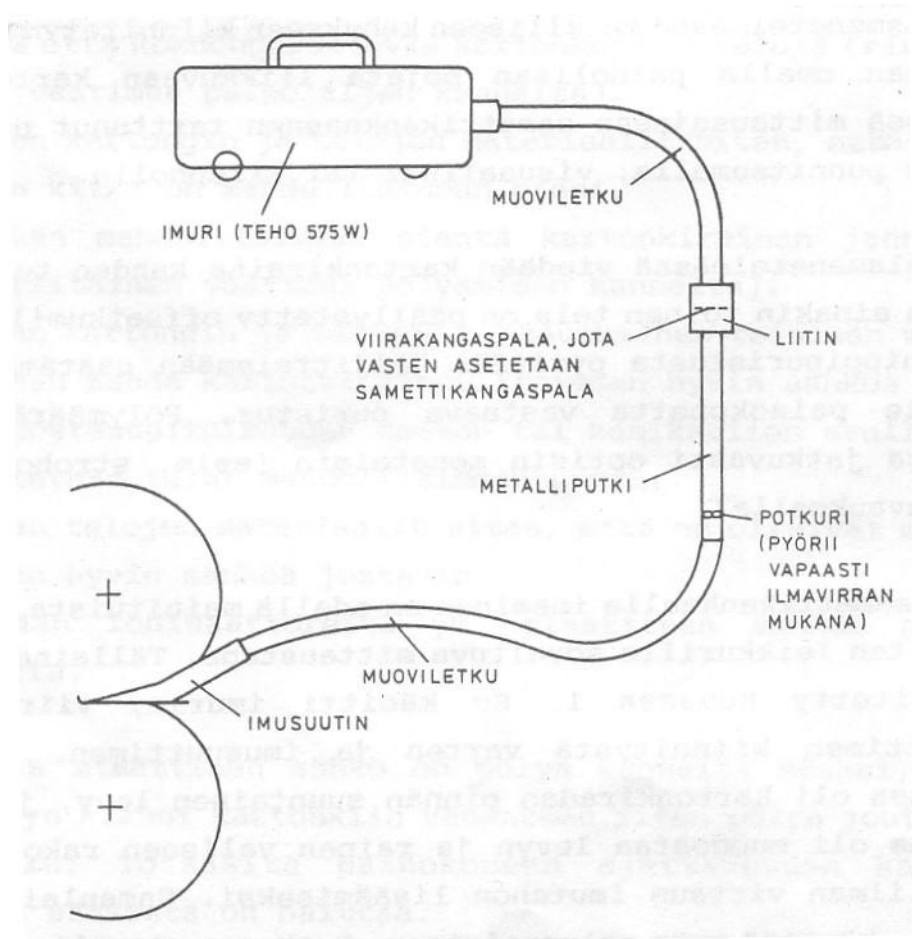
Kuva 7. Epäkeskeisen rullan aiheuttama nopeusvaihtelu aukirullaustangentilla (14)



Kuva 8. Rullausgeometrian vaikutus kiinnirullattavaan rullaan kantoteloilla (3)

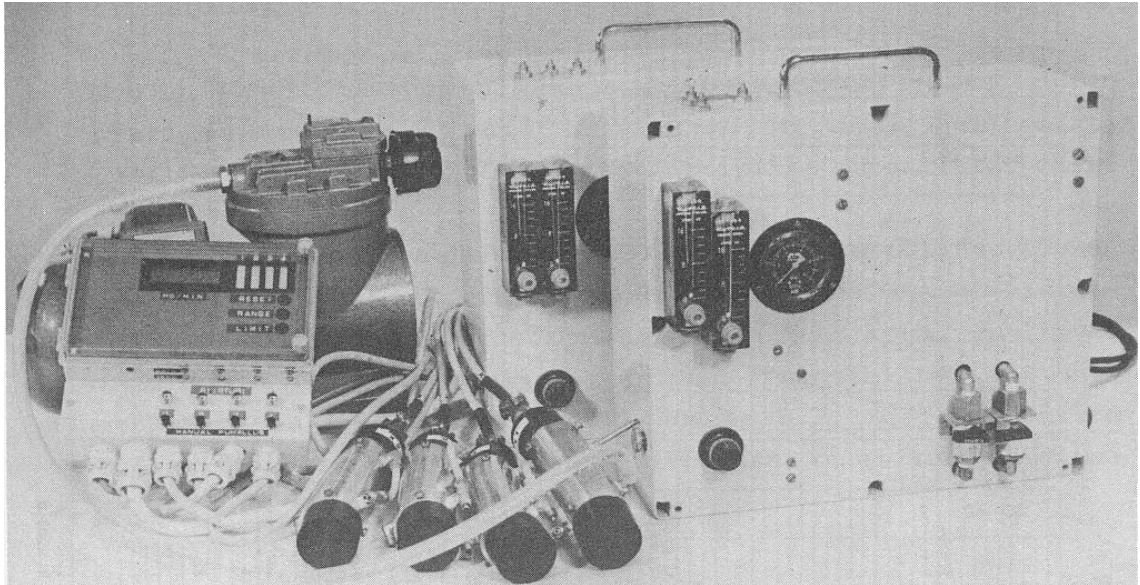


Kuva 9. Painotelan nippipuristuksen säätökäyrä (3)

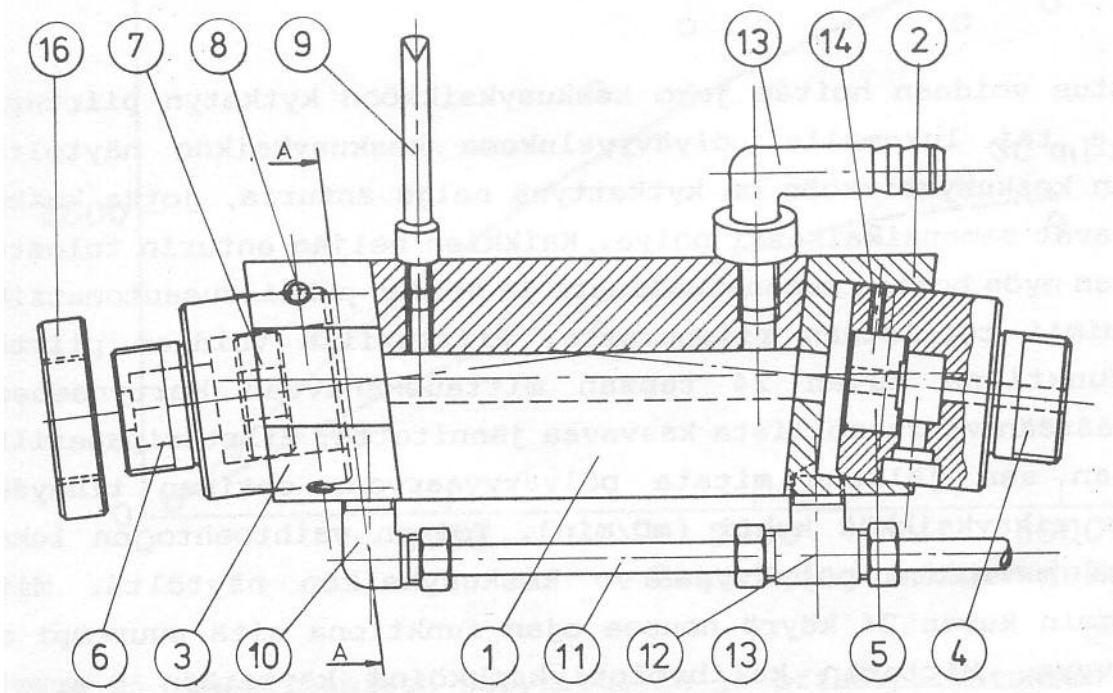


Kuva 10. Pölyn mittaaminen samettisuodattimen avulla (8)

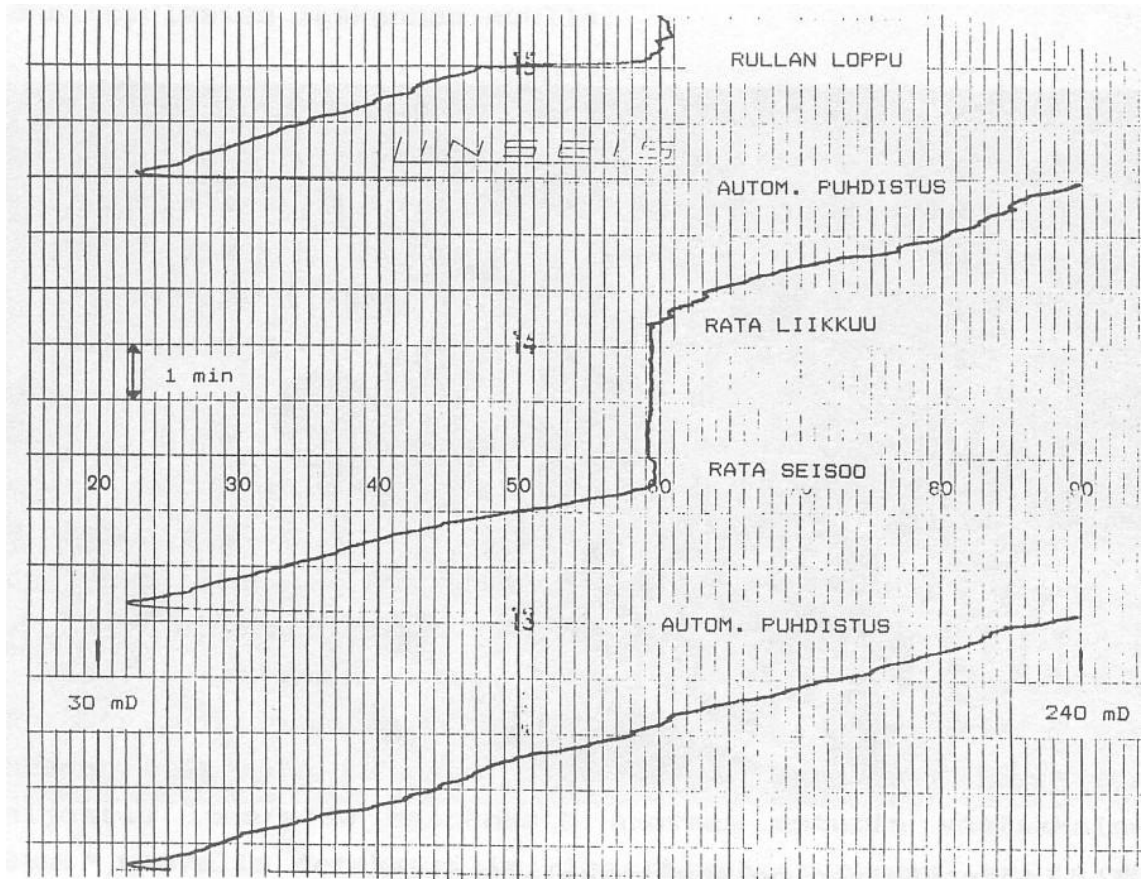




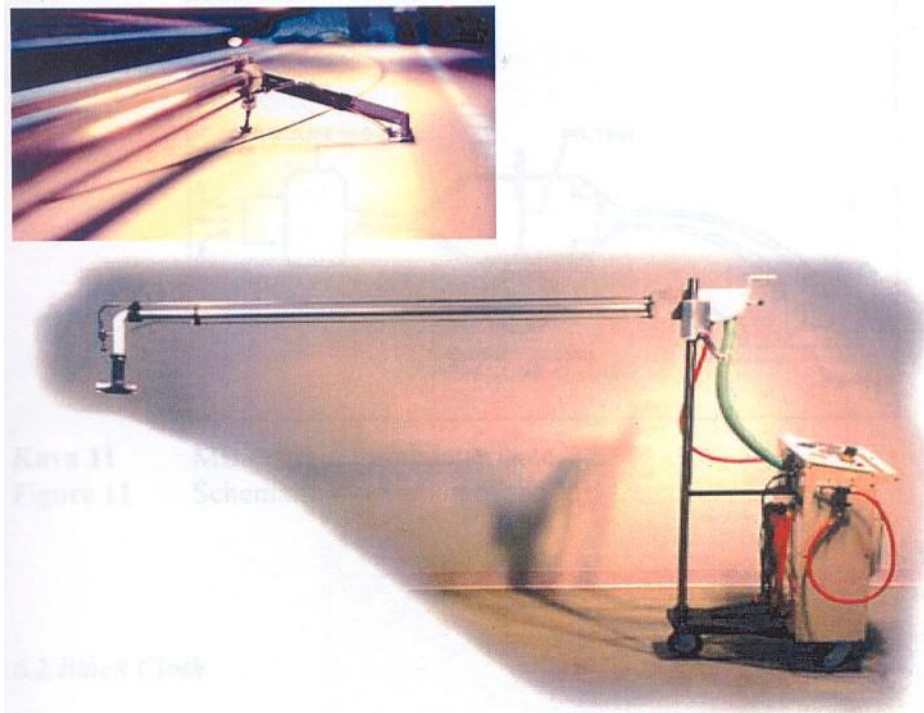
Kuva 11. Lasertoiminen pölymittauslaitteisto (6)



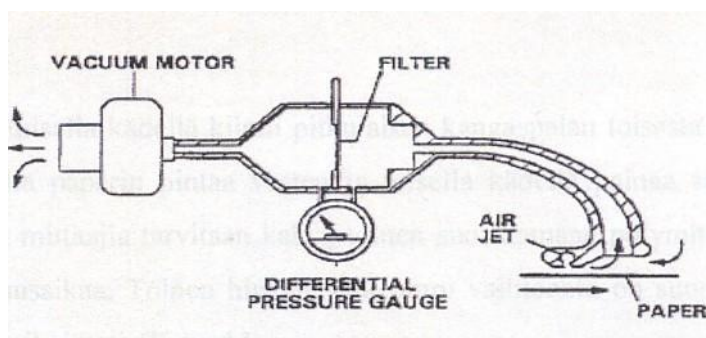
Kuva 12. Lasertoimisen pölymittauslaitteiston mittausanturi (6)



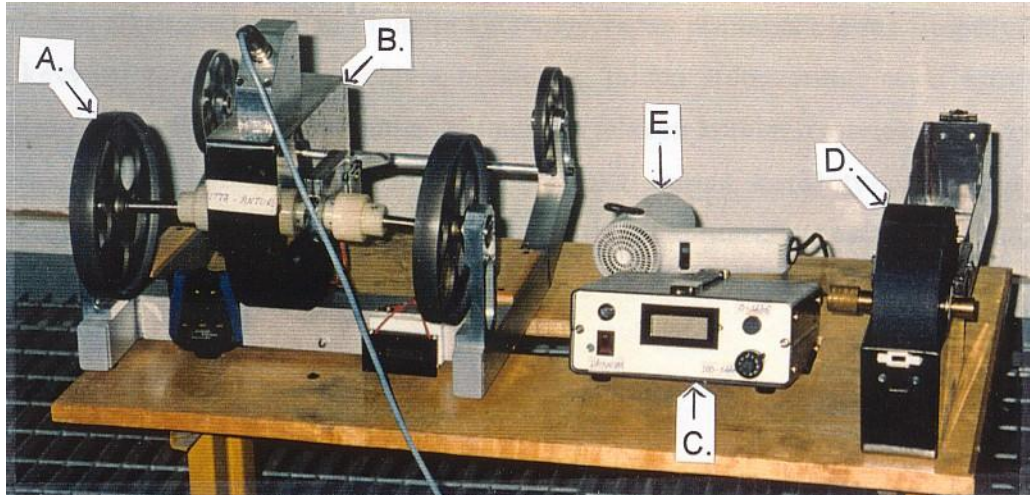
Kuva 13. Lasertoimisen pölymittarin tulostus piirturilla (6)



Kuva 14. Mac Millan Bloedel pölytesteri (20)



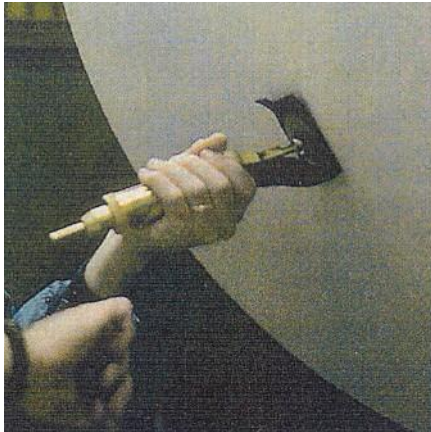
Kuva 15. MB-testerin toimintaperiaate (20)



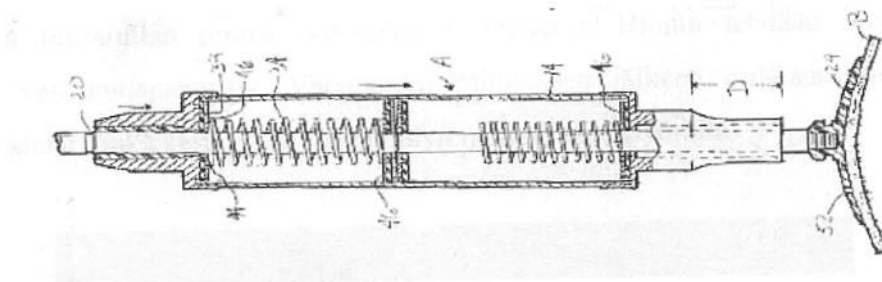
Kuva 16. Sola-pölymittarin laitekonstruktio: A. mittakelkka, B. mitta-anturi, C. digitaalimittari, D. kalibroitirulla ja E. kuumailmakuivain. (23)



Kuva 17. Musta kangas -menetelmässä käytettävä pölymittalaite ja pölykankaita (20)



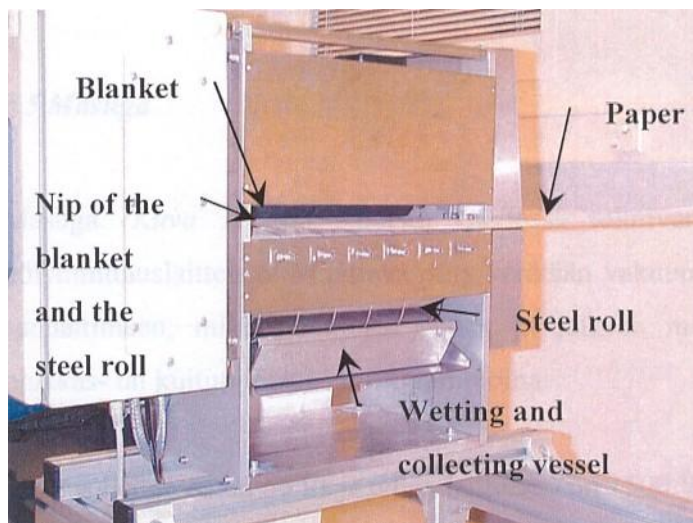
Kuva 18. Pölymittaus musta kangas -menetelmällä (20)



Kuva 19. Rakennekuva musta kangas -menetelmässä käytetystä pölymittauslaitteesta (20)



Kuva 20. Masuga (20)



Kuva 21. Paperirata ohjattuna Finntesterin painatusta simuloivaan kasteltuun nippiin (20)

LIITE 13  
13 (17)



Fluke 983

Kuva 22. Fluke 983 Particle Counter (22)

## LIITE 14

14 (17)

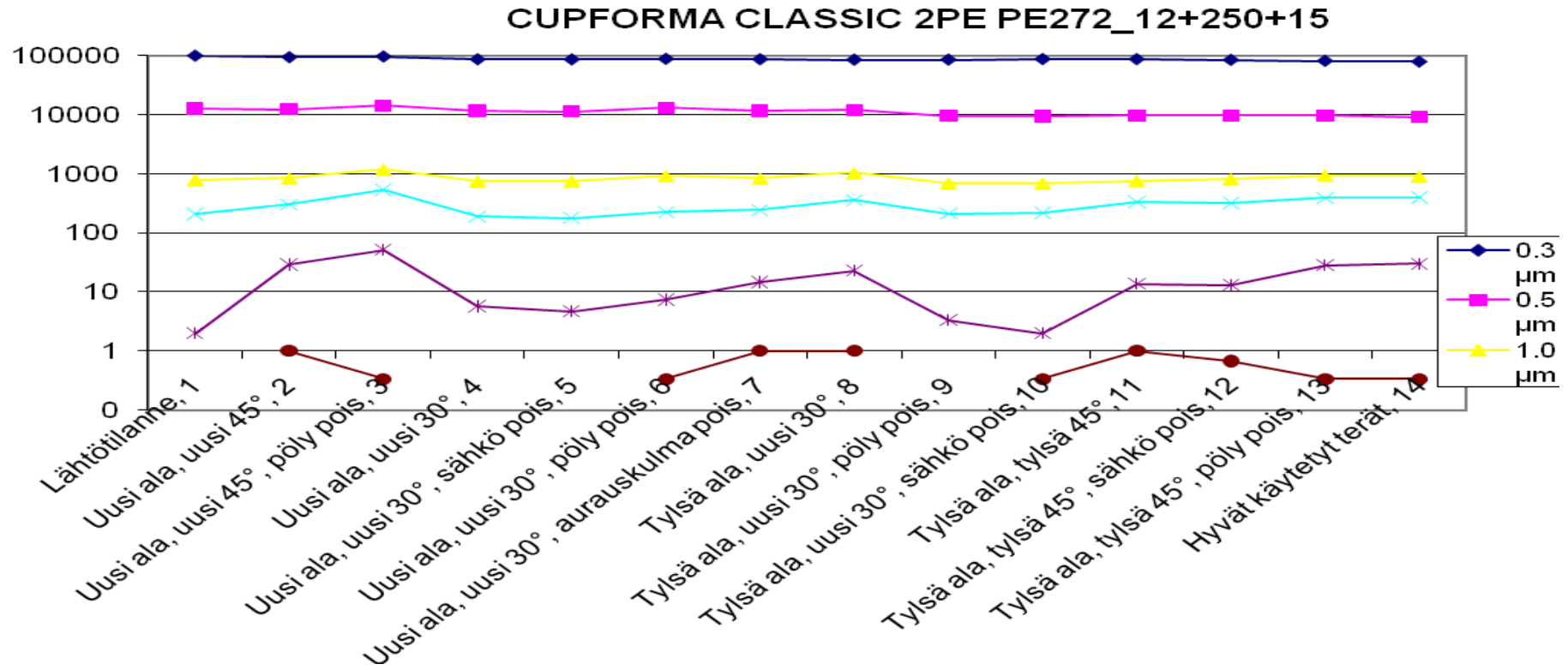
Taulukko 1. Mittaussuunnitelma

Koepiste	Uusi alaterä	Tylsä alaterä	45 ° uusi	30 ° uusi	45 ° tylsä	Pölynpoisto pois	Sähkönpoisto pois	Aurauskulma väärä	Buffer
<b>1</b>	<b>Lähtötilanne</b>								
<b>2</b>	X		X						
<b>3</b>	X		X			X			
<b>4</b>	X			X					
<b>5</b>	X			X			X		
<b>6</b>	X			X		X			
<b>7</b>	X			X				X	
<b>8</b>		X		X					
<b>9</b>		X		X		X			
<b>10</b>		X		X			X		
<b>11</b>		X			X				
<b>12</b>		X			X		X		
<b>13</b>		X			X	X			

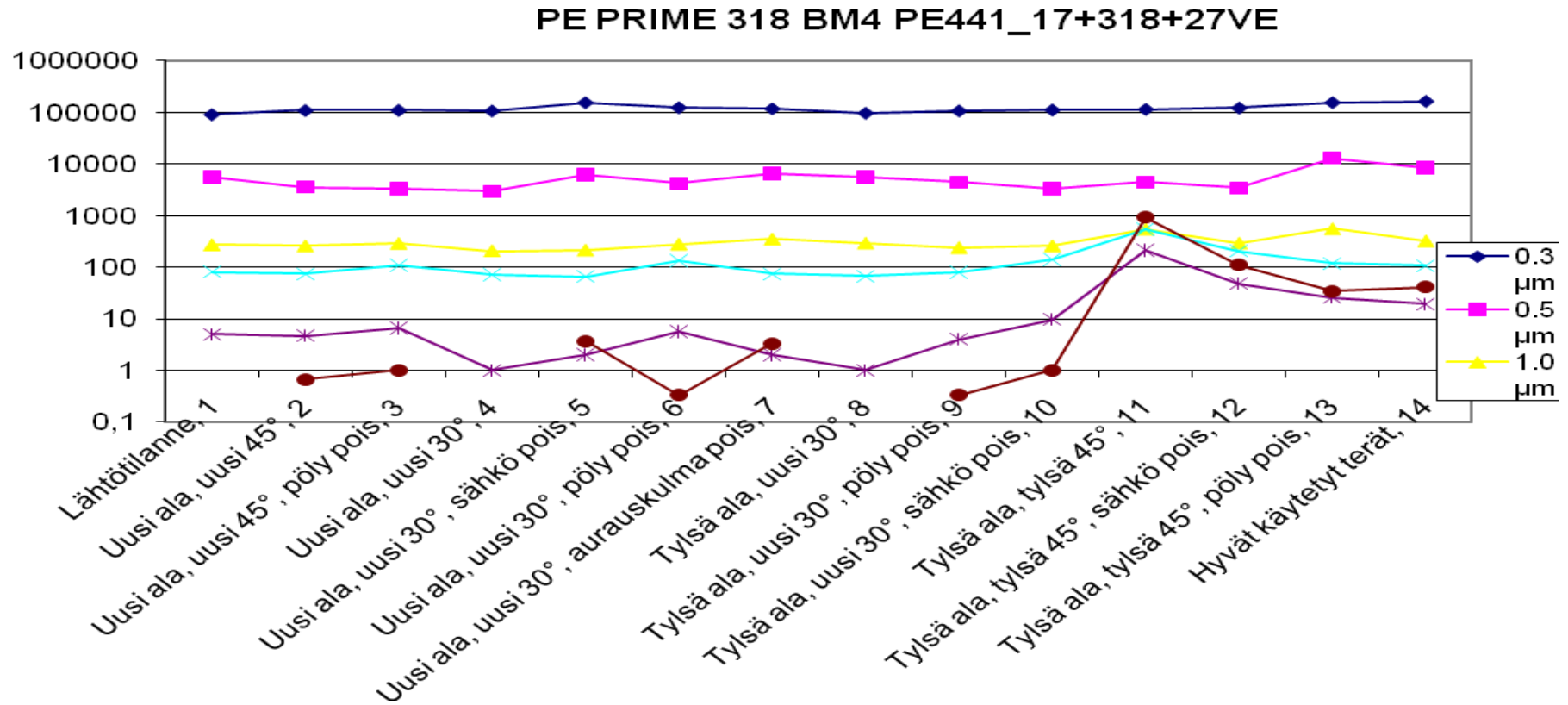


LIITE 15

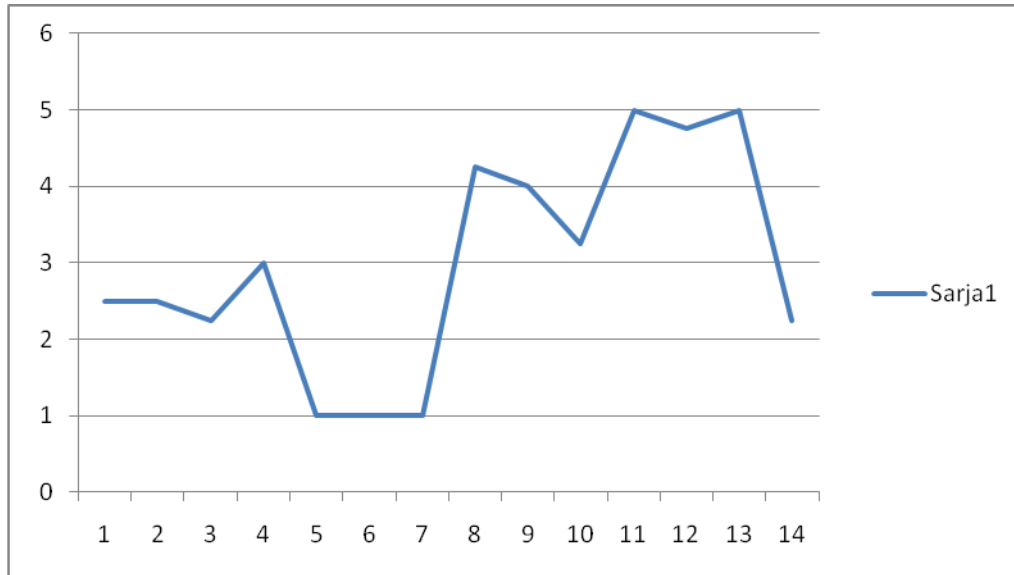
15 (17)



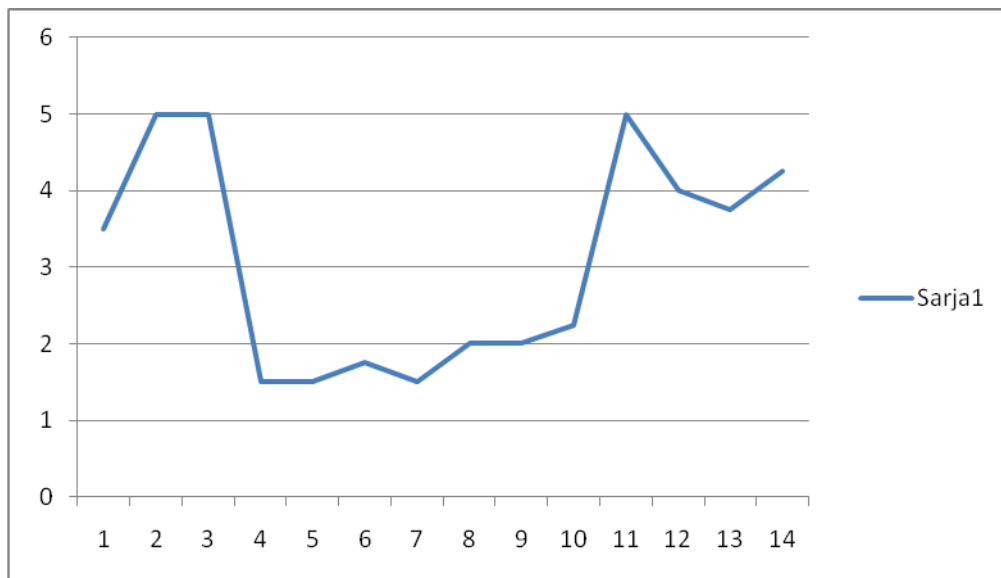
Kuvio 1. Koeajo 1. 2.3.2007



Kuvio 2. Koeajo 2. 12.3.2007



Kuvio 3. Pölymäärä mittauspisteiden funktiona. Koeajo 2.3.2007.



Kuvio 4. Pölymäärä mittauspisteiden funktiona. Koeajo 12.3.2007.