

TAMPEREEN AMMATTIKORKEAKOULU

Paperitekniikan koulutusohjelma

Opinnäytetyö

Markus Kurkioja

PITUUSLEIKKURIN LEIKKAUSTAPAHTUMAT ERI PAPERILAJEILLA JA  
LAMINAATEILLA

Työn ohjaaja

Työn teettäjä

Tampere 2007

Tkl Päivi Viitaharju

Quattroll Oy, valvojana Pauli Luomala

# TAMPEREEN AMMATTIKORKEAKOULU

## Paperitekniikan koulutusohjelma

Markus Kurkioja	Pituusleikkurin leikkaustapahtumat eri paperilajeilla ja laminaateilla
Opinnäytetyö	65 sivua
Työn ohjaaja	TkL Päivi Viitaharju
Työn teettäjä	Quattroll Oy, valvojana Pauli Luomala
Kesäkuu 2007	
Hakusanat	pituusleikkaus, pituusleikkausmenetelmät, teräasetukset, leikkaustavat

## TIIVISTELMÄ

Nopeudet paperi- ja kartonkikoneilla ovat nousemassa, jolloin myös pituusleikkureiden nopeuksia on nostettava. Paperilajien lisääntyminen merkitsee haasteita teräasetusten määrittämisessä ja sopivan leikkausmenetelmän valitsemisessa. Yhä kasvava täyteaineiden käyttö ja kierrätyskuidun lisääntyminen rainassa asettavat suuria haasteita leikkauksen onnistumiselle.

Tässä opinnäytetyössä kartoitettiin kirjallisuuden perusteella erilaisten mekaanisten leikkausmenetelmien hyötyjä ja haittoja sekä vertailtiin vaihtoehtoisia (laserleikkaus ja vesisuihkuleikkaus) menetelmiä mekaanisten leikkauksien tilalle. Lisäksi tehtiin Quattrollin käyntiinajajien haastattelu heidän tietojensa kokoamiseksi.

Tulevaisuudessa laserleikkauksen mahdollisuuksiin paperiteollisuudessa tulisi kiinnittää enemmän huomiota paremman ja toimivamman leikkauksen aikaansaamiseksi.

Jokaisella leikkausmenetelmällä on omat hyvät ja omat huonot puolensa. Nyrkkisääntönä voi pitää, että tangentiaalinen ja kiertoleikkaus soveltuvat paperiteollisuudelle, puskuleikkaus, puhkaisuleikkaus ja tankosahaleikkaus pehmopaperiteollisuudelle, teräleikkaus ohuille muoveille, sulatusleikkaus kankaille, laserleikkaus kaikille ja vesisuihkuleikkaus reunanauhaleikkaukseen ja metalliteollisuuteen.

Paper Technology

Markus Kurkioja                      Cutting process in winding with different paper grades and laminates

Engineering Thesis                      65 pages

Thesis Supervisor                      Lic.Tech. Päivi Viitaharju

Commissioning company              Quattroll Oy, Pauli Luomala

May 2007

Keywords                                  winding, slitting, shear slitting, cutting methods

## ABSTRACT

The velocity of paper machine and paper board machines are increasing, meaning that velocity of the winders must be increased as well. Increasing number of the paper grades means more challenges for blade settings and cutting methods. Increasing amount of filling material and recycled fiber is used in web, which sets even more challenges to successful cut.

The aim of this thesis was to find out benefits and disadvantages of different kinds of mechanical cutting methods. Another aim was to compare alternative (laser cut and waterjet) methods with mechanical methods.

Laser cutting brings many possibilities for paper industry in the future and it should be considered as a potential competitor for mechanical cut.

Every cutting method has some benefits and disadvantages. Tangential shear slitting method and wrap-around shear slitting are suitable for paper industry. Score slitting, burst slitting and log saw slitting are best for soft tissue industry, razor slitting for thin plastic, hot knife slitting for fabrics, laser slitting for every material and waterjet slitting for metal industry.

## ALKUSANAT

Tahdon kiittää Quattrollia mahdollisuudesta tutkia mekaanista leikkausta ja samalla pohtia tulevaisuuden visioita laserleikkaukselle. Laajasta aiheesta huolimatta se oli mielenkiintoinen loppuun saakka.

Työ oli todella haasteellinen ja mielenkiintoinen. Tutkittava materiaali oli lähes poikkeuksetta englanniksi, mutta se ei asioiden ymmärrettävyyttä vaikeuttanut. Ongelmia tuli vain siinä, kun englanninkieliset sanat piti muuttaa suomeksi ja samaa tarkoittavaa sanaa ei aina löytynyt. Työ olisi ollut helpompi tehdä englanniksi.

Isäni Matti Kurkioja ja äitini Tarja Kurkioja olivat suureksi avuksi työtaakkani keventämisessä ja henkilökohtaisien asioiden järjestelyssä. Sisarukseni Jari Kurkioja ja Terhi Kurkioja auttoivat teknisissä ongelmissa ja olivat suureksi avuksi mielipiteiden vaihdossa, kiitos. Avovaimoni Riikka Väisänen jaksoi jatkuvasti tsemptata oppinnäytetyöni kanssa ja piti huolta, etten aja itseäni piippuun, syvästi kiitoksia hänelle siitä.

Lopuksi tahdon kiittää työni ohjaajaa Päivi Viitaharjua tehokkaasta kommunikaatiosta, aidosta mielenkiinnosta ja hyvistä kehitysideoista.

Tampereella 29. huhtikuuta 2007



Markus Kurkioja

## SISÄLLYSLUETTELO

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

ALKUSANAT

SISÄLLYSLUETTELO .....	5
1 JOHDANTO .....	6
2 YLEISTÄ PITUUSLEIKKUREISTA .....	7
3 PITUUSLEIKKURITYYPIT .....	8
4 PITUUSLEIKKAUKSEN VAIHEET .....	9
4.1 Aukirullaus .....	10
4.2 Rainan vienti .....	11
4.3 Leikkaustapahtuma .....	12
4.4 Kiinnirullaus .....	13
5 PÖLYÄMINEN PITUUSLEIKKURILLA .....	14
6 RULLAN MUODOSTUMINEN .....	16
7 LEIKKAUSTAPAHTUMA .....	18
7.1 Leikkurin muutot ja trimmitys .....	18
7.2 Leikkauksen laatu .....	21
7.3 Leikkaustavat .....	21
7.3.1 Leikkausmenetelmä .....	23
7.3.2 Mekaaninen leikkaus .....	24
7.3.3 Laserleikkaus .....	35
7.3.4 Vesisuihkuleikkaus .....	40
7.4 Leikkuuterät .....	42
7.4.1 Terien asetukset .....	42
7.4.2 Valmistusmateriaalin vaikutus .....	44
7.5 Teräasetukset eri lajeilla ja materiaaleilla .....	47
7.5.1 Terien limitys .....	48
7.5.2 Terä- ja teroituskulma .....	50
7.5.3 Yläterien nopeus .....	52
8 QUATTROLLIN KÄYNTIINAJAJIEN KOKEMUSTEN KERÄÄMINEN ....	53
8.1 Johdanto .....	53
8.2 Haastattelut vastauksineen .....	53
8.3 Johtopäätökset .....	61
9 KOKO TYÖN JOHTOPÄÄTÖKSET JA TULOSTEN TARKASTELU .....	62
LÄHDELUETTELO .....	64

## 1 JOHDANTO

Paperiteollisuudessa käytetyimmät leikkausmenetelmät ovat mekaanisia leikkausmenetelmiä. Paperiteollisuuden käyttämät leikkaustavat ovat tangentiaalinen leikkaus, puskuleikkaus ja kiertoleikkaus. Vesisuihkuleikkausta käytetään enimmäkseen reunanauhojen poistossa, ja laserleikkaus on vasta tekemässä läpimurtoa.

Pituusleikkurin ajonopeudet kasvavat paperi- ja kartonkikoneiden vauhdissa. Tämän vuoksi on tärkeää kehittää uusia kokonpanoja ja laiteratkaisuja kasvavan tarpeen tyydyttämiseksi. Ajonopeuksien kasvaessa myös leikkuuterien kulumisen nopeutuu, jolloin kestävämpien terämateriaalien tutkiminen tulee ajankohtaisemmaksi.

## 2 YLEISTÄ PITUUSLEIKKUREISTA

Pituusleikkuri kuuluu tehtaalla pääasiassa jälkikäsitteilyn piiriin. Pituusleikkuri on myös mahdollista sijoittaa on-line, mutta se edellyttää hitaampaa ajonopeutta ja on tällä hetkellä paperikoneiden suurista nopeuksista johtuen soveltuva vain kartonki- ja pehmopaperikoneille, joissa bulkkisuuden säilyttäminen on tärkeää.

Paperikoneilta valmistuneet rullat tuodaan pituusleikkurille, jossa rulla leikataan asiakkaan haluamiin mittoihin. Samalla tulee myös testattua rainan ajettavuus. Nyrkkisääntönä voidaan pitää, että yhtä nopeaa paperikonetta (yli 1500 m/min) varten tarvitaan kaksi leikkuria.

Kallein hylky syntyy pituusleikkureilla, joten investoiminen leikkureihin on kannattavaa. Paperi- tai kartonkikoneella muodostunut huonolaatuinen rulla on joissakin tapauksissa vielä pelastettavissa pituusleikkureilla.

Pituusleikkaukseen kohdistuvat vaatimukset ovat kasvamassa. Paperikoneiden tuotantonopeudet suurenevät jatkuvasti, konerullien halkaisijat kasvavat, automatisoituja toimintoja tarvitaan enemmän ja paperirainan ominaisuudet ovat vaihtumassa. Samalla vaaditaan korkeampaa tuotantotehokkuutta. Tuotantotehokkuus on pystyttävä pitämään korkealla tasolla, joka tarkoittaa mahdollisimman vähän ratakatkoja ja alasajoja. /2/

### 3 PITUUSLEIKKURITYYPIT

Pituusleikkurityypit voidaan karkeasti jakaa kolmeen erilaiseen ryhmään. Kehitys on lähtenyt liikkeelle kantotelaleikkureista, joissa rullasarja eli muutto pyörii kahden kantotelan varassa. Usein nämä kantotelat ovat hieman erikokoisia tärinän vähentämiseksi. Ne voivat olla joko vaakatasossa tai hiukan kallellaan. /4/

Ohuilla papereilla kantotelaleikkureiden ongelmaksi muodostuivat kreppiryngyt ja murtumat rullahalkaisijoiden kasvaessa. Tämän takia ruvettiin 1960-luvun lopussa kehittämään keskiörullaimia, joissa kukin rulla tuetaan rullavarsien avulla erikseen. Ensimmäiset versiot olivat malliltaan ns. kello 9 – 3-rullaimia, eli yksittäiset rullat olivat rullaussylinterin eri puolilla vaakatasossa. Rullain siis oli periaatteeltaan Pope-rullainta muistuttava, eli rullan oma paino ei vaikuttanut lainkaan rullauspainon kuormitukseen. /4/

Syväpainorullien painon ja leveyden kasvaessa tulivat ensimmäisen sukupolven keskiörullaimilla hylsyn ja hylsyn ympäristön kuormitukset liian suuriksi. Näiden haittojen vähentämiseksi kehitettiin 1980-luvun alussa kello 11 – 1 rullaimet, joissa osa suuren rullan painosta kannatellaan kehältä, mutta suurin osa jää edelleen keskiökannatteiseksi. /4/

Yksi keskiörullaimien ongelmista on kalliimman konstruktion lisäksi nippipaineen ja rullan pohjan kuormituksen epätasainen jakauma. Tämän takia on viime vuosina tullut markkinoille modifioituja kantotelarullaimia. Niissä on rullan omasta painosta aiheutuvaa maksiminippipainetta vähennetty joko leventämällä nippiä tai keventämällä rullasarjaa paineilman tasaisen nosteen avulla. /4/

Yksi ratkaisu on toisen kantotelan ympäröiminen hihnoilla. Vastaavan tapainen yksinkertaisempi ratkaisu on kantotelan polymeeripinnoitus. /4/

#### 4 PITUUSLEIKKAUKSEN VAIHEET

Pituusleikkurin päätehtävänä on rullata ja leikata paperikoneelta tai sen jälkeisestä jatkokäsittelystä tulevat täysleveät konerullat asiakkaiden vaatimukset täyttäväksi yksittäisrulliksi. Asiakkailta saaduissa tilauksissa eritellään rullaleveys sekä halkaisija tai rainan pituus. Näille arvoille on määritelty myös toleranssit./1/

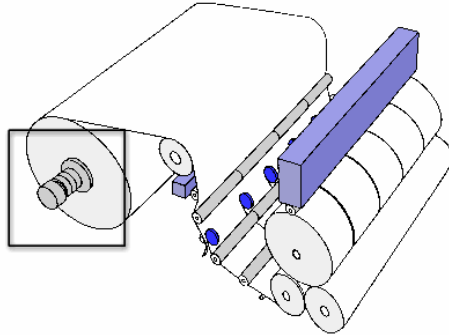
Pituusleikkurilla valmistuneilta rullilta vaaditaan jatkojalostuksen kannalta hyvää ajettavuutta. Rullien laadun on oltava niin hyvä, ettei rullien aukirullautuessa aiheudu häiriöitä itse jalostusprosessiin. Häiriöitä, joita huono rulla aiheuttaa esimerkiksi painokoneella, ovat katkot, huono suuntavakavuus, kohdistamisvaikeudet sekä vekiä ja laskokset. Rullien on myös kestettävä niihin pakkaus-, varastointi-, ja kuljetusvaiheessa kohdistuvia rasituksia.

Hyvän rullan vaatimukset ovat seuraavat:

- hyvälaatuiset reunat (ei repeytymiä)
- hyvä leikkausjälki (ei pölyä, ei repaleista jälkeä)
- hyvä tiiviys
- oikeat rullan mitat (halkaisija, leveys, pituus)
- hyvä pyöreys (mahdollistaa ajamisen korkeammilla nopeuksilla ilman tärinää)
- rullan täytyy pysyä pyöreänä myös käsittelyssä ja varastoinnissa
- esteettisen näköinen
- hyvä ajettavuus
- hyvä hylsyn laatu.

Jokaisella pituusleikkurilla on omanlaisensa kokoonpano, mutta prosessi voidaan karkeasti jakaa neljään osa-alueeseen: aukirullaukseen, rainan vientiin, leikkaustapahtumaan ja kiinnirullaukseen.

## 4.1 Aukirullaus



**Kuva 1** Pituusleikkurin aukirullausasema /11/

Kuvasta 1 voi huomata, missä kohtaa pituusleikkuria aukirullausasema sijaitsee. Konerulla aukirullataan aukirullauspukeilla. Kun konerulla tuodaan aukirullauspukeille pituusleikkurilla, se lukitaan paikoilleen sekä kytketään sähkökäyttöön työntämällä käyttöakselin hammaskytkin konerullan akselin päähän. /11/

Rainankireyden muodostaa konerullan sähkökäyttö, joka vastustaa rullaustelojen rainaa vetävää voimaa. Sähkökäyttö on varustettu tehokkaalla jarrulla, jotta konerulla saadaan pysäytettyä nopeasti muutonvaihdossa ja rainankatkoissa. /11/

Ajojarrun päätehtävänä on ylläpitää tietty rainan kireys rullauksen aikana. Sähköisellä ja hydraulisella jarrugeneraattorilla voidaan myös kiihdyttää konerulla täyteen ajonopeuteen. Tällöin voidaan käyttää lyhyitä kiihdytysaikoja myös ohuella paperilla. /1/

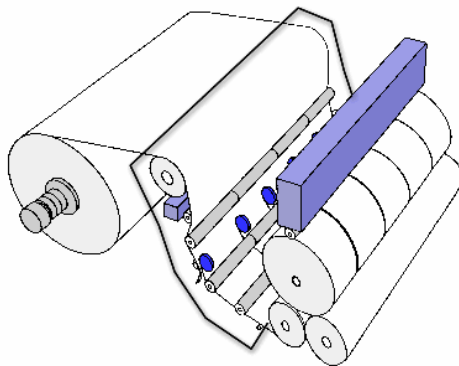
Konerullan keskittämiseksi pituusleikkurilla on aukirullauspukeilla yleensä sivuttaisiirtomahdollisuus. Erityisesti päällystetyillä papereilla käytetään konerullan jatkuvaa edestakaista liikuttelua eli oskillointia koneen poikkisuunnassa. /1/

Oskilloinnin avulla voidaan myös lieventää paperirainassa esiintyvien kapeiden paksuushuippujen vaikutusta valmiisiin rulliin. /1/

Aukirullauspukit voivat sisältää konerullan koneensuuntaisen vinoasettelumahdollisuuden. Tätä käytetään rainan kireyden tasaamiseen koneen hoito- ja käyttöpuolen välillä. Usein tämä toiminto korvataan paperinjohtotelan vinoasettelulla. /1/

Aukirullauslaitteisto voidaan varustaa koneistolla, jotka poistavat rullaraudan varastokiskoille ja siirtävät uuden konerullan aukirullauspukeille. Nämä laitteet vapauttavat nosturin aikaan sidotusta konerullan vaihdosta ja nopeuttavat vaihtoa. /1/

## 4.2 Rainan vienti



**Kuva 2** Rainan kulku pituusleikkurilla /11/

Kuvasta 2 voi nähdä rainan viennin periaatteen.

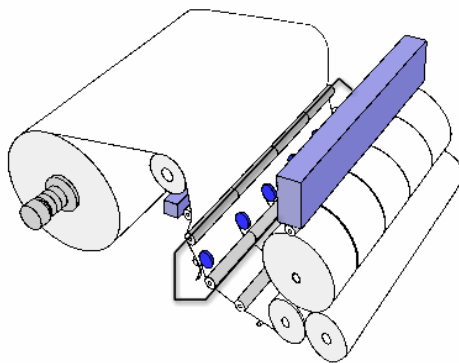
Rainan ajonopeus voi saavuttaa yli 40 m/s nopeuden. Pituusleikkurin rakenne, geometria ja radan kulku on suunniteltu ja valmistettu sellaiseksi, että raina kulkee hallitusti koko nopeusalueella, ja myös rainan pituus- ja poikittaissuuntaisiin kireyksiin pystytään vaikuttamaan korkean ajettavuustason saavuttamiseksi.

Rainan kulkua pituusleikkurin läpi ohjataan ohjausteloilla. /11/

Ennen pituusleikkausta ja pituusleikkauksen jälkeen on yleensä aina levityslaitte. Kuitenkin ennen ja jälkeen leikkauksen toiminnot ovat selvästi erilaisia. Ennen leikkausta oleva levityslaitte, joka ei levitä rainaa, käytetään tasaamaan ps (koneen poikkisuuntaista) jännitystä ja ehkäisemään tai poistamaan rypyjä ennen leikkausta. /3/

Leikkauksen jälkeen olevaa levityslaitetta käytetään levittämään rainaa ja näin ollen varmistamaan hyvä rainan ja rullan erotus. /3/

### 4.3 Leikkaustapahtuma



**Kuva 3** Rainan leikkaustapahtuma pituusleikkurilla /11/

Kuvasta 3 voi päätellä pituusleikkurin leikkaustapahtuman sijainnin.

Leikkausosalla raina leikataan osarainoiksi tilausten mukaisesti. Mutta koska rainan reunat eivät täytä asiakasvaatimuksia, reunoista leikataan ohuet reunanauhat.

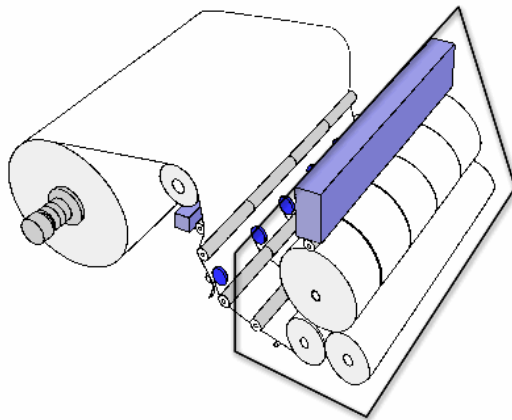
Reunanauhat ohjataan reunanauhasuuttimia pitkin pulperiin. /11/

Reunanauhat johdetaan alipaineen avulla imusuuttimeen ja edelleen putkistoon, jota myöten reunanauhat kuljetetaan keräilyastiaan, yleisimmin pulperiin. Reunanauhaputkiston imun tulee olla ainakin niin suuri, että ilman nopeus imusuuttimessa on reilusti suurempi kuin rainan nopeus pituusleikkurissa. Suurilla pituusleikkurin nopeuksilla tämä merkitsee voimakasta imua. /1/

Reunanauhan kulkeminen putkistossa edellyttää oikeaa ilman nopeutta ja myös riittävää tilavuusvirtaa. Tilavuusvirta on mitoitettava paperin laadun mukaan niin, että saadaan oikea kuljetussuhde eli paperin massavirran suhde ilman massavirtaan. Imun synnyttämiseksi imuputkistoon käytetään ejektoreita tai puhaltimia. Ejektorien avulla saadaan nauha kulkemaan kokonaisena tai suurina osina, jolloin nauhan osat eivät lähde helposti leijailemaan jatkokäsittelyssä. Repijäpuhaltimia eli puhaltimia, joiden siipiin kiinnitetyt terät repivät nauhan pieniksi palasiksi, käytetään varsinkin paksuilla papereilla. Paperi tai kartonki johdetaan puhaltimen imupuolelle. Puhaltimen läpi mennessään nauha repeytyy, jolloin se kulkee helpommin puhaltimen painepuolen putkistossa. Reunanauha voidaan myös imeä käyttäen pelkästään puhaltimen imuputkistoa. /1/

Koska pituusleikkauksen leikkaustapahtuma on opinnäytetyön pääaihe, sitä käsitellään laajemmin luvussa 7.

#### 4.4 Kiinnirullaus



**Kuva 4** Kiinnirullausyksikkö pituusleikkurilla /11/

Kuvan 4 kiinnirullausasema on tehty kantotela periaatteella.

Rullaussosa on se osa pituusleikkuria, jossa aukirullattu ja osarainoiksi leikattu raina rullataan uudelleen valmiiksi asiakasrulliksi. Asiakasrullien leveydet ja halkaisijat vaihtelevat asiakkaan tilausten mukaan. /11/

Kiinnirullauksen tavoitteena on rullata rulla, jonka rakenne kestää rullien kuljettamisen ja mahdollistaa häiriöttömän jatkojalostuksen. Rullan tulee olla pyöreä ja riittävän tiukka. Yleisesti rullan tiukkuuden tulee olla lähes samansuuruinen hylsytä ulkohalkaisijalle asti. /11/

Rullauksen alussa rullausvoima on merkittävä tiukkuuden muodostuksessa, kun taas rainankireys vaikuttaa melko tasaisesti koko rullauksen ajan. /11/

Rullaussosassa hallitaan ja säädetään asiakasrullan laatua, rullan sisäisiä jännityksiä, kovuusjakaumia ja kovuustasoa. /11/

Rullaustulokseen vaikuttaa joukko tärkeitä säätöparametreja, mutta myös rullaustelojen halkaisijoilla, pinnoituksella ja urituksella, on oma osansa rullausprosessissa. /11/

## 5 PÖLYÄMINEN PITUUSLEIKKURILLA

Rullien leikkauksen yhteydessä muodostuu myös leikkauspölyä. Pölyä syntyy, kun leikkausterät ja leikattava raina ottavat mekaanista kontaktia toisiinsa, jolloin terät irroittavat kuituja ja pigmenttipartikkeleita leikattavasta rainasta. Varsinkaan kuluneet terät eivät enää leikkaa rainaa, vaan oikeastaan repivät sitä, jolloin pölyn muodostuminen on runsasta. Pöly aiheuttaa ajettavuusongelmia päällystysyksikössä tai voi huonontaa painojälkeä. Leikkauspölyn muodostumista on syytä välttää etenkin tuotteissa, jotka ovat suunnattu elintarviketeollisuuden pakkausmateriaaleiksi.

Mahdollisia syitä pölyämiseen leikkausprosessin aikana ovat

- liian suuri leikkauskulma
- liian suuri terän penetraatio rainaan
- tylsät tai väärin teroitettut terät
- terien heiluminen suurilla ajonopeuksilla
- liian suuri radiaalinen heitto teräyksiköillä (johtaa teräkulman muuttumiseen)
- liian suuri teräpaine
- terien liikkuminen hitaammin tai yhtä nopeasti kuin raina
- liian suuri tai pieni rainan pintajännitys, jolloin paperi repeytyy eikä leikkaudu
- käytetty leikkaustapa (perinteinen tangentiaalinen leikkaus aiheuttaa enemmän pölyä kuin esim. kiertoleikkaus)
- rainan hankaaminen teräyksiköihin
- käytetty kuitumateriaali rainassa (kierrätyskuitu pölyää enemmän kuin tavallinen sellu)
- rainan valmistuksessa käytetty suuria määriä täyteaineita.

Pölynpoistossa on mahdollisuus käyttää erilaisia imujärjestelmiä. Tavallisimpia ovat imulistat tai -laatikot, joiden avulla pölyä imetään paperirainasta koko pituusleikkurin leveydeltä. Näiden avulla ei ole saavutettu kuitenkaan kovin hyvää tulosta, sillä pöly on staattisen sähkönsäilytyksestä lujasti kiinni paperissa ja hankaava lista muodostaa lisää pölyä ja vaikeuttaa rainan kulkua. /1/

Pölynpoiston tulisikin tapahtua ennen kuin pöly pääsee tarttumaan paperin pintaan. Tässä tarkoituksessa käytetään mm. leikkausosalla imusuuttimia, jotka sijoitetaan välittömästi leikkauksen jälkeen rainan molemmin puolin. Käytännössä ei niidenkään antama hyöty ole kovin hyvä, sillä toimiakseen hyvin suuttimet tarvitsevat voimakkaan imun. Tämä puolestaan häiritsee helposti rainan kulkua ja aiheuttaa katkoja leikkurilla. /1/

Pöly johdatetaan imuputkiston avulla pölynerottimeen, jona käytetään kuiva- tai märkäerottimia. Märkäerottimissa pöly erotetaan ilmasta veden avulla ja muodostunut liete pumpataan pulpperiin. /1/

## 6 RULLAN MUODOSTUMINEN

Rullan muodostamisessa on olennaista, että venyvää rainaa rullataan kokoonpuristuvan sydämen ympärille. /1/

Pituusleikkurityypin mukaisesti, rullan koossa pitävä voima eli rullan sisäinen jännitys saadaan aikaan joko kiristämällä rainaa tai rullaa vasten pyörivän telan aiheuttamalla nippikuormituksella.

Kireys on mahdollista saada aikaan

- jarruttamalla rainaa jarrugeneraattorilla tai laahaavilla koneenosilla
- aiheuttamalla nippitelan tai hihnan momentilla rullan kehälle tangentialivoima
- kiristämällä rullaa keskiöstä.

Nippivaikutuksen puolestaan voi kuvitella perustuvan nipin keskikohdan ja vapaan rullan pinnan säteiden erotuksen aiheuttamaan nopeuseroon ja paperin lisävenymään nipissä. /4/

Rullan sisäiset jännitykset jaetaan

- konesuuntaiseen eli rullan tangentin suuntaiseen jännitykseen
- säteensuuntaiseen eli paperikerrosten väliseen puristusaineeseen.

Konesuuntainen jännitys kasvaa vielä pari kierrosta rullan pinnan alapuolella, minkä jälkeen se mahdollisesti voi ruveta pienemään kerrosten välisen liukumisen takia. Joka tapauksessa se pienenee sen takia, että alla olevien kerrosten puristuessa kasaan joutuvat päällimmäiset kerrokset pienemään kehälle ja menettävät näin kireyttään. /4/

Kerrosten välinen puristusaine kasvaa pinnalta syvemmälle mentäessä ensin nopeasti ja sitten hitaammin kunnes se saavuttaa lähes vakioarvon. Mitä enemmän paperia kalanteroidaan, sitä syvemmälle puristusaineen nousu jatkuu ja sitä suuremman arvon se saavuttaa. /4/

Rullan tangentin ja säteen suuntaiset jännitykset saadaan likimäärin seuraavista yksinkertaistetuista kaavoista:

$$P_c = \frac{T}{d} \frac{1}{\alpha - 1} \left[ 1 - \left( \frac{R}{R_2} \right)^{\alpha - 1} \right] \quad (1)$$

$$P_t = \frac{T}{d} \frac{1}{\alpha - 1} \left[ \alpha \left( \frac{R}{R_2} \right)^{\alpha - 1} - 1 \right] \quad (2)$$

$$\alpha^2 = \frac{E_t}{E_c} \quad (3)$$

$P_c$  = rullan säteen suuntainen puristusaine

$P_t$  = rullan tangentin suuntainen vetojännitys

$T$  = rullan rullauskireys (voima leveysyksikköä kohti)

$d$  = paperin paksuus

$R$  = rullan säde

$R_2$  = rullan ulkosäde

$E_t$  = kimmokerroin tangentin suunnassa

$E_c$  = kimmokerroin säteen suunnassa. /5/

Tangentin ja säteen suuntaisten jännitysten välillä on seuraava yhteisyys:

$$P_c + P_t + r \frac{dP_c}{dr} = 0 \quad (4)$$

$$r = \frac{R}{R_o} \quad (5)$$

$R_o$  = hylsyn ulkosäde. /6/

Rullien hyvä ajettavuus ja käsiteltävyys edellyttävät oikeata ja tasaista rullan sisäisten jännitysten jakaamaa. Virheellisen muotoinen jännitysten jakauma tai vaihteleva jännitys vaikuttavat haitallisesti paperin venymisominaisuuksiin sekä rullan aukirullautuvuuteen ja saattavat jopa aiheuttaa rullan sisäisiä repeämiä.

Rullan sisäiset jännitykset muodostuvat pituusleikkurin ja sen ajotavan sekä paperin ominaisuuksien yhteisvaikutuksesta. /1/

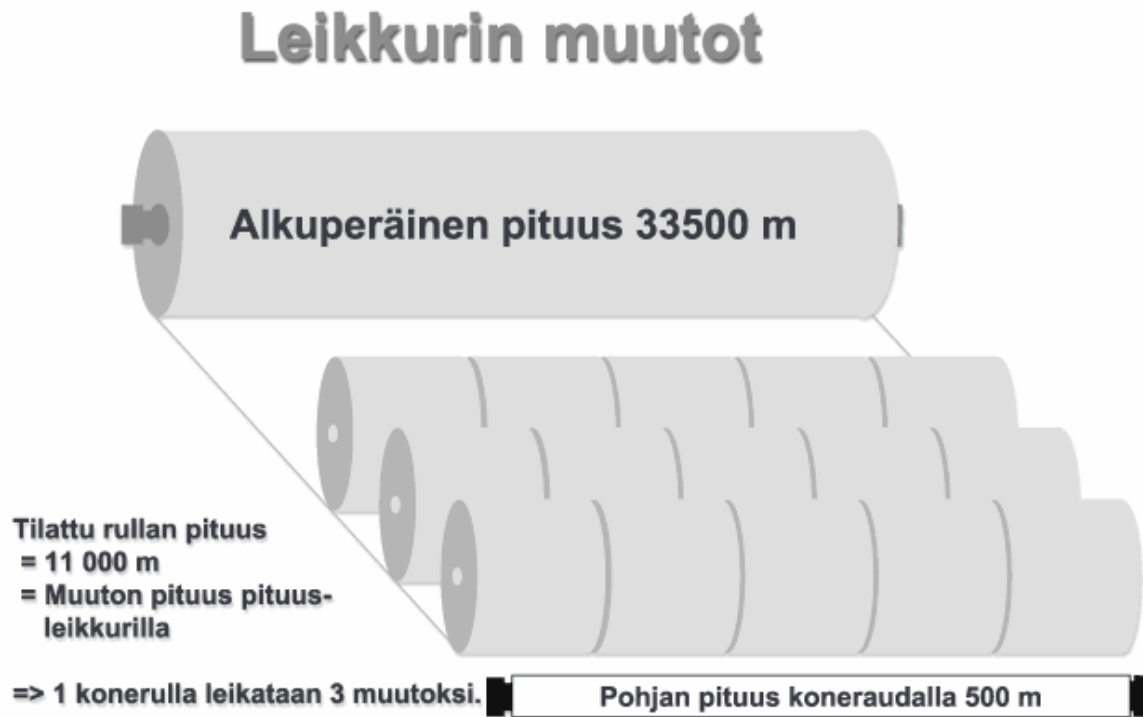
## 7 LEIKKAUSTAPAHTUMA

Pituusleikkausmenetelmiä on olemassa kolmea eri lajia: mekaaninen leikkaus, vesisuihkuleikkaus ja laserleikkaus. Yleisin näistä kolmesta menetelmästä on mekaaninen leikkaus, sen edullisuuden, alhaisten investointikustannusten, pitkälle kehitetyn teknologian, luotettavuuden ja pitkän käyttöhistorian vuoksi. Kuitenkin elektroniikan hinnan alentuessa ja teknologian kehittyessä yhä tehokkaammaksi ja luotettavammaksi laserleikkauksen tulevaisuuden näkymät ovat hyvät. Vesisuihkuleikkausta käytetään yleensä reunanauhojen leikkauksessa.

### 7.1 Leikkurin muutot ja trimmitys

Konerullan raina on täyslevyinen ja mahdollisesti jopa yli 90 km pitkä, joten raina täytyy leikata asiakkaalle sopivan levyisiksi ja pituisiksi osarainoiksi ja rullata hylsyjen ympärille ennen tehtaalta lähettämistä. Lisäksi rainan heikkolaatuiset reunat täytyy leikata pois. /11/

Yhdestä konerullasta voidaan leikata 1 – n (n on tyypillisesti 3 – 5) muuttoa.  
Muutonvaihdolla tarkoitetaan niitä sekvenssissä suoritettavia toimintoja, joiden tarkoituksena on poistaa pituusleikkurista valmiit asiakasrullat ja valmistella uuden rullauksen aloitus. /11/



**Kuva 5** Muuton toteutus /11/

Kuvasta 5 on mahdollista nähdä muuton toiminnan periaatteen.

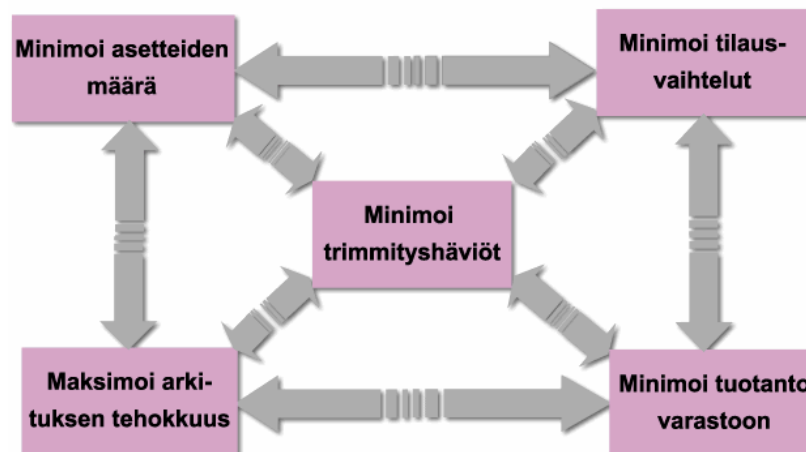
Käyttäjän kannalta paperitehtaan tietojärjestelmässä on kolme päätoimintoa /11/:

- Tuotannosuunnittelun tuottaman asetteen valmistelu leikkaukseen. Pituusleikkurilla työohjeena on tuotannosuunnittelun tekemä ajo (-rakenne) ja sen sisältämät asetet. Leikkurimies hakee päätteelleen asetteen, jossa määritellään, mille tilauksille ajon konerulla on leikattava (eli siis samalla rullaleveydet) sekä montako muuttoa kyseistä asetetta on leikattava. Asetteen valmistelussa leikkurimies voi esimerkiksi määrätä, missä

asemassa tai millä terillä tietty leveys (tilaus) leikataan. Kun asete on valmisteltu, se voidaan lähettää leikkurin teräasetusautomaatiikalle, joka siirtää terät haluttuihin paikkoihin automaattisesti.

- **Konerullan ilmoittaminen leikattavaksi**  
Kun konerulla on nostettu aukirullauspukille, tietojärjestelmälle ilmoitetaan, mikä konerulla on tällä hetkellä leikattavana. Tämä voi tapahtua joko viivakoodin avulla tai nykyään yhä useammin automaattisella konerullan rautatunnistimen avustuksella.
- **Muuton ilmoittaminen valmiiksi**  
Kun järjestelmä tietää, mikä konerulla on leikattavana sekä mille aseteelle se leikataan, voidaan leikkaus aloittaa. Kun muutto on leikattu asetteen suunniteltuun halkaisijaan (tai pituuteen), muutto on valmis ja kone pysähtyy. Tällöin leikkuriautomaatiikka lähettää automaattisesti tietojärjestelmälle tiedot muuton pituudesta ja halkaisijasta. Leikkurimiehelle näytetään muuton pituus ja halkaisija, jotka hän kuittaa oikeiksi ja samalla muuton syntyneeksi. Tässä vaiheessa rullien tiedot luodaan tietojärjestelmään ja rullille printataan viivakooditarrat.

Trimmitys tarkoittaa sitä, miten raina leikataan pituus- ja leveysuunnassa mahdollisimman pienillä häviöillä. Kuitenkin siten, että asiakkaan tilaus toteutuu.



**Kuva 6** Trimmitykselle asetettavat tavoitteet./11/

Kuva 6 viittaa trimmityksen periaatteeseen. Trimmityksen hyöty on se, että iso tilaus voidaan jakaa osiin. Esimerkiksi jos asiakas tilaa tuotetta 1500 t niin tilauksesta, voidaan ensin valmistaa 1000 t ja muutaman viikon kuluttua 500 t. Tämä vähentää varastoinnin tarvetta niin paperitehtailla kuin asiakkaallakin. Lisäksi trimmitys vähentää syntyvän hyllyn määrää leikkurilla.

Trimmityksen tuloksena muodostuu 1 – n asetetta. Asete kertoo, mitkä tilaukset (samalla siis mitkä leveydet) leikataan rinnan ja montako muuttoa leikataan kyseistä asetetta. Tietojärjestelmään talletetaan ajokohtaisesti trimmityksen tulos eli asetteet sekä tieto siitä, mikä tilaus on leikattava – tai voidaan leikata - tietyssä ratapositionsa. /11/

## 7.2 Leikkauksen laatu

Hyvä leikkaustulos on suora, sileä, tasainen ja pölytön. Huono leikkausjälki ilmenee ”nukkaisena” pintana, epätasaisuutena ja päädyssä olevina renkaina. Ratajännitys leikkauksessa on noin 10 – 30 % rainan vetolujuudesta. Liian pieni ratajännitys aiheuttaa huonoa leikkausjälkeä ja vekkejä, kun taas liian suuri jännitys aiheuttaa rainan repeytymisen ennen varsinaista leikkausta. Ratajännityksellä on myös suuri merkitys valmiin rullan kovuuteen ja laatuun. Huono ratajännitys voi aiheuttaa valmiilla rullilla mm. teleskooppi-ilmiötä, joka aiheuttaa ongelmia ajettavuudessa jatkojalostettaessa rainaa.

## 7.3 Leikkaustavat

Mekaanisessa leikkauksessa erilaisia leikkaustapoja on useita. Jokaiselle materiaalille on pyritty määrittelemään paras leikkaustapa. Tämä leikkaustapa on yleensä kehittynyt vuosien saatossa käyttökokemusten ja laiteparannusten avulla. Vesisuihkuleikkauksesta on tiedossa vain yksi tapa, vaikka laitteet voisivatkin vaihdella. Laserleikkauksesta on tiedossa tällä hetkellä vain yksi tapa koska

se ei ole levinnyt teollisuuteen laajalti, jolloin käyttökokemuksen perusteella olisi mahdollista muuttaa tai parantaa käytettävissä olevaa leikkausta.

Tiedossa olevat leikkaustavat /4/:

#### A. Mekaaniset leikkaustavat

##### 1. Saksileikkaus (Shear slitting)

###### 1.1. Kiertoleikkaus (Wrap-around shear slitting)

###### 1.2. Tangentiaalinen leikkaus (tangential shear slitting, kiss slitting or kiss cut)

###### 1.2.1. Istukkaan asennetut ylä- ja alaterät (Mandrel mounted top and bottom slitters)

###### 1.2.2. Istukkaan asennetut alaterät (Individually mounted top slitters, mandrel mounted bottom slitters)

###### 1.2.3. Yksittäin kiinnitetyt alaterät (Individually driven bottom slitter)

##### 2. Puskuleikkaus (Score slitting, crush slitting)

##### 3. Puhkaisuleikkaus (Burst slitting)

##### 4. Teräleikkaus (Razor slitting)

###### 4.1. Urateräleikkaus (Razor "in-groove" slitting)

###### 4.2. Ilmateräleikkaus (Razor "in-air" slitting)

##### 5. Tankosahaleikkaus (Log saw slitting, baloney slicer, single knife, or lever slitter)

##### 6. Sulatusleikkaus (Fusing/hot knife slitting)

###### 6.1. Liikkumaton sulatusleikkaus (Stationary hot knife)

###### 6.2. Pyörivä sulatusleikkaus (Rotating hot knife)

#### B. Vaihtoehtoiset menetelmät

##### 1. Vesisuihkuleikkaus (Waterjet)

##### 2. Laserleikkaus (Laser slitting)

##### 3. Keraaminen veitsi (Ceramic knife)

Leikkaustavat on kirjoitettu suomeksi ja englanniksi, koska yrityksillä voi olla erilaisia kutsumanimiä näille edellä mainituille leikkaustavoille. Englanninkieliset termit pitävät yleensä hyvin paikkansa.

Saksileikkaus voidaan periaatteessa jakaa kahteen eri menetelmään; Kierto- ja tangentiaaliseen leikkaukseen. Vaikka paperi- ja kartonkitehtaila leikkureilla käytössä oleva leikkausmenetelmä on yleensä tangentiaalinen saksileikkaus, varaleikkurit voivat toimia kiertoleikkausmenetelmällä. Kummankin eri leikkaustavan hyödyt ja haitat pitäisi olla hyvin tiedossa, jolloin leikkausjärjestä saataisiin paras mahdollinen.

### 7.3.1 Leikkausmenetelmä

Modifioitu tangentiaalinen leikkaus sopii tavallisille papereille, kevyille kartongeille, kaoliinipäälyllistetyille papereilla ja kartongeille, kevyille laminaateille ja paineherkille rainoille, folioille, kalvolle, kelmulle, hauraille muoveille, arkkileikkureille. /3/  
Modifioitu tangentiaalinen leikkaus on myös sopiva kartongeille, joilla on iso neliömassa.

Tangentiaalinen leikkaus soveltuu tavallisille papereille, kevyille kartongeille, muovipäälyllistetyille papereille, kestäville muoveille, silkkipaperille. /3/

Kiertoleikkaus sopii helposti pölyäville materiaaleille, tärinää ja lepatusta aiheuttaville materiaaleille, vahvalle laminaatille, ohuille leikkauksille, sekä lajeille, joiden valmistuksissa on käytetty kierrätyskuitua. /3/

Puskuleikkaus sopii vahapaperille tai -kartongille, teipille, pehmopaperille, hiilipaperille, vinyylille, eristysnauhalle, maalarinteipille, kumille, vaahtomuoville, tiivisteille, pellille, kuparille ja huovalle. /3/

Teräleikkaus soveltuu foliolle, muovikalvolle (PE, PP), kelmulle, vinyylille ja sulatusleikkaus soveltuusynteettisille kankaille. /3/

### 7.3.2 Mekaaninen leikkaus

Raina leikkautuu yläterän ja alaterän välisessä leikkauspisteessä. Yläterät ovat rainan etupuolella lähempänä aukirullainta. Alaterät ovat rainan takana lähempänä kiinnirullainta. Yläterät jaetaan keskiteriin ja reunateriin. Reunaterillä leikataan rainasta reunanauhat. Keskiterät ovat reunaterien välissä. /8/

Paperia leikattaessa, terät pyörivät. Lautasmaista yläterää painetaan moottorikäyttöistä alaterää vasten. Aukirullaimelta tuleva paperiraina leikkautuu, kun se saapuu yläterän ja alaterän väliseen leikkauspisteeseen. Leikkauspiste on kohta, jossa yläterä koskettaa alaterää. /8/

Yläterän ja alaterän välinen puristusvoima on voima, jolla yläterää painetaan alaterää vasten leikkauksen aikana. Yläterän ja alaterän välisen puristusvoiman suuruuden pitäisi olla 40 – 90 N. Puristusvoima on sopiva silloin, kun yläterän pystyy painamaan kevyesti irti alaterästä, kun terät eivät pyöri. Puristusvoima on liian pieni, jos alaterä ei pyöritä leikkauksen aikana yläterää. Liian suuri puristusvoima lisää terien kulumista. Puristusvoimaan vaikuttaa paineilman paine yläterän paineilmasylinterissä ja yläterän sivusuunnassa liikkuman matkan pituus. /8/

Leikkauksen onnistumiseksi yläterän ja alaterän on oltava leikkauksen aikana limittäin. Limitys tarkoittaa syvyyttä, jonka yläterä menee leikkausasennossa alaterän sisään. Terien välinen limitys on aina säädettävä sen jälkeen, kun yläterä on teroitettu. Terien välinen limitys pitäisi olla 1,5 – 2,0 mm. Tällöin yläterä ja alaterä ovat limittäin 25 mm – 30 mm matkalla rainan kulkusuunnassa.”/8/

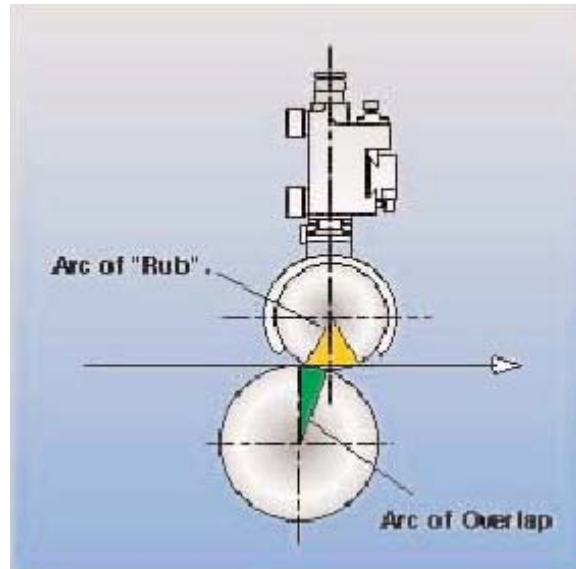
Mekaanisessa leikkauksessa on tärkeää, että raina koskettaa ensin alaterää ja sitten vasta yläterää, jolloin saadaan aikaan tarvittava leikkauskulma. Rainan koskettaessa ensin yläterää leikkauskulma ei muodostu ja raina ei leikkaudu. Leikkaustulos olisi samanlainen, kuin leikattaessa saksilla joissa on vain yksi terä.

Hyvän leikkausjälki edellyttää, että

- terät ovat terävät
- yläterän ja alaterän välisen puristusvoiman on oltava oikean suuruinen ja ehdottomasti vakio  $\pm 0,1$  bar
- yläterän ja alaterän välisen limityksen on oltava oikein säädetty
- terämateriaali on leikattavalle materiaalille oikea
- yläterän ja alaterän leikkauskulma on leikattavalle materiaalille oikea
- terät pyörivät (liikkuvat) 0,5 % – 5 % nopeammin, kuin raina.
- terien sivuttaisheitto oltava minimaalinen, maks. 0,02 mm.
- käytetty leikkaustapa on materiaalille sopiva
- rainaan aiheutuvat rasitukset (kone- ja poikkisuuntaiset) ovat tiedossa ja hallinnassa.
- värinä leikkausprosessissa on minimoitu
- käytetty teräkulma on oikea
- teroituskulma on määritelty optimaaliseksi materiaalille

## Tangentiaalinen leikkaus

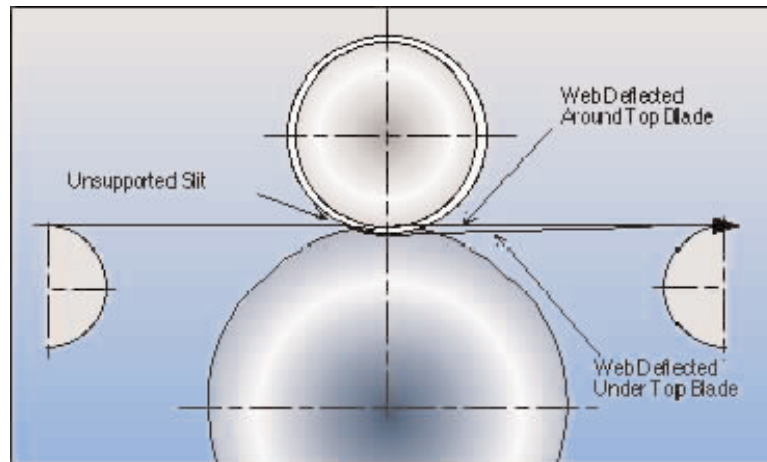
Luvussa 3.1. mainittu tangentiaalinen leikkaus (tangential shear slitting, kiss slitting or kiss cut) on yleisimmin käytetty leikkaustapa paperiteollisuudessa.



**Kuva 7** Periaatekuva tangentiaalisesta leikkausmenetelmästä./12/

Kuvasta 7 näkee rainan kontaktin ylä- ja alateriin. Tässä leikkausmenetelmässä raina leikataan tangentiaalisessa, tai lähes tangentiaalisessa asennossa teriin nähden. Terät koskettavat rainaa hyvin hellävaraisesti, oikeastaan vain hipaisevat rainaa sen leikkauspisteessä. Kosketus rainaan on kuitenkin tarpeeksi voimakas leikatakseen sen. Tämä menetelmä antaa ylä- ja alaterille mahdollisuuden kulkea hieman nopeammin kuin leikattava raina, joka on tärkeää hyvän leikkausjäljen saamiseksi. Perinteisen tangentiaalisen leikkausmenetelmän huono puoli on yläterän suhteellisen pitkäaikainen hankauskontakti rainaan, joka saattaa aiheuttaa tarpeetonta pölyämistä. /3, 11, 12, 13/

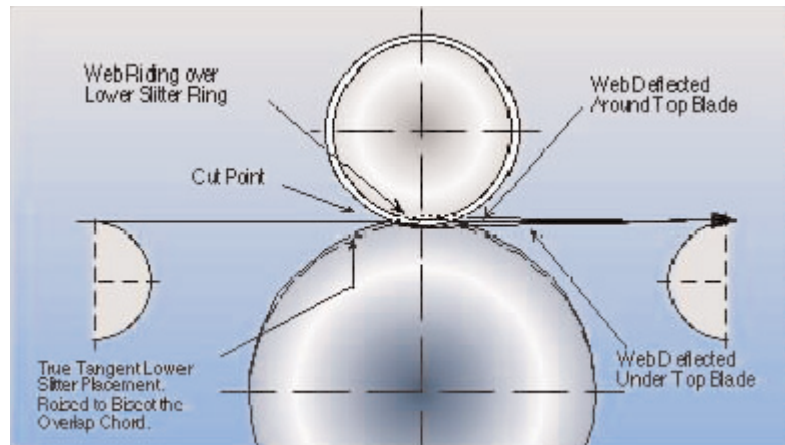
Tangentiaalisesta leikkausmetodista on useampiakin versioita. Esimerkiksi tangentiaalinen leikkaus ilman viivästystä, kuva 8.



**Kuva 8** Periaatekuva tangentiaalisesta leikkauksesta ilman viivästystä./12/

Kuvasta 8 on mahdollista huomata yläterien eron perinteiseen tangentiaaliseen leikkaukseen. Ero perinteiseen tangentiaaliseen leikkaukseen on myös se, että leikkauspiste on aikaisemmin ja raina ei ole tuettu leikkauksen yhteydessä. Tämä voi aiheuttaa sen, että terät ennemminkin repivät rainaa eivätkä leikkaa sitä. Yläteräyksiköt on sijoitettu suoraan alateräyksiköiden päälle niin, että kummankin teräyksiköiden halkaisijoiden keskipisteet ovat toistensa tasolla. Alateräyksiköt ovat huomattavasti suurempia kuin yläteräyksiköt. Tämä pienentää yläterien penetroitumista rainaan ja vähentää rainan hankausta yläteriä vasten. /3, 11, 12, 13/

Lisäksi on modifioitu tangentiaalinen leikkaus



**Kuva 9** Periaatekuva modifioidusta tangentiaalisesta leikkauksesta. /12/

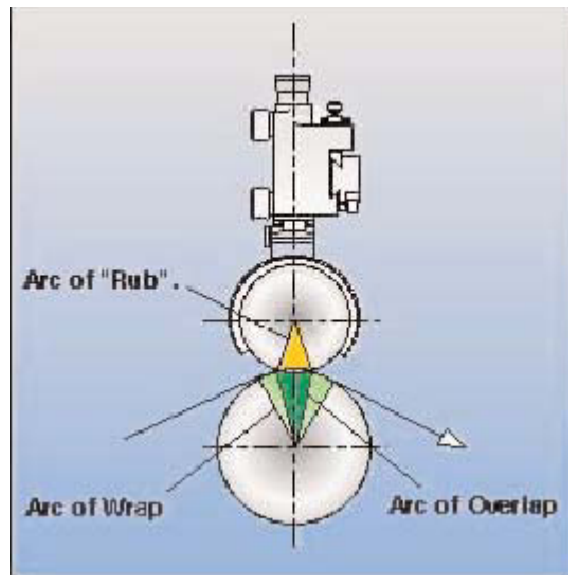
Kuvassa 9 on modifioidun tangentiaalisen leikkauksen periaate. Modifioitu tangentiaalinen leikkaus soveltuu parhaiten materiaaleille, jotka ovat hyvin herkkiä hankaukselle ja pölyämiselle. Terien asetuksista aiheutuen yläterien hankauskontakti rainaan on pyritty minimoimaan tässä menetelmässä. Terät on aseteltu rainan myötäisesti, jolloin raina leikkautuu terien leikkauspisteessä muuttamatta normaalia kulkusuuntaansa. Yläterien ja alaterien halkaisijoiden keskipiste on samalla tasolla toisiinsa nähden, ja niiden leikkauspiste on vertikaalisti rainaan nähden. Ylä- ja alaterien asettelu on lähes samankaltainen kuin tangentiaalisessa leikkauksessa ilman viivästystä. Alaterät ottavat kontaktia vain hieman ennen yläteriä rainaan, jolloin raina on tuettu leikkauksen tapahtuessa. Tällä leikkausmenetelmällä on mahdollista vähentää rainan kontaktia ja hankausta teräyksiköihin jopa enemmän kuin kierto-leikkausmenetelmällä. /3, 11, 12, 13/

Modifioitu tangentiaalinen leikkaus myös vähentää rainan lepatusilmiötä. Koska ylä- ja alaterien kontaktipinta rainaan on todella pieni, se lisää haasteita teräyksiköiden asentamisessa ja niihin liittyvien asetusten valvomisessa. Teräyksiköt eivät saisi liikkua sivuttaissuunnassa juuri ollenkaan, muuten leikkauspiste muuttuu ja raina ei välttämättä leikkaudu kunnolla tai leikkausjälki huononee. Tällä

leikkausmenetelmällä on miltei mahdotonta leikata rainaa, joka aiheuttaa tärinää pituusleikkausprosessissa. /3, 11, 12, 13/

### Kiertoleikkaus

Toinen paperiteollisuudessa käytettävä leikkausmenetelmä on kiertoleikkaus (Wrap-around shear slitting).



**Kuva 10** Periaatekuva kiertoleikkauksesta./12/

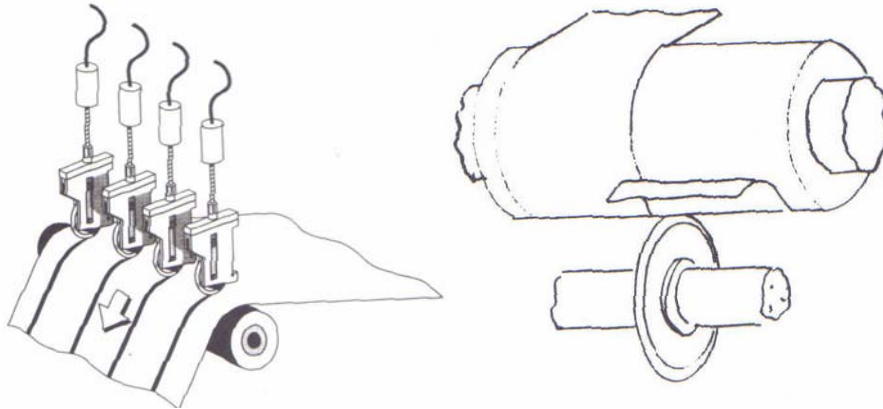
Kuvasta 10 huomaa yläterien vähäisen kontaktin rainan kanssa. Tässä menetelmässä raina "kietoutuu" alateräyksiköiden ympärille leikkauksen ajaksi. Alateräyksiköt on kiinnitetty terätukkiin. Alateräyksiköt ohjaavat ja tukevat rainaa leikkausprosessin aikana. Tämä on erityisen tärkeää materiaaleille, joiden neliömassa on hyvin alhainen, koska ne ovat herkkiä lepattamaan käytettäessä suuria ajonopeuksia. Raina pysyy tiukasti kiinni alateräyksiköissä leikkausprosessin aikana, jolloin yläterien penetroituminen rainaan voidaan säätää vakioksi, ja sen tähden voidaan jokaiselle materiaalille määrittellä optimaalinen yläterien penetroituminen rainaan. /3, 11, 12, 13/

### Tangentiaalinen leikkaus vs. kiertoleikkaus

- Tangentiaalista leikkausta voidaan käyttää myös jäykillä materiaaleilla. Kiertoleikkaus taivuttaa rainaa (kuva 10), jolloin rainan pinta voi murtua ja aiheuttaa vekkejä ja rynkkyjä.
- Yläterien kosketus rainaan on pienempi kiertoleikkausmenetelmässä, jolloin pölyämistä syntyy vähemmän (lukuun ottamatta modifioitua tangentiaalista leikkausta). Tämä mahdollistaa myös pölyämiselle alttiiden materiaalien leikkaamisen minimoiden syntyneen pölyn.
- Tangentiaalisen leikkausmenetelmien yläteräyksiköt penetroituvat syvemmälle rainaan aiheuttaen pölyämistä ja nukkautumista.
- Leikkauspiste on kriittinen suure tangentiaalisessa leikkauksessa. Väärin sijoitettu leikkauspiste voi johtaa rainan hankautumiseen yläterää vasten, aiheuttaa pölyä ja huonoa leikkausjälkeä. Kiertoleikkauksessa ei leikkauspisteen sijainnilla ole paljoakaan merkitystä, ottaen kuitenkin huomioon, että yläterät eivät ota kontaktia rainaan ennen kuin se on tuettu alateriä vasten.
- Tangentiaalisessa leikkauksessa terien asetusten vaihto on nopeampaa, kuin kiertoleikkauksessa. Tangentiaalisessa leikkauksessa alateriä on mahdollista liikuttaa edestakaisin ottamatta terätukkia pois leikkurista. Alaterien liikuttaminen on mahdollista joko manuaalisesti tai tietokoneen avustamana. Alaterät löysätään, siirretään uuteen paikkaan ja kiristetään. Kiertoleikkauksessa terätukki täytyy ottaa pois, irrottaa alateräyksiköt ja niiden pidikkeet ja sitten kiinnittää uudestaan haluttuihin paikkoihin.
- Kiertoleikkauksessa leikkausjälki on parempaa, johtuen optimaalisesta yläterän penetroitumisesta paperiin ja alaterien pienemmästä heilumisesta. Tangentiaalisessa leikkauksessa yläterät ovat aina penetroituneet enemmän, kun olisi tarvetta ja se aiheuttaa turhaa hankausta ja pölyä (ei modifioitu tangentiaalinen leikkaus).
- Tangentiaalinen leikkaus soveltuu suuremmille nopeuksille.

## Puskuleikkaus

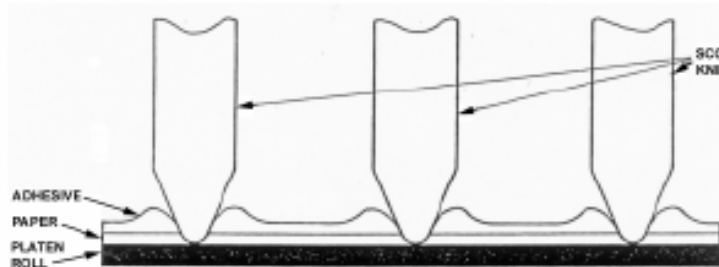
Kolmas paperiteollisuudessa käytettävä leikkaustapa on puskuleikkaus (Score slitting, crush slitting).



**Kuva 11** Periaatekuva puskuleikkauksesta. /3/

Kuvassa 11 näkee kaksi erilaista vaihtoehtoa puskuleikkauksessa. Puskuleikkaus on vanhin käytetty leikkausmenetelmä, jota käytetään lähinnä pehmopaperiteollisuudessa. Puskuleikkauksessa ei käytetä aläteriä, vaan käytössä ovat pelkästään yläterät. Yläterät painetaan tasaista pintaa (vastatela) vasten, joko jousen tai pneumaattisen sylinterin avulla, jolloin raina ”murskautuu” ja siten leikkautuu. Leikkausmenetelmä on halpa ja yksinkertainen, mutta leikkausjälki todella huono ja se vaatii hitaan ajonopeuden terätelan värähtelyn takia. Lisäksi yläterien ja vastatelan metalli vs. metalli kontaktista yläterä kuluu nopeammin ja sen käyttöikä pienenee. Yläterä ei myös saa olla liian terävä, muuten terä rikkoutuu ja aiheuttaa naarmuja vastatelaan. Tämän takia yläterät on erikoisesti hiottu lähes pyöreäksi, jolla taataan paras leikkaustulos ja terän käyttöikä. Vastatelan täytyy olla lähes moitteettomassa kunnossa (ei viiruja tai koloja), jolloin terien käyttöikä- ja leikkausjälki paranee. Puskuleikkaus aiheuttaa myös erittäin paljon pölyä, koska terä murskaa rainan ja vapauttaa kuituja ja hienoaineita. /3, 11, 12, 13/

Tämä leikkausmenetelmä soveltuu monikerroksisille pehmapapereille, joilla leikkauksen yhteydessä tapahtuu myös kerrosten yhteenliittyminen. Myös erilaisten teippien leikkaukseen tämä menetelmä on hyvä.



**Figure.,11-18. Paper-Backed Pressure Sensitive Adhesive Slitting**

**Kuva 12** Puskuleikkauksen käyttö teippiä leikatessa. /13/

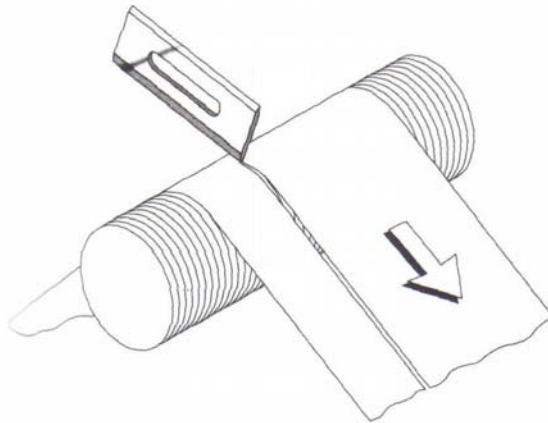
Kuva 12 havainnollistaa liima-aineen syrjäytymisen teippiä leikatessa. Tämä helpottaa valmiin rullan muodostumista, sillä leikkauksen reunat eivät ole tahmeat, vaan teippi rullautuu helposti rullalle. Teippiä leikattaessa tangentiaalisella- tai kiertoikkauksella olisi vaarana, että teipin liima-aine tarttuisi alateriin, joka aiheuttaisi huoltoseisokkeja tai pahimmassa tapauksessa johtaisi alaterien vaihtoon. /3, 11, 12, 13/

### Puhkaisuleikkaus

Puhkaisuleikkauksen (burst slitting) periaate on sama kuin puskuleikkauksessa, mutta siinä tuurna on uritettu. Urat vähentävät metalli vs. metalli -kontaktia, jolloin terien käyttöikä pitenee. Haittapuolena on pitempi terien asennusaika, koska niiden tarkka kohdistaminen urien väliin vie aikaa. /3, 11, 12, 13/

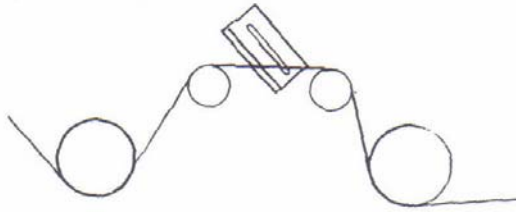
## Teräleikkaus

Teräleikkaus (razor slitting) on kaikista leikkaustavoista yksinkertaisin ja halvin. Teräleikkausmenetelmä on mahdollista asentaa melkein mihin tahansa koneeseen. Haittapuolena teräleikkauksessa on lyhyt terien käyttöikä ja rainan reunojen vääristyminen. Lisäksi suojaamattomat terät ovat työturvallisuusriski. Leikkausmenetelmän periaate on yksinkertainen: raina ajetaan paikallaan olevien terien läpi, jolloin raina leikkautuu. Rainan reunojen leikkauslaatu riippuu materiaalista, materiaalin paksuudesta, päällystyksestä, sidosten vahvuudesta, plastisuudesta, jäykkyydestä ja tiheydestä. Terien lyhyt käyttöikä johtuu rainan jatkuvasta kosketuksesta samaan kohtaan terää, jolloin ohuet terät kuluvat nopeasti aiheuttaen huoltoseisokkeja. /3, 11, 12, 13/



**Kuva 13** Periaatekuva Urateräleikkauksesta. /3/

Kuvasta 13 näkee urateräleikkauksen osatekijät. Urateräleikkauksessa (Razor "in-groove" slitting) paikallaan oleva terä tunkeutuu rainan läpi. Uritettu tela tukee rainaa leikkaustapahtuman aikana. Terän vaihto on hidasta koska terä täytyy asetella tarkasti uran keskelle.



**Kuva 14** Periaatekuva ilmateräleikkauksesta. /3/

Kuva 14 havainnollistaa erot ilmateräleikkauksessa ja urateräleikkauksessa.

Ilmateräleikkaus (Razor ”in air” slitting) on muista poikkeava leikkaustapa, koska leikkauksen aikana raina ei ole tuettu. Tämä mahdollistaa nopeamman teränvaihdon, mutta leikkausjälki on paljon huonompaa. /3/

#### Tankosahaleikkaus

Tankosahaleikkausta (Log saw slitting, baloney slicer, single knife, or lever slitter) käytetään mm. pehmopaperiteollisuudessa pitkien vessa- ja talouspaperirulla aihoiden leikkaamiseen asiakkaan haluamaan pituuteen. /3/

Tankosahaleikkauksessa käytetään yhtä pyörivää terää, joka leikkaa yhden valmiin paperi- tai talouspaperirullan kerrallaan. Automatisoitu rata vie aihiota koneeseen määritetyn mitan verran eteenpäin ja pyörivä terä leikkaa halutun pituisen rullan. Haittapuolia tankosahaleikkauksessa on suuri hylkymäärä aiheutuen sahan terän paksuudesta ja aihion huonolaatuisten reunojen poistosta. Tankosahaleikkaukseen on saatavilla myös laitteistoja, jotka mahdollistavat useamman terän käytön leikkausprosessissa. /3, 11, 12, 13/

## Sulatusleikkaus

Sulatusleikkaus (Fusing/hot knife slitting) hyödyntää toiminnassaan painetta ja lämpöä. Toiminta-alue on 1000 – 3000°F (n. 500 – 1500°C). Sulatusleikkausta käytetään yleensä kankaita leikattaessa, jolloin reunakuidut parsiutuvat yhteen samalla, kun sitä leikataan. Tämä mahdollistaa kestävät reunat ja sen, että ne eivät rispaannu jatkojalostuksessa. /3/

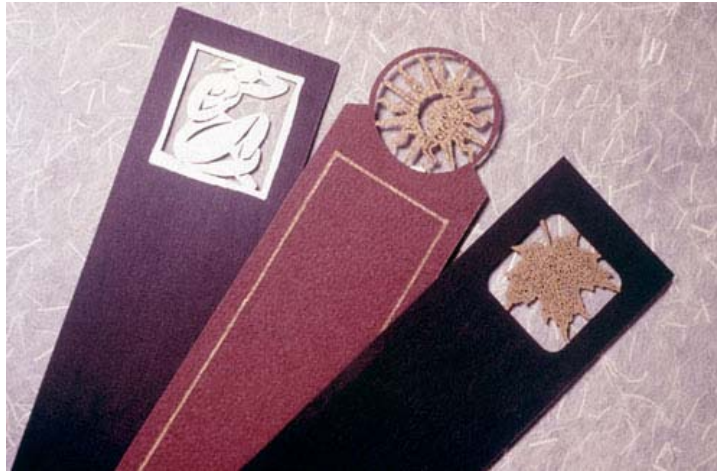
### 7.3.3 Laserleikkaus

Laserleikkaus (laser cutting) on vieläkin nk. tulevaisuuden tuote, vaikka ensimmäinen lasertekniikkaan pohjautuva laserleikkaus kehitettiin paperiteollisuutta varten jo 1970-luvulla. Sovellutus kehitettiin savukkeen suodatinpaperin leikkaamista varten. Kuitenkaan suurin osa ihmisistä ei ole edes nähnyt paperia, joka olisi leikattu laserleikkausmenetelmällä. Laserleikkaus perustuu säteen polttavalle voimalle, joka höyrystää/polttaa kuidut tieltänsä kuitenkin jättäen puhtaan leikkuujäljen. Laserleikkauksella onnistuu myös perforointi. /7/

Laserleikkaus ei huononna paperimateriaalien ominaisuuksia eikä vaikuta negatiivisesti paperimateriaalin jatkojalostukseen. Lisäksi leikattu reuna on pulpperoitavissa sekä kierrätettävissä. /7/

Laserleikkauksen suosio paperi- ja kartonkiteollisuudessa on pysynyt pienessä mittakaavassa tähän päivään asti. Tämä on huomattavissa verrattaessa laserleikkauksen sovellusmääriä mekaanisen ja vesisuihkuleikkauksen vastaaviin lukuihin. Laserlaitteiden korkeat investointikustannukset, erikoisteknologia ja perustutkimuksen sekä -tietämyksen puute ovat olleet rajoittavia tekijöitä tämän tekniikan käyttöönotossa. 1990-luvun lopun aikana tilanne kuitenkin muuttui lasertekniikan kehityksen myötä: laserlaitteiden hinnat laskivat sekä tekniikasta tuli

helppokäyttöistä ja luotettavaa. Samoihin aikoihin myös paperiteollisuus rupesi kiinnostumaan laserleikkauksen mahdollisuuksista /7, 9/.



**Kuva 15** Esimerkki laserleikatusta tuotteesta /14/

Kuvasta 15 voi hyvin huomata, kuinka tarkkaa ja yksityiskohtaista jälkeä voi laserleikkauksella saada aikaan. Täytyy kuitenkin ottaa huomioon, että jokainen paperilaji ei ole yhtä helppo laserleikata. Parhaiten leikkautuvat lajit ovat ne, jotka on tehty neitsytkuidusta ja joiden tiheys ei ole suuri. Paperin tiheyden kasvaessa laserleikkaus käy hitaammaksi ja vaikeammaksi, koska leikattaessa laser joutuu erottamaan molekyylit toisistaan. Ongelmia syntyy siis leikattaessa paperilajeja, joissa on suuri määrä kaoliinia tai muita täyteaineita (mineraaleilla parempi lämmönsietokyky ja tiheys suurempi), tai jos paperilajit ovat superkalanteroituja. Ohuet, hienot ja läpikuultavat paperilajit sekä lajit, joissa on käytetty paljon synteettisiä ainesosia, tuottavat myös ongelmia. Näitä mainittuja lajeja pystyy toki leikkaamaan, mutta leikkaaminen on hitaampaa kuin muilla lajeilla, lisäksi synteettisistä ainesosista voi jäädä jäämiä leikkuureunoihin. /15/

Laserleikkauksesta jää myös pieniä savujäämiä, jotka esiintyvät värin heittoina paperissa. Savujäämät ovat todella pieniä, mutta ne kuitenkin ovat olemassa. Kummaltakin puolen päällystetyissä paperilajeissa jäämät voivat olla helpommin huomattavissa. /15/

Tämänhetkinen laserlaitteiden hyötysuhde on vain 10 % – 15 %, jolloin sähkönkulutus on todella suuri. Laserleikkauslaitteiden kehittyessä on oletettavissa, että mainitut ongelmat vähenevät tai jopa poistuvat kokonaan.

Laserleikkauksessa paperipölyn muodostuminen on olematonta. Paperilajeja leikattaessa mekaanisilla terillä paperipölyn muodostuminen on suurta ja aiheuttaa ongelmia jatkojalostettaessa tuotetta. Paperipöly aiheuttaa laatu- ja ajettavuusongelmia etenkin painotaloissa.

#### Laserleikkaus vs. mekaaninen leikkaus

- Laserleikkauksen jälki on huomattavasti parempaa paperimateriaalia leikattaessa. Laserleikattu reuna on pölytön, kapea (n. 0,13 mm) ja siisti. Reuna jopa sulkeutuu osittain korkean lämpötilan johdosta. Leikkauksen tausta voi joissain tapauksissa olla hieman tummunut savusta, jota voi esiintyä, kun paperia laserleikataan. Savun esiintyminen on todella vähäistä ja ihmissilmän huomattavissa vain harvoissa paperi- ja kartonkilajeissa.
- Erilaisten muotojen leikkaus on huomattavasti nopeampaa ja tarkempaa. Lisäksi haluttuun muotoon leikattava tuote voi tuotantokappalemäärältään olla huomattavasti pienempi ja silti kustannustehokkaampi kuin mekaaninen leikkaus. Lisäksi stanssityökaluja ei tarvitse erikseen valmistaa, jolloin säästyy aikaa ja materiaalia ja kustannustehokkuus kasvaa.
- Laserleikkauksessa ei ole mekaanista kontaktia leikattavaan rainaan, jolloin rainaan suuntautuva rasisitus pienenee, mikä johtaa ratakatkojen vähentymiseen. Vähemmän ratakatkoja tarkoittaa enemmän tuotantoa.
- Laserleikkauksen ”terät” ovat aina terävät, jolloin saadaan optimaalinen ja tasalaatuinen leikkaustulos. Lisäksi paperin ja kartongin lujuusominaisuudet eivät kärsi.
- Pölyn syntyminen on olematonta, koska ”terät” ovat aina terävät ja mekaanista kontaktia rainaan ei ole. Lisäksi lasersäde polttaa reunan osittain umpeen.
- Tällä hetkellä mekaaninen leikkaus on halvempi, laserleikkauksen huonon hyötysuhteen ja kalliiden laitteiden, sekä resonaattorikaasujen korkean hinnan takia (resonaattorikaasuja tarvitaan laserointi-ilmion aikaansaamiseksi).

Teknologian kehittyessä laserin hyötysuhdetta saadaan varmasti kasvatettua. Koska laserleikkauksessa ei ole leikkauksesta johtuvia ratakatkoja eikä tylsyneiden terien vaihtamista, tuotantoa syntyy enemmän. Lisäksi ylläpitokustannukset ovat halvemmat.

- Laserleikkauksella on mahdollisuus suuriin tuotantonopeuksiin. Laserleikkauksella on leikattu LWC:tä, jonka neliömassa on  $65 \text{ g/m}^2$  nopeudella  $4700 \text{ m/min}$ , lisäksi nestepakkauskartonkia nopeudella  $2000 \text{ m/min}$  ( $175 \text{ g/m}^2$ ) ja jopa  $650 \text{ }\mu\text{m:n}$  paksuista kartonkia ( $500 \text{ g/m}^2$ ) nopeudella  $600 \text{ m/min}$ . /7/
- Suuret ajonopeudet avaavat mahdollisuuden online-laserleikkureille.
- Mekaaninen leikkaus on niin pitkälle kehitetty, että jokaiselle paperilajille on löydetty oma leikkaustyyli, jolloin optimaalinen leikkaustulos on jo valmiiksi määritetty. Laserleikkauksesta on vasta kehitetty yksi tyyli, mutta on odotettavissa, että useampia tyyliä kehitellään laserleikkauksen tullessa yhä tutummaksi ja tutummaksi. Tällöin jokaiselle eri paperi- ja kartonkilajille voidaan määrittää optimaalinen laserleikkaustyyli. Tämänhetkinen laserleikkaustyyli on pätevä usealle eri lajille, mutta mekaaninen leikkaus on vielä teknologiassa edellä.
- Laserlaitteet ovat luotettavia, helppokäyttöisiä ja ylläpito ei vaadi erikoistekniikan syvällistä tuntemusta /7/. Laserlaitteet ovat myös turvallisempia kuin mekaaniset terät. Mekaanisten terien käyttöään lähestyessä loppua on mahdollista, että ne voivat räjähtää, jolloin terän sirpaleita sinkoilee. Teräsuojat estävät kyllä suurimmaksi osaksi sirpaleiden sinkoilemisen.
- Laserleikkauksessa voi joillakin lajeilla tapahtua värinmuuttumista leikkauskohdassa, mikä on todella huono asia mm. painopapereilla.
- Laserleikkaus ei ole soveltuva tuotteelle, jolla on hyvin pieni neliömassa, esim. pehmopaperit.
- Laserleikkaus on joustavampi, leikattavalle muodolle ei ole rajoituksia. Laserleikkaus antaa painotaloille ja suunnittelijoille enemmän vapauksia, mutta myös samalla enemmän asioita, joista pitää pitää huolta. Korteista ja kutsuista voi tehdä yksityiskohtaisempia ja kauniimpia, pääsee toteuttamaan itseänsä ja

suunnitelmiansa paremmin. Lisäksi on mahdollista pienentää kuvaa ja kuitenkin säilyttää kaikki yksityiskohdat leikkauskelpoisina.

- Laserleikkauksella saadaan aikaan enemmän yksityiskohtia ja kuitenkin kustannukset pysyvät samana /15/.
- Laserleikkaus on halvempi, kun valmistetaan pilot- tai näyte-eriä ja pieniä muutoksia on nopeampi ja halvempi tehdä.
- Kartonkia leikattaessa kartongin kerrosrakenne säilyttää alkuperäiset lujuusominaisuutensa ja kerros, joka koostuu muovi- ja/tai alumiinilaminaattikerroksista säilyy ehjänä /7/.
- ”Lasertekniikan käytöllä pakkausten aukaisu-urien valmistuksessa on paljon etuja verrattuna perinteiseen mekaanisesti terällä tehtävään uritukseen. Lasersäteellä voidaan tuottaa vakiosyvyinen ja tasalaatuinen ura. Tällöin myös uritetun materiaalin kestävyys ja repäisyjujuus ovat paremmat kuin mekaanisesti uritetun” /7/.
- Laserleikkauksessa, on mahdollista, että laserin linssit eivät tarvitse ollenkaan puhdistusta, vaan ne pitävät itse itsensä puhtaana. Tämä on riippuvainen leikattavasta materiaalista.
- Laserleikkauksella on mahdollista leikata lähes mitä tahansa, metallista muoveihin. Täytyy kuitenkin pitää mielessä, ettei leikata ilman tarvittavaa suojausta materiaalia, joka höyrystyessään synnyttää myrkyllisiä kaasuja.
- Pölynpoistolaitteisto on tarpeeton laserleikkauksessa.

Mietittäväksi jää, mahtaako tulevaisuudessa olla lasertulostimia, jotka kuvan muodostamisen lisäksi mahdollistavat sen leikkauksen haluttuun kokoon ja muotoon.

#### 7.3.4 Vesisuihkuleikkaus

Vesisuihkuleikkauksen ensimmäinen kaupallinen sovellutus oli 1970-luvulla ja sitä käytettiin aaltopahvin leikkaukseen. Suurimmat vesisuihkuleikkauksen käyttäjät ovat kertakäyttövaippa- ja silkkipaperiteollisuus. Silkkipaperia ja kertakäyttövaippoja leikattaessa, vesisuihkuleikkaus aiheuttaa vähemmän kosteutta niihin kuin koskettaessa tai hengittäessä niitä kohti. /16/

Vesisuihkuleikkauksen toimintaperiaate on yksinkertainen: materiaalia leikataan ohuella korkeapainevesisuihkulla joka tulee ulos vesisuihkusuuttimesta 200 – 500 MPa:n paineella.

Vesisuihkuleikkausta (waterjet) käytetään paperiteollisuudessa yleisimmin rainan reunanauhojen poistoon. Vesisuihkuleikkauksella on myös mahdollista leikata useita muitakin materiaaleja esim. metallia.



**Kuva 16** Vesisuihkuleikkaus /16/

Kuva 16 näyttää mahdollisen vesisuihkujen asettelun leikattavalla rainalla. Vesisuihkuleikkauksella voidaan saavuttaa mekaaniseen leikkaukseen verrattuna tasalaatuisempi leikkausreuna ja myös nopeudet sopivat paperiteollisuuden tuotannollisiin vaatimuksiin. Vesisuihkuleikkauskaan ei kuitenkaan ole täysin ongelmatonta: vesisuihkusuuttimen tukkeutuminen ja vettynyt/turvonnut leikkausreuna ovat tyyppillisiä ongelmia. Pölyäminen aiheuttaa myös vaikeuksia. /10/

Nimenomaan kuluneet vesisuihkuleikkauksen osat aiheuttavat laatuongelmia tuotteessa ja ongelmia prosessissa, niin kuin kuluneet ylä- ja alaterätkin mekaanisessa

leikkauksessa. Nämä ongelmat on mahdollista minimoida säännöllisellä huollolla ja kuluvien osien tarkastuksella.

Vesisuihkuleikkauksen edut mekaaniseen leikkaukseen verrattuna ovat seuraavat:

- parempi ja tasalaatuisempi leikkausreuna koska ohut ja ”terävä” suihku tekee puhtaan leikkausjäljen
- mahdollisuus suurempiin nopeuksiin
- paperipölyn muodostuminen vähäisempää
- vähemmän ratakatoja koska rainaan kohdistuva rasitus on pienempi
- ohuenkin paperin leikkaus on lähes ongelmatonta
- ei ongelmia teräasetusten kanssa
- reunanauhojen leikkauksessa ylivoimainen
- mahdollisuus useampien materiaalien leikkaukseen.

Mekaanisen leikkauksen edut vesisuihkuleikkaukseen verrattuna ovat seuraavat:

- pienemmät ylläpitokustannukset
- asennustilan tarve huomattavasti pienempi
- ei veden kierrättämisongelmia
- tutkitumpi teknologia
- tunnetumpi
- luotettavampi, koska mekaanisen leikkauksen laitteiston osan hajotessa se ei altista leikkausprosessin muita osia niin suurelle vaaralle kuin vesisuihkuleikkaus
- ei niin isoja ongelmia neliömassan noustessa (vesisuihkuleikkauksessa mahdollinen kostuminen).

## 7.4 Leikkuuterät

### 7.4.1 Terien asetukset

Leikkuuteriltä vaaditaan hyvää leikkaustulosta. Teriltä odotetaan myös, että ne säilyvät leikkauskykyisinä mahdollisimman kauan, jotta teränvaihdot ja terillä tapahtuvat rainan katkot eivät heikentäisi leikkurin suorituskykyä. /1/

Terien leikkuukykyisyyteen vaikuttavat ensi sijassa leikkuu- ja teräkulmat. Erilaisia leikkuu- ja teräkulmia ja niiden yhdistelmiä on käytössä lukuisia määriä, sillä melkein jokaisella pituusleikkurivalmistajalla on omat terämallinsa. /1/

Jotta terät kuluisivat tasaisesti, tehdään ne erikokoisiksi. Suurempi teristä on yleensä moottorikäyttöinen, mikä asettaa omat vaatimuksensa terän minimihalkaisijalle. Moottorikäyttöinen terä on tavallisesti lieriömäinen ja se hiotaan sivulta. Näin leikkaustaso säilyy aina samana, jolloin moottorikäyttöistä terää ei tarvitse siirtää säteen suunnassa. /1/

Toinen terä vaihtelee muodoltaan valmistajasta riippuen suorasta ohuesta levykiekosta kuppimaiseen tai jopa lieriömäiseen terään. Myös paperilajilla on merkitystä terämuotoja valittaessa. Esim. kartonkeja leikattaessa on edullista, jos terä on ohut ja terävä, koska paksulla rainalla tulee terän leikkaava vaikutus merkitykselliseksi. /1/

Terät kuluvat kuitenkin nopeasti, sillä terien kosketuspinta on pieni. Myös teräpaine tulisi pitää mahdollisimman pienenä, jotta terien kuluminen olisi hidasta. Teräpaineen on oltava kuitenkin riittävän suuri, jotta saadaan aikaan tarvittava kitkamomentti käyttötönnän terän pyörittämiseksi. /1/

Terien välisellä aurauskulmalla varmistetaan terien koskettaminen toisiaan vasten jatkuvasti kohdassa, johon paperi tulee. Moottorikäyttöinen terä on rainan suuntainen ja aurauskulma säädetään vastaterää kääntämällä. Aurauskulman suuruudella on vaikutus terän kulumiskulmaan eli siihen muotoon, jonka terän särmä saa kuluessaan. /1/

Kuluneiden terien leikkuukykyisyyttä voidaan hiukan parantaa suurentamalla terien välistä kosketuspainetta tai aurauskulmaa. Vaikutus on kuitenkin lyhytaikainen, koska teräpaineen tai aurauskulman suurentaminen jouduttaa samalla terien kulumista. /1/

Paitsi teräpaineen ja aurauskulman avulla, terien kestoikään voidaan vaikuttaa myös terämateriaalien ja terämuotojen avulla. Pitkäaikainen materiaali on kovametalli, jota käytetään mm. moottorikäyttöisessä terässä. Terämuodoista ovat edullisia esimerkiksi huulityyppiset terät, jotka ohuen huulensa ansiosta kuluvat tasaisesti niin, että leikkauspisteen siirtyminen tapahtuu hitaasti. /1/

Terien suositeltava nopeus on 0,5 % – 5 % nopeampi kuin rainan nopeus.

Paperiteollisuudessa yleensä käytetään 3 % – 5 %.

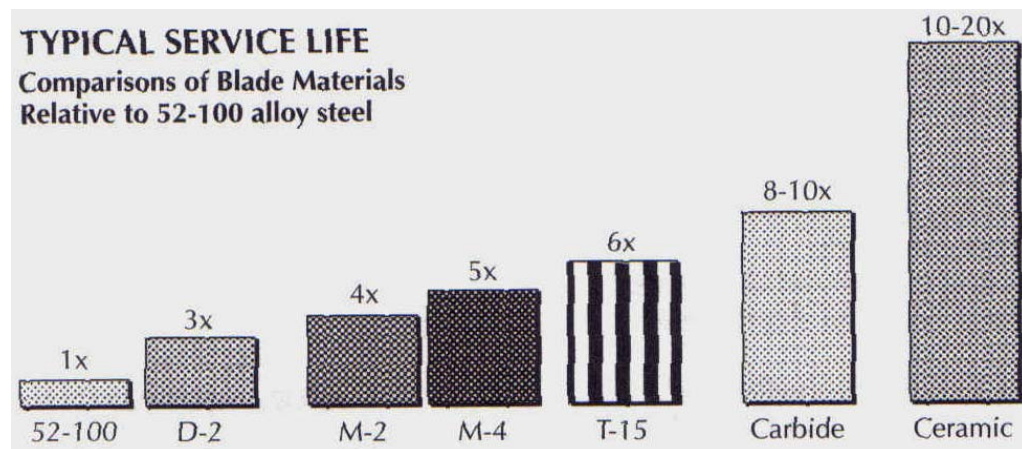
Hyöty terien nopeammasta liikkeestä rainaan nähden voidaan kokeilla myös kotikonstein, nk. saksitestillä. Saksitestin tarkoituksena on kokeilla, miten erilaiset materiaalit käyttäytyvät, jos saksilla ei leikata, vaan niitä työnnetään leikattavan materiaalin myötäisesti (olettaen, että alkuleikkaus on tehty). Näin saadaan esimerkki siitä, mitä tapahtuu, jos terät eivät liiku nopeammin kuin raina. Paperia on vielä mahdollista ”leikata”, mutta leikkausjäljestä tulee karhea ja lisäksi pölyä muodostuu huomattavasti enemmän. Ohuen ja pehmeän muovin kohdalla saksien liikuttaminen ei onnistu, sillä muovi ei suostu leikkautumaan ja rupeaa aiheuttamaan kerrostumia ja vekkejä. Lisäksi jos terät liikkuvat hitaammin kuin raina, teriin kohdistuva paine kasvaa ja dramaattisesti lyhentää niiden käyttöikä. Myös terien kulkiessa liian nopeasti (n.10 % nopeampaa kuin raina) niiden käyttöikä lyhenee. /12, 17/

## 7.4.2 Valmistusmateriaalin vaikutus

Terien eliniän pidentäminen on tärkeää. Sillä terä, jonka materiaali on kovaa, ei tylsty niin nopeasti. Tästä seuraa, että terien leikkauspiste ei muutu niin nopeasti ja leikkauks jälki pysyy parempana pitkään. Käytetyllä terämateriaalilla on suuri vaikutus terän elinikään. Terämateriaalia valittaessa täytyy miettiä,

- minkälaista materiaalia leikataan ja paperiteollisuudessa minkälaisia täyteaineita on käytetty
- ovatko terät alttiita lohkeamiselle tai ennenaikaiselle kulumiselle
- leikataanko leikkurilla vain yhtä ja samaa lajia
- ovatko kalliimmat terät aina parempia vai päästäisiinkö samoihin leikkaustuloksiin ja terien elinikään halvemmillä terävaihtoehdoilla.

Alaterä on yleensä valmistettu kovametallista. Yläterien materiaalit voivat vaihdella huomattavasti. /3, 11, 12, 13/




**Kuva 17** Eri terämateriaalien elinikä verrattuna 52–100-terämateriaaliin. /3/

Kuvasta 17 voi huomata, että terämateriaalin vaihtaminen kovempaan materiaaliin voi aiheuttaa terän eliniän nousemisen jopa yli kymmenkertaiseksi. Tietenkin terämateriaalin vaihto yleensä lisää kustannuksia, jolloin täytyy miettiä materiaalin vaihdon kustannustehokkuutta. Sellaista materiaalia leikattaessa, jolla ratakotkot on minimoitava, terämateriaalin kovuuden vaihtaminen paremmaksi voi olla hyvinkin

kustannustehokasta. Kuvan 52–100-terämateriaali on hiilikuituterästä, joka on nk. perusterämateriaali. Keraamista ja karbidia käytetään lähinnä vain alaterissä.

TOOL STEELS USED IN SLITTERS							
STEEL	C	Mn	CR	W	MO	V	HARDNESS
<b>High Carbon Steels</b>							
52-100	1.0	0.35	1.5	-	0.25	-	63 C
<b>High Carbon-High Chromium Steels</b>							
D-2	1.5	-	12.0	-	1.0	1.0	62 C
<b>High Speed Tool Steels-Molybdenum Types</b>							
M-2	0.8	-	4.0	6.0	5.0	2.0	64 C
M-4	1.3	-	4.0	5.5	4.5	4.0	66 C
<b>High Speed Tool Steels-Tungsten Types</b>							
T-15	1.5	-	4.0	12.0	-	5.0	67 C
<b>Micro Hardness of Carbides</b>							
MO	1780						
CR	1820						
W	2150						
V	2520						



Abrasion resistance is determined by carbides formed between carbon and the various alloying elements.

**Kuva 18** Eri terämateriaalien ominaisuudet /3/

Kuva 18 selventää kuvaa 17. Tästä kuvasta näkee eri terämateriaalien koostumuksen. Täytyy kuitenkin pitää mielessä, että parhainkaan terämateriaali ei auta terien eliniän pidentämiseen, jos leikkuuterien asetukset eivät ole kohdallaan. Leikkuuterillä ei pysty paljon vaikuttamaan leikkaustulokseen. Kovat terät pysyvät pitempään terävinä eivätkä kulu, jolloin niiden leikkauspiste ei muutu ja leikkausjälki on parempaa.

Terien eliniän parantaminen on taloudellisesti kannattavaa. Teränvaihtoseisokit vähenevät, mikä näkyy tuottavuudessa, eikä uusia teriä tietenkään tarvitse tilata niin usein. Terien elinikää on mahdollista parantaa

- pitämällä teräpaine vakiona. Vaihteleva teräpaine aiheuttaa ennen aikaista kulumista
- minimoimalla teräs vs. teräs kontakti
- päivittämällä käytetyt terät kestävimpiin terämateriaaleihin
- kouluttamalla leikkurin henkilökuntaa

- pitämällä teräkulma mahdollisimman pienenä leikattavalle materiaalille, tarpeettoman suuri teräkulma aiheuttaa ennen aikaista kulumista
- pyörittämälle teräparia 3 % – 5 % nopeammin kuin raina, jolloin rainan aiheuttama paine terää vasten pienenee
- pitämällä terän penetroitumisen rainaan optimaalisena. Noin 1,5 – 2 mm. Liian suuri ja liian pieni penetroituminen aiheuttaa terien kulumista ja huonoa leikkausjälkeä
- huolehtimalla, että terien kiinnitys on pitävä. Heiluva terä kuluu nopeammin, kuin jämäkästi paikallaan oleva, pyritään minimoimaan aksiaalinen heitto
- pitämällä terien limitys vakiona
- minimoimalla värinä
- pitämällä leikkausolosuhteet vakiona (lämpötila, kosteus jne.)
- minimoimalla radiaalinen heitto (yläteräyksiköiden nouseminen ja laskeminen leikkauksen aikana)
- miettimällä rainalle vaihtoehtoisia täyteaineita. Talkki on Mohsin asteikolla paljon pehmeämpää kuin kaoliini, jolloin laitteiston (ja terien) kuluminen on pienempää.
- määrittämällä oikea teroituskulma leikattavalle materiaalille sopivaksi. (Papereilla vakio on yleensä 45° ja kartongeilla 30°. Kuitenkin riippuen neliömassasta ja paperin paksuudesta teroituskulmat ovat yleensä räätälöity jokaiselle leikattavalle materiaalille. Vakiokulma 45° tuottaa todella hyvää leikkausjälkeä, mutta aiheuttaa ennen aikaista kulumista. Näiden kahden asian välillä on löydettävä tasapaino joka tyydyttää asiakasta).

Yleisimmin teriä käytetään terämoottorien avulla. Terämoottorit ovat joko vaihtovirta- tai tasavirtamoottoreita. Moottoreiden tulee olla mahdollisimman pieniä, jotta ne sallivat pienet leikkuuleveydet. Tämän takia käytetään erikoismoottoreita. /1/

Kapeilla pituusleikkureilla voidaan käyttää terätukkia, jossa terärenkaat on asennettu terätelan ulkokehälle. Tällöin terien käyttö tapahtuu yhdellä moottorilla tai hihnavälityksellä. Terien halkaisija rajoittaa terätelan halkaisijan ja siten myös

jäykkyyden tiettyyn arvoon, joten terätukkiratkaisu ei sovi leveille leikkureille eikä suurille nopeuksille telan värähtelyjen vuoksi. /1/

Usein on terän pyörimään lähtö varmistettu ilmaturbiinin avulla, mutta varsinainen terien käyttö tapahtuu rainan vetämänä. Näiden terien toiminta perustuu suurelta osin leikkauspistevälyksen, teräpaineen ja limityksen minimointiin, jolloin terien kitkavoimat ja kuluminen ovat vähäisiä. /1/

## 7.5 Teräasetukset eri lajeilla ja materiaaleilla

Paperiteollisuudessa jokaiselle paperi- ja kartonkilajille on pyritty määrittelemään omat teräasetukset, jotka mahdollistavat optimaalisen leikkaustuloksen ja mahdollisimman pitkän leikkausterien eliniän. Pakettiratkaisuja ei jokaiselle lajille ole mahdollista määrittää, sillä on olemassa hyvin laaja skaala erilaisia täyteaineita ja päällystyspartikkeleita. Samoilla teräarvoilla määritetyt pituusleikkurit voivat toki tuottaa hyvää leikkaustulosta, mutta optimaalisen leikkaustuloksen aikaansaamiseksi täytyy jokaisen tuotteen kohdalla yksityiskohtaisesti määrittää sille sopivat teräasetukset. Kahden eri yhtiön valmistama kopiopaperi voi näyttää ihmissilmälle samalta ja jopa tuntua samalta, mutta kuitenkin käytetyt kuidut, päällystyspartikkelit ja täyteaineet voi olla täysin erilaiset, jolloin rainan käyttäytyminen pituusleikkausprosessissa voi olla täysin erilainen. Vaikka käytetyt täyteaineet ja päällystyspartikkelit olisivatkin samoja, voi käytettyjen täyteaineiden määrä vaihdella tuotteessa. Lisäksi jokaisella täyteaine- ja päällystyspartikkelitoimittajalla on omanlaisensa tuote, jonka ominaisuudet ovat erilaiset kuin kilpailijoilla ja myös olosuhteet joissa pituusleikkuria käytetään voivat vaihdella.

Seuraavilla sivuilla annetut teräasetukset, ovat enemmänkin suuntaa antavia.

Jokainen kone ja paperi- tai kartonkilaji on omanlaisensa, jolloin asetukset pitää määrittää sille yksityiskohtaisesti. Arvoja on kuitenkin mahdollista käyttää lähtökohtana.

### 7.5.1 Terien limitys

Terien limitys on hyvä pitää mahdollisimman pienenä, koska limityksen kasvaessa liian suureksi myös terän ”paksuus” kasvaa. Tämä aiheuttaa poikkisuuntaista jännitystä leikkauspisteessä ja lisää pölyämistä ja kuluttaa terää nopeammin. Toisaalta jos terien limitys on liian pieni on vaarana, että leikattava raina ei leikkaudu. Tärinä ja suuri ajonopeus mahdollistavat rainan vertikaalisen liikkeen, jolloin raina voi ”hypätä” kesken leikkauksen, ja silloin tarvittavaa leikkausta ei tapahdu. Perusasetuksena voidaan pitää 0,7 mm limitystä. Se on tarpeeksi antamaan hyvän leikkaustuloksen. Tuotteilla, joilla bulkkisuus on suurempi, voi terien limityksen kasvattaminen olla viisasta. Normaalisti terien limitys kasvaa, kun tuotteen bulkkisuus ja neliömassa kasvaa. /17/

OVERLAP		
Product	Inches	mm
Tissue	.015" - .030"	.4 - .8mm
Fine Papers	.015" - .030"	.4 - .8mm
Heavy Papers	.020" - .040"	.5 - 1.0mm
Light Boards	.020" - .040"	.5 - 1.0mm
Boards	.030" - .060"	.8 - 1.5mm

**Kuva 19** Terien limitys /17/

Kuten kuvasta 19 voi huomata, suositeltava limitys pehmo- ja hygieniapapereille on 0,4 – 0,8 mm. Sama limitys on myös mahdollista ohuelle muoville.

Fine Papers kuvassa 20 tarkoittaa kevyitä papereita, eli terien optimaalinen limitys olisi silloin 0,4 – 0,8 mm. Kuitenkin leikkauksen onnistumisen kannalta 0,8 – 1,2 mm olisi realistisempi. Kevyisiin papereihin voivat lukeutua paperilajit, joiden neliömassa on 40 – 80 g/m<sup>2</sup> eli sanomalehtipaperi, LWC-paperi, SC-paperi, osa päällystämättömistä hienopapereista (UWF), ohkopainopaperit, kopiopaperit, säkkipaperi, rasvatiiviit- ja voipaperit, osa MWC-papereista, MFC- paperi, FCO-

paperit, kirjekuoripaperi, uusiopaperi, tarrapaperi, osa pussi- ja käärepapereista, osa tapettipapereista, MF-paperi, MG-paperi, vahapaperi, hiilipaperi, osa kirjapapereista, etikettipaperit, tarran taustapaperi eli irrokepaperi ja savukepaperi. Lajit on valittu suhteellisen alhaisen neliömassan takia.

Painaviin papereihin lukeutuu yleensä raskaasti päällystetyt paperit. Suositeltava terien limitys näille papereille on 0,5 – 1,0 mm. Leikkauksessa tapahtuvien ongelmien välttämiseksi 1,0 – 1,5 mm olisi järkevämpi vaihtoehto. Neliömassa näillä tuotteilla on 80 – 250 g/m<sup>2</sup>. Kuvaukseen sopivia lajeja ovat osa päällystämättömistä hienopapereista (UWF), päällystetyt hienopaperit (CWF), osa MWC-papereista, HWC-paperit, osa pussi- ja käärepapereista, osa tapettipapereista, offset-paperit, osa kirjapapereista ja taidepainopaperit.

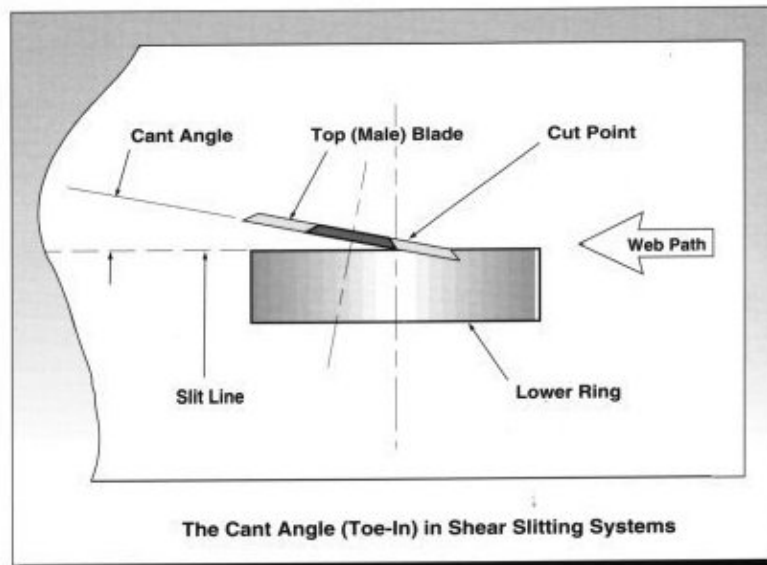
Kevyille kartongeille suositeltava terien limitys on sama kuin painavilla papereilla, eli 0,5 – 1,0 mm. Mahdollisesta tärinästä ja muista pituusleikkausprosessin ongelmista riippuen toimivampi vaihtoehto olisi 1,0 – 1,5 mm. Lajeja ovat tapettikartonki, taivekartongit, kraft-laineri, testlaineri, aallotuskartonki eli fluting, sellukartonki (SBS ja SUS), uusiokuitukartonki (WLC) ja nestepakkauskartonki, sekä kevyet laminaatit.

Raskaille kartongeille optimaalinen terien limitys on 0,8 – 1,5 mm. Kuitenkin limitys 1,5 – 2,0 mm on realistisempi. Raskaita kartonkeja ovat graafiset kartongit, hylsykartongit, puupahvi, voimapahvi, aaltopahvi ja koostepakkauskartonki, sekä raskaat laminaatit.

Kartongeilla luokittelu neliömassan mukaan on hieman hankalampaa kuin papereilla, aiheutuen suurista neliömassaeroista eri kartonkilajin sisällä. Limityksen ohjeet ovat suuntaa antavia; sopiva limitys täytyy määrittellä jokaisella tuotteella erikseen parhaan mahdollisen tuloksen aikaansaamiseksi.

### 7.5.2 Terä- ja teroituskulma

Teräkulma (cant angle) on se kulma minkä yläterä ja alaterä muodostavat kohdatessaan toisensa leikkauspisteessä ( kuva 21).



**Kuva 20** Teräkulman määritelmä /17/

Kuva 20 selventää teräkulman merkitystä. Periaatteessa voisi sanoa, että suuremmalla teräkulmalla tulee parempi leikkausjälki riippuen isommasta paineesta minkä raina aiheuttaa koskettaessaan terää. Tämän takia terän elinikä laskee ja myös pölyäminen lisääntyy.

Paperirainaa leikattaessa kulma ei saisi ylittää  $0,5^\circ$ . Kulman ollessa yli  $1^\circ$  laskee leikkausterien elinikä dramaattisesti. Kulman ollessa lähellä  $0,0^\circ$  voi aiheutua rainan laskostumista tai raina voi pursoittua leikkausterien väliin. /17/

Optimaalinen teräkulma on se pienin kulma, jossa raina on mahdollista leikata tehden kuitenkin laadukkaan leikkausjäljen. Teräpitimet, joissa on mahdollisuus vaihtelevaan kulman säätöön, täytyy säätää varovasti, sillä koneen käyttäjät voivat kompensoida kuluneen terän leikkuukykyisyyttä säätämällä teräkulmaa suuremmaksi.

Vanhojen asetusten unohtuminen uuden terän vaihdossa johtaa liian suureen teräkulmaan ja aiheuttaa uusien leikkausterien nopean kulumisen. /17/

Kun leikkuuterällä leikkaa rainaa tietyllä kulmalla, vaikkapa teräkulmalla  $0,5^\circ$ , sitä ei voi enää vaihtaa takaisin pienemmäksi, koska leikkuuterän reuna on muotoutunut siihen kulmaan millä leikkaus on aloitettu. Teräkulman pienentäminen voi aiheuttaa terien leikkauskulmien erotuksen, mikä taas aiheuttaa leikkauspisteen siirtymisen. Tämä johtaa ala-arvoiseen leikkausjälkeen ja pahimmillaan koneen käyttäjän harhaluuloon, että teräkulman alentaminen on haitallista tuotannolle. /17/

Väärin määritelty teräkulma on yksi pääsyy liialliseen pölynmuodostumiseen, koska silloin raina ei välttämättä leikkaudu vaan repeää jolloin pigmenttipölyä ja kuituja vapautuu. Leikkureilla joissa on käytössä teriä, joiden halkaisijat ovat suuria, teräkulman oikein määrittäminen on kriittinen hallintasuure. Sillä rainan aksiaalinen heitto aiheuttaa enemmän rasiutusta leikkauspisteelle. /17/

**Taulukko 1** Suositeltavat teräkulmat eri materiaaleille /17/

<b>Teräkulma (cant angle)</b>	<b>Materiaali</b>	<b>Terän elinikä</b>
<b>0.0 – 0.25 astetta</b>	Metallit, muovilevy, kovat mutta hauraat materiaalit.	Paras
<b>0.20 – 0.50 astetta</b>	Optimaalinen yleispätevä kulma, paperituotteille, laminaateille, muovikalvolle.	Hyvä
<b>0.50 – 0.75 astetta</b>	Synteettinenkuitu tuotteet, materiaalit joissa heikosti sitoutuneet kuidut, joustavat filmit.	Alhainen
<b>0.75 – 1.00 astetta</b>	Kankaat, sitoutumattomat kuiduttomat materiaalit, jne.	Huono

Taulukkoa 1 on mahdollista käyttää pituusleikkurin perusasetuksia säätäessä.

Teroituskulma on se kulma, johon leikkausterät teroitetaan. Neliömassan kasvaessa teroituskulma yleensä pienenee. Teroituskulmana on papereilla yleensä 45° ja kartongeilla 30° /18/. Liian iso teroituskulma, kartongilla tai paperilla, jolla on myös suuri neliömassa, saattaa aiheuttaa leikkauksessa rainan reunojen vääristymää, joka aiheuttaa laatu- ja jatkojalostusongelmia. Yleispäteviä teroituskulmia on eri tuotteille (edellä mainittujen lisäksi) hyödytöntä määrittää. Teroituskulma määritetään leikattavan materiaalin mukaan ottaen huomioon käytettävän koneen, leikkausmenetelmän, leikattavan materiaalin tärinän ja muut asetukset. Eli tapauskohtaisesti.

### 7.5.3 Yläterien nopeus

Yläterien nopeudella on huomattava vaikutus leikkausjälkeen. Mitä monimutkaisempi leikattavan materiaalin rakenne, sitä merkittävämpi on yläterien nopeuden lisääminen leikattavan materiaalin ajonopeuteen nähden.

**Taulukko 2** Suositeltava yläterän ajonopeuden kasvattaminen eri materiaaleilla /3/

0 %	Joustamattomille, jäykille, kiinteille ja paksuille materiaaleille
1 % – 3 %	Venymättömille kelmuille, folioille, kalvoille, herkille materiaaleille
3 % – 5 %	Tavallisimmille materiaaleille soveltuva, papereille ja kartongeille
5 % – 10 %	Erittäin venyville kelmuille, heikosti sitoutuneille materiaali
10 % – 100 %	Tekstiileille

Taulukosta 2 voi päätellä, että mitä joustavampi rakenne leikattavalla materiaalilla, sitä nopeampi täytyy yläterän olla materiaalin ajonopeuteen nähden.

## 8 QUATTROLLIN KÄYNTIINAJAJIEN KOKEMUSTEN KERÄÄMINEN

### 8.1 Johdanto

Työn tarkoituksena oli myös tutkia ja kerätä talteen Quattrollin käyntiinajajien tietoja ja kokemuksia yleisesti pituusleikkausprosessista ja sen osa-alueista.

Kysymyslomake käytiin läpi ennen lähettämistä Quattrollin käyntiinajajien esimiehen, Antti Hatakan kanssa. Kysymyslomakkeita lähetettiin kaksi kappaletta.

Kysymyslomake lähetettiin kahdelle käyntiinajajalle, jotka kummatkin saivat kuukauden aikaa miettiä kysymyksiä ja vastata niihin omien kokemuksensa ja tietojensa perusteella. Vastaukset saatiin ajallaan ja kysymyksiin oli vastattu asiallisesti. Vastaajan vaihtuessa, jätetään yksi riviväli vastauksien väliin. Muutamaan kysymykseen ei saatu kummaltakin vastausta ja näissä tapauksissa vastauksia on vain yksi. On myös kysymyksiä, joihin ei vastausta löytynyt. Työn tekijän kommentit on liitetty jokaisen kysymyksen perään kursivoituna.

### 8.2 Haastattelu vastauksineen

1. Paperi/kartonkilajin neliömassan vaikutus pituusleikkausprosessissa?
  - Vaikuttaa yläterän teroituskulmaan. Mitä suurempi neliöpaino, sitä loivempi tulee teroituskulman olla, jotta vältetään leikatun rainan reunan deformaatiolta. Mikäli teroituskulma on jyrkkä leikattaessa paksumpaa paperia, leikattu reuna painuu yläterän kehän mukana, jolloin tapahtuu mm. venymistä ko. kohdassa.
  - Neliömassalla on välillinen vaikutus leikkausjälkeen. Yleensä neliömassan kasvaessa myös paperin tai kartongin paksuus kasvaa. Paksuuden kasvaessa myös kuituorientaatio muuttuu hieman.

- *Ensimmäinen kysymys oli peruskysymys. Teroituskulman loiventamisesta paperin- ja kartongin neliömassan oli tärkeä.*
  
- 2. Paperin lujuuksien (veto, repäisy, puhkaisu) ja pinnan sileyden vaikutus pituusleikkausprosessissa?
  - Em. ominaisuudet ovat riippuvaisia kuitujen orientaatiosta ja kuitujen pituudesta. Yleisesti ottaen voitaisiin sanoa, mitä pitempikuituista tavaraa, sen helpompaa leikata.
  
  - Pinnan sileys, ja sitä kautta kitka, vaikuttaa lähinnä kiinnirullauksessa, jolloin kantotelojen luistaminen rataan/rullaan nähden on suurempaa. Tämä on otettava huomioon kantotelojen momenttia ja painotelakuormaa säädettäessä. Suuremmalla painotelakuormalla estetään telojen liiallinen luistaminen.
  
  - Paperin lujuus vaikuttaa suoranaisesti käytettävään ratakireyteen ja sitä kautta leikkauksen laatuun. Nyrkkisääntönä voi pitää, että mitä pienempi ratakireys, sitä huonompi leikkausjälki.
  
  - *Vetolujuuden kasvaessa on myös mahdollista kasvattaa käytettyä ajonopeutta.*
  
- 3. Käytetyn kuitutyypin (koivu, mänty, eukalyptus yms, sellu, ctmp, hiottu, hierretty, kierrätys yms.) vaikutus pituusleikkausprosessissa? Aiheuttaako joku kuitutyyppi erityistä vaivaa?
  - Edellä mainitut massat ovat toisistaan hyvinkin poikkeavia. Valmistusmenetelmät ovat erilaisia. Tämän takia myös kuidun pituus vaihtelee suuresti eri massojen kesken. Myös eri massojen käyttötarkoitukset ovat hyvin erilaiset. Esim. Eri paperit, eri kartongit.
  
  - *Kierrätyskuidun käyttäminen aiheuttaa enemmän pölyä, kuin neitsytkuitu ja lyhentää terien elinikää kierrätyskuidun vanhojen täyteainejäämien takia.*

4. Leikkausprosessissa syntyvän leikkauspölyn ongelmakohdat ja pölyn vähentämiseen käytettävät keinot?
  - Pölyn muodostus on suurinta leikkauskohdassa ja pöly kertyy lähinnä alaterään ja alaterämoottoriin, jolloin alaterämoottori lämpenee ja saattaa jopa estää terän pyörimisen. Asiakkaan näkökulmasta pahin ongelma pölynmuodostuksessa on pölyn kulkeutuminen rainan mukana rullaan päytyyn, jolloin se vaikeuttaa jälkikäsitteilyä esim. kertymällä painolevyihin tms.
  - Pölyn muodostukseen voi yrittää vaikuttaa teroituskulmilla ja terien pyörintänopeudella, ns. offset-nopeus, mutta parhain tulos lienee saavutettavissa varsinaisella pölynpoistolla, jolloin pöly poistetaan leikkauspinnasta puhalluksin ja imuin.
  - Pölynpoistolaitteistot joko paperiradalta tai suoraan terältä.
  
5. Käytettyjen teräkulmien vaikutus leikkausprosessissa?
  - Joidenkin lajien kohdalla niin sanotut peruskulmat ja paineet eivät välttämättä tuo parasta mahdollista leikkaustulosta.
  - Suurella teräkulmalla saadaan parempi leikkausjälki, mutta terän kuluminen on myös suurempaa. Käytännössä teräkulmat säädetään samaan vakioarvoon kaikissa leikkureissa, mutta mikäli leikkauksessa on ongelmia, haetaan parempaa tulosta mm. säätämällä teräkulmia teroituskulman muutoksen lisäksi.
  - *Optimaalinen leikkauskulma on määritettävä jokaiselle leikattavalle paperilajille erikseen. Toki samalla teräkulmalla on mahdollista saada kelvollista laatua eri lajeilla, mutta paperin ja kartongin laatuvaatimusten kasvaessa on entistä tärkeämpää määrittää jokaiselle lajille omat teräasetukset mahdollisimman hyvä leikkausjäljen aikaansaamiseksi.*

6. Käytettyjen teroituskulmien vaikutus leikkausprosessissa?

- Riippuu ajettavana olevasta materiaalista. Joillakin lajeilla teroituskulmilla on selkeä merkitys. Muistettava on kuitenkin, että teroituskulmat pyritään valitsemaan myös niin, että terän käyttöikä ei olennaisesti muutu. Kulmat ovat siis jossain suhteessa kompromisseja.
- Kohta 1.
- *Käytetyt teroituskulmat riippuvat ajettavana olevasta materiaalista.*

7. Käytetyn terämateriaali vaikutus leikkausprosessissa?

- Terämateriaali sinänsä ei vaikuta leikkausjälkeen muuten, kuin mihin kohtaan leikkauspöly kertyy. Tähän vaikuttaa terän materiaalin sähköiset ominaisuudet ts. staattinen sähkö. Terämateriaalin suurin vaikutus on ylä-/alaterän kulutuksen kesto, mitä kovempaa materiaalia yläterä on, sitä kauemmin se kestää ajossa, mutta miinuspuolena on suurempi alaterän kuluvuus.
- Valittujen teräkulmien kautta terämateriaalilla voidaan vaikuttaa terän käyttöikään ja tätä kautta leikkauksen onnistumiseen.
- *Periaate on, että mitä kovempi terämateriaali, sitä pidempi käyttöikä. Alaterä olisi hyvä olla kovempaa materiaalia kuin yläterä. Lisäksi yläterän hyvä sitkeys ja sileyys parantaa leikkausjälkeä ja lisää selvästi yläterän kestoikää.*

8. Leikkaustavan vaikutus pituusleikkausprosessissa?

- Leikkaustapa pyritään valitsemaan ajettavan materiaalin mukaan. (Aina näin ei kuitenkaan ole.) Leikkaustavalla on merkitystä leikkauksen onnistumiseen. Joillakin erikoismateriaaleilla leikkaustavalla on hyvinkin suuri merkitys.

- Tästä minulla ei ole hirveästi kokemusta, mutta ainoa kohde, jossa tangentiaalinen leikkaus ei toiminut, on muovipinnoitetulla kartongilla, jolloin tangentiaalisessa leikkauksessa ei päästy eroon pölyn ja muovin kertymisestä teriin ja rullan pätyyn.
- *Leikkaustavan merkitys kasvaa materiaalin ja materiaalin ominaisuuksien muuttuessa.*

#### 9. Ajonopeuden vaikutus pituusleikkausprosessissa?

- Yleisesti voidaan sanoa, että ajonopeuden kasvaessa kaikki ne virheet, jotka ovat vaikuttamassa leikkaukseen korostuvat entisestään.
- Ajonopeus vaikuttaa lähinnä telojen ja terälaitteiden laakerointiin ja tasapainotukseen. Terälaitteissa/terissä lisänä vielä sivuttaisheitto, joka pitää olla sitä pienempi, mitä suurempi nopeus, mielellään tietysti nolla.
- *Ajonopeuden kasvaessa tärinän muodostuminen lisääntyy. Lisäksi jos rullia ajetaan liian pienellä nopeudella, niin niiden ominaisuudet (kireys, kovuus, rullautuvuus) huononevat. Joihinkin kysymyksiin on varmasti vaikeata vastata laajasti, sillä asiat, joita pitää itsestäänselvyytenä voivat unohtua vastauksesta.*

#### 10. Rainan kireyden vaikutus pituusleikkausprosessissa?

- Johonkin tiettyyn pisteeseen saakka suuremmalla ratakireydellä saavutetaan parempi tulos. Liiallinen kireyden kasvatus puolestaan voi heikentää leikkausta. Tällöin paperi ikään kuin leikkaantuu ennen leikkauspistettä.
- Kohta 2.
- *Rainan kireyden ollessa materiaalille sopiva leikkausjälki paranee ja sivuttaisheitot rullassa vähenevät. Lisäksi rullan pyöreys ja kovuus riippuu rainan kireydestä pituusleikkausprosessin aikaan.*

11. Pituusleikkausprosessissa syntyvän värinän ongelmakohdat ja värinän vähentämiseen käytettävät keinot?

- Ongelmakohdat ovat kantoteloilla syntyvä rullien/painotelan värinä sekä terälaitteiden värinä.
- Kantoteloilla värinän aiheuttaa yleensä paperin koneensuuntaisen paksuusprofiilin heitto, tämä on yleistä paperikoneen startin aikana. Muulloin kiinnirullauksen värinä aiheutuu ajoarvojen virheellisyydestä, jolloin ajoarvojen säädöllä siitä päästään eroon, tai leikkurin runkoratkaisusta, jolloin ainoa vaihtoehto on rungon jäykistäminen lisäpalkein tms. Eräs syy on myös nykyisin kantotelaleikkureihin asennettavat kumipinnoitetut kantotelat, joilla saadaan hallittua rullan kireys suurella halkaisijalla, mutta kääntöpuolena on pinnoitteen kovuuksien oikea mitoitus ja ajoarvojen suurempi merkitys.
- Terälaitteilla värinä tulee lähinnä terien/terälaitteiden valmistusvirheistä, jolloin terien väristessä ylä- ja alaterä irtoavat hetkeksi toisistaan ja leikkauksesta tulee repivä.
- Koneen rakenteiden suunnittelu. Terälaitteiden suunnittelu.
- *Rainan profiilien ollessa huonot aiheutuu todella kovaa värinää kiinnirullaimella. Värinää on mahdollista pienentää alentamalla rainan nopeutta ajon aikana porrastetusti. Tämä taas tarkoittaa pienempää tuotantoa.*

12. Paperi/kartonkilajista aiheutuvia ongelmia pituusleikkausprosessissa?

Ei vastauksia

- *Ilmeisesti ei ole mitään erityistä paperi- tai kartonkilajia, joka aiheuttaisi ongelmia pituusleikkauksen aikana. Kierrätyskuidusta valmistetulla rainalla pölyäminen on suurempaa.*

13. Pigmenttien/täyteaineiden/apuaineiden vaikutukset pituusleikkausprosessissa, miten täytyy ottaa huomioon?

- Terien kestoikä. Terien valmistusmateriaali.
- Paperin pinnan kitka ja ilman läpäisevyys vaikuttaa kiinnirullauksessa. Mitä suurempi kitka ja mitä pienempi ilman läpäisevyys, sitä enemmän tarvitsee rullaa tiukata rullatessa.
- Lisäaineet vaikuttavat myös leikkauspölyyn ja terien kulumiseen.
- *Täyteaineiden käyttö rainaa valmistettaessa alentaa leikkuuterien elinikää.*

14. Kuituorientaation voimakkuuden vaikutus pituusleikkausprosessissa?

- Suhteellisen selkeä ja suora vaikutus leikkauksen onnistumiseen. Tietenkin on selvästi helpompaa katkaista kuitu kuin yrittää halkaista sitä.

15. Nippipaineen vaikutus pituusleikkausprosessissa?

- Nippipaine (rullan ja kantotelojen välisessä nipissä, jota säädetään painotelakuormalla) vaikuttaa suoraan valmiin rullan kovuuteen. Mitä suurempi nippipaine, sitä kovempi rulla.
- *Käytettävä nippipaine määräytyy rullattavan rainan ominaisuuksien mukaisesti (neliömassa, halkaisija, profiilit). Mitä raskaampaa paperia käytetään, sitä suurempaa nippipainetta pitää käyttää.*

16. Nipin halkaisijan vaikutus pituusleikkausprosessissa?

- Pienemmällä rullan (ainoa muuttuva halkaisija) halkaisijalla kantotelan painuma rullaan on suurempi, jolloin myös rulla tiukkenee enemmän kuin mitä suurella

halkaisijalla. Tätä hallitaan painotelakuormalla, jolla pyritään pitämään rullan muodostuva jännitys vakiona koko rullan halkaisijalla.

17. Paperi/kartonkikoneen eri osien (perälaatikko, erilaiset kuivatustyyliä, viirakankaat yms.) huomioon ottaminen leikkausprosessissa, ja jos vaikuttaa niin mikä osa ja miten?

- Leikkausprosessiin näistä suurin vaikutus on profiilin (sekä koneensuuntainen, että poikittaisprofiili) heitoilla jotka aiheuttavat ongelmia. Koneensuuntainen heitto aiheuttaa tärinää ja poikittaissuuntainen vaikuttaa levityksiin, jolloin muutossa rullat saattavat olla kiinni toisissaan leikkauksien mennessä ristiin sekä painotelakuorman erilainen jakautuvuus rullien kesken tekee rullista erilaisia kovuudeltaan.
- *Rainan profiililla on suuri merkitys leikkauksen onnistumiseen. Huono profiili aiheuttaa mm. tärinää.*

18. Yleisimmät ongelmat pituusleikkurilla, niihin kokeiltuja ratkaisuja ja ratkaisujen toimivuus?

- Leikkausjäljen laatu. Ratkaisuvaihtoehtoja teräkulmat, teroituskulmat, mutta suurin vaikutus on terien sivuttaisheitolla.
- Tärinä. Ajoarvot, telojen pintamateriaali/kovuus.
- Terien eri säädöt.
- *Terien aksiaalinen heitto tulisi minimoida hyvän leikkausjäljen aikaansaamiseksi. Myös teräpaine täytyy pitää vakiona, sillä teräpaineen heitto alentaa terän elinikää.*

19. Missä kohdassa pituusleikkurilla on eniten ongelmia ja miksi?

Ei vastauksia

20. Muuta huomioitavaa?

Ei vastauksia

### 8.3 Johtopäätökset

Kaiken kaikkiaan käyntiinajajien tiedot ovat hyvät, kun kyseessä on pituusleikkuri, pituusleikkurin osat tai pituusleikkurin ylä- tai alaterät. Myös osa paperilajien aiheuttamista ongelmista on tiedossa, mutta ei mainittu, aiheuttavatko eri täyteaineet paperissa tai kartongissa tärinää. Tämä olisi ollut hyvä kysymys, mutta nyt sitä ei haastattelulomakkeessa ollut. Myös kysymys terälimityksistä ja vaihtoehtoisista leikkausmenetelmistä (laserleikkaus, vesisuihkuleikkaus) olisi ollut hyvä.

## 9 KOKO TYÖN JOHTOPÄÄTÖKSET JA TULOSTEN TARKASTELU

Leikkaustapahtuman suurimmat ongelmat ovat paperipölyn syntyminen, terien tylstyminen sekä yläterän hankauksesta ja kuluneista teristä johtuva huonolaatuinen reuna. Jatkojalostuksen kannalta paperipölyn minimointi on välttämätöntä, syntyvä pöly aiheuttaa ongelmia painotaloissa ja elintarviketeollisuudessa. Laserleikkaus on pölytön vaihtoehto, sillä ohut lasersäde höyrystää/polttaa leikattavan rainan korkeassa lämpötilassa ja oikeastaan hieman sulkee leikatun reunan.

Jokainen leikattava materiaali tarvitsee itselleen sopivan ja ihanteellisen leikkaustavan. Leikkaustapa määritetään usein materiaalin paksuuden, tiheyden, vetolujuuden, elastisuuden, jäykkyyden, hankautuvuuden ja kokoonpainuvuuden mukaan. Väärin määritelty leikkaustapa lisää pölyämrisriskiä, huonontaa leikkausjälkeä ja aiheuttaa tarpeetonta leikkuuterien kulumista.

Teräasetukset on tärkeää määrittää jokaiselle leikattavalle lajille erikseen.

Yleisasetuksilla on mahdollista saada hyvää leikkausjälkeä, mutta parhaan tuloksen aikaansaamiseksi täytyvät teräasetukset määritellä jokaiselle lajille erikseen.

Leikkausmenetelmistä informaatiota joistakin aiheista löytyi todella suuri määrä ja toisista hyvin niukalti. Yhtä sivua opinnäytetyötä vastaan joutui lukemaan noin 12 sivua englanninkielistä tekstiä. Mekaaniseen leikkaukseen liittyvää informaatiota pidin erittäin luotettavana, sillä löysin useasta eri lähteestä joko samoja tietoja tai toisiaan tukevia tietoja.

Vesisuihkuleikkauksesta löytynyt informaatio oli todella ristiriitaista, toiset tekstit kannattivat vesisuihkuleikkausta parhaimpana leikkausmenetelmänä ja toiset tekstit kielsivät ottamasta niin epävarmaa leikkausmenetelmää koskaan käyttöön. Itse en suosittele vesisuihkuleikkausmenetelmän käyttöä varsinaisessa leikkauksessa. Rainan reunanauhan leikkauksessa vesisuihkuleikkaus on toimiva.

Laserleikkaus tulee olemaan kilpailukykyinen vaihtoehto muille leikkausmenetelmille viimeistään viiden vuoden kuluttua. Ongelma laserleikkausta tutkittaessa oli se, että informaatio oli lähinnä teoreettista, mutta kuitenkin paikkansapitävää.

Laserleikkauslaitteistojakin on toki olemassa, mutta tällä hetkellä niiden tarjonta paperiteollisuudelle on todella vähäistä.

Informaatio mekaanisista leikkausmenetelmistä oli runsasta ja mielenkiintoista. Monta esimerkkiä mekaanisista leikkauksista löytyi sekä Internetistä että kirjoista. Hyödyt ja haitat mekaanisessa leikkauksessa on jo onnistuneesti määritetty.

Teräasetusten määrittäminen yleispäteväksi on hankalaa, sillä jokaisella lajilla on omanlaisensa ominaisuudet. Opinnäytetyöni määritelmiä voi käyttää leikkureilla perusasetuksina tai lähtökohtina.

Haastattelulomake oli muuten onnistunut, mutta terien limityksestä olisi ollut hyvä olla muutama kysymys. Lisäksi käyntiinajajien mielipiteet laser- ja vesisuihkuleikkauksesta olisivat olleet mielenkiintoisia. Yhteistyö Quattrollin henkilöstön kanssa oli mutkatonta ja miellyttävää. Tiedot ja taidot käyntiinajajilla ovat mielestäni todella hyvät.

## LÄHDELUETTELO

### Painetut lähteet

- 1 Paperin valmistus. Suomen paperi-insinöörien yhdistys r.y, täysin uudistettu painos 1983. s. 1223 – 1246.
- 2 Mikko Jokio Stora Enso Oyj, Papermaking part 3, Finishing, 1999. s. 144 – 148, 183 – 218.
- 3 Jan Gronewold, The complete guide for paper mills and converters, 1998 s. 55 – 61.
- 4 Ulla Häggblom-Ahnger – Pekka Komulainen, Kemiallinen metsäteollisuus II, Paperin ja kartongin valmistus, 2003. s. 230 – 236.
- 5 Rand T – Eriksson L, Physical properties of newsprint rolls during winding. Tappi 56, 1973. s. 153 – 156.
- 6 Altmann H, Formulas for computing the stresses in center-wound rolls. Tappi 51, 1968. s. 176 – 179.
- 7 Heidi Malmberg – Veli Kujanpää, Paperimateriaalien laserleikkaus. Paperi ja Puu – Paper and timber Vol.88/No. 8/2006. s. 452 – 455.

### Painamattomat lähteet

- 8 Hatakka, Antti, muistiinpanot Karhulan tapauksesta, 2003. Quattroll oy. (Saatu Hatakalta).
- 9 Malmberg, H, Kuluttajapakkauskartonkien laserleikattavuuden karakterisointi. Diplomityö. Lappeenrannan teknillinen yliopisto, Kemianteeniikan osasto, Lappeenranta 2003. s. 188.
- 10 Immonen M, Paperin ja kartongin laserleikkauksen teknistaloudellinen kannattavuus. Diplomityö. Lappeenrannan teknillinen yliopisto, Tuotantotalouden osasto, Lappeenranta 2005. s. 84.

## Sähköiset lähteet

- 11 Knowpap. [www-sivu]. [viitattu 12.1.2007.] Saatavissa:  
<http://www.knowpap.com/suomi>
- 12 Tidland. [www-sivu]. [viitattu 13.1.2007.] Saatavissa:  
<http://www.tidland.com/slittingresource/Critical%20Review.pdf>
- 13 Ashe Controls Ltd. [www-sivu]. [viitattu 17.1.2007.] Saatavissa:  
<http://www.ashe.co.uk/pdf-downloads/winding.pdf>
- 14 Laser Excel. [www-sivu]. [viitattu 18.3.2007.] Saatavissa:  
[http://www.laserexcel.com/modules/photo/gallery.php/nav\\_id/2/page/1/id/41/name/Pr  
omotionalPaper](http://www.laserexcel.com/modules/photo/gallery.php/nav_id/2/page/1/id/41/name/Pr<br/>omotionalPaper)
- 15 Lasercraft. [www-sivu]. [viitattu 18.3.2007.] Saatavissa:  
[http://www.lasercraft.co.uk/laser\\_paper\\_cutting.asp](http://www.lasercraft.co.uk/laser_paper_cutting.asp)
- 16 Flow International Corporation. [www-sivu]. [viitattu 20.3.2007.]  
Saatavissa: [http://www.flowcorp.com/waterjet-resources.cfm?id=343\\_ja](http://www.flowcorp.com/waterjet-resources.cfm?id=343_ja)  
[http://www.flowcorp.com/uploadedFiles/Resources/Brochures/Waterjet\\_Brochures/W  
aterjet\\_Brochures/Waterjet%20Cutting%20Systems.pdf](http://www.flowcorp.com/uploadedFiles/Resources/Brochures/Waterjet_Brochures/W<br/>aterjet_Brochures/Waterjet%20Cutting%20Systems.pdf)
- 17 Tanners Home Inn. [www-sivu]. [viitattu 20.2.2007.] Saatavissa:  
[http://www.tannershomeinn.com/principles\\_root/frames/fr1\\_web\\_slitting\\_main.htm](http://www.tannershomeinn.com/principles_root/frames/fr1_web_slitting_main.htm)
- 18 Metso Paper Inc. [www-sivu]. [viitattu 22.2.2007.] Saatavissa:  
[http://www.metsopaper.com/MP/Marketing/mpv2store.nsf/BYWID/WID-  
050712-2256E-CC27F/\\$File/13140\\_V1\\_FI.pdf?openElement](http://www.metsopaper.com/MP/Marketing/mpv2store.nsf/BYWID/WID-<br/>050712-2256E-CC27F/$File/13140_V1_FI.pdf?openElement)