

LAPPEENRANNAN TEKNILLINEN YLIOPISTO  
Teknillinen tiedekunta  
Kemiantekniikan koulutusohjelma

## **HYLYNKÄSITTELYN JA ANNOSTELUN VAIKUTUS KARTONGIN LAATUUN**

Diplomityön aihe on hyväksytty Kemiantekniikan osaston osastoneuvoston kokouksessa 24.9.2007.

Työn tarkastajat Prof. Jari Käyhkö  
Yliassistentti Kati Turku

Työn ohjaaja DI Matti Korhonen

28.11.2008  
Henrik Antila

## TIIVISTELMÄ

Lappeenrannan teknillinen yliopisto  
Teknillinen tiedekunta  
Kemiantekniikan koulutusohjelma

Henrik Antila

### **Hylynkäsittelyn ja annostelun vaikutus kartongin laatuun**

Diplomityö

2008

139 sivua, 72 kuvaa, 12 taulukkoa ja 12 liitettä

Tarkastajat: Professori Jari Käyhkö  
Yliassistentti Kati Turku

Hakusanat: hylky, z-suuntainen lujuus, taivekartonki, jauhatuste, lujitemassa, kuivalujalisäaine, hienoaines

Keywords: broke, z-directional strength, folding boxboard, beating degree, reinforcement pulp, dry-strength additive, fines

Tämän työn tavoitteena oli löytää keinot taivekartongin riittävän z-suuntaisen lujuuden saavuttamiseksi tilanteessa, jossa runkokerrokseen annosteltavan hyllyn määrää joudutaan pysyvästi vähentämään.

Työn kirjallisuusosassa selvitettiin taivekartongin tärkeimmät ominaisuudet, joista tarkemmin tarkasteltiin palstautumislujuuksia ja siihen vaikuttavia tekijöitä. Lisäksi käytiin läpi palstautumislajuuden mittausten menetelmät. Merkittävimpiä teoriaosassa käsiteltyjä palstautumislajuuteen vaikuttavia tekijöitä olivat massojen käsittely ja annostelu, kuivalujalisäaineiden käyttö sekä rainanmuodostus.

Hylyn annosteluosuuden pienentäminen vähensi taivekartongin paksuussuuntaista lujuutta ja runkomassan vedenpoistovastusta, mutta samanaikaisesti lisääntyivät kartongin paksuus ja taivutusjäykkyys. Hyllyn vähäisemmän käytön seurauksena menetettyä lujuutta ei pystytty palauttamaan hyllyn jauhatuksen määrää lisäämällä, eikä kartonkikoneen runkoviiraosan vedenpoistoon vaikuttamalla.

Kun hyllyn annosteluosuus laskettiin 20 %:in, saavutettiin runkokerroksen riittävä lujuus ainoastaan runkomassan pääkomponenttina käytettävän hiokemassaseoksen jauhatuste nostamalla tai korvaamalla pieni osa hiokkeesta hyvin hienoksi jauhetulla mäntysellulla. Hiokkeen freeness oli laskettava tasolta 300 ml CSF tasolle 250 ml CSF. Vastaavasti mäntysellu oli jauhattava hyvin pitkälle (°SR 74) tai annosteluosuuden oli oltava vähintään 2 %, jolloin jauhatuste °SR 49 oli riittävä. Vähäisemmällä hyllyn käytöllä saavutettu etu vedenpoistossa saatettaisiin menettää näiden toimenpiteiden vaikutuksesta.

## **ABSTRACT**

Lappeenranta University of Technology  
Faculty of Technology  
Degree Programme of Chemical technology

Henrik Antila

### **Influence of Broke Handling and Dosing on Paperboard Quality**

Master's thesis

2008

139 pages, 72 pictures, 12 tables and 12 appendixes

Examiners: Professor Jari Käyhkö  
Senior Assistant Kati Turku

Keywords: broke, z-directional strength, folding boxboard, beating degree, reinforcement pulp, dry-strength additive, fines

The goal of this study was to find ways to achieve sufficient z-directional strength of folding boxboard (FBB) at the situation, where amount of broke dosed to middle ply is necessary to reduce permanently.

At the literature part of the work the most important properties of FBB were explained. Closer look was given at delamination strength and factors effecting on it. Also measurement methods of delamination strength were studied. The most important factors effecting on delamination strength that were handled on literature part were treatment and dosing of pulps, use of dry-strength additives and web formation.

Decreasing the dosage of broke reduced z-directional strength of FBB and dewatering resistance of middle ply pulp, but at the same time thickness and bending stiffness of paperboard was increased. Strength lost because of decreased use of broke could not taken back by increasing amount of broke refining, and neither by effecting on dewatering of middle ply wire section of board machine.

When dose of broke was lowered to 20 %, the only way to reach sufficient strength of middle ply, was by increasing beating degree of groundwood pulp mix used as the main component of the middle ply pulp or by replacing small part of groundwood pulp with very finely refined softwood pulp. Freeness of groundwood pulp had to drop from the level 300 ml CSF to level 250 ml CSF. Correspondingly softwood pulp had to beat very fine (°SR 74) or dosage had to be at least 2 %, when beating degree was °SR 49. Advantage in dewatering achieved with lower dosage of broke might be lost because of these actions.

## SISÄLLYSLUETTELO

1	JOHDANTO .....	1
	KIRJALLISUUSOSA .....	2
2	TAIVEKARTONKI .....	2
2.1	Taivekartongin rakenne .....	2
2.2	Rakenteen ja kerrosten koostumuksen vaikutus ominaisuuksiin .....	3
2.3	Taivekartongilta vaadittavat ominaisuudet.....	4
2.3.1	Mekaaniset vaatimukset .....	4
2.3.2	Puhtaus ja läpäisemättömyys.....	5
2.3.3	Painettavuus.....	6
3	TAIVEKARTONGIN Z-SUUNTAISEN LUJUUS.....	6
3.1	Kartongin käyttäytyminen z-suuntaisen rasituksen alaisena.....	6
3.2	Kuitujen sitoutuminen .....	7
3.3	Rakenteelliset vaikutukset .....	7
3.3.1	Kuituverkon rakenne .....	8
3.3.2	Tiheyden vaikutus z-suuntaiseen lujuteen.....	9
3.4	Liitoslujuus .....	10
4	Z-SUUNTAISEN LUJUUDEN MITTAUSMENETELMÄT .....	10
4.1	Z-lujuus.....	11
4.2	Scott Bond-lujuus .....	11
4.3	Muut mittaussmenetelmät .....	12
4.4	Mittaussmenetelmien vertailua .....	13
5	KUITURAAKA-AINEEN MERKITYS MASSAN JA KARTONGIN VALMISTUKSEN KANNALTA .....	15
5.1	Kuituraaka-aine .....	15
5.1.1	Kemiallinen massa.....	17
5.1.2	Mekaaninen massa.....	18
5.1.3	Kemimekaaninen massa .....	22
5.2	Hylky .....	23
5.2.1	Hylyn osuuden vaikutus .....	23
5.2.2	Päällystetyn hylyn häiriöaineiden vaikutus .....	24
5.3	Hienoaines .....	25
5.3.1	Kemiallisen massan hienoaines .....	25
5.3.2	Mekaanisen massan hienoaines .....	26
5.4	Runkomassan kuitukoostumus .....	27
6	JAUHATUS.....	28
6.1	Jauhatuksen periaate .....	28
6.2	Jauhatuksen vaikutus kuitu- ja massaominaisuuksiin .....	30
6.3	Jauhatuksen teoriat .....	31
6.4	Jauhatusolosuhteiden vaikutus .....	34
6.4.1	Sakeus .....	35
6.4.2	Jauhatusaste .....	35
6.4.3	Energian syöttö .....	36
6.4.4	Jauhatuksen intensiteetti .....	36
6.4.5	pH .....	36
6.5	Jauhimen terät.....	37
6.6	Runkomassakomponenttien jauhatus .....	38
7	KUIVALUJALISÄAINEET .....	41

7.1	Tärkkelys .....	42
7.1.1	Tärkkelyksen ominaisuudet .....	42
7.1.2	Kationinen tärkkelys .....	43
7.1.3	Anioniset ja amfoteeriset tärkkelykset .....	46
7.1.4	Spraytärkkelys .....	47
7.2	Tärkkelyksen tehokkuuteen vaikuttavat tekijät .....	48
7.2.1	Tärkkelyksen ominaisuudet .....	49
7.2.2	ζ-potentiaali ja varaustarve .....	49
7.2.3	Täyteaineet .....	50
7.2.4	Johtavuus .....	51
7.2.5	pH .....	51
7.2.6	Anioniset häiriöaineet .....	52
7.2.7	Retentiojärjestelmä .....	52
7.3	Synteettiset kuivalujalisäaineet .....	53
8	RAINANMUODOSTUSOSA .....	55
8.1	Perälaatikko .....	55
8.1.1	Perälaatikon huulikanava .....	57
8.1.2	Huuliaukko ja perälaatikkosakeus .....	58
8.1.3	Huuligeometria .....	60
8.1.4	Suihkusuuhde .....	61
8.2	Viiraosan vedenpoisto .....	62
8.2.1	Tasoviiraosan vedenpoistoelementit .....	64
8.2.2	Formeri .....	66
8.2.3	Hienoaineretentio .....	67
8.2.4	Hienoaineen paksuussuuntainen jakautuminen .....	67
8.2.5	Liitossakeus .....	68
	KOKEELLINEN OSA .....	69
9	KOKEELLISEN OSAN TARKOITUS .....	69
10	INKEROISTEN KARTONKITEHDAS .....	69
10.1	Kartonkilajit ja niiden kuitukoostumus .....	70
10.2	Massankäsittely .....	71
10.3	Kartonkikone 4 .....	71
10.3.1	Viira- ja puristinosa .....	72
10.3.2	Kuivatus- ja päällystysosa .....	72
10.3.3	Kalanterointi ja rullausosa .....	73
10.4	Jälkikäsitteily .....	73
11	Z-SUUNTAISEN LUJUUDEN MITTAUSMENETELMÄT .....	73
12	HYLYN OSUUS .....	74
12.1	Koeajon tarkoitus .....	74
12.2	Koeajon suoritus .....	74
12.3	Koeajon tulokset ja niiden tarkastelu .....	76
12.3.1	Perälaatikkomassa- ja viiravesinäytteet .....	80
12.3.2	Kartonkinäytteet .....	81
12.4	Johtopäätökset .....	84
13	HYLYN JAUHATUS .....	85
13.1	Koeajon tarkoitus .....	85
13.2	Koeajon suoritus .....	85
13.3	Koeajon tulokset ja niiden tarkastelu .....	86

13.3.1	Hylkymassanäytteet ja laboratorioarkit .....	89
13.3.2	Kartonkinäytteet .....	92
13.4	Johtopäätökset .....	94
14	MÄNTYSELLUN JAUHATUS JA ANNOSTELU .....	95
14.1	Koeajon tarkoitus .....	95
14.2	Koeajon suoritus .....	96
14.3	Koeajon tulokset ja niiden tarkastelu.....	97
14.3.1	Mäntysellunäytteet ja laboratorioarkit.....	100
14.3.2	Kartonkinäytteet .....	102
14.4	Johtopäätökset .....	106
15	MÄNTYSELLU JA TÄRKKELYS .....	107
15.1	Koeajon tarkoitus.....	107
15.2	Koeajon suoritus .....	107
15.3	Koeajon tulokset ja niiden tarkastelu.....	110
15.3.1	Runkomassa-arkit .....	114
15.3.2	Kartonkinäytteet .....	115
15.4	Johtopäätökset .....	119
16	RUNKOVIIRAOSAN VEDENPOISTO .....	120
16.1	Koeajon tarkoitus.....	120
16.2	Koeajon suoritus .....	121
16.3	Koeajon tulokset ja niiden tarkastelu.....	123
16.3.1	Kiintoaineen jakautuminen.....	127
16.3.2	Kartonkinäytteet .....	128
16.4	Johtopäätökset .....	132
17	KOKEELLISEN OSAN YHTEENVETO .....	133
	LIITTEET .....	139

## 1 JOHDANTO

Inkeröisten kartonkitehtaalla valmistetaan taivekartonkia kartonkikone 4:llä, jonka kapasiteetti on 210000 t/a. Taivekartongin pinta- ja selkäkerroksen valmistuksessa käytetään valkaistuja selluja, kun taas runkokerros sisältää lähinnä painehioketta. Lisäksi runkomassaan annostellaan omaa hylkyä ja tarvittaessa ostohylkyä.

Niin Inkeröisten kartonkitehtaalla kuin muillakin tehtailla tehdään jatkuvaa kehitystyötä koneiden toiminnan tehostamiseksi, minkä seurauksena koneiden hyötysuhteet nousevat ja ne tuottavat yhä vähemmän hylkyä. Tästä johtuen hyllyn riittävyys on uhattuna, koska sitä ei välttämättä ole saatavilla tarpeeksi tehtaan sisältä tai ostettavaksi ulkopuolelta. Kuitenkin hyllyn käyttö nähdään tietyssä määrin välttämättömäksi kartongin runkokerroksessa, jossa sillä on merkittävä vaikutus kartongin z-suuntaiseen lujuuteen.

Yllä kuvatusta tilanteesta johtuen hyllyn käytön rinnalle on löydettävä myös muita vaihtoehtoja, joilla voidaan taata rungon riittävä lujuus. Toisaalta taivekartongilla on monikerroksinen rakenne, joten yksittäisten kerrosten lujuus ei takaa kartongin kestävyyttä z-suuntaisten rasitusten alaisena. Tästä johtuen myös kerrosten väliset liitoslujuudet ovat tärkeässä asemassa.

Taivekartongilta edellytetään tiettyä z-suuntaisen lujuuden tasoa, koska sillä on huomattava vaikutus kartongin jalostettavuuteen. Erityisesti arkkioffsetpainatus on kriittinen tämän suhteen, johtuen siinä käytettävistä tahmeista painoväreistä.

Tämän työn tarkoituksena on etsiä keinot taivekartongin riittävän z-suuntaisen lujuuden saavuttamiseksi tai sen nostamiseksi kartonkikone 4:llä tilanteessa, jossa runkokerrokseen annosteltavan hyllyn määrää joudutaan pysyvästi vähentämään.

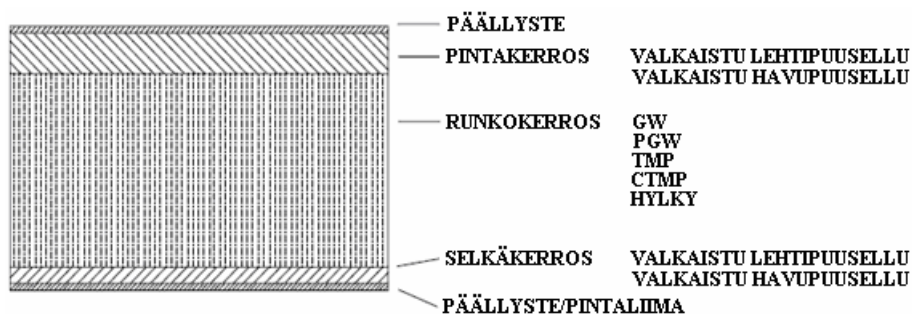
## KIRJALLISUUSOSA

### 2 TAIVEKARTONKI

Kartonkien luokittelun mukaan taivekartonki kuuluu kotelokartonkien ryhmään. Taivekartongista valmistettuihin koteloihin pakataan kosmetiikkaa, savukkeita, lääkkeitä, makeisia, alkoholijuomia ja elintarvikkeita. Joitakin taivekartonkilajeja käytetään myös postikorttien ja kirjankansien valmistuksessa /1, s.58/. Taivekartongin neliömassa vaihtelee välillä 160-450 g/m<sup>2</sup> /1, s.59/. Se toimitetaan asiakkaalle joko rullina tai valmiiksi arkitettuna riippuen painomenetelmästä.

#### 2.1 Taivekartongin rakenne

Taivekartongin monikerroksinen rakenne (Kuva 1) mahdollistaa siltä vaadittavien ominaisuuksien optimoinnin mahdollisimman alhaisin raaka-ainekustannuksin.



Kuva 1. Taivekartongin rakenne /1, s.58/.

Tyypillisesti taivekartonki koostuu kolmesta kerroksesta, joista pintakerroksen neliömassa on 35-60 g/m<sup>2</sup> ja selkäkerroksen 20-30 g/m<sup>2</sup>. Suurin osa kartongin neliömassasta tehdään kartongin rungolla. Myös kokonaisneliömassa säädetään muuttamalla runkokerroksen neliömassaa.

Hyvien painettavuusominaisuuksien saavuttamiseksi kartongin painettavat pinnat päällystetään joko yhteen tai kahteen kertaan. Kaksoispäällystyksen etuna on se, että esipäällyste muodostaa tasaisen pohjan varsinaiselle pintapäällysteelle. Tällöin kartonkia voidaan käyttää vaativammissakin painotöissä. Toisaalta taivekartongilla on myös käyttökohteita, jotka edellyttävät painamatonta pintaa. Tällaisia ovat lääkinnällisten laitteiden pakkaukset ja tulitikkurasiat, joissa



päällysteen käyttöä rajoittavat pakkauksen sterilisointi ja tulitikkurasian raapaisupinnat /2, s.216/.

Lisäksi kartonki voidaan pintaliimata, mikä parantaa pintalujuutta, jäykkyyttä ja absorptio-ominaisuuksia sekä vähentää pölyämistä /3, s.180/. Pintaliimauksella voidaan vaikuttaa myös sen kerroksen z-suuntaiseen lujuuteen, jota vasten liima levitetään. Tällöin pintaliimauksen vaikutus riippuu liiman penetraatiosyvyydestä. Jos kartongin ominaisuudet ovat riittämättömiä varsinaisen valmistusprosessin jälkeen, voidaan se laminoida, metalloida ja ekstruusio- tai barrieripäällystää erilaisten jalostusprosessien avulla /2, s.218/.

## 2.2 Rakenteen ja kerrosten koostumuksen vaikutus ominaisuuksiin

Jokaisella taivekartongin kerroksella ja niissä käytettävillä massoilla on tärkeä tehtävä, jotta kartongille asetetut laatuvaatimukset saavutettaisiin. Taivekartongin tärkeimmät mekaaniset ominaisuudet ovat paksuussuuntainen lujuus, paksuus ja taivutusjäykkyys /1, s.59/. Koska taivutusjäykkyys on verrannollinen kartongin paksuuteen sen kolmannessa potenssissa, on jäykkyyden kannalta edullisinta sijoittaa runkoon mahdollisimman bulkkista massaa /3, s.73/. Runkokerroksessa käytetäänkin pääasiassa mekaanisia massoja, joilla saavutetaan korkein bulkki. Lisäksi bulkkia voidaan nostaa minimoimalla pinta- ja selkäkerroksen neliömassa, koska silloin voidaan lisätä bulkkisen runkokerroksen osuutta. Taivutusjäykkyyttä lisää myös sellujen käyttö pinta- ja taustakerroksessa. Tämä seuraa siitä, että selluilla on mekaanisia massoja korkeampi kimmomoduli, joka taas on suoraan verrannollinen taivutusjäykkyyden kanssa /3, s.74/.

Lisäksi keskikerroksessa käytetään hylkymassaa. Sen avulla saavutetaan riittävä keskikerroksen z-suuntainen lujuus ja siten vähennetään kartongin palstautumis- ja pölyämisherkkyyttä. Taas muiden vaihtoehtoisten massojen käyttö tulee kysymykseen, jos kartongin ominaisuuksia on tarve optimoida tai tavallisesti käytettyjä massoja ei vain ole saatavilla. Mekaanisten ominaisuuksien lisäksi runkokerrokselta vaaditaan hyvää formaatiota, sillä kartongin ohuet pintakerrokset eivät pysty peittämään suuria epätasaisuuksia. Myös runkokerroksen vaaleuden tulee olla tietyllä tasolla, jottei se näkyisi pintakerrosten läpi.

Pinta- ja selkäkerroksessa käytetään valkaistuja lehti- ja havupuuselluja, joiden avulla saavutetaan taivekartongilta vaadittava ulkonäkö sekä painettavuus- ja lujuusominaisuudet. Taivekartongin pintamassat jauhetaan suhteellisen pitkälle hyvän painettavuuden, sileyden ja jäykkyyden saavuttamiseksi /3, s.74/. Toisaalta pintamassoilta edellytetään määrättyä huokoisuustasoa, jotta runkokerroksen sisältämä vesihöyry poistuisi ongelmitta kartonkikoneen kuivatusosalla. Liian tiivis pintakerros saattaa aiheuttaa sen irtoamisen rungosta, koska vesihöyry pyrkii poistumaan nopeammin kuin mitä pintakerroksen huokoisuustason mukaan olisi mahdollista.

### 2.3 Taivekartongilta vaadittavat ominaisuudet

Yleisesti kartongilta vaaditaan ongelmattomaa kulkua jalostusprosessin läpi ja että jalostettu kartonki täyttää käyttäjän asettamat vaatimukset. Kuitenkin jokainen loppukäyttötarkoitus asettaa omat vaatimuksensa kartongin ominaisuuksille. On olemassa myös joitakin useimpia käyttötarkoituksia koskevia vaatimuksia, jotka voidaan jakaa toiminnallisiin vaatimuksiin, puhtauteen ja painatuksen asettamiin vaatimuksiin. /1, s.56, 4, s. 371- 372/

#### 2.3.1 Mekaaniset vaatimukset

Taivekartongista valmistetun kartonkikotelon tulee säilyttää muotonsa, kun sitä puristetaan tai taivutetaan. Siksi taivekartongilta vaaditaan mekaanista lujuutta ja jäykkyyttä. Sillä on oltava riittävä puristuslujuus, koska kartonkiarkkeja pinotaan päällekkäin. Jäykkyys, etenkin poikkisuuntainen taivutusjäykkyys, on kriittinen ominaisuus. /1, s.57, 59, 4, s. 378/

Lisäksi savukepakkauksien valmistuksessa pakkauslinjat ovat hyvin nopeita, mikä asettaa korkeat vaatimukset taivekartongin ajettavuudelle. Näiden vaatimusten täyttämiseksi taivekartongilla täytyy olla tietty vakio käyryys. Jotta tämä olisi mahdollista, pitäisi kerrosten mittapysyvyyden olla mahdollisimman lähellä toisiaan. Kuitenkin sellupitoisten pinta- ja taustakerroksen mittapysyvyys on tavallisesti heikompi kuin hiokepitoisella keskikerroksella. /1, s.57, 4, s.378/

Kun taivekartonkia nuutataan, vaikuttaa siihen veto-, puristus- ja leikkausvoimia. Tästä johtuen kartongin pinta voi haljeta. Se voidaan välttää nuuttausparametrien avulla, mutta halkeamisherkkyyteen vaikuttaa myös taivekartongin rakenne. Halkeamisherkkyyden minimoimiseksi pintakerroksen murtovenymän pitäisi olla mahdollisimman suuri. Myös z-suuntainen lujuus on tärkeä tekijä. Jos z-lujuus on liian alhainen, kartonki voi palstautua painettaessa. Toisaalta liian suuri z-lujuus voi aiheuttaa halkeilua nuuttauksessa johtuen siitä, että venymä on liian suuri pintakerrokselle, jos runkokerros ei palstaudu kartonkia taivutettaessa. /1, s.57, 4, s.378/

Painatuksen, leikkauksen, nuuttauksen, ja kohokuvioinnin jälkeen valmistuneet aihiot liimataan. Tätä varten kartongilla täytyy olla riittävä huokoisuus hyvien liimaustulosten saavuttamiseksi. /1, s.57/

### 2.3.2 Puhtaus ja läpäisemättömyys

Puhtausvaatimukset ovat korkeita etenkin elintarvikkeita pakattaessa. Tässä tapauksessa myös mikrobiologinen puhtaus on hyvin tärkeää. Kartongissa saattaa olla mikrobeja, jotka eivät aiheuta terveysongelmia, mutta ne saattavat aiheuttaa ongelmia makujen ja hajujen suhteen. Neitsytkuitupohjaisilla kartongeilla ei tavallisesti ole ongelmia mikrobiologisen puhtauden kanssa, mutta niitä saattaa olla kierrätyskuitupohjaisilla tuotteilla johtuen kuitulähteen vaihtelevuudesta. Siksi kierrätyspohjaista kartonkia ei voi käyttää elintarvikepakkaussovelluksissa, joissa kartonki on kosketuksissa ruoan kanssa. /1, s.57/

Joskus barrieriominaisuudet kaasuja, aromeja, kosteutta, rasvaa tai nesteitä vastaan ovat pakkaukselle välttämättömiä. Ne ovat erityisen tärkeitä joissakin elintarvikepakkauksissa, kuten pakasteissa, ja syövyttäviä tuotteita sisältävissä pakkauksissa. Koska kartonki ei itsessään anna paljoa suojaa, kovaliimaus tai muu kemiallinen käsittely on joskus välttämätön. Suojan voi antaa myös laminointi tai jokin monista jalostusmuodoista. Yksi mahdollisuus voi olla myös muovipussin käyttö pakkauksen sisäpuolella. Toisaalta tuotteet, kuten tuoreeltaan pakatut leipomotuotteet, voivat vaatia hengittävän pakkauksen. Tällöin ylimääräinen kosteus pääsee haihtumaan ja vältytään tuotteen homehtumiselta. /2, s.223/

### 2.3.3 Painettavuus

Lähes kaikki kartongit painetaan, jolloin pakkauksen suunnittelu määrittelee painojäljen laatuvaatimukset. Taivekartongille tehdään hyvin vaativia painotöitä, kuten erilaisten kauneudenhoitotuotteiden pakkauksiin tehtävät painatukset. Tästä johtuen pintakerroksen painettavuusominaisuudet ovat hyvin tärkeitä.

Taivekartongin pääpainomenetelmä on arkkioffset, jossa mekaaninen pysyvyys ja tasainen laatu ovat välttämättömiä. Offsetpainatus rasittaa voimakkaasti kartongin pintaa, koska siinä käytettävät painovärit ovat tahmeita. Tästä johtuen tarvitaan hyvää z-lujuutta, Scott Bond-lujuutta ja IGT-pintalujuutta. Syväpainossa sileyys on erittäin tärkeä hyvän painotuloksen saavuttamiseksi, kun taas z-lujuus ei ole niin kriittinen kuin offsetpainossa. /1, s.58-59/

## 3 TAIVEKARTONGIN Z-SUUNTAINEN LUJUUS

Paksuussuuntainen lujuus määritellään kartongin kykynä kestää paksuussuuntaista vetorasitusta. Tällä ominaisuudella on useita termejä, kuten Scott Bond, z-lujuus eli z-suuntainen vetolujuus, palstautumislujuus, sisäinen sidoslujuus (internal bond) ja kerrosten välinen sidoslujuus eli liitoslujuus (ply-bond). /5, s.213/

Kartongin korkea paksuussuuntainen lujuus on välttämätön erilaisissa jalostus- ja loppukäyttökohteissa, joista kaikista tärkein on luultavasti offsetpainatus. Korkea paksuussuuntainen lujuus voi olla myös haitaksi. Kartonkia nuutattaessa kerrosten pitäisi irrota toisistaan. Tämä tapahtuu helposti, jos paksuussuuntainen lujuus on alhainen. Kuitenkin painettavuus on rajoittava tekijä, koska nuuttavuuden ja z-suuntaisen lujuuden välillä on heikko korrelaatio. Nuuttavuuden kannalta z-suuntaista lujuutta paljon tärkeämpiä ovat riittävän alhainen kulmapuristuslujuus ja korkea vetomurtovenymä. /5, s.213/

### 3.1 Kartongin käyttäytyminen z-suuntaisen rasituksen alaisena

Perinteisillä puristus- ja kuivatusmenetelmillä paksuussuuntainen kimmomoduli on 0,05-0,1 GPa, mikä on noin prosentti kartongin tasonsuuntaisesta arvosta. Kuitujen poikkisuuntainen kimmomoduli on selluloosapitoisuudesta riippuen 3-7

GPa eli huomattavasti suurempi kuin kartongin paksuussuuntainen kimmokerroin. Vähäisestä kimmoisuudestaan johtuen myös kartongin z-suuntainen murtovenymä on tavallisesti alhainen. /5, s.214/

Kartongin plastinen muodonmuutos alkaa vedossa, kun kuitujen väliset sidokset alkavat avautua. Tämä alkaa lähes välittömästi ja elastinen alue jää lyhyeksi. Ennen kartongin plastista muodonmuutosta kuiduilla esiintyy hieman elastista muodonmuutosta. /5, s.214/

### 3.2 Kuitujen sitoutuminen

Kuitujen välisten sidosten muodostuminen on tärkeää, koska ilman sitä ei olisi kuituverkkoakaan. Kuitu-kuitusidosten muodostuminen on seurausta kuiduille ominaisesta taipumuksesta sitoutua toisiinsa, kun kuituverkko muodostuu ja kuivuu.

Kuitujen välisten sidosten muodostumiseen vaikuttaa lukuisia erilaisia voimia. Näistä tärkein on vetysidosten muodostuminen ja läsnä on myös kovalenttisia, ionisia ja van der Waalsin voimia. Vaikka vetysidokset ovat heikkoja, ne pystyvät lisäämään kuituverkon lujuutta niiden suuresta määrästä johtuen. Vetysidosten muodostuminen edellyttää sitoutuvien pintojen pääsyä riittävän lähelle toisiaan. /6, s.269/

Sidoslujuus on riippuvainen monista pintakemiallisista tekijöistä, kuten massan hemiselluloosan ja happamien ryhmien pitoisuudesta, kuitujen ulkoisesta fibrillaatiosta ja hienoainepitoisuudesta. Tärkkelys ja muut kuivalujaliimat voivat myös lisätä sidoslujutta. /7, s.74/

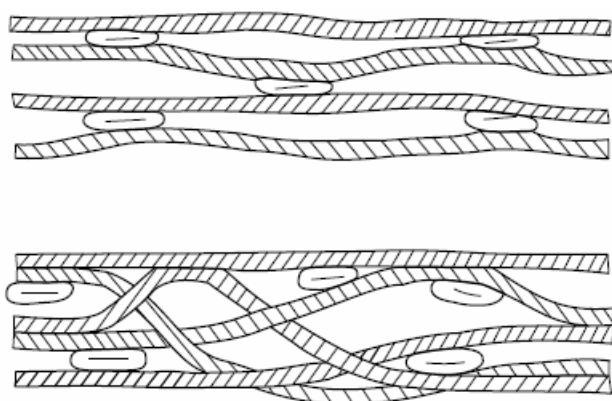
### 3.3 Rakenteelliset vaikutukset

Paksuussuuntainen lujuus on herkkä z-suunnassa esiintyvälle epätasaisuudelle ja kerrostumiselle, koska palstautuminen tapahtuu heikoimmassa tasossa. Murtuman sijaintiin vaikuttavat hienoaineen, täyteaineen ja liimojen z-suuntainen jakauma sekä sidostiheys. Materiaalijakaumien muoto riippuu paperi- tai kartonkikoneen

viira- ja puristinosan rakenteesta ja toiminnasta. Lisäksi monikerroskartongeille on tärkeää kerrosten välinen lujuus. /5, s.216/

### 3.3.1 Kuituverkon rakenne

Kuidut ovat 1-2 kertaa pidempiä kuin mitä tyypillinen paperiarkki on paksu. Siksi suurimman osan kuidun pituudesta täytyy asettua paperiarkin tasoon. Kuidut järjestäytyvät z-suunnassa joko kerrostumalla tai huopautumalla, kuten kuvassa 2 on esitetty.



Kuva 2. Kerrostunut ja huopautunut kuituverkon rakenne /8, s.28/.

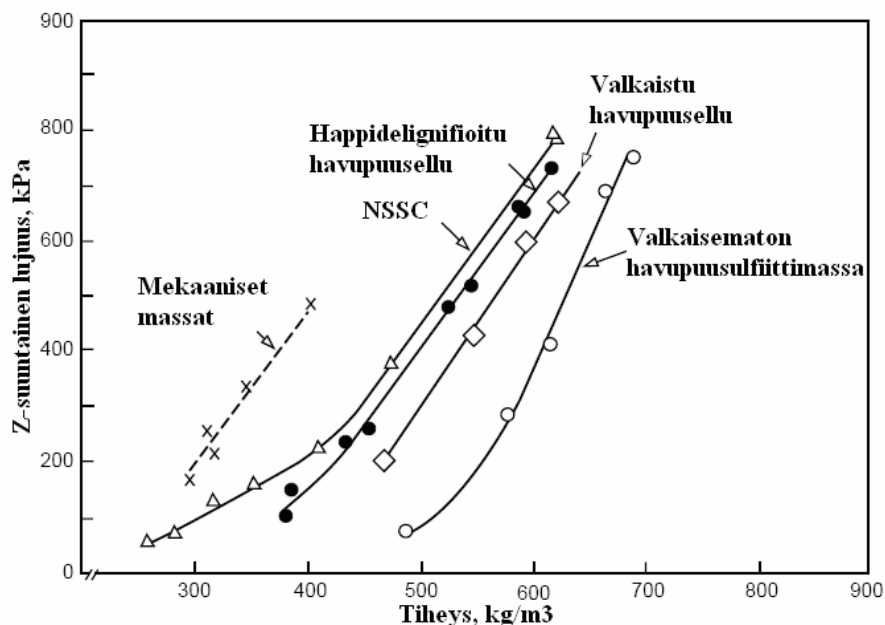
Näin muodostuvalla kuituverkon rakenteella on voimakas vaikutus z-suuntaiseen lujuuteen. Kerrostetussa arkissa kuidut makaavat toistensa päällä järjestyksessään niin, että arkki voi palstautua rikkomatta kuituja. Taas huopautetusta arkista on mahdotonta löytää yksinkertaisia palstautumistasoja, joissa ei tapahtuisi kuitujen katkeamista tai irtoamista. Erityisesti nopeassa kuormituksessa kuidut katkeavat ennemmin kuin irtoavat, koska minimienergiapinta on liian epäsäännöllinen palstautumiselle. Tästä johtuen kuituvauriot ovatkin yleisiä Scott Bond-testissä, jossa näytteen murtuminen tapahtuu muihin mittausmenetelmiin nähden varsin nopeasti. /5, s.217, 8, s.26-27/

Kuituverkon kerrostunut rakenne muodostuu alhaisella massan sakeudella, kun taas huopautunut arkkirakenne muodostuu korkeassa sakeudessa tai pulsatoivan vedenpoiston vaikutuksesta. Painepulsseista johtuen syntyy huopautunut rakenne, koska ne estävät kuituja laskeutumasta vapaasti. Lisäksi taso- ja hybridirainaimet antavat huopautumisasteeltaan erilaiset rakenteet, kun taas kitaformerit antavat kerrostuneemman rakenteen. /8, s.26- 27/

Koska kuidut ovat paljon vahvempia kuin niiden väliset sidokset, voi jopa pieni katkenneiden kuitujen määrä lisätä merkittävästi palstautumisenergiaa. Scott Bond-arvo voidaan yli kaksinkertaistaa korkeasakeusrainauksella saavutettavalla huopautetulla rakenteella. Samanaikaisesti tason vetolujuus putoaa huomattavasti, mutta repäisylujuus ja tasonsuuntainen puristuslujuus pysyvät lähes samoina. /5, s.217/

### 3.3.2 Tiheyden vaikutus z-suuntaiseen lujuuteen

Paksuussuuntainen lujuus, kuten muutkin lujuusominaisuudet, lisääntyy tiheyden myötä, jos tiheyttä lisätään jauhatuksella (Kuva 3) tai märkäpuristuksella. Tämä on seurausta sitoutuneen alan lisääntymisestä. Tiheyden ja z-suuntaisen lujuuden välinen riippuvuus vaihtelee massan ja tiheytsmenetelmän mukaan. Jauhatusta lisää tason- ja z-suuntaista lujuutta enemmän kuin perinteinen märkäpuristus. Toisaalta nämä menetelmät täydentävät toisiaan, koska puristettaessa märkää rainaa joustavat jauhetut kuidut mukautuvat paremmin ja muodostavat enemmän sidoksia kuin jäykät kuidut. /5, s.217/



Kuva 3. Tiheyden vaikutus z-suuntaiseen lujuuteen erilaisilla massoilla, kun tiheyteen vaikutettiin jauhamalla (NSSC, Neutral Sulphite Semi Chemical = puolikemiallinen neutraalisulfittimassa) /5, s.217/.

Kemiallisia massoja jauhamalla saavutetaan huomattavasti korkeampi z-suuntainen lujuus kuin mekaanisilla massoilla. Toisaalta z-suuntaisen lujuuden

nostamiseksi kemialliset massat joudutaan jauhamaan huomattavasti korkeampaan tiheyteen kuin mekaaniset massat, millä taas on epäedullinen vaikutus kartongin bulkkiin ja taivutusjäykkyyteen.

### 3.4 Liitoslujuus

Tärkeä z-suuntaisen lujuuden erikoistapaus on monikerroskartongin liitoslujuus. Tason vastaisessa venytyksessä heikoimman pisteen muodostaa tavallisesti kerrosten välinen rajapinta, koska kuituverkon rakenne on siinä jatkumaton. Näin on myös silloin, kun kerrokset sisältävät samaa massaa, koska kerrokset muodostetaan erikseen ja liitetään yhteen ennen puristinosaa. /5, s.218- 219/

Kerrosten välinen sitoutuminen tapahtuu samalla tavoin kuin kuituverkostossa. Vetyxidoksia alkaa muodostua, kun radan kuiva-ainepitoisuus on riittävän korkea. Useimmissa tapauksissa tämä on puristinosan jälkeen, jolloin kuiva-ainepitoisuus on 44-45 % /9/. Edellytykset hyvän liitoslujuuden saavuttamiseksi paranevat kuitenkin jo märkäpuristuksessa, koska kerrosten välinen kontaktiala lisääntyy. Lisäksi korkea märän kuidun mukautuvuus ja rainan alhainen kuiva-ainepitoisuus puristimen sisääntulopuolella helpottavat liitoslujuuden saavuttamisessa. Toisaalta viiraosalta puristinosalle siirrettävällä rainalla täytyy olla tietty sakeus, jottei sen rakenne rikkoutuisi puristettaessa. Taas puristinosalta kuivatusosalle siirrettävän radan kuiva-ainepitoisuus vaikuttaa kartonkikoneen höyrynkulutukseen. /5, s.219/

Korkea hienoainepitoisuus viereisillä kerrospinnoilla lisää kerrosten sitoutumista. Kartonkikoneilla pinta- ja taustakerros muodostetaan tasoviiraviiraosilla, joilla hienoainepitoisuus kasvaa kohti kerroksen yläpintaa. Tästä johtuen voimakkain liitoslujuus saavutetaan, kun pintakerrosten yläpinnat puristetaan runkokerrosta vasten. Lisäksi liitoslujuuteen voidaan vaikuttaa runkokerroksen vedenpoiston ja siten muodostuvan hienoainejakauman kautta sekä kerrosten väliin sumutettavan liiman avulla. /5, s.219/

## 4 Z-SUUNTAISEN LUJUUDEN MITTAUSMENETELMÄT

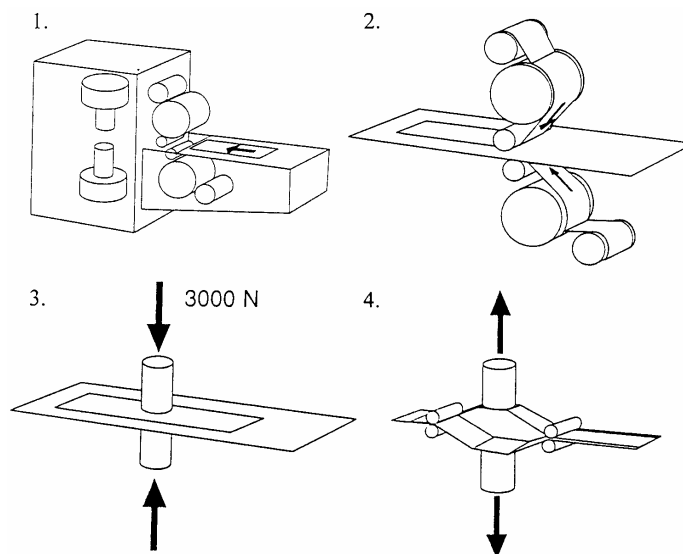
Paksuussuuntaista lujuutta voidaan mitata monin erilaisin menetelmin, joita on kehitetty lisääntyneiden tarpeiden seurauksena. Mittaamiseen ei ole kuitenkaan



olemassa yhtä yleispätevää menetelmää, vaan käytetyt menetelmät täydentävät toisiaan. Tästä johtuen tehtailla käytetäänkin useita mittalaitteita z-suuntaisten laatuarvojen seurannassa.

#### 4.1 Z-lujuus

Yksi yleinen tapa mitata kartongin z-suuntaista lujuutta on z-lujuustesti (Kuva 4). Aluksi 100 mm leveä ja korkeintaan 1500 mm pitkä kartonkinäyte asetetaan automaattisesti toimivaan vetolujuuskoelaitteeseen. Näytteen molemmin puolin kiinnitetään kaksipuolinen teippi, jota vasten näytettä puristetaan terässylintereillä 3000 N voimalla. Sitten sylinterit vetäytyvät erilleen ja näytteen murtuessa laite rekisteröi siihen tarvittun voiman. Lopuksi näyte siirtyy automaattisesti seuraavaan mittauskohtaan ja laite toistaa saman mittaussekvenssin. Mittaustuloksen yksikkö on kPa. /5, s.215, 10/

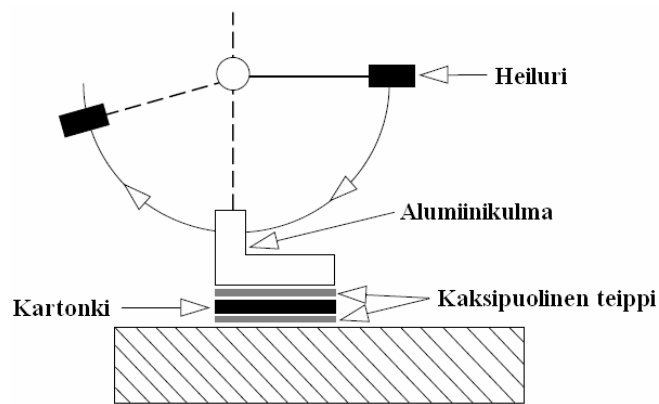


Kuva 4. Z-lujuusmittaus: 1. vetolujuuskoelaitte, 2. kaksipuolinen teippi lisätään näytteen molemmille puolille, 3. terässylinterit puristetaan molemmin puolin teippiä vasten ja 4. sylinterit vedetään erilleen ja rakenteen murtamiseen tarvittava voima rekisteröityy /10/.

#### 4.2 Scott Bond-lujuus

Palstautumisenergia voidaan määrittää Scott Bond-koelaitteella, joka on esitetty kuvassa 5. Määrittäjä varten kartonkinäytteestä leikataan näyteliуска, jonka mitat ovat 1x7 tuumaa. Leikkaus tehdään niin, että liuskan pitempi sivu on yhdensuuntainen kartonkikoneen poikkisuunnan kanssa. Ennen testausta liuskan

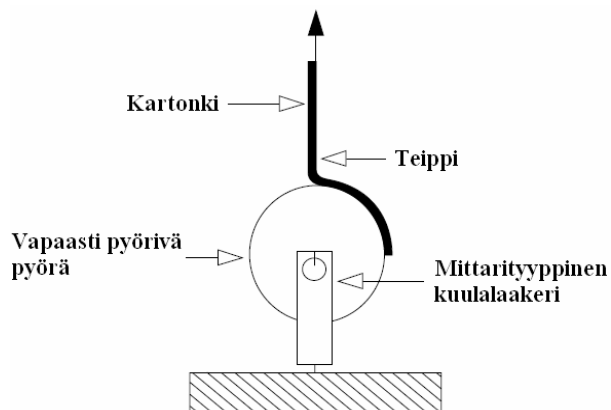
molemmille puolille kiinnitetään kaksipuolinen teippi ja teipattu liuska puristetaan metallikappaleiden väliin tarkoitusta varten suunnitellulla puristimella. Tämän jälkeen puristimessa vielä kiinni oleva liuska leikataan veitsellä viiteen osaan, jolloin yhdestä liuskasta voidaan tehdä viisi määritystä. Palstautuminen tapahtuu heilurin iskeytyessä kartongin pintapuolta vasten kiinnitetyn alumiinikulman yläreunaan. Mittaustulos eli Scott Bond-energia saadaan laitteen mitta-asteikolta heilurin potentiaalienergian muutoksena. Tulos on viiden testikappaleen keskiarvo ilmoitettuna yksiköllä  $J/m^2$ . /5, s.215, 10/



Kuva 5. Scott Bond-koelaitte /5, s.215/.

#### 4.3 Muut mittausmenetelmät

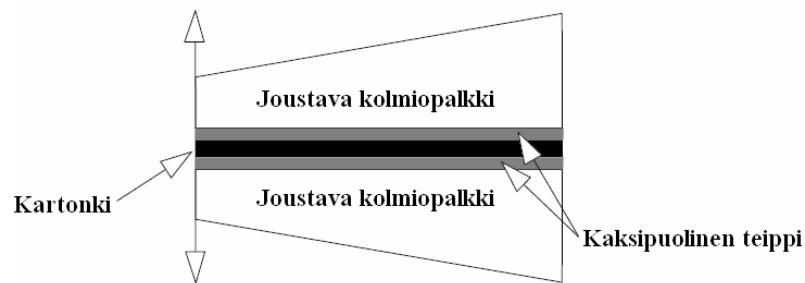
Muita käyttökelpoisia palstautumistestejä ovat seuraavaksi esiteltävät Peel-Wheel- ja ulokepalkkitestit. Molemmissa tapauksissa palstautumisvoima on vakio testin aikana. Peel-Wheel-testissä kartongin z-suuntainen lujuus on määritelty työnä, joka tarvitaan irrottamaan kartongin kerrokset toisistaan. Saatu tulos eli irrotusluku ilmoitetaan yksiköllä  $J/m^2$ . Peel-Wheel-testi on esitetty kuvassa 6.



Kuva 6. Peel Wheel-testi /5, s.215/.

Ensin kartonkinäytteeseen tehdään alkuhalkaisu käsin ja se kiinnitetään teipillä vapaasti pyörivän pyörän ympärille. Sitten laite vetää pintakerrosta kohtisuorassa kartonkinäytteen pintaa vasten ja osoittaa asteikolla tähän vaadittavan työn. Testi toistetaan useamman kerran ja heikoin tulos raportoidaan. /5, s.215/

Kuvassa 7 on esitetty ulokepalkkitestissä käytettävän laitteiston toimintaperiaate. Testissä hyödynnetään kahta joustavaa palkkia, joiden kolmiomainen muotoilu takaa vakio palstautumisvoiman testin aikana. Tämän lisäksi kartonkinäytteen taivutusmuodonmuutokseen kuluu vain vähän energiaa. /5, s.215/

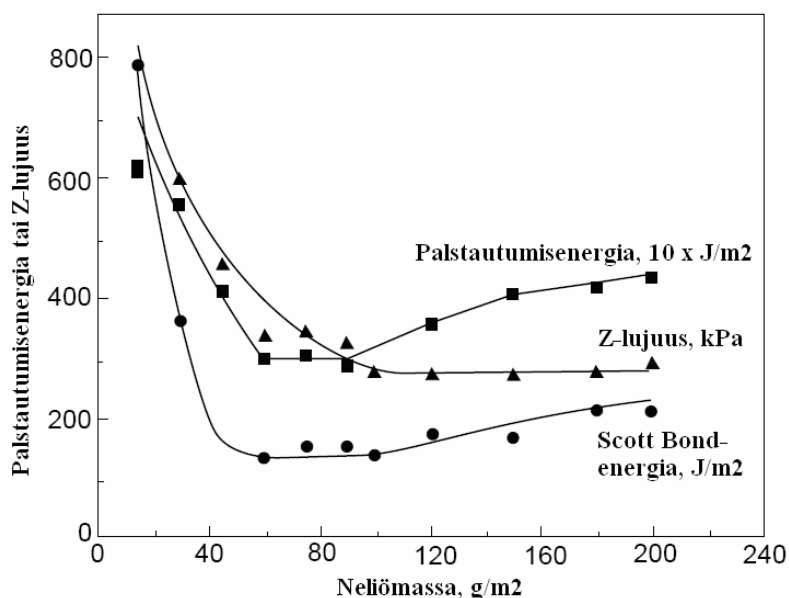


Kuva 7. Ulokepalkkitestilaite /5, s.215/.

#### 4.4 Mittausmenetelmien vertailua

Eri mittausmenetelmät voidaan erottaa toisistaan joko mitattavan suureen tai murtumisprosessin perusteella. Z-lujuustestissä mittaustapahtumaa vastaavat siirtymät ovat niin pieniä, ettei kuormitus-venymäkäyrää tai palstautumisenergiaa voida määrittää. Toisaalta z-suuntaisen vetolujuuden mittaus ei ole riippuvainen näytteen suunnasta, kuten muut testit ovat. Se on myös riippumattomampi inhimillisistä virheistä, koska laite toimii automaattisesti. Joka tapauksessa palstautumisenergian määrittäminen onnistuu muilla edellä käsitellyillä menetelmillä. Erityisesti Peel-Wheel- ja ulokepalkkitestit on kehitetty mittaamaan energian kulutusta vakaan ja ohjatun palstautumisprosessin aikana. Scott Bond-testissä murtuminen tapahtuu hyvin nopeasti, mistä johtuen se muistuttaa enemmän käytännön tilanteita kuin toiset palstautumisenergiaa mittaavat menetelmät. Lisäksi kartongin taipumisella on huomattava vaikutus Peel-Wheel-testin lopputulokseen, toisin kuin muilla menetelmillä. /5, s.215/

Edellä kuvatuista eroista huolimatta mittausmenetelmät korreloivat hyvin keskenään, jos neliömassa on vakio. Neliömassan muutoksilla on erilainen vaikutus palstautumislujuuteen- ja energiaan, kuten kuva 8 osoittaa.



Kuva 8. Neliömassan vaikutus z-lujuuteen, Scott Bond-energiaan ja palstautumisenergiaan (Peel-Wheel) /5, s.216/.

Alhaisilla neliömassoilla saavutetaan korkeita arvoja johtuen luultavasti kaksipuolisen teipin pintakerroksia vahvistavasta vaikutuksesta. Hyvin alhaisilla neliömassoilla syntyvien korkeiden arvojen voidaan ajatella johtuvan yksinomaan teipin tahmeudesta. Lisäksi kuituverkon rakenne muuttuu lisääntyvän neliömassan mukaan niin, että sitoutumislujuus jää alhaisemmaksi arkin keskikerroksissa. /5, s.216/

Korkeilla neliömassoilla murtuma esiintyy minimilujuustasossa. Taas alhaisilla neliömassoilla on vähän tilaa z-suuntaisille vaihteluille. Kun neliömassa ylittää 80 g/m<sup>2</sup>, z-lujuudesta tulee vakio ja palstautumisenergia alkaa lisääntyä. Vakio murtolujuus viittaa siihen, ettei arkin rakenne enää muuttuisi näillä neliömassoilla. Taas palstautumisenergian muutos voi johtua plastisissa muodonmuutoksissa kuluneesta energiasta ja osittaisesta murtumisesta läpi arkin paksuuden. /5, s.216/

## 5 KUITURAAKA-AINEEN MERKITYS MASSAN JA KARTONGIN VALMISTUKSEN KANNALTA

Kuitujen valinnalla ja prosessoinnilla on merkittävä vaikutus massojen ja niistä valmistettavan kartongin ominaisuuksiin. Valinta eri kuituraaka-aineiden välillä tehdään niiden kuituominaisuuksiin perustuen. Tässä huomioidaan sekä massan valmistusmenetelmän että käyttötarkoituksen asettamat vaatimukset. Toisaalta puuraaka-aineen kuituominaisuudet muuttuvat merkittävästi massan- ja kartonginvalmistuksen osaprosessien aikana, joten kysymys on paljolti myös kuitujen muokkautuvuudesta massan ja kartongin ominaisuuksien kannalta edulliseen suuntaan.

Massanvalmistusmenetelmät jaetaan karkeasti mekaanisiin ja kemiallisiin menetelmiin, minkä mukaan myös eri tavoin valmistettavat massat jaetaan mekaanisiin ja kemiallisiin massoihin. Näiden lisäksi valmistetaan kemimekaanisia massoja, jotka sijoittuvat valmistustekniikaltaan ja ominaisuuksiltaan mekaanisten ja kemiallisten massojen väliin. Kemialliset massat eli sellut jaotellaan niiden valmistuksessa käytetyn kuituraaka-aineen mukaan joko pitkä- ja lyhytkuituselluihin tai havu- ja lehtipuuselluihin. On mahdollista käyttää myös jakoa mänty- ja koivuselluihin. Tämä on kuitenkin useimmiten harhaanjohtavaa, koska massojen valmistuksessa käytetään tavallisesti useampia havu- tai lehtipuulajeja.

### 5.1 Kuituraaka-aine

Puuraaka-aineen kuitumorfologialla on suuri vaikutus arkin ominaisuuksiin. Sen kemiallinen koostumus vaikuttaa massan ominaisuuksiin, erityisesti vaaleuteen. Varsinaisen puuraaka-aineen ominaisuuksiin vaikuttavat sen laatu, puunhankinta ja -käsittely. Tämän lisäksi puun kuituominaisuudet ja kemiallinen koostumus vaihtelevat huomattavasti eri puulajien ja puunosien välillä. /11, s.67/

Havupuut koostuvat pääasiassa kuiduista eli trakeidisoluista, kun taas lehtipuut sisältävät trakeidisolujen lisäksi putkilosoluja ja havupuita suuremman osuuden tylppy- eli parenkyymisoluja. Trakeidit ovat pitkiä ja päistään suippenevia soluja,

kun taas tylppysolut ovat lyhyitä ja ohutseinäisiä. Lehtipuille tyypilliset putkilosolut ovat lyhyempiä kuin trakeidit, mutta niillä on huomattavasti suurempi halkaisija. Näiden eri solutyypien osuudet on esitetty puulajeittain taulukossa I. /3, s.26, 11, s.77/

Taulukko I Eri puulajien solutyypien osuudet /3, s.27/.

Puulaji	Trakeidisoluja, %	Tylppysoluja, %	Putkilosoluja, %
Mänty	93	7	-
Kuusi	95	5	-
Koivu	65	10	25
Eukalyptus	65	18	17

Lehtipuut sisältävät huomattavasti enemmän hemiselluloosaa ja vähemmän ligniiniä kuin havupuut. Myös kuusen ja männyn kemiallisissa koostumuksissa on pieni, mutta merkittävä ero. Männyllä on kuusta korkeampi uuteainepitoisuus, mikä johtaa usein pihkaongelmiin. Taulukossa II on esitetty eri puulajien kemialliset koostumukset. /11, s.77/

Taulukko II Eri puulajien kemialliset koostumukset /3, s.27/.

Puulaji	Selluloosa, %	Hemiselluloosa, %	Ligniini, %	Uuteaineet, %
Kuusi	42	28	28	<5
Mänty	42	26	27	<5
Koivu	40	30-35	20-25	<5

Kuidun pituudella on huomattava vaikutus massan ja siitä valmistettavan arkin lujuusominaisuuksiin. Puolestaan kuidun halkaisija ja kuituseinämän paksuus vaikuttavat kuitujen luhistumistaipumukseen ja taipuisuuteen ja täten myös lujuusominaisuuksiin. Kun seinämän paksuuden suhde kuidun halkaisijaan on pieni, lommahtaa kuitu helposti. Tällöin arkkiin saadaan enemmän sidoksia ja hyvät lujuusominaisuudet. Tällaisia kuituja ovat lehtipuiden suurihalkaisijaiset putkilosolut. Taas sellukuiduista tulee taipuisampia ja helpommin muokattavia, koska sulfaattikeitossa menetetään osa kuituseinämän paksuudesta. /3, s.27-28/

Paksuseinäiset kuidut muodostavat kuituverkon rakenteen, jossa on korkea bulkki ja hyvä taivutusjäykkyys, mutta huonot lujuusominaisuudet. Taas ohutseinäiset kuidut muodostavat tiheän arkin, jossa taivutusjäykkyys on pieni, mutta jossa on paljon sidoksia ja siten myös hyvät lujuusominaisuudet repäisylujuutta lukuun ottamatta. Kuitujen koko määrää myös niiden lukumäärän painoyksikköä kohti,

mikä puolestaan vaikuttaa kartongin formaatioon ja optisiin ominaisuuksiin. /3, s.27-28/

Mäntykuitujen keskimääräinen pituus ja halkaisija ovat samaa luokkaa kuin kuusikuiduilla. Toisaalta mäntykuitujen soluseinän paksuus on suurempi kuin kuusikuiduilla. Tästä johtuen mäntykuidut ovat jäykempiä kuin kuusikuidut ja ne vaativat enemmän kemiallista ja/tai mekaanista käsittelyä. Eri puulajien kuitudimensiot on esitetty taulukossa III. /11, s.76-77/

Taulukko III Eri puulajien kuitudimensiot /3, s.27/.

Puulaji	Kuitupituus, mm	Halkaisija, mm	Seinämän paksuus, $\mu\text{m}$
Mänty	3	20-35	2,1-5,5
Kuusi	3,1	19-33	2,3-4,5
Koivu	0,9-1,2	22	3
Eukalyptus	0,75-1,0	16	3

Lehtipuiden kuidut ovat selvästi lyhyempiä kuin havupuilla. Tästä johtuen havupuumassa antaa paremmat arkin lujuusominaisuudet kuin lehtipuumassa. Toisaalta pitkäkuituisella massalla ei saavuteta yhtä hyvää formaatiota kuin lyhytkuituisella massalla, jolloin arkin lujuus voi jopa laskea. Liian lyhyet kuidut eivät ole käyttökelpoisia myöskään kartonkikoneen ajettavuuden kannalta. /3, s.27/

#### 5.1.1 Kemiallinen massa

Nykyisin kemiallisia massoja valmistetaan lähinnä sulfaattikeittomenetelmällä, jossa kuituuntuminen perustuu puussa kuituja toisiinsa sitovan ligniinin liukenemiseen kemikaalien ja korkean lämpötilan vaikutuksesta. Ligniininpoiston yhteydessä menetetään myös osa hemiselluloosasta, jolloin kemiallisten massojen saanto jää tyypillisesti niinkin alhaiseksi kuin 45-50 % /3, s.31, 12, s.19/.

Sellut keitetään tiettyyn kappalukuun, jolla kuvataan keiton jälkeen jäljelle jäävän ligniinin osuutta massassa. Mitä pienempi kappaluku, sitä pienempi on massan ligniinipitoisuus keiton jälkeen. Sellun keittäminen mahdollisimman alhaiseen kappalukuun ei ole kuitenkaan taloudellisesti järkevää, koska ligniinin määrän minimointi johtaa lopulta voimakkaaseen kemikaalien kulutuksen kasvuun ja

huonoon saantoon keittokemikaalien ja hemiselluloosan välisten reaktioiden lisääntyessä. Tästä johtuen kappalukua valittaessa täytyy tehdä kompromissi edellä mainittujen tekijöiden ja massan vaaleuden välillä. Toisaalta sellun lopullinen vaaleus tehdään vasta keittoa seuraavissa prosessivaiheissa, joita ovat erilaiset pesut ja valkaisut.

Havupuuselluilla on tyypillisesti hyvät lujuusominaisuudet ja siksi niitä käytetään yleisesti armeerausmassoina. Sekä havu- että lehtipuusellujen avulla saavutetaan vaadittavat painettavuusominaisuudet ja hyvä ulkonäkö. Tästä johtuen valkaistuja selluja käytetään monikerroskartonkien pintakerroksissa. Korkeamman lujuuden lisäksi havupuusellulla saavutetaan myös parempi bulkki kuin lehtipuusellulla, mikä on eduksi kartongin keskikerroksessa. Toisaalta lyhytkuituinen lehtipuusellu antaa paremman formaation ja sileyden kuin pitkäkuituinen havupuusellu. Lehtipuusellulla saavutetaan myös havupuusellua parempi opasiteetti. Lisäksi havupuukuiduilla on suurempi taipumus kutistua kosteusmuutosten vaikutuksesta kuin lehtipuukuiduilla, mikä vaikuttaa kartongin käyristymiseen /13/.

### 5.1.2 Mekaaninen massa

Mekaanisen massanvalmistuksen perusmenetelmät ovat hionta ja hierto. Niissä puukuidut toisiinsa sitova ligniini pehmenee veden, lämmön ja toistuvan rasituksen vaikutuksesta niin, että kuidut lopulta irtoavat toisistaan. Mekaanisten massanvalmistusmenetelmien saanto on 96-98 % eli noin kaksinkertainen sulfaattikeiton saantoon verrattuna /3, s.32/.

Hiontaprosessissa kuorittuja puupöllejä painetaan poikittain vasten hiomakiveä, jolloin pyörivästä hiomakivestä siirtyy energiaa puuainekseen kiven pinnassa olevien hiontarakeiden välityksellä. Hiontamenetelmät jaetaan kivihionta- (GW tai SGW) ja painehiontamenetelmiin (PGW). Näistä jälkimmäisessä menetelmässä hyödynnetään korotettua painetta, kun taas perinteisessä kivihionnassa hionta tapahtuu ilmakehän paineessa.

Hiertoprosessissa käytetään haketta, joka syötetään jauhinlevyjien väliin. Jauhimesta energia siirtyy puuainekseen pyörivästä terälevystä teräkuviointiin



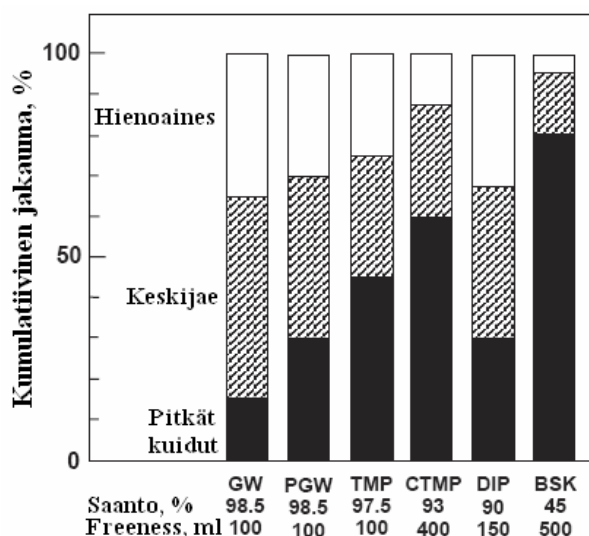
välityksellä. Myös hierontomenetelmät jaetaan kahteen pääryhmään, hieronta- (RMP) ja kuumahierontomenetelmiin (TMP). Kuumahieronteen valmistuksessa hake esilämmitetään varsinaisesta hierontomenetelmästä poiketen, jolloin puukuituja sitova ligniini pehmenee jo ennen hierontaa ja kuidut irtoavat helpommin toisistaan.

Mekaanisilla massoilla saavutetaan korkea valonsirontakerroin, suhteellisen korkea vaaleus, korkea sileyys, hyvä formaatio ja korkea bulkki. Se lisää myös massa-arkin opasiteettia ja kimmoisuutta. Koska mekaanisilla massoilla on korkea ligniinipitoisuus, eivät ne juurikaan kutistu kosteusmuutosten vaikutuksesta /13/. /12, s.20/

Mekaaniseen massanvalmistukseen sopivat parhaiten erilaiset kuusilajit, koska niillä on hyvät kuituominaisuudet, alhainen uuteainepitoisuus ja korkea vaaleus. Kuusipuista valmistetut mekaaniset massat antavat arkille hyvän sileyden sekä hyvät lujuusominaisuudet ja optiset ominaisuudet. Taas lehtipuista valmistetuilla mekaanisilla massoilla on hyvä valonsironta ja hyvät pintaominaisuudet, mutta lujuusominaisuudet ovat tavallisesti huonoja. /11, s.75/

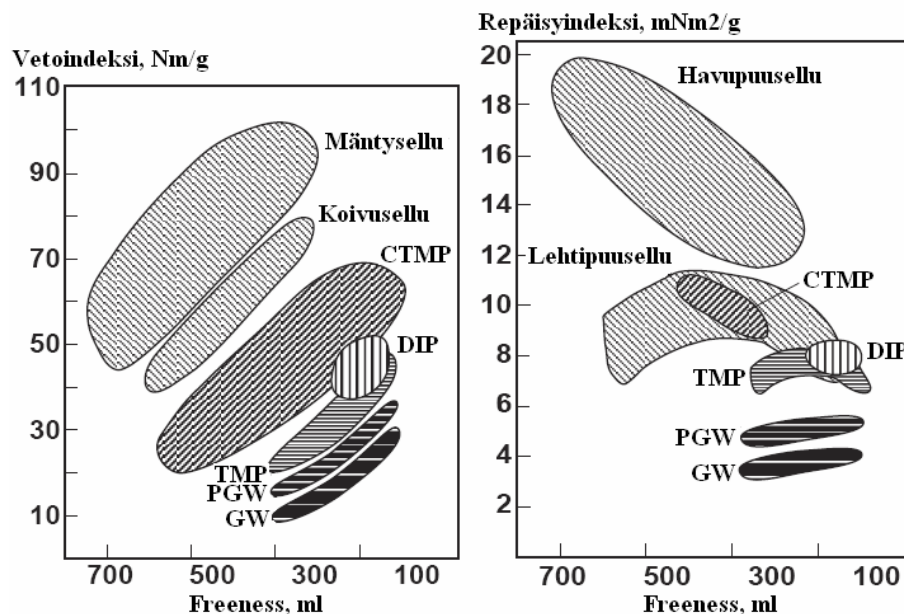
Mekaaniset massat valmistetaan tiettyyn hienousasteeseen eli freeness-arvoon. Tällä arvolla kuvataan massan suotautuvuutta eli sitä, kuinka helposti vesi poistuu massasta. Mitä alhaisempi freeness-arvo on, sitä hitaampaa on suotautuminen. Freeness kertoo kuitenkin vain keskimääräisen hienousasteen, eikä ota huomioon eri kuitufraktioiden vaikutusta suotautumisnopeuteen /3, s.32/. Taivekartongin runkokerroksessa käytettävän painehiokkeen freeness on alueella 310-350 ml.

Mekaanisen massanvalmistuksen rajuista prosessiolosuhteista johtuen, kaikki mekaaniset massat sisältävät ehjien kuitujen lisäksi pilkkoutuneita kuituja ja hienoainesta. Näillä jakeilla on erilaiset ominaisuudet ja mekaanisen massan ominaisuudet riippuvat näiden eri kuitujakeiden määrästä ja laadusta. Hiokkeen hienoainejae voi poiketa laadultaan täysin kuumahieronteen hienoainesta. Kuvassa 9 on esitetty erilaisten massojen massajakeiden jakautuminen. /12, s.21/



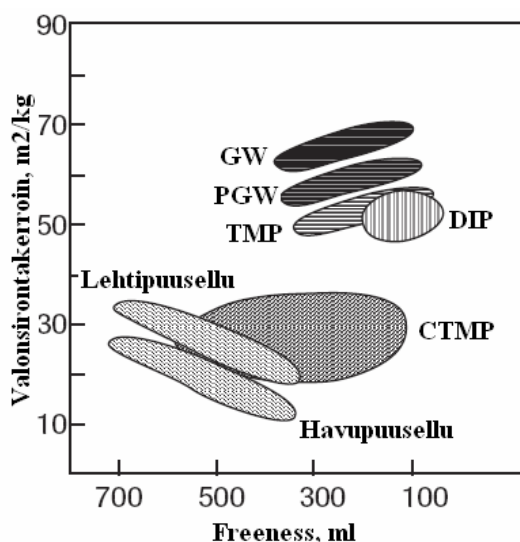
Kuva 9. Erilaisten massojen massajakeiden jakautuminen (BSK, bleached softwood kraft = valkaistu havupuusellu) /12, s.21/.

Sellukuidut ovat pääasiassa ehjiä ja pitkiä kuituja, kun taas mekaanisen massan kuitujakaumalle on ominaista pitkien kuitujen vähyys ja runsas hienoainemäärä. Lisäksi mekaanisen massan kuidut sisältävät paljon ligniiniä, mikä tekee niistä jäykkiä ja huonosti sitoutuvia. Tästä johtuen mekaanisilla massoilla on huonommat lujuusominaisuudet, etenkin repäisyjuvuus, kuin kemiallisilla massoilla (Kuva10). Lujuusominaisuudet paranevat samassa järjestyksessä kuin pitkäkuituus kasvaa eli  $GW < PGW < TMP$ . /3, s.33-34/



Kuva 10. Erilaisten massojen lujuusominaisuuksia /14, s.411/.

Mekaanisten massojen suuri hienoainepitoisuus antaa vastaavasti hyvän sileyden ja suuren valonsirontakertoimen. Valonsirontakerroin ja siten opasiteetti kasvavat päinvastaisessa järjestyksessä kuin lujuusominaisuudet eli  $TMP < PGW < GW$ . Erilaisten massojen valonsirontakertoimet on esitetty kuvassa 11.



Kuva 11. Erilaisten massojen valonsirontakyky /12, s.20/.

Mekaanisista massoista hiokkeet antavat tavallisesti parhaat optiset ominaisuudet johtuen verrattain alhaisista prosessilämpötiloista. Tavallisesti mekaaniset massat on valkaistava, koska niiden valkaisematon vaaleus on hyvin lähellä puun ominaisvaaleutta ja on täten riittämätön useisiin käyttökohteisiin. Mekaanisia massoja ei voi kuitenkaan valkaista samalle tasolle kuin kemiallisia massoja ja niiden vaaleuden pysyvyys on rajoittunut. /3, s.33-34, 14, s.411/

Mekaanisista massoista korkein bulkki saavutetaan kuumahierteellä. Puolestaan kivihiokkeella on tavallisesti korkein ilmanläpäisevyys ja muut mekaaniset massat seuraavat sitä järjestyksessä PGW ja TMP. Tyypillisesti painettavuuden asettamien vaatimusten saavuttaminen on helpompaa hiokkeella, kun taas hyvän ajettavuuden saavuttaminen on helpompaa kuumahierteen avulla. Taivekartongin keskikerros on perinteisesti valmistettu hiokkeesta, jonka käyttöä suosii etenkin sillä saavutettava korkea bulkki ja varsinkin selluihin nähden alhainen hinta. /12, s.21, 14, s.410-411/

### 5.1.3 Kemimekaaninen massa

Kemimekaanisia massoja valmistetaan kuusesta ja lehtipuista. Kemimekaanisia massanvalmistusprosesseja on kahdenlaisia. Joko kuumahiertooprosessiin on lisätty lievä kemikaalikäsittely tai keitto-olosuhteita on lievennetty ja kuidutuksen osuutta lisätty. /3, s.34/

Valmistusmenetelmästä, jossa käytetään lievää kemiallista käsittelyä ennen hiertämistä korotetussa lämpötilassa, käytetään nimitystä kemikuumahierto (CTMP). Luonteenomaista CTMP-massoille mekaanisiin massoihin verrattuna on se, että massan tikkupitoisuus on karkeillakin massoilla pieni. Kemikaalien käyttö ennen hiertooprosessia parantaa lujuusominaisuuksia, sillä kemikaalit lisäävät ligniinin pehmenemistä ja siten kuidut ovat ehjempää kuin mekaanisilla massoilla. Lisäksi CTMP-massojen pitkäkuitujakeen osuus on suurempi ja hienojakeen osuus pienempi kuin mekaanisilla massoilla. Yleisesti voidaan sanoa, että CTMP-massojen lujuusominaisuudet ovat selvästi paremmat kuin mekaanisilla massoilla, mutta eivät yhtä hyvät kuin havupuusellulla. Toisaalta CTMP antaa samassa bulkissa suuremman repäisyjuuuden kuin hioke, mutta sen z-lujuus on heikompi /9/. /3, s.34-35/

Valonsirontakyky on pienempi kuin mekaanisilla massoilla, mutta suurempi kuin selluilla. Myös bulkki jää alhaisemmalle tasolle kuin mekaanisilla massoilla. Massan vaaleus on kemikaalikäsittelyn ansiosta jonkin verran korkeampi kuin mekaanisilla massoilla (60-68 % ISO-vaaleus). Joka tapauksessa kuusimassan valkaisuun ei päästä juuri yli 80 % ISO-vaaleusarvojen ja massat jälkikellertyvät herkästi. Lehtipuista, kuten haavasta tai koivusta, valmistettujen massojen vaaleus voi olla jopa yli 85 % ISO-vaaleuden. Kemimekaanisia massoja käytetään erilaisten kartonkien keskikerroksissa, jossa sillä saavutetaan mekaanisiin massoihin nähden etua lähinnä lujuusominaisuuksien ja mahdollisesti myös vaaleuden suhteen. /3, s.34-35/

## 5.2 Hylky

Kartonkikone tuottaa aina tietyn määrän hylkyä, joka koostuu reunanauhoista, konerullien pohjista ja lajinvaihtojen yhteydessä syntyvästä käyttökelvottomasta tuotteesta. Lisäksi hylkyä muodostuu vaihtelevia määriä riippuen kartonkikoneen ajettavuudesta. Jälkikäsitteilyosastolla hylkyä muodostuu toiminnan laajuudesta riippuen pituusleikkureiden reunanauhoista ja arkkileikkureiden leikkuutähteistä sekä hylätyistä asiakasrullista ja -palleteista. Myös jälkikäsitteilyosastolla syntyvän hylyn määrään vaikuttaa olennaisesti eri jälkikäsitteilyprosessien ajettavuus.

Hylky käsitellään uudestaan ja varastoidaan hylkyjärjestelmässä. Prosessoitu hylky sekoitetaan muiden komponenttien kanssa konesäiliössä ja syötetään tätä kautta takaisin tuotantoprosessiin. Massaseokseen annosteltavan hylyn määrä riippuu ratakatkoista ja hylkylinjan kapasiteetista. Näiden lisäksi hyllynkäyttöön vaikuttavat kartonkikoneen ajettavuus ja kartongille asetetut laatuvaatimukset.

### 5.2.1 Hylyn osuuden vaikutus

Hylky sisältää täyteaineita sekä muita dispergoituneita ja liuenneita aineita sen mukaan mitä massaan tai kartongin pinnalle on kartongin valmistusprosessissa lisätty. Vaihtelut hylyn annostelussa, erityisesti päällystetyn hylyn, voivat häiritä tai jopa järkyttää märänpään kemialla. Jos muun massan sekaan annosteltavan hylyn määrää lisätään, kasvaa myös hieno- ja täyteaineiden määrä johtaen kationisen tarpeen lisääntymiseen. Tämän seurauksena viirarentio putoaa, mikä taas vaikuttaa tuotantoon ja retentioainetarpeeseen. /15, s.165-166/

Myös kartongin laatuvaihtelut voivat olla peräisin märkä- ja kuivahylyn osuuksien vaihtelusta. Erityisesti märkähylyn sisältämien sellukuitujen kuituominaisuudet poikkeavat huomattavasti jo kertaalleen kuivattujen kuitujen ominaisuuksista, mikä voi vaikuttaa merkittävästi runkomassan ja siten kartongin ominaisuuksiin. /15, s.166/

Monikerroskartongin tuotannossa hylky annostellaan runkomassan joukkoon likapilkkujen piilottamiseksi ja riittävän lujouden varmistamiseksi. Lisäksi hylky sisältää tyypillisesti huomattavan määrän mekaanista massaa, mikä on eduksi

rungolle tärkeän bulkin kannalta. Tavallisesti kartonkikoneelle syötettävän hyllyn osuus on luokkaa 30-35 % runkomassasta. Jos hyllyn osuus on liian alhainen, lisääntyy kartongin palstautumisherkyys runkokerroksen lujuuden menetyksen seurauksena.

### 5.2.2 Päälystetyn hyllyn häiriöaineiden vaikutus

Hyllyn vaikutus märänpään kemiaan on selvä etenkin päälystettyjä kartonkilajeja valmistavilla kartonkikoneilla. Tämä johtuu pääasiassa päälysteestä ja sen sisältämistä pigmenteistä ja sideainelatekseista, jotka kulkeutuvat järjestelmään. Tyypillisiä päälysteestä seuraavia ongelmia ovat retentiovaihtelut ja saostumien muodostuminen. Hyllyn käyttöön liittyvistä ongelmista voi tulla vaikeampia hyllyn määrän ja sen alkuperän mukaan. Hyllystä johtuville ajettavuusongelmille on tyypillistä, että ongelma ruokkii itseään. Mitä enemmän saostumia on, sitä enemmän on myös katkoja. Tämän seurauksena syntyy lisääntyvissä määrin hylkyä. /16, s.241/

Pulpperissa päälystekerros hajoaa pieniksi partikkeleiksi, jolloin pastassa käytetty hydrofobinen lateksi määrittelee suurelta osin massan pintaominaisuudet. Päälystetystä hyllystä valmistetulla massalla on korkea kationinen tarve, mikä johtuu lateksin stabilointiaineista ja pigmenttien dispergointiaineista. Levymäiset tai karkeat, huonosti hajonneet päälystyspartikkelit voivat aiheuttaa ongelmia rainanmuodostuksessa ja viiruja etenkin kevyesti päälystetyillä kartonkilajeilla. /15, s.166, 16, s.242/

Hyllyn mukana perälaatikkoon kulkeutuu hienoksi jakautuneita ja voimakkaasti anionisia pigmenttejä. Jos retentiojärjestelmä ei pysty vastaamaan lisääntyneeseen retentioainetarpeeseen, alkaa viiraveden sakeus lisääntyä. Lyhyen kierron ohjaus menetetään asteittain ja koko kiertovesijärjestelmän toiminta vaikeutuu, mikä johtaa pigmentti- ja lateksipitoisen viiraveden leviämiseen kiertovesijärjestelmän kautta. Samanaikaisesti saostumien muodostumistaipumus lisääntyy. /16, s.242/

Päälystetystä hyllystä peräisin olevilla saostumilla on taipumus kerääntyä koneen puristin- ja kuivatusosalle. Tyypillisiä paikkoja ovat huovat, viirat, kaapimet,

huopapesurit, ohjaimet ja kiristystelat. Kun koneen osat likaantuvat, niiden toiminnasta tulee epävakaista. Tämä vaikuttaa kartongin laatuun, mikä ilmenee likapilkkuina, reikinä ja kosteusviiruina. /16, s.243/

### 5.3 Hienoaines

Paperin ja kartongin valmistuksessa käytettävät massat sisältävät vaihtelevia määriä hienoainesta. Sen ominaisuudet eroavat selvästi varsinaisten kuitujakeiden ominaisuuksista. Hienoaineen määritelmän mukaan hienoaine on pituusjake, joka läpäisee Bauer-McNett-lajittimen tai vastaavan laitteen 200 tai 100 meshin viiran. Sen keskikoko on muutaman mikrometrin. Suurimmat hienoainepartikkelit ovat kuitufragmenteja ja pienimmät ovat fibrillejä tai fibrillien osia, joiden koko voi olla huomattavasti alle 1  $\mu\text{m}$ . Hienoaine koostuu selluloosasta, hemiselluloosasta, ligniinistä ja uuteaineista noin vastaavan suuruusina osuuksina kuin muissakin kuitujakeissa. /7, s.63/

Pienestä partikkelikoosta ja suuresta ominaispinta-alasta johtuen hienoaines voi sitoa enemmän vettä ja täten turvota enemmän kuin kuidut. Tyypilliseen kuitujen ominaispinta-alaan (1  $\text{m}^2/\text{g}$ ) verrattuna hienoaineen ominaispinta-ala (4-20  $\text{m}^2/\text{g}$ ) on moninkertainen. Suuri ominaispinta-ala on seurausta hienoaineen pienestä partikkelikoosta. Lisäksi ominaispinta-ala lisääntyy jauhatuksen vaikutuksesta. Suuresta ominaispinta-alasta seuraten hienoaine lisää kuitujen välistä sitoutumista ja suurin osa sen pinnasta on sitoutuneena kuituihin, kun kuituverkko kuivuu. /7, s.63-64/

Hienoaineella on huomattava vaikutus kartongin z-suuntaiseen lujuuteen. Eräessä kokeessa 15 %:n hienoainelisäys valkaistuun selluun yli kaksinkertaisti Scott Bond-energian. Mekaanisen massan hienoaines on usein tehottomampaa parantamaan lujuusominaisuuksia kuin kemiallisen massan hienoaines. /5, s.218/

#### 5.3.1 Kemiallisen massan hienoaines

Kemiallisissa massoissa hienoaineen hemiselluloosapitoisuus on korkeampi kuin kuitujakeissa. Sellujen hienoainemäärä on kuitenkin alhaisempi kuin mekaanisilla

massoilla. Toisaalta kemiallisen massan hienoaines sitoutuu lähes täysin, jolloin jäljelle ei jää vapaata pinta-alaa. /7, s.63-64/

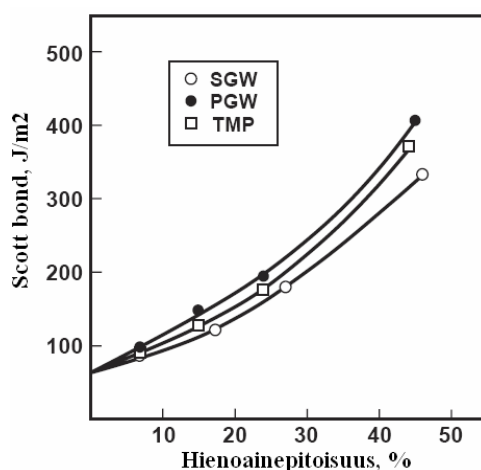
Kemiallisen massan hienoaines voidaan jakaa primääriseen ja sekundääriseen hienoaineeseen. Primääristä hienoainesta esiintyy jauhamattomissa massoissa ja ne sisältävät parenkyymisoluja. Sellujen primäärisen hienoaineen pitoisuus on tyypillisesti alle 2 %, mutta jauhatusta nostaa kokonaishienoainepitoisuuden 15 %:in. Primäärisen hienoaineen ominaispinta-ala on 4-5 m<sup>2</sup>/g. Sekundääristä hienoainesta muodostuu jauhatuksen vaikutuksesta. Ne sisältävät kuituseinämän lamelli- ja fibrillimaisia osia ja kolloidista ainetta. Sekundäärisen hienoaineen ominaispinta-ala on 10-20 m<sup>2</sup>/g. /7, s.63-64/

### 5.3.2 Mekaanisen massan hienoaines

Koska mekaanisen massan hienoaine on osaksi peräisin kuitujen ligniinipitoisesta välilamellista ja primäärikerroksesta, sen ligniinipitoisuus on korkeampi kuin kuitujakeissa. Ligniinisuus pienenee kuitenkin jauhatuksen määrän lisääntyessä. Mekaanisen massan hienoaineen korkea hydrofobisen ligniinin ja uuteaineiden määrä vähentää sen kykyä turvota vedessä verrattuna sellun hienoaineeseen. Mekaanisen massan hienoainemäärä on huomattava, mikä vaikuttaa voimakkaasti kuituverkon rakenteeseen ja ominaisuuksiin. Massan hienoainepitoisuus riippuu kuidutusprosessista ja jauhatusasteesta. Mekaanisten massojen hienoaineen määrä kasvaa järjestyksessä TMP > PGW > SGW, kun verrattavilla massoilla on sama freeness. Samassa hienoainepitoisuudessa painehiokkeella on korkein Scott Bond-arvo ja kivihiokkeella alhaisin (Kuva 12). /7, s.63, 14, s.400/

Mekaanisen massan hienoaineen ominaispinta-ala on 7-8 m<sup>2</sup>/g. Se säilyttää osan vapaasta pinta-alastaan, mikä vaikuttaa optisiin ominaisuuksiin. Myös mekaanisen massan hienoaineet voidaan jakaa primäärisiin ja sekundäärisiin hienoaineisiin. Kuten kemiallisilla massoilla, myös mekaanisten massojen primäärinen hienoaine on seurausta puun mekaanisesta hajotuksesta ja sekundäärinen hienoaine kuitujen jauhatuksesta. Mekaanisten massojen primäärinen hienoaines on jauhemaista ja sillä on huono sitoutumiskyky, kun taas sekundäärinen hienoaines koostuu hyvin sitoutuvista fibrilloituneista partikkeleista. /7, s.63-64/





Kuva 12. Erilaisten hienoainejakeiden vaikutus Scott Bond-arvoon /14, s.400/.

#### 5.4 Runkomassan kuitukoostumus

Paavola on tutkinut Stora Enson Inkeröisten kartonkitehtaalla tehtaan ulkopuolelta ostettavien GW- ja CTMP-massojen soveltuvuutta korvaamaan taivekartongin runkokerroksessa käytettävää painehioketta. Tähän liittyvät kokeet jakaantuivat laboratorio- ja tehdasmittakaavaisiin kokeisiin. Laboratorioarkkeja valmistettaessa hylkyosuus oli 25 % ja tehdaskoeajoissa 30 %. Loppuosa oli painehioketta, joka korvattiin muilla massoilla laboratoriokokeissa osuuksin 10, 20 ja 30 % ja tehdaskoeajoissa osuuksin 10 ja 15 %. Tehdaskoeajot keskittyivät Tambrite-lajille ja neliömassa-alueelle 250-270 g/m<sup>2</sup>. /17/

Laboratorioarkkien palstautumislujuudet laskivat sitä enemmän, mitä suurempi osuus painehiokkeesta korvattiin ostomassalla. Palstautumislujuus oli kuitenkin vähintään samalla tasolla kuin vertailutilanteessa, jolloin runkomassa koostui hyllystä ja painehiokkeesta. Tästä poikkesi ainoastaan kivihiokeosuudella 30 % valmistetut arkit, joilla palstautumislujuudet olivat huomattavasti alhaisemmalla tasolla ja niiden bulkki oli poikkeuksellisen korkea. Korkein palstautumislujuus saavutettiin 10 %:n CTMP-lisäyksellä. Tuloksista nähtiin myös, ettei yksistään mekaanisilla massoilla voida saavuttaa riittävää paksuussuuntaista lujuutta, vaan runkomassassa on käytettävä myös tietty määrä hylkyä. /17/

Tehdaskokeissa kivihiokkeen lisäys nosti vain vähän palstautumislujuutta, eikä CTMP-lisäyksellä havaittu olevan siihen vaikutusta. Taas bulkki laski lisättäessä kivihiokeosuutta. Tähän vaikutti hyllyn jauhatus, koska ostomassat annosteltiin

runkomassan joukkoon hylkylinjan kautta. Lisäksi höyryenergian kulutus laski hieman lisäätäessä kivihiokkeen osuutta, mikä johtui viiraosan parantuneesta vedenpoistosta. /17/

Lukkarinen on tutkinut silloin Stora Enson omistuksessa olleen Pankakosken tehtaan kartonkikoneella (KK2) oman hyllyn ja hylkymassaseosten toimivuutta taivekartongin runkokerroksen armeerausmassana. Tähän liittyvät koeajot tehtiin tehdasmittakaavassa ja koepisteissä käytetyt oman ja ostetun hylkymassan annostelusuhteet olivat 0/100, 50/50 ja 100/0. Viimeisessä koepisteessä oma hylky sekoitettiin vielä sellukartonkikoneen (KK3) hyllyn kanssa suhteessa 50/50. Ostohylky hankittiin Stora Enson Imatran tehtaiden kartonkikone 4:ltä. /18/

Hylkymassaseoksen oman hyllyn osuuden nostaminen lisäsi huomattavasti hienoainemäärää, mikä huomattiin hieman huonontuneena retentiona ja etenkin valmiin kartongin kosteutena. Paras ajettavuus saavutettiin korvaamalla ostohylky sellukartonkihylyllä, jolloin bulkki oli paksuilla lajeilla ( $>400 \text{ g/m}^2$ ) tavallista korkeammalla. Jauhettu oma hylky soveltui hyvin käytettäväksi taivekartongin rungon lujitemassana, kunhan sen lisäksi käytettiin myös muuta hylkyä. Pelkällä omalla hylyllä ei saavutettu yhtä suurta palstautumislujuutta kuin tavallisesti käytettävällä ostohylyllä. /18/

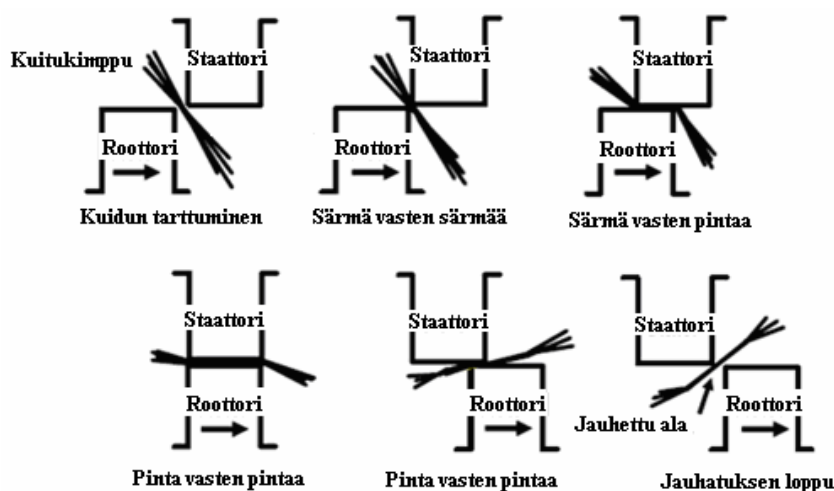
## 6 JAUHATUS

Kuitujen sitoutumiskyky parantuu massojen jauhatuksen myötä, jolloin niistä voidaan muodostaa vahva ja sileä arkki hyvillä painettavuusominaisuuksilla. Jauhatuksen avulla voidaan myös lyhentää liian pitkiä kuituja hyvän formaation saavuttamiseksi tai muiden ominaisuuksien, kuten imukyvyn, huokoisuuden tai optisten ominaisuuksien, kehittämiseksi tiettyä lopputuotetta varten. /19, s.87/

### 6.1 Jauhatuksen periaate

Jauhimissa kuidut jauhautuvat veden läsnä ollessa metallisten terien aiheuttamien iskujen vaikutuksesta. Terälevyjen ja -karttioiden pinta on uritettu niin, että kuituja käsittelevät terät ja niiden väliset urat sallivat kuitujen kulkeutumisen jauhimen läpi. /19, s.87-88/

Massan jauhatuksen vaiheet on esitetty kuvassa 13. Aluksi kuituflokkit tai -kimput kerääntyvät johtaville teräsärmillä. Tämän kuidun tarttumisvaiheen aikana sakeus on tyypillisesti 3-5 % ja kuituflokkit koostuvat lähinnä vedestä. Kun roottorin johtava teräsärmi kohtaa staattorin johtavan teräsärmän, kuituflokki puristuu ja ottaa vastaan voimakkaan iskun. Sen seurauksena suurin osa flokin sisältämästä vedestä puristuu ulos ja samanaikaisesti alhaisen flokkautumiskyvyn omaavat lyhyet kuidut poistuvat flokista veden mukana terien välisiin uriin. /19, s.88/



Kuva 13. Jauhatuksen vaiheet /19, s.87/.

Seuraavaksi roottorin terä liikkuu pitkin kuituflokkia ja puristaa sen staattorin tasaista teräpintaa vasten. Tällöin vastakkaisten terien väliin jäävä terärako on matalasakeusjauhatuksessa keskimäärin 100 µm, joka vastaa 2-5 turvonnutta kuitua tai 10-20 luhistunutta kuitua. Suurin osa jauhatuksesta tapahtuu tämän vaiheen aikana, jolloin teräsärmit antavat mekaanisen käsittelyn ja kuitujen välinen kitka aiheuttaa kuitujen välisen käsittelyn flokin sisällä. Vaihe jatkuu kunnes vastakkaisten terien johtavat ja jättävät särmit kohtaavat toisensa. Sen jälkeen kuitukimppu on edelleen puristuksissa teräpintojen välissä, kunnes roottorin ja staattorin jättävät teräsärmit ovat ohittaneet toisensa. Yllä kuvattujen jauhatusvaiheiden aikana kuitukimppuun kohdistuu yksi isku, jonka pituus riippuu terien leveydestä ja niiden välisestä leikkauskulmasta. /19, s.88/

Kun roottorin terät liikkuvat staattorin terien ohi, syntyy uriin melko voimakkaita pyörrevirtauksia, jotka nostavat kuidut teräsärmillä kuitujen tarttumisvaiheen aikana. Jos urat ovat liian kapeita, kuidut tai kuituflokkit eivät voi pyöriä siellä,

eivätkä ne täten nouse teräsärmille. Tämän seurauksena urissa pysyttelevät kuidut läpäisevät jauhimen vastaanottamatta ainuttakaan iskuja. /19, s.88/

Jauhatuksen lopputulos riippuu suurelta osin kuitujen kiinnittymisestä teräsärmiin ja flokkautuneiden kuitujen käyttäytymisestä jauhatuskujen alaisena. Pitkät havupuukuidut kiinnittyvät teräsärmiin helposti ja muodostavat vahvoja flokkeja, jotka eivät hajoa jauhettaessa helposti. Tällöin jauhatusteoksen muutosta voidaan nopeuttaa pienentämällä terärakoa, mutta samanaikaisesti lisääntyy myös kuitujen katkeilu. Tämän lisäksi teräraon pienentäminen hidastaa jauhatusta ja terät osuvat helpommin toisiinsa. Taas lyhyitä lehtipuukuituja on vaikea saada kiinnittymään teräsärmiin ja ne muodostavat heikkoja kuituflokkeja, jotka hajoavat jauhettaessa helposti. /19, s.88/

## 6.2 Jauhatuksen vaikutus kuitu- ja massaominaisuuksiin

Massan jauhatus vaikuttaa kuituihin monilla tavoin, joista tärkeimmät vaikutukset seuraavana /3, s.113-114, 19, s.89/:

1. *Ulkoinen fibrillaatio* eli kuituseinän osittainen irtoaminen ja fibrilloituminen. Tämä edistää kuitujen sitoutumista johtuen fibrillien suuremmasta ulottuvuudesta ja pienemmästä jäykkyydestä, mutta edellyttää kuidun primääriseinän irtoamista.
2. *Sisäisellä fibrillaatiolla* tarkoitetaan veden tunkeutumista kuituseinämän kerrosten väliin ja siitä johtuvaa kuidun notkistumista. Myös tämä edellyttää primääriseinän irtoamista ja osaksi sekundääriseinän ulomman kerroksen rikkoutumista. Kuidun turpoaminen ja siten sen notkistuminen tapahtuu selluloosamolekyyliden keskinäisten vetysidosten korvautuessa veden ja selluloosan välillä vetysidoksilla. Kuidun notkistumisen seurauksena se lommahtaa helposti, jolloin kuitujen sitoutumiskykyinen ala lisääntyy.
3. *Kuidun suoristuminen tai kähertyminen* jauhatusvoimien vaikutuksesta. Kuitu suoristuu matalassa sakeudessa, kun taas korkeassa sakeudessa se kähertyy.

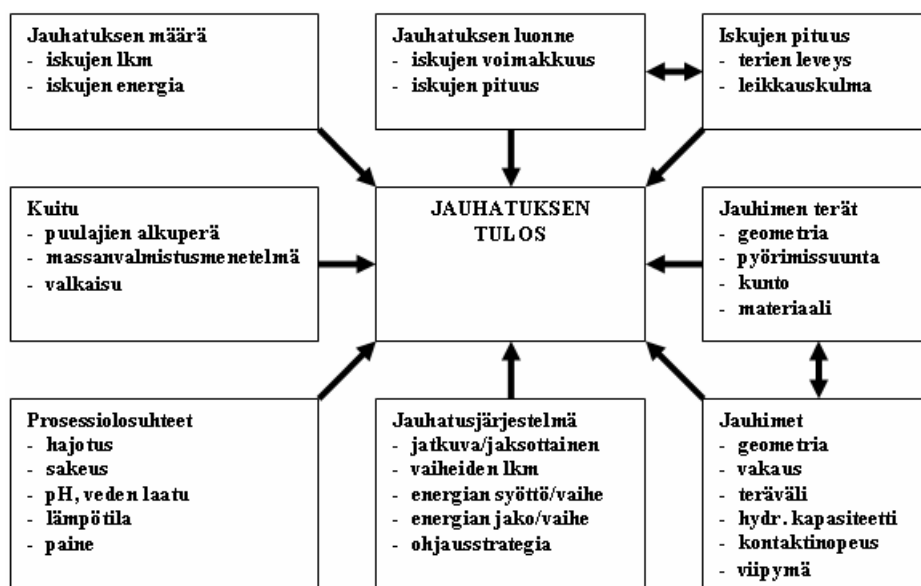
4. *Kuitujen katkeileminen ja keskikuitupituuden lyheneminen.* Pienempi keskikuitupituus huonontaa etenkin repäisyjuuutta, mutta formaatio, sileyys, kiilto ja rainan tiiveys parantuvat. Kuituihin voi muodostua myös nivelkohtia, jotka lisäävät kuidun taipuisuutta.
5. *Hienoaineen muodostuminen* eli kuitujen ja kuituseinämän osien jauhautuminen pieniksi partikkeleiksi. Tämä edistää kuitusidosten muodostumista, koska hienoaine toimii kuitujen risteyskohdissa liima-aineen tavoin.
6. *Kuidun liukeneminen osittain tai kokonaan.* Osittaisen liukenemisen seurauksena kuidun pintaan syntyy sitoutuva kerros, kun taas kuitujen täydellisestä liukenemisestä johtuen menetetään osa massan saannosta. Toisaalta lienneet ja kolloidiset aineet häiritsevät kartonginvalmistusta ja ovat ongelma jätevesissä. Jauhatuksen korkea pH lisää kuitujen liukenemistä. Etenkin mekaanisista massoista liukenee helposti ligniiniä, hemiselluloosaa ja uuteaineita, kun taas selluilla näiden aineosien liukeneminen on tapahtunut jo alkalisessa keitossa.

Puolestaan massojen jauhatuksessa muodostuvilla kuituominaisuuksilla on monia vaikutuksia niiden ominaisuuksiin. Jauhatus lisää massojen suotautumisvastusta ja lujuusominaisuuksia, pois lukien repäisyjuuus. Havupuusellujen repäisyjuuus saattaa alkuun parantua hieman, mutta laskee jauhatuksen edetessä pidemmälle. Taas lehtipuuselluilla repäisyjuuus lisääntyy alkuun merkittävästi, mutta kääntyy laskuun pitkitetyn jauhatuksen jälkeen. Jauhatuksella on negatiivinen vaikutus myös ilmanläpäisevyyteen, bulkkiin, imukykyyn, opasiteettiin ja valonsirontaan. Mekaanisten massojen valonsirontaan jauhatuksella on päinvastainen vaikutus, mutta niiden lujuusominaisuudet jäävät kemiallisia massoja alhaisemmiksi. /3, s.113, 19, s.89/

### 6.3 Jauhatuksen teorialat

Jauhatuksen lopputulos on monen tekijän summa, kuten nähdään kuvasta 14. Kuitupohjaiset tekijät, kuten puulaji, sen alkuperä ja massanvalmistusmenetelmä,

vaikuttavat saavutettavissa olevaan jauhatuksen lopputulokseen ja asettavat jauhatuksen lähtökohdat. Koska nämä tekijät kuitenkin määräytyvät ennen massan saapumista kartonkitehtaalle, täytyy jauhatusjärjestelmän kyetä luomaan sopiva jauhatus erilaisille kuiduille. /19, s.91/



Kuva 14. Jauhatusen lopputulokseen vaikuttavat tekijät /19, s.90/.

Sopivan jauhatusjärjestelmän, -ohjauksen ja -olosuhteiden löytämiseksi on kehitetty useita jauhatusteorioita, joiden avulla jauhatuksen toimintaa voidaan kuvata matemaattisesti. Eri teorioita voidaan käyttää jauhimen koosta ja tyypistä riippumatta, mutta ne soveltuvat ainoastaan matalasakeusjauhatukseen. /19, s.91/

Matalasakeusjauhatuksen teorioissa kokonais- eli bruttojauhatusteho jaetaan kahteen komponenttiin, jotka ovat nettojauhatusteho ja kuormaton teho eli tyhjäkäyntiteho. Nettojauhatusteholla, joka on kuituja käsittelevä komponentti, tarkoitetaan täysin absorboituneen jauhimen tehon ja kuormattoman tehon välistä erotusta. Kuormatonta tehoa mitattaessa pyörivään jauhimeen syötetään vain vettä ja teräväli säädetään mahdollisimman kapeaksi. Tässä tulee kuitenkin huomioida, etteivät jauhimen terät kosketa toisiinsa ja ettei muutenkaan tapahdu huomattavaa tehon nousua. Kuormaton teho lisääntyy eksponentiaalisesti pyörimisnopeuden tai roottorin halkaisijan kasvaessa, kun taas kokonaisteho riippuu myös ajotilanteesta. Useimmiten kuitujen jauhatusvastus määrää suurimman kuormitettavuuden, mutta

viimeisen rajan asettaa jauhimen momentti. Momenttiin perustuva kokonaistehon suurin arvo nousee lineaarisesti, kun pyörimisnopeus lisääntyy. /19, s.91/

Tunnetuin sellun jauhatusteoria on ominaissärmäkuormateoria, joka yhdistää käsitteet jauhatuksen määrä ja luonne. Jauhatuksen määrää kuvataan jauhatuksen energian ominaiskulutuksella (EOK) ja jauhatuksen luonnetta eli jauhatuskujen intensiteettiä ominaissärmäkuormalla (OSK). Ne voidaan laskea seuraavista yhtälöistä: /3, s.114, 19, s.92/

$$EOK = \frac{P_t - P_n = P_e}{F \times C = m} \quad (1)$$

$$OSK = \frac{P_t - P_n = P_e}{Z_r \times Z_{st} \times l \times n = L \times n = Ls} \quad (2)$$

jossa	EOK	jauhimen energian ominaiskulutus, kWh/t
	OSK	jauhimen ominaissärmäkuorma, J/m
	$P_t$	jauhimen kokonaisteho, kW
	$P_n$	jauhimen tyhjäkäyntiteho, kW
	$P_e$	jauhimen nettoteho, kW
	F	massan virtaus jauhimen läpi, l/s
	C	jauhimen läpi virtaavan massan sakeus, %
	m	jauhimen läpi virtaavan kuivan massan määrä, t/h
	$Z_r$	roottorin terähampaiden lkm, -
	$Z_{st}$	staattorin terähampaiden lkm, -
	l	vastakkaisten terähampaiden kontaktipituus, km
	L	jauhimen teräsärmien kokonaispituus, km/rev
	n	jauhimen pyörimisnopeus, 1/s
	Ls	teräsärmien leikkausnopeus, km/s

Tehdasjauhatatus perustuu usein yhteen jauhimen tai jauhinryhmän läpimenoon kartonkikoneen määräämällä massavirralla. Tällöin jauhatuksen määrää voidaan nostaa vain jauhimen kokonaistehoa nostamalla eli terärakoa pienentämällä. Silloin kasvaa myös ominaissärmäkuorma, koska jauhimen leikkauspituus (L) ja pyörimisnopeus (n) ovat tavallisesti vakioita. Jauhatuksen luonteeseen voidaan vaikuttaa lisäämällä tai vähentämällä jauhatusvaiheita, joiden läpi sama virtaus

ohjataan. Tällöin yksittäisen vaiheen massaan kohdistama ominaissärmäkuorma jää pienemmäksi, jos sama nettoenergia jaetaan useamman jauhimen kesken. /3, s.114/

Jos jauhimen pyörimisnopeus on säädettävissä, voidaan jauhatuksen luonnetta muuttaa jauhatuksen määrästä riippumatta. Jauhimen teräsärmäpituutta voidaan lisätä kaventamalla terien ja urien leveyksiä, mutta tälläkin on rajansa. Jauhatuksen lopputuloksen kannalta molemmilla on optiminsa, joka riippuu kuitupituudesta. Äärimmillään liian kapeat urat tukkeutuvat ja liian kapeat terät murtuvat. Pyörimisnopeuden nostaminen ominaissärmäkuorman pienentämiseksi on myös ongelmallista, koska tehontarve kasvaa voimakkaasti pyörimisnopeuden noustessa ja energian kuluessa jauhatuksen kannalta tehottomaan turbulenssiin ja pumppauksen kannalta tarpeettomaan paineen nostoon. /3, s.114-115/

Lujempia ja suuremman jauhatusvastuksen omaavia massoja, kuten valkaistua pitkäkuitusellua, joudutaan jauhamaan enemmän ja niitä voidaan jauhaa rajummin (1-3 J/m) kuin lyhytkuituselluja (0,2-1 J/m). Pitkät ja vahvat havupuukuidut vaativat myös karkeammat terät kuin lyhyet ja heikot lehtipuukuidut. Vastaavasti kemialliset massat vaativat enemmän jauhatusta kuin mekaaniset massat. Myös erilaisten lehtipuiden jauhatustarpeet voivat poiketa toisistaan, mikä johtuu niiden kuituominaisuuksien eroista. Eukalyptuskuiduilla on pienempi halkaisija kuin koivukuiduilla ja niiden kuituseinämän paksuudet ovat yhtä suuria, mistä johtuen eukalyptuskuiduilla on pienempi lommahtamistaipumus ja ne vaativat enemmän jauhatusta kuin koivukuidut. Jos ominaissärmäkuorma on liian korkea, voi siitä seurata bulkin, jäykkyyden ja optisten ominaisuuksien menetyksiä. /3, s.115, 19, s.101/

#### 6.4 Jauhatusolosuhteiden vaikutus

Prosessiolosuhteita, kuten sakeus, pH, lämpötila ja paine, voidaan ohjata joiltain osin, mutta passiivisiin muuttujiin, kuten jauhimen tyyppi, terät, pyörimisnopeus ja -suunta, voidaan vaikuttaa lähinnä jauhatusjärjestelmää valittaessa. Tietysti teriä ja pyörimissuuntaa on mahdollista vaihtaa myös kunnossapitoseisokkien yhteydessä. Virtaus riippuu kartonkikoneen tuotannosta, eikä sitä voida ohjata



vapaasti. Periaatteessa ainoastaan terärakoa voidaan ohjata aktiivisesti antamaan vaadittu jauhatuksen nettoenergia. Toisaalta virtaustakin on mahdollista ohjata, jos jauhatuslinjassa on kierrätys takaisin jauhatusta syöttävän pumpun imuun. /19, s.105-106/

#### 6.4.1 Sakeus

Jauhettavan massan sakeutta ei pidä ajatella riippumattomana muuttujana, koska terien valumalli vaikuttaa siihen. Yleisesti karkeampi valumalli leveämmillä urilla vaatii korkeamman massan sakeuden kuin hienompi valumalli kapeammilla urilla. Tyypillisesti matalasakeusjauhatuksen sakeus on 3,0-5,0 %. Se on 3,5-4,5 % jauhettaessa havupuukuituja, 4,5-5,0 % jauhettaessa lehtipuukuituja ja 3,0-3,5 % trimmijauhatuksessa. /19, s.106/

Pitkien havupuukuitujen jauhaminen alle 3 prosentin sakeudessa lisää kuitujen katkeamistaipumusta. Lyhyet lehtipuukuidut käyttäytyvät päinvastaisella tavalla, koska alennettu jauhatussakeus lisää kuituflokkien hajoamista ja siten kuituja irtaantuu enemmän teräsärmiltä uriin ja välttää jauhatustoiminnan. /19, s.106/

Terän valumallin pitäisi olla kuiduille sopiva, mutta näin ei aina kuitenkaan ole massojen vaihteluista johtuen. Jos teriä ei voida vaihtaa, on ainoa mahdollisuus säätää massan sakeus sopivaksi. Lisääntynyt jauhatussakeus tarkoittaa hitaampaa pyörrevirtausta urissa ja siten kuitujen flokkautumistaipumuksen lisääntymistä, vaatien siksi karkeamman valumallin kuin alhaisempi jauhatussakeus. /19, s.106/

#### 6.4.2 Jauhatuste

Toinen tärkeä tekijä on massan jauhatus- tai hienousaste sen saapuessa jauhimelle. Tavallisimmin käytetyt mittaukset ovat freeness (CSF) ja Schopper-Riegler (°SR). Massan jauhatuksessa freeness laskee ja Schopper-Riegler kasvaa. Koska jauhatus vähentää kuitujen jauhautumisvastusta, täytyy jauhatuksen intensiteettiä vähentää pidennetyssä jauhatuksessa. /19, s.106/

### 6.4.3 Energian syöttö

Jauhatuksen määrää kuvataan jauhatusergian ominaiskulutuksen avulla. Se on käytännöllinen tapa arvioida jauhatusergioita jauhimen sisällä. Tämän lisäksi pitäisi huomioida myös oikeiden jauhatusergioiden saavuttamiseksi tarvittava kokonaisenergiakulutus, koska se määrittelee jauhatuksen energiakustannukset. /19, s.107/

Myös yhdessä vaiheessa kuituihin siirrettävän nettoenergian määrä on rajallinen. Riippuen kuitujen jauhatusergiasta ja halutusta jauhatuksen lopputuloksesta, yhdessä vaiheessa siirrettävän nettoenergian määrä voi olla 25-200 kWh/t. Jos vaaditaan enemmän energiaa, täytyy olla useampi jauhin sarjassa. Havupuusella vaatii yksivaiheisessa jauhatuksessa nettoenergian 60-200 kWh/t, kun taas lehtipuusella riittää 40-80 kWh/t. /19, s.107/

Monivaiheinen jauhatusergia antaa homogeenisemmän jauhatuksen lopputuloksen ja paremmat lujuusominaisuudet kuin yksivaiheinen jauhatusergia. Tämä johtuu siitä, että sarjajauhatuksessa yksittäisen vaiheen jauhatusergia jää alhaisemmaksi ja vaihtelu kuitujen viipymässä jauhatusergialla on vähäisempää. /19, s.109/

### 6.4.4 Jauhatuksen intensiteetti

Jauhatuksen intensiteetin sopivuus tietylle massalle riippuu kuitudimensioista ja kuitujen jauhatusergiasta sekä flokkautumiskyvystä. Tästä johtuen intensiteetti täytyy määritellä tapauskohtaisesti perustuen kuituominaisuuksiin ja toivottuun jauhatuksen lopputulokseen. Kun jauhetaan pitkiä havupuukuituja, liian alhainen intensiteetti ei voi käsitellä kuituja tehokkaasti. Toisaalta liian korkea intensiteetti lyhentää kuituja voimakkaasti ja lisää massan vedenpoistovastusta. /19, s.110/

### 6.4.5 pH

pH vaikuttaa veden penetraatioon kuituihin. Suositeltava pH on lähellä neutraalia, koska liian alhainen pH estää vettä penetroitumasta kuitujen sisään, kun taas liian korkea pH tekee kuiduista liukkaita. Jos jauhatuksen pH on alle 5, kuidut eivät kastu kunnolla ja kuitujen katkeamisella ja hienoaineen muodostumisella on

taipumus lisääntyä. Toisaalta jos pH on yli 10, on kuituja tai kuituflokkeja vaikeampi saada pysymään teräsärmillä. Käytännössä jauhatuksen pH määräytyy kartonkikoneen ajo-olosuhteiden mukaan, koska massan hajotuksessa käytetään koneen kiertovesiä ja pH säädetään tarpeen vaatiessa. /19, s.115/

## 6.5 Jauhimen terät

Tavallisesti metalliset jauhimen terät ja niiden teritetty jauhatuspinta valmistetaan valamalla. Perus suunnitteluparametreja ovat terien ja urien leveys, terien korkeus ja terien kulma säteensuunnasta. Koska suorat terät ovat meluisia ja ne katkovat kuituja, käytetään lyhyille kuiduille leikkauskulmaa 20° ja pitkille kuiduille 35°. Nämä kulmat sallivat jauhimen ajon sekä pumppaussuunnassa että pumppaukselle vastakkaisessa suunnassa. Terähampaiden välisiä patoja käytetään hyvin harvoin jauhettaessa selluja, mutta ne ovat tyypillisiä rejektijauhimissa. /19, s.115/

Koska kuiduilla on erilaiset fysikaaliset dimensiot ja erilainen jauhatusvastus, ovat myös jauhimien terät erilaisia. Terämallin valinnan täytyy perustua kuitutyyppeihin, jauhatuksen tavoitteisiin ja jauhatusolosuhteisiin. Pitkät ja vahvat havupuukuidut vaativat leveämmät terät ja urat kuin lyhyemmät ja heikommat lehtipuukuidut, kuten nähdään taulukosta IV. /19, s.115/

Taulukko IV Sellujauhimien terädimensioita /19, s.115/.

	Havupuusellu	Lehtipuusellu
<b><u>Kartiojauhimet</u></b>		
Terähampaan leveys, mm	3,5-5,5	2,0-3,0
Uran leveys, mm	4,5-7,0	2,5-3,5
Uran syvyys, mm	10,0	7,0
<b><u>Levyjauhimet</u></b>		
Terähampaan leveys, mm	3,0-5,0	1,5-3,0
Uran leveys, mm	3,0-5,0	1,5-3,0
Uran syvyys, mm	7,0	5,0

Jauhinteriä valmistetaan ruostumattomasta teräksestä, runsaskromisesta raudasta, NiHard-materiaalista ja erilaisista keraamisista materiaaleista. Jauhimen terien terähampailta vaaditaan hyvää vastusta rikkoutumista, korroosiota ja kulumista vastaan. Särmit eivät saa pyöristyä liikaa, eivätkä litteät teräpinnat saa kiillottua ja liukastua. Teräsärmien muodonmuutoksen seurauksena energiankulutus lisääntyy ja kuitujen kehittyminen vähenee. /19, s.116/

## 6.6 Runkomassakomponenttien jauhatus

Kun taivekartongin runkokerroksen massakomponentteina käytetään mekaanista massaa ja hylkyä, on hyllyn tärkein tehtävä varmistaa rungon riittävä lujuus. Hyllyn lujuusominaisuuksia voidaan parantaa lisäämällä jauhatusta, mutta tälläkin on rajansa. Hyllyn jauhatuksen vaikutuksesta lisääntyy myös hienoainesmäärä ja sen seurauksena hidastuu vedenpoisto. Myös kartongin keskikerrokselle tärkeä bulkki voi laskea, kun hyllyn jauhatuksen määrää lisätään.

Lukkarinen on tutkinut taivekartongin valmistuksessa käytettävien massojen ominaisuuksien kehittymistä jauhatuksessa. Koeajot keskittyivät päällystetyille kartonkilajeille, joiden neliömassa oli yli  $350 \text{ g/m}^2$ . Taivekartongin runkomassa koostui hiokkeesta, hylystä ja ostohylystä. Näistä massoista ainoastaan ostohylky jauhettiin ennen konesäiliöön annostelua, jonka jälkeen runkomassalle annettiin vielä trimmijauhatus. /18/

Massojen jauhatuksissa käytettiin erilaisia esi- ja trimmijauhien yhdistelmiä, mikä mahdollisti myös erilaisten terien hyödyntämisen. Esijauhatusta varten oli käytettävissä viisi SutherlandAB42-levyjauhinta, joista kolmessa oli tiheämmät Metso PaperAB42-terät ja muissa Ahlströmin harvemmat 4210-42"XA S42-terät. Ensimmäisenä mainittujen terien leikkauspituus oli 27,4 km/rev ja jälkimmäisten 12,5 km/rev. Runkomassaan annosteltava ostohylky jauhettiin kahdella sarjaan kytketyllä levyjauhimmella. Näistä molemmissa oli yllä esiteltyistä teristä joko tiheämmät terät tai jauhinsarjan ensimmäisessä jauhimessa oli harvemmat terät ja jälkimmäisessä tiheämmät. Esijauhatuksen jälkeen taivekartongin eri kerroksissa käytettävät massat annosteltiin konesäiliöihin ja sieltä massat tai niiden seokset annosteltiin edelleen trimmijauhimmille. Runkomassan jälkijauhatus suoritettiin levyjauhimmella (Enso80P), jonka terien leikkauspituus oli 5,2 km/rev. /18/

Hylkymassan esijauhatus lisäsi palstautumislujuutta. Kun hylky jauhettiin aluksi harvemmillä terillä ja sitten tiheämmillä, ei samassa lujuustasossa menetetty yhtä paljon bulkkia kuin käytettäessä molemmissa jauhimessa tiheämpiä teriä. Harvemmillä terillä ominaissärmäkuorma ( $1,71 \text{ J/m}$ ) oli melkein kaksinkertainen tiheämpiin teriin ( $0,88 \text{ J/m}$ ) verrattuna. Kokonaisjauhatusergia  $425 \text{ kWh/t}$  ei

kuitenkaan riittänyt antamaan tällä teräyhdistelmällä haluttua paksuussuuntaisen lujuuden muutosta. Toisaalta suuremmalla kokonaisjauhatusenergialla menetettiin enemmän bulkkia. Täten Lukkarinen suositteli hyllyn esijauhatuksen määräksi 451 kWh/t ja bulkkia säästävän karkeamman terämallin käyttämistä molemmissa jauhimissa. Hyllyn °SR 56 oli riittämätön ja 71 taas liian korkea. Esitetyt EOK-arvot olivat verrattain korkeita, koska myös laskennassa käytetyt jauhattavan hylkymassan määrät (6-10 l/s) ja sakeudet (2,8-3,2 %) olivat aika alhaisia. /18/

Hyllyn jauhatuskokeita jatkettiin laboratoriossa Voith LR40-laboratorijauhimella. Tällöin tutkimuksen kohteena oli oman hyllyn ja ostohyllyn jauhatus. Jauhatuksissa käytettiin ominaissärmäkuormaa 1,0 J/m ja omalla hyllyllä jauhatuksen määrä oli välillä 0-120 kWh/t sekä ostohyllyllä 0-190 kWh/t. /18/

Oman hyllyn jauhatuksella saavutettiin sama palstautumislujuustaso menettämättä kuitenkin niin paljon bulkkia kuin jauhettaessa ostohylkyä. Tämän nähtiin johtuvan oman hyllyn korkeasta hiokeosuudesta. Toisaalta ostohylky antoi samalla jauhatusmäärällä suuremman palstautumislujuuden kuin oma hylky eli ostohyllyn ominaisuudet kehittyivät nopeammin kuin jauhettaessa omaa hylkyä. /18/

Heinänen on tutkinut nestepakkauskartongin keskikerroksen massakomponenttien annostelun ja käsittelyn vaikutusta runkomassan ja kartongin ominaisuuksiin. Tehdaskoeajot keskittyivät Natura285-kartonkilajille, jonka rungossa käytetään kemikuumahierrettä, mäntysellua ja hylkyä. /20/

Ensimmäisen koeajon tavoitteena oli selvittää CTMP-massan freeneksen vaikutus erityisesti palstautumislujuuteen ja bulkkiin. Tällöin runkokerroksen konesäiliöön annosteltavien massojen osuudet olivat 58 % CTMP-massaa, 12 % mäntysellua ja 30 % hylkyä. Heinäsen mukaan nestepakkauskartongin z-lujuus lisääntyi 14 % ja Scott Bond-lujuus 9 %, kun runkomassaan annosteltavan kemikuumahierteen freeness laskettiin arvosta 490 ml CSF arvoon 350 ml CSF. Samanaikaisesti menetettiin kuitenkin kartongin paksuutta, minkä seurauksena myös jäykkyys heikkeni. Tämän lisäksi viiraosan vedenpoisto huonontui kemikuumahierteen jauhatusteen noston myötä, mikä lisäsi huomattavasti myös höyryn kulutusta. Koeajon aikana mäntysellun jauhatuksen määrä oli 195 kWh/t (°SR 49,5 ja 51,5),

eikä jauhatusta olisi kannattanut Heinäsen mukaan tästä enää lisätä. Myös käytettyä kemikuumahierreosuutta pidettiin kriittisenä ylärajana, jonka jälkeen palstautumislajuudet laskisivat alle hylkäysrajan. /20/

Nestepakkauskartongin palstautumislajuus heikkeni selvästi, kun runkomassaan annosteltavan mäntysellun osuus (10 %) korvattiin vastaavalla määrällä koivusellua tai tasaosuuksin CTMP-massaa ja hylkyä. Muutos pyrittiin kompensoimaan nostamalla korvaavien massojen jauhatustasetta, jolloin Scott Bond- ja z-lujuudet laskivat alle 10 % verrattuna vastaavalla määrällä mäntysellua saavutettuihin tuloksiin. Kun mäntysellun osuudesta siirrettiin ainoastaan 5 % CTMP-massan osuuteen, onnistuttiin palstautumislajuudet lähes säilyttämään lisäämällä mäntysellun jauhatuksen määrää arvosta 130 kWh/t (°SR 38) arvoon 185 kWh/t (°SR 47). Taas hyllyn jauhatuksen määrän nosto arvosta 55 kWh/t (°SR 25) arvoon 70 kWh/t (°SR 27) tai koivusellun jauhatuksen määrä 70 kWh/t (°SR 22) eivät olleet riittäviä. /20/

Jatkotutkimukset runkomassakomponenttien jauhatuksen suhteen osoittivat, ettei koivusellun EOK nosto arvoon 95 kWh/t (°SR 28) ja hyllyn jauhatuksen määrä 51 kWh/t (°SR 24,5) riittänyt nostamaan z-suuntaisia lujuuksia samalle tasolle kuin mitä ne olivat ennen mäntysellun osuuden (10 %) korvaamista vastaavalla määrällä koivusellua. Tällöin menetettiin myös pienemmällä koivusellun jauhatuksen määrällä saavutettu hienoinen etu bulkissa. Myös hyllyn jauhatuksen EOK 74 kWh/t (°SR 29) oli riittämätön, kun mäntysellu korvattiin CTMP-massalla ja hyllyllä. /20/

Myös Inkeröisten kartonkitehtaalla on tutkittu runkokerroksen pääkomponentin, eli painehiokkeen, jauhatustason vaikutusta hiokemassan ominaisuuksiin. Arkit valmistettiin seostamalla eri suhteissa kahta painehiokelaatua, joista toisen freeness oli 350 ml CSF ja toisen 131 ml CSF. Näistä karkeampi laatu on taivekartongin runkokerroksen hallitseva massakomponentti ja hienommalla hiokkeella voidaan täyttää vain hyvin pieni osa hioketarpeesta. Hienomman hiokkeen osuuden nosto 20 %:in laski hiokeseoksen freenessin arvoon 286 ml CSF. Se ei vaikuttanut arkkien bulkkiin, kun taas palstautumislajuudet nousivat jo varsin selvästi. Valitettavasti käytettävissä oleva H3-hiontalinjan kapasiteetti (20

t/d, 5 %) rajoittaa hienomman hiokkeen käyttöä, eikä näin pienillä määrillä saavuteta selvää etua karkeamman hiokkeen käyttöön nähden. Myös varsinaisella hiontalinjalla (H4) valmistettavan karkeamman hiokkeen freeneksen laskemiseksi nähtiin olevan vain hyvin vähän liikkumavaraa. /21, 22/

## 7 KUIVALUJALISÄAINEET

Kuivalujuus on rainan rakenteellinen ominaisuus, joka on pääasiassa seurausta kuitujen sitoutumisesta kuituverkon muodostuessa ja kuivuessa. Kartongin lujuus riippuu yksittäisten kuitujen ja kuitujen välisten sidosten lujuudesta, sidosten määrästä ja sidosten ja kuitujen jakautumisesta. Kuivalujalisäaineet parantavat yhtä tai useampaa näistä tekijöistä, mutteivät kuitenkaan yksittäisten kuitujen lujuutta. /6, s.269/

Kartongin lujuutta voidaan parantaa vaihtamalla kuitukoostumusta, esimerkiksi nostamalla pitkäkuituisen sellun osuutta, pienentämällä täyteainepitoisuutta tai lisäämällä kuivalujalisäaineita. Lujuutta voidaan lisätä myös prosessimuutoksin, kuten parantamalla formaatiota, nostamalla pH:ta tai lisäämällä märkäpuristusta. Kuitenkin yleisimmin lujuutta lisätään voimakkaammalla jauhatuksella. Tämä lisää kartongin tiheyttä ja vähentää huokoisuutta, repäisyjujuutta ja opasiteettia. /6, s.269/

Kun halutaan välttää jauhatuksen negatiiviset vaikutukset, kuivalujalisäaineet ovat käytännöllinen vaihtoehto. Ne ovat vesiliukoisia polymeerejä, joko luonnollisia tai synteettisiä. Tällaisia aineita ovat tärkkelys, karboksimeetyyliselluloosa (CMC), kasvikumi (vegetable gum) ja synteettiset polymeerit. Näistä tärkkelys on tehokas liima-aine kemialliselle massalle ja synteettisistä polymeereistä polyakryyliamidit (PAM) sopivat kemiallisille ja mekaanisille massoille /5, s.217-218/. Kasvikumeja ja CMC:a ei käsitellä tässä yhteydessä, johtuen lähinnä niiden korkeasta hinnasta ja kasvikumien huonosta saatavuudesta. /6, s.269, 284/ Synteettiset polymeerit ovat mukana korkeasta hinnastaan huolimatta, koska niillä on laajalti sovelluksia kuivalujalisäaineina /23, 24/.

## 7.1 Tärkkelys

Maailmanlaajuisesti tärkeimpiä tärkkelyksen raaka-aineita ovat peruna, maissi ja vehnä. Suomessa tärkkelystä uutetaan myös ohrasta ja Aasiassa tapiokasta. Yhdysvalloissa viljellään vahamaista maissia, josta saatava tärkkelys on pysyvämpää kuin tavallisesta maissista valmistettu tärkkelys ja se kilpailee perunatärkkelyksen kanssa. Kaikkien näiden tärkkelysraaka-aineiden kemialliset koostumukset eroavat joiltain osin toisistaan johtuen alueellisista ja kasveissa esiintyvistä eroista. /6, s.270, 25, s.233-234/

Kartongin valmistuksessa tärkkelystä käytetään lähinnä massa- ja pintaliimana. Tämän lisäksi sitä käytetään pastan sideaineena, suojakolloidina AKD- ja ASA-dispersioissa sekä tärkkelyspohjaisissa fiksatiiveissa. Sekä pintaliimauksessa että päällystyspastan sideaineena käytetään hydrolysoituja ja hapetettuja tärkkelyksiä. Taas massaliimauksessa käytettävät tärkkelykset ovat luonteeltaan kationisia, koska monilla muilla kartonginvalmistuksen komponenteilla, kuten kuiduilla, on tavallisesti anioninen varaus. Tässä työssä keskitytään määränpään tärkkelyksiin, joten eri tärkkelystyypeistä omana osanaan esitellään ioniselta luonteeltaan erilaisia tärkkelyksiä ja spraytärkkelys. /6, s.274, 25, s.235/

### 7.1.1 Tärkkelyksen ominaisuudet

Tärkkelys on polysakkaridi ja glukoosipolymeeri, jota esiintyy luonnostaan kaikissa kasveissa pieninä granuleina eli jyväsinä. Tärkkelysjyvät koostuvat suorista (amyloosi) ja haaroittuneista (amylopektiini) glukoosirakenneyksiköiden muodostamista ketjuista. Tavallisesti amyloosin osuus on alhainen, noin 20-25 %. Tärkkelysketjun kokoon vaikuttavat raaka-aine sekä amyloosin ja amylopektiinin suhteellinen osuus. Amyloosin ketjun pituus on lyhyempi kuin amylopektiinillä. /6, s.271/

Tärkkelyksen liimausominaisuudet riippuvat sen sisältämien hydroksyyliyhmiä runsaudesta, jotka pystyvät muodostamaan vetysidoksia. Vesipitoisessa liuoksessa vetysidokset muodostuvat hydroksyyliyhmiä ja vesimolekyyliä välille, jolloin tärkkelys sitoo vettä. Kuivatusprosessissa vesi poistuu ja vetysidoksia muodostuu



tärkkelyksen ja kuitujen tai muiden kartonginvalmistusprosessissa käytettävien komponenttien välille. Tällöin tärkkelys toimii kartongissa kuivalujuutta lisäävänä aineena. /6, s.271/

Tärkkelys on liukenematon kylmään veteen. Kun tärkkelyksen ja veden seosta lämmitetään, tärkkelys alkaa liueta ja gelatoitua, mikä nähdään liuoksen viskositeetin nousuna. Erilaisten tärkkelysten gelatoituminen tapahtuu eri lämpötiloissa. Viskositeetti lisääntyy lämpötilan noustessa kunnes yksittäiset tärkkelysketjut alkavat irrota toisistaan, jolloin nähdään viskositeetin laskevan. Kun liuos jäähtyy, tärkkelysketjut alkavat yhdistyä uudestaan vetysidoksin ja viskositeetti nousee jälleen. Laimennetussa liuoksessa yhdistyneet tärkkelysketjut saostuvat säiliön pohjalle, mutta väkevöidyssä liuoksessa ne muodostavat geelin. Tätä ilmiötä kutsutaan retrogradaatioksi. /6, s.272-273/

Tärkkelysliuoksilla on kaksi toiminnallista ominaisuutta, viskositeetti ja pysyvyys. Liuoksen viskositeetti riippuu keskimääräisestä molekyylikoosta. Sen lisäksi viskositeettiin vaikuttavat kiintoaine- ja ionipitoisuus. Väkevöidyllä tärkkelysliuoksella on jäähtyessään taipumus retrogradaatioon. Tämä nähdään viskositeetin nousuna, sameutena tai liuoksen paksuuntumisena. Retrogradaation seurauksena muodostuu lähinnä suorja ketjuja, jotka kiinnittyvät helposti toisiinsa vetysidoksin. Kun tärkkelys hajoaa, suorien ketjujen osuus moninkertaistuu. Kuitenkin pysyvyys lisääntyy, kun haarautuminen ja sivuketjujen määrä lisääntyvät. /6, s.273/

### 7.1.2 Kationinen tärkkelys

Koska anioninen natiivitärkkelys retentoituu huonosti anionisiin kuituihin, on kehitetty tarkoitusta paremmin vastaava kationinen tärkkelys. Se valmistetaan emäksisissä olosuhteissa ja korotetussa lämpötilassa eetteröintireaktiolla, käyttäen kvaternääriryhmän sisältävää epoksireagenssia. Reaktio voidaan suorittaa joko lietemäisessä muodossa tai lisäämällä reagenssit kuivaan tärkkelykseen. Tärkkelyksen kationisuutta luonnehditaan korvattujen ja korvaamattomien glukoosiyksiköiden moolisuhteella ja se esitetään substituutioasteella (D.S.). /6, s.274/

Kationiset määrään tärkkelykset voidaan valmistaa mistä tahansa natiivista tärkkelyksestä. Kuitenkin tärkkelyksen liukenevuudesta ja molekyylikoosta johtuen ne valmistetaan pääasiassa perunatärkkelyksestä ja Yhdysvalloissa vahamaisesta maissitärkkelyksestä. /6, s.274/

Sen jälkeen kun adsorption kyllästymistaso on saavutettu, tärkkelys ei enää liimaudu määrään komponentteihin. Tätä kyllästymistasoa vastaa parhaiten tärkkelystä adsorboivan aineen hydrodynaaminen pinta-ala. Taulukossa V on esitetty joidenkin määrään komponenttien hydrodynaamiset pinta-alat ja niitä vastaavat kationisen tärkkelyksen adsorption kyllästymistasot. /6, s.275/

Taulukko V Kationista tärkkelystä adsorboivan aineen hydrodynaaminen pinta-ala ja kyllästymisarvot tärkkelyksen adsorptiolle, kun tärkkelyksen substituutioaste oli 0,042 /6, s.275/.

Adsorboiva aine	Hydrodynaaminen pinta-ala, m <sup>2</sup> /g	Kyllästymisarvo, mg/g
Kuidut	1,2	16
Massaseos	2,1	42
Hienoaines	8	65
Täyteainekaoliini	2	17
Päällystekaoliini	12	59

Normaalisti kationisen tärkkelyksen annokset vastaavat 0,2-2,5 % määrään kuiva-aineesta. Hyvä tärkkelysannoksen lujusvaste saavutetaan alueella 0,5-1,5 % /26/. Kun annos on alle 1 % ja häiriötekijöitä ei ole liikaa, tärkkelyksen adsorptio voi olla lähellä 100 %. /6, s.275/

Ymmärtääkseen määrään tärkkelyksen vaikutuksen, on myös hyvä tuntea sen adsorption laajuus massan komponentteihin. Taulukossa VI on esitetty kationisen tärkkelyksen jakautuminen hienopaperin massakomponenttien kesken. /6, s.275/

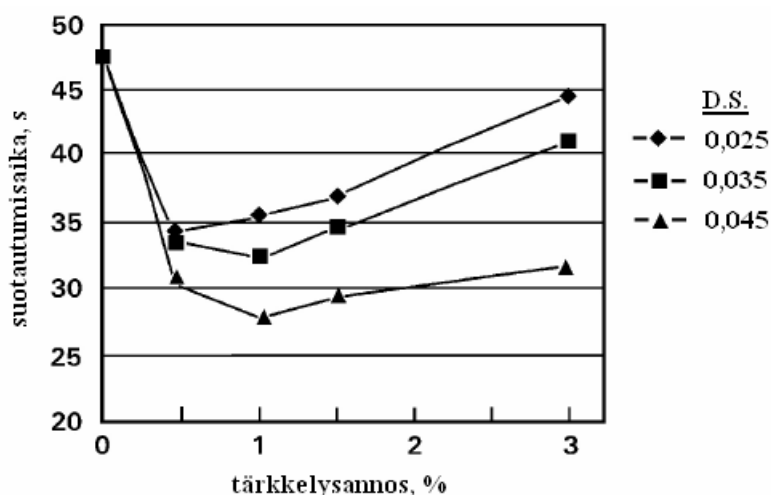
Taulukko VI Kationisen tärkkelyksen jakautuminen massakomponenttien kesken, kun massan pH oli 5 ja tärkkelysannos 1,3 % /6, s.275/.

Komponentti	Koostumus	Adsorptio		
		Intensiteetti	Arvo	Suhde, %
Kuidut	0,69	1	0,69	33
Hienoaines	0,15	5	0,75	37
Täyteaine	0,16	4	0,64	30
Massaseos	1,00			

Tärkkelyksestä vain kolmasosa adsorboitui pitkiin kuituihin, vaikka ne muodostivat lähes 70 % massaseoksesta. Jäljelle jäänyt tärkkelysosuus jakautui tasaisesti hienoaineksen ja täyteaineen välillä. Täten täyte- ja/tai hienoaineiden suuresta osuudesta seuraisi tärkkelyksen huonontunut adsorptio kuituihin, mikä vuorostaan heikentäisi tärkkelyksen lujittavaa vaikutusta. /6, s.275/

Edellä esitetystä voidaan hyvin ymmärtää, että määränpään komponenttien ja tärkkelyksen lisäysjärjestys ja annostelupaikat ovat tärkeitä tekijöitä haettaessa kationisen tärkkelyksen haluttua vaikutusta. Paras lujittava vaikutus saavutetaan useimmiten, kun tärkkelys on kiinnittyneenä pitkiin kuituihin. On myös esitetty, että lisäämällä tärkkelys täyteaineen joukkoon voidaan välttää lujuuden menetys flokkaamalla täyteaine. Tämä tapahtuu kuitenkin opasiteetin kustannuksella. /6, s.275/

Kuivalujalisäaineiden lisääminen märkään päähän on tehokkaampi tapa parantaa lujuutta kuin ulkoinen annos liimapuristimella, koska niiden liimaava vaikutus perustuu lisääntyneeseen sitoutumisalaan. On olemassa myös viitteitä siitä, ettei tärkkelys lisää sitoutunutta alaa, mutta se lisää sitoutuneen alan sidosten määrää. Joka tapauksessa kuivalujuutta voidaan parantaa lisäämällä sidoslujuuutta kunnes saavutetaan tila, jossa kuitujen välisistä sidoksista tulee vahvempia kuin itse kuiduista. Kationinen tärkkelys vaikuttaa myös vedenpoistoon, kuten kuvasta 15 voidaan nähdä. /6, s.276/



Kuva 15. Kationisen tärkkelyksen vaikutus vedenpoistoon /6, s.276/.

Vedenpoiston parantuminen johtuu tärkkelyksen kationisesta varauksesta. Mitä kationisempi tärkkelys on, sitä suurempi on sen vedenpoistoa parantava vaikutus. Kuitenkin tärkkelykselle on ominaista myös sen kyky sitoa vettä. Siten annoksen noustessa, veden sitoutumiskapasiteetti ylittää kationisuuden vedenpoistoa parantavan vaikutuksen ja suotautumisajat alkavat jälleen pidentyä. Taulukossa VII on esitetty lopuksi yhteenvetona kationisen tärkkelyksen käyttöön liittyviä etuja ja haittoja. /6, s.276/

Taulukko VII Kationisen tärkkelyksen käytön edut ja haitat (+ = paranee hieman, ++ = paranee merkittävästi, - = huononee/pienenee hieman, -- = huononee/alenee, (+) = kasvaa yleensä) /3, s.43/.

Ominaisuus	Muutos	Selitys
Veto- ja puhkaisulujuus	++	Lisää sidoksia, parempi hienoaineretentio
Pintalujuus, pölyämättömyys	++	Lisää sidoksia, parempi hienoaineretentio
Palstautumislujuus	+++	Sidoksia rainan keskelle
Jäykkyys	+	Lisää sidoksia, paksuus säilyy lähes entisenä
Retentio, tasapuolisuus	++	Kuidut, täyteaineet ja hydrofobiliimat yleensä anionisia
Formaatio	-	Vedenpoisto vaikeutuu, kuidut flokkaantuvat
Repäisylujuus	-	Sidokset eivät aukea, vaan kuidut katkeavat
Mittapysyvyys	-	Suurempi kuivumiskutistuma
Viiraosan vedenpoisto	--	Veden viskositeetti ja rainan vedenpidätyskyky kasvavat
Puristimen jälkeinen kuiva-aine	--	Huovat tukkeutuvat, veden viskositeetti kasvaa
Koneen ajettavuus	--	Kap-lasku, likaantuminen, lima, reiät, märänpään kemia
Valmistuskustannukset	(+)	Tärkkelyksen hinta, kap-lasku, käyttöongelmat

### 7.1.3 Anioniset ja amfoteeriset tärkkelykset

Märänpään tärkkelyssovelluksiin on kehitetty myös anionisia ja amfoteerisia tärkkelyksiä. Anionisia tärkkelyksiä käytetään erittäin happamissa ja kationisissa massajärjestelmissä sekä retentiojärjestelmien anionisena komponenttina. Lisäksi anionista tärkkelystä käytetään neutraloimaan liian kationisen järjestelmän ionista

luonnetta ja samanaikaisesti parantamaan tärkkelys- ja kokonaisretentiota. /6, s.279/

Amfoteeriset tärkkelykset toimivat laajemmalla pH-alueella kuin kationiset tärkkelykset. Niiden vastakkaismerkkisistä varauksista johtuen, amfolyttiset tärkkelykset voivat muodostaa kolmiulotteisen verkoston ja täten luoda paremman mahdollisuuden lisätä kuitujen välisiä sidoksia. Amfoteerisia tärkkelyksiä suositellaan myös monimutkaisille massajärjestelmille, jotka sisältävät suuren määrän komponentteja. Näissä tapauksissa amfoteerisen tärkkelyksen käyttö luo mahdollisuuden parempaan retentioon kuin tavallisilla kationisilla tärkkelyksillä. /6, s.279/

Perunatärkkelyksestä jalostetut tärkkelykset ovat luonteeltaan amfoteerisia, koska natiivi perunatärkkelys sisältää anionisia fosfaattiryhmiä. Niiden amfoteerisesta luonteesta johtuen perunatärkkelyspohjaiset märänpään tärkkelykset suoriutuvat luotettavasti eri olosuhteissa. Lisäksi kationinen perunatärkkelys tuottaa korkean johtavuuden omaavissa massaseoksissa tasaisemman massaliimauksen kuin muut kationisen tärkkelyksen tyypit. /6, s.279/

#### 7.1.4 Spraytärkkelys

Märänpään tärkkelyssovelluksiin luetaan mukaan myös spraytärkkelys, jolla on huomattava vaikutus etenkin kartongin kerrosten välisiin liitoslujuuksiin. Sillä voi olla oma osuutensa myös muihin z-suuntaisiin lujuusominaisuuksiin, riippuen massaliiman penetraatiosyvyydestä. Kolmikerroskartonkikoneella spraytärkkelys annostellaan varsinaisista märänpään massaliimoista poiketen koneen viiraosalla, jossa tärkkelys suihkutetaan vasta muodostettujen runko- ja selkäkerrosten pintaan ennen kerrosten yhteen liittämistä.

Inkeröisten kartonkitekniikalla esiintyneisiin runkokerroksen palstautumisongelmiin on etsitty aikaisemmin ratkaisua muun muassa spraytärkkelyksen annostelun ja kuiva-ainepitoisuuden kautta. Ongelmat ovat johtuneet siitä, että runkokerroksen yläpintaan muodostuu hienoaineköyhä kohta, jota ei ole onnistuttu vahvistamaan. Ongelmana on ollut myös spraytärkkelyksen suuri hävikki sumutuksessa, mistä

johtuen annostelusuuttimien kokoa on suurennettu ja sumutuspainetta pienennetty. Nämä toimenpiteet eivät ole kuitenkaan vaikuttaneet tärkkelyksen imeytymiseen, eikä siten myöskään kartongin z-suuntaiseen lujuuteen. Tehtaalla on tutkittu myös lietetyn ja keitetyn tärkkelyksen eroja imeytymisessä, koska sumutärkkelyksellä on ollut taipumus siirtyä pintakerroksen suuntaan. Kun lietetty tärkkelys korvattiin keitetyllä, imeytyi tärkkelys kuitenkin edelleen samaan suuntaan. Tästä johtuen spraytärkkelyksellä oli suurin vaikutus pinnan irrotuslukuun, mutta sen todettiin vaikuttaneen jonkin verran myös Scott Bond-arvoihin. Sumutärkkelyksellä ei ollut minkäänlaista vaikutusta Z-lujuuteen tai IGT-pintalujuuteen, eikä sen ole todettu vaikuttavan myöskään formaatioon. /27, 28, 29/

## 7.2 Tärkkelyksen tehokkuuteen vaikuttavat tekijät

Tärkkelys vaikuttaa erityisesti kartongin z-suuntaiseen lujuuteen. Scott Bond-lujuus lisääntyy lähes lineaarisesti, kun tärkkelyksen määrää lisätään ja se on mahdollista yli kaksinkertaistaa jo alle prosentin annoksilla. Tästä johtuen häiriöt tärkkelysretentiassa vaikuttavat välittömästi paksuussuuntaisiin lujuusarvoihin. Tärkkelys ei kuitenkaan Jylkän /27/ mukaan vaikuttanut juurikaan taivekartongin z-lujuuteen, vaikka Scott Bond-arvoissa vaikutus näkyikin selvästi. Myös veto-, puristus- ja puhkaisulujuus lisääntyvät tärkkelyksen vaikutuksesta. Tämän lisäksi tärkkelyksen lisääminen voi vähentää pölyämistä, koska tärkkelys sitoo kuidut ja hienoaineksen tiukemmin kartongin pintaan. Tärkkelys muodostaa kemiallisia sidoksia kuitujen välille ja täten rajoittaa kuitujen kykyä liikkua toisiinsa nähden. Tämän seurauksena lisääntyy myös kartongin jäykkyys. /6, s.277/

Likaisissa järjestelmissä, joissa anionisen roskan määrä on suuri, tärkkelys toimii myös fiksatiivina. Järjestelmän sameus laskee johtuen hieno- ja täyteaineretention parantumisesta ja roskien poistumisesta. Jos tavoitteena on laskea tärkkelyksen kulutusta likaisessa järjestelmässä, kannattaa ennen kationisen tärkkelysannoksen pienentämistä poistaa anionista roskaa fiksatiivilla. Tällä tavoin tärkkelys saadaan sitoutumaan kuituihin lähes poikkeuksetta, mikä mahdollistaa myös tärkkelyksen lujuusvaikutuksen optimoinnin. Kuitenkin monissa tapauksissa roskien määrä on niin alhainen, että sameus voidaan hallita yksinkertaisesti määränpään tärkkelyksen avulla. /6, s.278/

### 7.2.1 Tärkkelyksen ominaisuudet

Tärkkelys täytyy liuottaa veteen ennen massaseokseen lisäämistä, jotta se toimisi sidosten muodostajana. Koska tärkkelys liukenee ainoastaan kuumaan veteen, se liuotetaan keittämällä. Jatkuvatoiminen JET-keitto on yleisin keittomenetelmä, mutta eräkeittoa saatetaan käyttää edelleen. Keitto-olosuhteet valitaan niin, että tärkkelys liukenee mahdollisimman hyvin, mutta vältetään tärkkelyksen liialliselta hydrolysoitumiselta. Kuitenkin ankarat keitto-olosuhteet aiheuttavat molekyylien hajoamista. Tästä johtuen JET-keitetyn tärkkelyksen viskositeetti on alhaisempi kuin eräkeitetyllä. Jotta varmistuttaisiin riittävästä sekoittumisesta, tärkkelysliuos laimennetaan yhden tai alle yhden prosentin pitoisuuteen ennen annostelua. /6, s.278/

Kationisen tärkkelyksen substituutioaste vaihtelee tavallisesti välillä 0,02-0,05, mikä tarkoittaa 20-50 kationista ryhmää 1000 glukoosiyksikköä kohti /6, s.278, 26/. Kationisuus valitaan määrän mukaan. Siihen vaikuttaa vaaditun annoksen suuruus ja massaseoksen koostumus, joka vuorostaan vaikuttaa massaseoksen ioniseen luonteeseen ja ionipitoisuuteen. Sopiva tärkkelys voidaan aluksi testata laboratoriossa sen retention, ionisen luonteen ja  $\zeta$ -potentiaalın selvittämiseksi. Tärkkelyksen ionivaruksen ja  $\zeta$ -potentiaalın pitäisi olla lähellä nollaa negatiivisella puolella. Kationisten tärkkelysten varaustiheys on verrattain alhainen. Siitä huolimatta ne vaikuttavat massajärjestelmän ioniseen luonteeseen, koska annosmäärät ovat suuria /6, s.278-279/

### 7.2.2 $\zeta$ -potentiaali ja varaustarve

Ioninen luonne on yksi tärkeimmistä massan ominaisuuksista liittyen tärkkelyksen toimintaan. Koska kuiduilla on anioninen varaus, suurin osa märkään päähän lisättävistä kemikaaleista on kationisia. Niiden retentio pysyy hyvänä niin kauan kuin massaseoksen ioninen luonne pysyy anionisena. Jos kationisia lisäaineita käytetään liian paljon, järjestelmän ionisesta luonteesta tulee kationinen. Tämä voidaan huomata kemikaalien käytön lisääntymisenä ja usein huonona ajettavuutena. Kemikaalit, joilla on korkea kationisuus, korvaavat heikommin kationisia tuotteita ja niiden retentio huononee. Märkään tärkkelysten

varaustiheys on alhaisempi kuin retentioaineilla. Tästä johtuen ongelmat tavallisesti ilmenevät lujuusominaisuuksien menetyksenä, mikä on seurausta heikosta tärkkelysretentiosta. Lisäksi tärkkelys kerääntyy koneen vesikiertoihin, mikä on epätaloudellista ja voi aiheuttaa pidemmällä aikavälillä mikrobiologisia ongelmia. /6, s.280/

Myös  $\zeta$ -potentiaali luonnehtii ionista luonnetta. Toisin kuin partikkelin varaus,  $\zeta$ -potentiaali kuvaa partikkelin ja sitä ympäröivän liuoksen välistä potentiaalia. Täten se ennakoii hylkivätkö vierekkäiset partikkelit toisiaan vai vetävät toisiaan puoleensa. Käytännössä ioninen luonne voi säilyä anionisena, vaikka  $\zeta$ -potentiaali on positiivinen. Tärkkelysretentio alkaa heikentyä heti kun  $\zeta$ -potentiaalista tulee positiivinen. Mitä suurempi kationisen tärkkelyksen annos on, sitä alhaisempi pitäisi käytettävän tärkkelyksen kationisuusasteen olla. /6, s.280/

### 7.2.3 Täyteaineet

Täyteaineet ovat yleisesti luonteeltaan anionisia ja täten adsorboivat kationista tärkkelystä. Tärkkelyksen adsorptio täyteaineisiin parantaa sen retentiota, mutta korkeampi täyteainepitoisuus voi heikentää lujuusominaisuuksia. /6, s.281/

Kalsiumkarbonaatin käyttö täyteaineena on lisääntynyt siirryttäessä neutraali- ja alkaliprosesseihin. Puhtaalla kalsiumkarbonaatilla on kationinen varaus ja se voisi aiheuttaa vakavia ongelmia yhdessä kationisen tärkkelyksen kanssa. Kuitenkin kalsiumkarbonaatti sisältää niin paljon epäpuhtauksia, että sitä voidaan pitää anionisena. Siten kationinen tärkkelys pystyy sitomaan täyteaineen kuituihin ja parantamaan täyteaineretentiota. /6, s.281/

Myös saostetun kalsiumkarbonaatin (PCC) käyttö täyteaineena yleistyy. Erilaisia saostettuja kalsiumkarbonaatteja valmistetaan muuttamalla partikkelin muotoa, kokoa ja kokojakaamaa. PCC on kevyesti kationinen, mikä parantaa sen retentiota kuituihin. PCC:n käyttö voi täten vähentää kationisten retentioaineiden käyttöä, kuten kationisen tärkkelyksen tai synteettisten retentioaineiden. Kuitenkaan kationisen tärkkelyksen määrän vähentäminen ei ole välttämättä mahdollista lujuustavoitteista johtuen. Siksi saman retentiotason ja tärkkelysannoksen



säilyttämiseksi, vähennetään usein kationisen retentioaineen määrää. Toisaalta jotkin PCC-laadut antavat paremman lujuuden kuin perinteiset täyteaineet. Tämä voi jälleen vähentää vaadittavaa kationisen tärkkelyksen määrää, jos säilytetään sama lujuustaso. /6, s.281/

#### 7.2.4 Johtavuus

Kiertoveden johtavuus on hyvin ratkaiseva tekijä tärkkelyksen retentiassa. Useiden tutkimusten mukaan yli 5000  $\mu\text{S}/\text{cm}$  johtavuus tekee tärkkelysretentiosta mahdottoman. Huomattava retention heikentyminen ilmenee jo paljon ennen tätä ja 2000  $\mu\text{S}/\text{cm}$  voidaan pitää kriittisenä rajana. Kun tämä raja ylitetään, tärkkelysretentio heikkenee kiihtyvällä nopeudella. /6, s.281/

Myös sillä on suuri merkitys, mitkä elektrolyytit tuottavat massaseoksen korkean johtavuuden. Kaksiarvoisten ionien on todistettu olevan 10 kertaa tehokkaampia huonontamaan tärkkelyksen retentiota kuin yksiarvoiset ionit. Tärkkelyksen adsorptiota kalsiumkarbonaattiin huonontaa eniten kalsium. Kalsiumioni lisää kationisesti varautuneiden verkostojen määrää ja siten häiritsee kationisen tärkkelyksen ja anionisen karbonaattipinnan välistä vuorovaikutusta. Taas sulfaattianioneilla on päinvastainen vaikutus ja ne lisäävät tärkkelyksen adsorptiota. /6, s.281/

Vastaavia tuloksia on saatu tutkittaessa tärkkelyksen adsorptiota selluloosaan ja erilaisten elektrolyyttien vaikutusta tähän. Kun suolapitoisuus lisääntyy, tärkkelysmolekyylit kutistuu, eikä toimi enää yhtä tehokkaasti kuin alhaisemmalla elektrolyyttipitoisuudella. Myös kuitujen pinnalle muodostuva sähköinen kaksoiskerros pienenee korkean elektrolyyttikonsentraation seurauksena, aiheuttaen tärkkelyksen adsorption heikentymistä. Yli 200 mg/l kalsiumia massaseoksessa heikentää merkittävästi tärkkelyksen retentiota. /6, s.281/

#### 7.2.5 pH

Nykyään käytetään lähes poikkeuksetta kvaternäärisiä kationisia tärkkelyksiä, jotka ovat kationisia pH-alueella 4-9. pH vaikuttaa tärkkelyksen toimintaan myös muilla tavoin. Kuitujen anioninen varaus lisääntyy, kun pH nousee. Tämä sitoo

kationisen tärkkelyksen tiukemmin kuituihin ja täten kationisen tärkkelyksen retentio lisääntyy pH noustessa kohti neutraalia ja alkalista aluetta. /6, s.281/

#### 7.2.6 Anioniset häiriöaineet

Puuraaka-aine on anionisten haitta-aineiden pääasiallinen lähde. Erityisesti hioke, kemikuumahierre ja kierrätysmassa sisältävät runsaasti anionista roskaa. Tällä aineella on taipumus kertyä vesikiertoihin. Mitä suljetumpi vesijärjestelmä on, sitä voimakkaampaa kertyminen on. Anioninen roska reagoi kationisten lisäaineiden kanssa ja siten kemikaalien tehokkuus laskee. Lisäksi tämä materiaali aiheuttaa ongelmia tahmaisissa olosuhteissa, koska se tarttuu koneen viiroihin ja huopiin. Pahimmassa tapauksessa ne jopa tukkeutuvat. /6, s.282/

Fiksatiivin lisääminen ennen kationisen tärkkelyksen annostelua on tuottanut huomattavia synergisiä etuja. Yksi tavallisimmista eduista on tärkkelyksen parempi adsorptio kuituihin ja täyteaineeseen, mikä tarkoittaa korkeampaa kokonaisretentiota. Kuitukerroksen lujuus lisääntyy, koska tärkkelys muodostaa sidoksia nimenomaan kuitujen välillä, ei roskan kanssa. Tyypillisiä fiksatiiveja ovat polyalumiinikloridi, poly-DADMAC, polyakryyliamidi ja polyeteeni-imiini. Myös tärkkelyspohjaisten fiksatiivien on todistettu olevan tehokkaita roskan poistajia. /6, s.282/

#### 7.2.7 Retentiojärjestelmä

Kationinen tärkkelys on erinomainen retentiopolymeeri, koska sillä on suuri koko ja kationinen varaus. Vaikka määränpään tärkkelystä käytetään lisäämään lujuutta, se toimii kuitenkin retentioaineena. Tärkkelystä käytetään tavallisimmin anionisen PAM:n tai kolloidisen silikan kanssa. Jälkimmäinen on suhteellisen yleinen retentiojärjestelmä ja sen on todistettu olevan erittäin tehokas hienopaperin valmistuksessa. /6, s.282/

Retentiojärjestelmissä, joissa kationista PAM:a käytetään retentioaineena – joko yksistään tai yhdessä anionisen aineen kanssa – ja tärkkelystä ei itsessään käytetä retentiojärjestelmän komponenttina, erityistä huomiota pitäisi kiinnittää määränpään tärkkelyksen annostelupaikkaan ja -määrään. Tärkkelys kilpailee

samoista anionisista paikoista kuin kationiset retentioaineet. Jos tärkkelys lisätään liian lähelle retentioainetta, tärkkelys ei pysty sitoutumaan kuituun, koska kationisempi retentioaine saattaa miehittää kaikki vapaat anioniset paikat. Tässä tapauksessa tärkkelysretentio on heikko ja kartongin lujuus huononee. Tilanne korjautuu siirtämällä tärkkelyksen annostelu kauemmaksi perälaatikosta. /6, s.282/

Yllä kuvatun tyyppisen järjestelmän heikkoon tärkkelysretentioon saattaa olla toinenkin syy. Koska useimmat kartonginvalmistuksessa käytettävät lisäaineet ovat kationisia, voi ionivaraus lähestyä nollaa ottaen huomioon esiteltyt lisäaineet. Jos tärkkelys hyväksytään järjestelmän lisäkomponenttina tai kationisen retentioaineen määrää lisätään, ionivaruudesta voisi tulla kationinen. Näissä olosuhteissa tärkkelyksen retentio on heikko, johtuen vapaiden anionisten paikkojen puutteesta ja järjestelmän kationista kuormaa täytyy vähentää. Aluna, polyalumiinikloridi tai kationiset retentioaineet ovat tavallisesti vastuussa suurimmasta osasta järjestelmän kationisuutta, joten niillä on myös suurin vaikutus ioniseen luonteeseen. Siten näiden komponenttien annosten pienentäminen voi tehdä varauksesta anionisemman, mikä vaikuttaa suotuisasti tärkkelys- ja kokonaisretentioon. /6, s.282/

### 7.3 Synteettiset kuivalujalisäaineet

Synteettisistä polymeereistä tavallisin kuivalujalisäaine on polyakryyliamidi. Muita kuivalujalisäaineiksi sopivia synteettisiä polymeerejä ovat lateksi ja polyvinyylialkoholi, vaikka niitä käytetäänkin tavallisesti pintaliimoina tai pastan komponentteina. /6, s.284-285/

Polyakryyliamidin peruspolymeeri on suora ja varaukseton, mutta siitä voidaan valmistaa sekä anionisia että kationisia polymeerejä. Toisaalta varauksettomiakin polyakryyliamideja käytetään lisäaineina, sillä nämä ”ionittomat” polymeerit ovat tosiasiaassa useimmissa yhteyksissä heikosti anionisia tuotteita. Pieni varaus johtuu niiden karboksyyliiryhmistä. Kationiset PAM-hartsit (CPAM) kiinnittyvät suoraan kuituun, eikä sillä ole erityisvaatimuksia retentioaineille. Taas anioniset PAM-hartsit (APAM) vaativat alunan tai jonkin muun kationisen avun retention varmistamiseksi. /6, s.284/

Polyakryyliamidien keskimääräinen molekyyli­massa voi vaihdella muutamasta tuhannesta useisiin miljooniin. Suurikokoisia miljoonaluokan polyakryyliamideja käytetään lähinnä retentioaineina. Taas polyakryyliamideja, joilla on suhteellisen alhainen molekyyli­massa, käytetään kuivalujuutta lisäävinä aineina, koska niillä on pienempi taipumus aiheuttaa flokkautumista. Lisäksi molekyylikoko vaikuttaa viskositeettiin, joten prosessoinnin ja annostelun kannalta helpoimmin käsiteltäviä ovat lyhyt­ketjuiset polyakryyliamidit. Koska synteettisiä aineita käytetään samaan tarkoitukseen kuin luonnon raaka-aineista valmistettuja, sovelletaan niihin myös samoja annosteluohjeita. Tyypillinen annos­määrä on luokkaa 0,2-0,5 %. /6, s.285/

Polyakryyliamidien polaariset amidiryhmät muodostavat vetysidoksia selluloosan hydroksyyli­ryhmien kanssa. Nämä vetysidokset ovat merkittävästi vahvempia kuin tavalliset selluloosamolekyylien väliset vetysidokset. Kun polyakryyliamidia esiintyy arkin kuitukontaktikohdissa, on seurauksena melko vahvojen kuitu-PAM-kuitusidosten muodostuminen ja lisääntynyt kuivalujuus. Tästä poikkeaa vain repäisy­lujuus. Heikosti anioninen PAM antaa paremmat tulokset kuin kationinen PAM. Syitä tähän ei ymmärretä vielä täysin, mutta anionisen polyakryyliamidin kiinnityksessä käytettävällä alunalla tiedetään olevan tässä oma roolinsa. Kationista polyakryyliamidia voidaan käyttää myös yhdistelmänä alunan ja anionisen polyakryyliamidin kanssa. Tässä tapauksessa annostelujärjestyksellä on suuri merkitys. Vaikka massan historia vaikuttaa alunan ja kahden polymeerin optimilisäysjärjestykseen, parhaat tulokset on useimmissa tapauksissa saavutettu lisäämällä anioninen PAM viimeisenä. /6, s.285/

Taloudellisista tekijöistä johtuen polyakryyliamideja käytetään harvoin lisäämään yksistään kuivalujuutta. Pääarvo on muissa sen käytöllä saavutettavissa eduissa, joita haettaessa vaikutetaan myös kuivalujuusominaisuuksiin. PAM:n käytöllä voidaan vähentää jauhatuksen tarvetta tai lisätä täyteaineannosta samanaikaisesti halutut lujuusominaisuudet säilyttäen. Lisäksi jauhatuksen määrän vähentäminen ja PAM:n käyttö mahdollistaa bulkin nostamisen uhraamatta kuivalujuutta. Tämä johtaa lujuus-bulkkiyhdistelmiin, joita ei voida saavuttaa yksistään jauhatuksella. Tällä tavoin voidaan lisätä myös muita haluttuja ominaisuuksia, kuten jäykkyyttä kartonkilaaduilla ja pehmeyttä pehmopaperilaaduilla. Lisäksi PAM ei vaikuta

sitoutuneeseen alaan tai tiheyteen, joten se ei myöskään vaikuta valonsirontaan ja opasiteettiin. /6, s.285/

Merkittävin anionisen polyakryyliamidin heikkous on alunan tarve sen sitomiseksi ja haluttujen vaikutusten aikaansaamiseksi. Vaikka menestyksekkäs toiminta on mahdollista ainakin pH-arvoon 6,5 asti, suurien alunamäärien annostelu ei ole suositeltavaa neutraalissa tai alkalisessa prosessissa yhdessä kalsiumkarbonaattia sisältävien massojen kanssa. /6, s.285/

## 8 RAINANMUODOSTUSOSA

Kuitukerroksen perusrakenne määräytyy jo rainanmuodostusosalla ja täten sillä on huomattava vaikutus moniin lopputuotteen ominaisuuksiin. Rainanmuodostusosa määrää myös hieno- ja täyteainejakauman muodon.

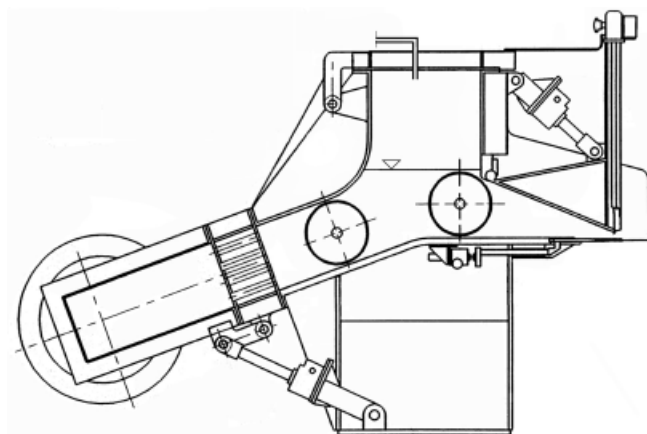
Kartongin valmistuksessa käytetään monikerrosrainausta. Erillisten tasoviiraosien lisäksi runkokerroksen muodostuksessa saatetaan käyttää yläviirayksikköä. Sen avulla saavutetaan korkeampi vedenpoistokapasiteetti, symmetrisempi lopputuote, alhaisempi neliömassan vaihtelu, parempi formaatio ja vähäisempi pölyävyys /30, s.230/.

Kartongin kerrosten välinen liitoslujuus riippuu siitä, miten niiden yhteen huopauttaminen onnistuu. Kerrosten liitoskuiva-ainepitoisuus on tässä tärkeässä osassa, mutta ratkaiseva tekijä on kerrosrajapintojen hienoainepitoisuus. Jos kerrokset muodostetaan poistamalla vettä yhteen suuntaan, on viirapuolella tavallisesti alhaisempi hienoainepitoisuus. Siksi viiraosan suunnittelussa pitäisi välttää viirapuolien asettamista vastakkain. Liitoslujuutta voidaan parantaa myös sumuttamalla kerrosten väliin tärkkelysliuosta tai hienoainepitoista kiertovettä. /30, s.244/

### 8.1 Perälaatikko

Rainanmuodostusosan alkupäässä sijaitsevan perälaatikon tärkein tehtävä on jakaa lyhyessä kierrossa laimennettu massa tasaisesti viiraosan leveydelle. Tällöin massasulpun virtaus muuttaa muotoaan kolmen vaiheen kautta perälaatikolle

saapuvasta putkivirtauksesta tasoon jaetuksi massasuihkuksi. Massasulppu jaetaan ensimmäistä kertaa koneen leveydelle perälaatikon jakoputkiston kautta. Tämän jälkeen massan poikkisuuntaista virtausprofiilia tasoitetaan erilaisilla painehäviötä aiheuttavilla elementeillä. Lopulta perälaatikon suuttimet muodostavat viiraosalle levitettävän huulisuihkun. Kuvassa 16 on esitetty reikätelaperälaatikko. /30, s.206-207/



Kuva 16. Reikätelaperälaatikko /30, s.209/.

Tänä päivänä taivekartonkikoneisiin asennetaan hydraulisia perälaatikoita, mutta reikätelaperälaatikoita käytetään edelleen vanhemmilla koneilla, joilla nopeudet ovat verrattain alhaisia /3, s.131/. Reikätelaperälaatikoilla suihkunopeuksien synnyttämiseksi vaadittava ajavoima saavutetaan paineistetun ilmatyynyn avulla, joka on sijoitettu perälaatikon tasauskammion yläosaan kuitusulpun päälle. Tämä kokoonpuristuva ilmapuskuri tasoittaa myös perälaatikon syöttövirtauksen painevaihteluita. /30, s.208/

Reikätelaperälaatikon tasauskammion alaosassa on rinnakkain kaksi rei'itettyä telaa, joiden tehtävä on aiheuttaa painehäviöitä ja siten tasoittaa virtauksen poikkisuuntaista nopeusprofiilia. Ne pidetään hitaassa pyörimisliikkeessä, jottei reikien särmille muodostuisi kuituflokkeja. Reikätelojen aiheuttamien jättöpuolen nopeushäiriöiden aste määräytyy lähinnä reikien koon ja sijoittelun mukaan. /30, s.208-209/

Hydraulisella perälaatikolla saavutetaan suurempi paperin sisäinen lujuus kuin reikätelaperälaatikolla. Myös paksuussuuntainen orientaatio on voimakkaampaa hydraulisella perälaatikolla. Tämä johtuu perälaatikoiden eroista niiden tuottaman

turbulenssin intensiteetissä ja aallonpituudessa, mikä taas aiheuttaa eroja flokkien ja kuituverkon rakenteessa. Hydraulisessa perälaatikossa muodostuvalla turbulenssilla on korkeampi intensiteetti ja pienempi aallonpituus, mikä sallii kuitujen satunnaisemman orientaation rainassa ja flokeissa. Tämän seurauksena rainan rakenteesta tulee huopautuneempi, jolloin saavutetaan myös korkeampi z-suuntainen lujuus. /31/

### 8.1.1 Perälaatikon huulikanava

Perälaatikon huulikanavassa, joka muodostuu ylä- ja alahuulesta, kuitusulppu kiihdytetään nopeuteen, jolla se jättää perälaatikon tasomaisen suihkun muodossa. Huulisuihkun lähtöpaksuuden määrää huuliaukko. Todellisuudessa suihkupinnat eivät ole kuitenkaan koskaan täysin tasomaisia, vaan ne hajoavat asteittain etäännyttäessä perälaatikolta. Tästä seuraava suihkun epäsäännöllinen kontakti viiran kanssa aiheuttaa virtaushäiriöitä, mikä voi vaikuttaa rainanmuodostukseen ja paikalliseen kuituorientaatioon. /30, s.210/

Suihkun nopeusvaihteluiden minimoimiseksi on tärkeää, että huulikanavaa syötetään laajalta suhteellisesti avoimelta alalta. Kiihtyvässä liikkeessä oleva suspensio aiheuttaa kanavassa painehäviön, mikä vähentää paikallisia nopeushäiriöitä ja suhteellisen turbulenssin astetta. Täten korkean kiihtyvyyden saavuttamiseksi on hyvä käyttää suurta huulikanavan supistussuhdetta, joka määrittellään huulikanavan sisääntulo- ja ulostulopuolien poikkileikkauspinta-alojen suhteena. Supistussuhteella on myös huomattava vaikutus kuituorientaation anisotropisuuteen massasuihkussa. Suhteellisen voimakkaalla huulikanavan supistussuhteella huulisuihkussa vallitseva orientaation anisotropisuuden aste on jo niin korkea, ettei se juurikaan muutu enää vedenpoiston vaikutuksesta. /30, s.210, 233/

Reikätelaperälaatikon pääkammiossa massasulppun korkeus on tavallisesti 500-1000 mm ja sulppu syötetään suoraan tästä kammioista huulikanavaan. Tämä tarkoittaa, että reikätelaperälaatikon huulikanavalla on suuri supistussuhde. Tätä voimakasta supistusta tarvitaan reikätelan jättöpuolen korkean turbulenssitason kumoamiseksi. /30, s.210/

Suuri kuitusulpun korkeus perälaatikon huulikanavan tulopuolella mahdollistaa huulisuihkun hyväksyttävän laadun suurillakin suihkun paksuuksilla. Toisaalta hydraulisten perälaatikoiden reikätelaperälaatikoita alhaisempi massan korkeus antaa useimmiten suihkulle alhaisemman suurimittakaavaisen turbulenssin tason, mikä taas vähentää suurimittakaavaista neliömassan vaihtelua. /30, s.211/

Kaikissa mittakaavoissa tapahtuva turbulenssi on haitaksi vapaan suihkun tasomaisuudelle ja siten myös formaatiolle. Myös viiraosalla tapahtuvan vedenpoiston aikana esiintyvä turbulenssi on haitaksi formaatiolle. Siksi turbulenssia tulisi välttää rainanmuodostuksen tässä vaiheessa, kun taas aikaisemmin se voi olla toivottavaa flokkien hajottamiseksi ja kuituorientaation anisotropian vähentämiseksi. /30, s.211/

Perälaatikon huulikanavaan saapuvien yksittäisten suihkujen sekoittumisesta johtuva suhteellisen turbulenssin taso laskee virtauksen kiihtyessä. Kuitenkin absoluuttinen turbulenssitaso kasvaa kiihdytysvaiheessa hieman kaikissa kolmessa suunnassa. Lisäksi korkea kiihtyvyyssaste johtaa kuituorientaation anisotropian lisääntymiseen. /30, s.211-212/

Kiihtyvällä virtauksella perälaatikon huulikanavassa on myös flokkeja hajottava vaikutus. Tämä perustuu flokkien venytykseen virtaussuunnassa, jolloin ne voivat hajota pienemmiksi osiksi. /30, s.213/

#### 8.1.2 Huuliaukko ja perälaatikkosakeus

Perälaatikkosakeutta hallitaan huuliaukkoa säätämällä. Kun huuliaukkoa avataan, tapahtuu perälaatikon huulikanavassa paineen lasku. Tämän seurauksena nousee sekoituspumppun kierrosnopeus, mikä pitää perälaatikon paineen asetusarvossaan pumpun tuoton lisääntyessä. Kun konesäiliöstä viirakaivon pohjaan pumpattavan sakeamassan määrä pysyy samanaikaisesti muuttumattomana, aiheuttaa lisääntynyt laimennusvesi perälaatikon sakeuden pienenemisen. /3, s.132, 32, s.545/



Huuliaukko voidaan laskea yhtälöstä (3) johdetun yhtälön (4) avulla. Näiden yhtälöiden käyttö edellyttää, että huulisuihkun nopeus on yhtä suuri kuin viiran nopeus /30, s.207/.

$$w = Rhc \quad (3)$$

$$h = \frac{w}{Rc} \quad (4)$$

jossa	w	neliömassa, g/m <sup>2</sup>
	R	retentiotekijä, -
	h	perälaatikon huuliaukko, mm
	c	perälaatikkosakeus, %

Oletetaan, että retentiotekijä on vakio. Tällöin ajettaessa tiettyyn neliömassaan seuraa perälaatikon huuliaukon pienentämisestä korkeampi perälaatikkosakeus ja vastaavasti suurentamisesta alhaisempi sakeus. Tavallisesti perälaatikkosakeus pysyy kuitenkin muuttumattomana ja huuliaukkoa on tarve säätää ainoastaan lopputuotteen neliömassan mukaan. Tästä poikkeaa kuitenkin poikkisuuntaisen neliömassaprofiilin hallinta, joka tapahtuu ylähuulen paikallisen profiloinnin avulla.

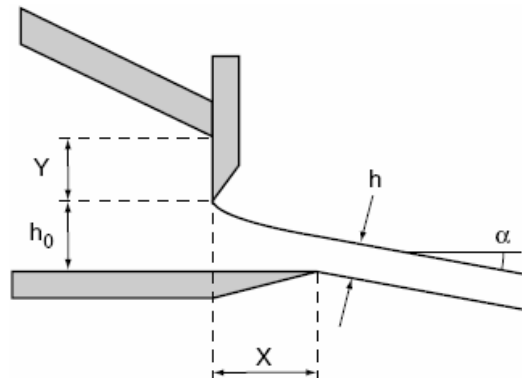
Tavallisesti perälaatikkosakeuden alentaminen parantaa formaatiota. Alhaisempaa sakeutta tarvitaan varsinkin silloin, kun lisätään pitkäkuituisen massan osuutta, eikä haluta menettää formaatiota. Perälaatikon sakeuden alentamisellakin on kuitenkin rajansa, jonka jälkeen formaatio ja monet muut rainan ominaisuudet eivät enää parane, vaan säilyvät ennallaan tai jopa huonontuvat. Tämä voi olla seurausta vedenpoistokapasiteetin riittämättömyydestä tai turbulenssin ennen aikaisesta vaimentumisesta. Näin muodostuva rajasakeus on riippuvainen myös massan ominaisuuksista. /3, s.132-133, 33/

Paksuilla taivekartonkilajeilla saavutetaan huomattava palstautumislujuuden nousu, kun lisätään runkokerroksen perälaatikkosakeutta. Myös kartongin pinta- ja runkokerroksen välinen liitoslujuus lisääntyy rungon perälaatikkosakeuden nousun myötä. Valitettavasti hyvän formaation saavuttaminen vaikeutuu

lopputuotteen neliömässän noustessa, jolloin syntyy pikemminkin tarve laskea perälaatikkomässän sakeutta kuin nostaa sitä. /34/

### 8.1.3 Huuligeometria

Massasuihkulta vaaditaan, että sen nopeus, suunta ja paksuus ovat vakioita poikki koneen leveyden. Kuvassa 17 on esitetty suihkun purkautuminen perälaatikon huuliaukolta ja siten muodostuva vapaa suihku. Ylähuuli päättyy useimmiten huuli- tai kärkilistaan, jolla on kaksi tehtävää. Ensinnäkin helpottaa huuliaukon paikallista muutosta ja toisekseen vähentää kuitusulpun huulien kanssa kosketuksissa oleville pinnoille muodostuvien rajakerrosten paksuutta. /30, s.213/



Kuva 17. Huulisuihkun ulosvirtaus perälaatikolta, jossa on kalteva ylähuuli ja pystysuunnassa säädettävä huuliaukko /30, s.213/.

Huulisuihkun kuroutumisesta johtuen suihkun paksuus  $h$  on aina pienempi kuin geometrinen huuliaukko  $h_0$ . Näiden välistä suhdetta kutsutaan huulisuihkun kuroutumakerroimeksi  $\mu$ , joka voidaan esittää yhtälöllä (5). /30, s.213/

$$\mu = \frac{h}{h_0} \quad (5)$$

jossa  $\mu$  perälaatikon huulisuihkun kuroutumakerroin, -  
 $h$  perälaatikon huulisuihkun paksuus, mm  
 $h_0$  perälaatikon huuliaukko, mm

Huulisuihkun kuroutumakerroin  $\mu$  ja lähtökulma  $\alpha$  riippuvat ylähuulen kaltevuuskulmasta, kärkilistan suhteellisesta ulottumasta  $Y/h_0$  ja alahuulen suhteellisesta horisontaalisesta ulottumasta  $X/h_0$ . Huuliaukkoa säädetään pystysuunnassa liikkuvan kärkilistan avulla. Lähtökulmaa ja siten huulisuihkun

laskeutumispaiikkaa viiraosalla voidaan ohjata muuttamalla alemman huulen ulottumaa. Tämä tapahtuu tavallisesti siirtämällä huulikanavan yläosaa konesuunnassa. Alahuulen ulottuman lisääminen kääntää suihkua ylöspäin ja huulilistan ulottuman suurentaminen vastaavasti alaspäin. Näin voidaan suihkun lähtökulma pitää muuttumattomana, kun huulirakoa muutettaessa vaikutetaan myös alahuulen asemaan. Toisaalta listan ja alahuulen ulottumien huomattava lisääminen kasvattaa haitallisesti suihkun turbulenssia. /30, s.213-214, 32, s.546/

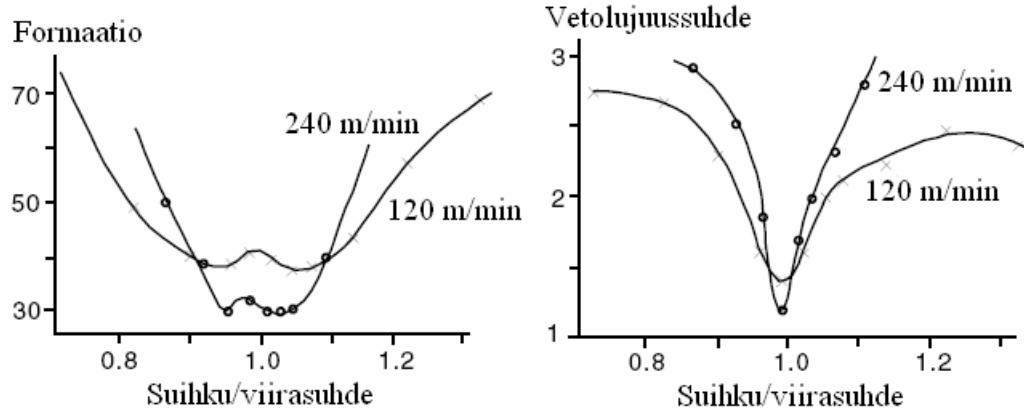
Koska perälaatikon huuligeometria määrää huulisuihkun iskukulman ja -kohdan rintapöytään nähden, on sillä merkittävä vaikutus viiraosan alussa tapahtuvaan vedenpoistoon ja siten myös formaatioon /3, s.131/. Lisäksi taivekartonkia valmistettaessa pienemmällä runkokerroksen iskukulmalla saavutetaan suurta iskukulmaa parempi palstautumislujuus /34/.

#### 8.1.4 Suihkusuhte

Yksi tärkeimmistä perälaatikon hallintasuureista on suihkuviirasuhde tai yksinkertaisemmin suihkusuhde, jolla kuvataan perälaatikon huulisuihkun ja viiran välistä nopeuseroa. Nopeuseron ollessa 0 on suihkusuhde 1, jolloin puhutaan tasaperästä ja poikettaessa tästä joko yli- tai aliperästä. Yliperällä tarkoitetaan, että huulisuihkun nopeus on suurempi kuin viiran nopeus, kun taas aliperällä tilanne on päinvastainen. /3, s.131/

Tasoviiraosalla paras formaatio saavutetaan tavallisesti pienillä nopeuseroilla tasaperän molemmin puolin, kun taas liian suuri ero rikkoo formaation (Kuva 18). Tämän lisäksi nopeusero vaikuttaa viiralla tapahtuvaan kuitujen orientoitumiseen, jolla on taas huomattava vaikutus lopputuotteen ominaisuuksiin. Kuituorientaatio riippuu osaltaan myös suihkussa vallitsevasta orientaatiosta. Tasoviirarainaimella kuituorientaatio on vähäisintä silloin, kun nopeussuhde on 1. Tällöin myös kone- ja poikkisuuntaiset ominaisuudet ovat todennäköisesti lähimmillään toisiaan. Orientaatioprofiilin pysyvyys on kuitenkin huono ajettaessa tasaperällä. Taas yliperällä voidaan käyttää pienempää huuliaukkoa, jolloin suihkun pyörteilykin on vähäisempää. Poikkeaminen tasaperästä lisää konesuuntaista orientaatiota ja parantaa siten konesuuntaista vetolujuuutta ja poikkisuuntaista repäisylujuuutta.

Taas poikkisuuntainen taivutusjäykkyys on korkeammalla, jos ajetaan lähempänä tasaperää. Tällöin myös bulkki on hieman korkeampi. /3, s.131, 33/



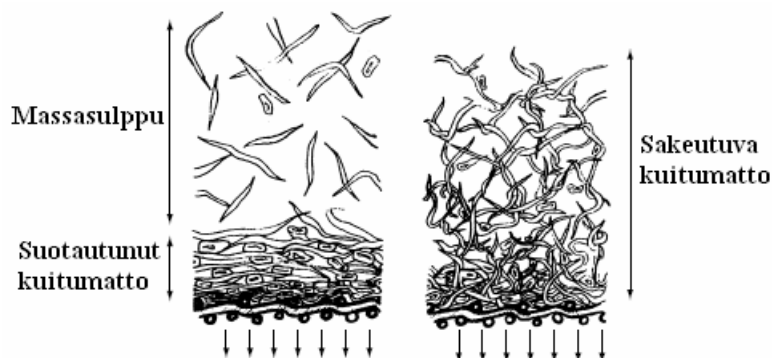
Kuva 18. Huulisuihkun ja viiran nopeuseron vaikutus formaatioon ja vetolujussuhteeseen /30, s.227/.

Kuituorientaation on havaittu jakautuvan hieman eri tavalla myös arkin paksuussuunnassa niin, että kuitujen orientoituminen on viirapuolella voimakkaampaa kuin arkin pinnalla. Tämä johtuu siitä, että viirapuoli muodostuu ensin ja viiran tai kuitumaton ja kuitusulpun välinen liike on suhteellisesti vähäisempää vedenpoiston edistyessä. /3, s.131, 30, s.227, 232/

Hybridiformerilla saavutettava formaatio ja kuituorientaatio riippuvat oleellisesti myös tasoviiraosaa seuraavan formerin kaksoisviiranipissä vaikuttavista leikkausvoimista. Muodostaakseen rainan, jolla on alhainen kuituorientaation anisotropian aste, pitäisi suihku- ja viiranopeuksien olla yhtä suuria tasoviiraosan alussa. Tämä tarkoittaa, että nopeudet ovat yhtä suuria myös kaksoisviiranipin sisään tulossa. Tällöin kuitusulpun nopeus laskee alhaisemmaksi kuin viiran nopeus ja rainan yläpinnan orientaatio lisääntyy. Täten molempien puolien vedenpoisto-olosuhteiden optimointi on mahdotonta hybridiformerilla. /30, s.239/

## 8.2 Viiraosan vedenpoisto

Laimea massasulppu syötetään perälaatikolta viiraosalle, jossa poistetaan suurin osa sen sisältämästä vedestä. Tämän seurauksena muodostuu märkä raina. Vesi voi poistua sekä suotautamalla että sakeutumalla, kuten kuvassa 19 on esitetty.



Kuva 19. Vedenpoisto suotautumalla ja sakeutumalla /30, s.218/.

Kun massasulppu suotautetaan tasoviiraosalla, suuntautuu vedenpoisto yksistään alaspäin. Tällöin kuidut asettuvat tiiviisti päällekkäin muodostaen kerrostuneen kuitumaton, jonka yläpuolelle jää edelleen perälaatikkosakeudessa oleva sulppukerros. Kun kaikki vapaa kuitusulppu on suotautunut, poistuu jäljelle jäänyt vesi kuitumaton saostuessa. Tämä tarkoittaa kuituverkon voimistuvaa tiivistymistä ja siten myös vedenpoistovastuksen lisääntymistä. Myös kuituflokkien sisältämä vesi poistuu kuitumaton tiivistyessä. Kun rainan kuiva-ainepitoisuus on noussut riittävästi, voidaan sen läpi imeä ilmaa. Tällöin vesifilmi poistuu rainan pinnalta ja muodostuu vesiraja. /3, s.137, 30, s.219/

Kuitukerroksen paksuuden lisäksi suotautumisvastus riippuu muodostettavan kerroksen hienojakoisuudesta, johon taas vaikuttaa massojen jauhautuneisuus. Jos jauhatusta lisätään, hidastuu suotauminen. Myös hienoaineen jakautumisella on oma vaikutuksensa vedenpoistoon niin, että vesi poistuu helpommin alhaisemman hienoainepitoisuuden suuntaan /30, s.224/. Lisäksi erilaisilla lisäaineilla saattaa olla vedenpoistoa heikentävä vaikutus, kuten tässäkin työssä on aikaisemmin esitetty. /3, s.137/

Muodostettavan kerroksen hienoainejakauma riippuu oleellisesti vedenpoiston suunnasta eli siitä, poistetaanko vettä yhteen vai kahteen suuntaan. Tämän lisäksi hienoainepitoisuus kasvaa kohti sitä pintaa, jonka kautta vettä poistuu jatkuvasti ja pienenee kohti sitä pintaa, jonka kautta vesi poistuu jaksottaisesti. Varsinkin voimakkaasti jaksottaisessa vedenpoistossa hienoainepartikkeleilla on taipumus huuhtoutua veden mukana vedenpoistopuolelta. /3, s.137/

Tasoviiraosalla vettä poistetaan vain alaspäin ja vedenpoisto on aina jaksottaista. Tästä johtuen tasoviirarainanmuodostuksessa hienoaineen määrä lisääntyy kohti kuitukerroksen yläpintaa. Jos viiraosan alkuvedenpoisto on kuitenkin liian rajua, huonontuu retentio ja siten menetetään myös hienoainetta. Myös hybridiformerilla yläpuolista viirayksikköä edeltää tasoviiraosa, mutta hienoainejakauma on aivan toisenlainen kuin tasoviirarainaimella. Tämä johtuu siitä, että formerin alueella vettä poistetaan sekä ylös- että alaspäin. Tällöin myös hienoaines jakautuu tasaisemmin, mutta huuhtoutuu pinnoilta kuten tasoviiravedenpoiston yhteydessä. /3, s.137/

Viiralle annosteltavan perälaatikkomassan sakeus on tavallisesti 0,2-1,5 % ja siirryttäessä viiraosalta puristinosalle on radan kuiva-ainepitoisuus 15-20 %. Tasoviirarainaimilla rainan kuiva-ainepitoisuus on tasoimulaatikoille saavuttaessa kahden prosentin luokkaa, jota ennen vettä poistetaan rintapöydän sekä foili- ja märkäimulaatikoiden avulla. Tasoimulaatikoiden jälkeen radan sakeus on jo noin 10 % ja viimeisen työn tekee viiraosan päättävä imutela tai kartonkikoneilla kerroksien liitoskohdassa sijaitseva huopautustela. /3, s.137-139/

Hybridiformerilla vedenpoisto jakautuu tyypillisesti niin, että yläviiran vedenpoisto on 30 % ja alaviiran 70 % viiraosan kokonaisvedenpoistosta. Formerille saapuvan rainan kuiva-ainepitoisuuden täytyy olla riittävän korkea, jottei sen rakenne rikkoutuisi kaksoisviiranipissä. Toisaalta hyvän formaation saavuttaminen saattaa vaikeutua, jos sakeutta nostetaan liiaksi. Tavallisesti sopiva formerin sisääntulosakeus on 2-3 % ja tästä johtuen se sijoitetaankin viiraosalle tasoimulaatikoiden etupuolelle. Formerin jälkeinen sakeus on luokkaa 8 %. /3, s.139/

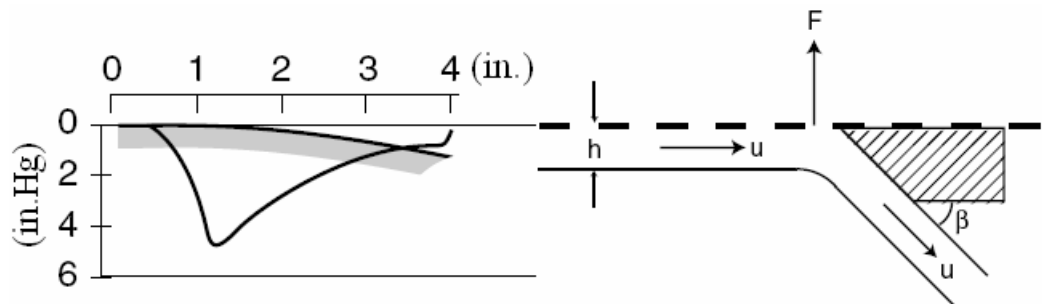
### 8.2.1 Tasoviiraosan vedenpoistoelementit

Tasoviiraosalla kuitusulpusta poistetaan vettä ensimmäisen kerran rintatela seuraavan rintapöydän ja sen kärkilistan avulla. Tässä kohtaa tapahtuva suihkun asettuminen viiralle ja alkuvedenpoisto ovat tärkeitä sekä vedenpoistokapasiteetin että lopputuotteen laadun kannalta. Suihkun pitäisi iskeytyä viiraan rintapöydän etupuolella. Jos suihku iskeytyy viiraan paljon ennen tätä, tapahtuu vedenpoisto

liian nopeasti ja formaatio huonontuu, kun taas ilma jää loukkuun häiriten rainanmuodostusta, jos huulisuihku iskeytyy viiraan muodostuspöydän päällä. /30, s.224/

Koneen suunnassa rintapöytää voivat seurata vedenpoistokalustuksesta riippuen erilaiset märkäimulaatikot ja foili- eli päästölistalaatikot. Foililaatikot voivat olla imuttomia tai imullisia, jolloin puhutaan tyhjöfoililaatikoista. Tämän lisäksi foileja voidaan käyttää yhtä hyvin myös erillisinä vedenpoistoeliminä, sen sijaan että ne olisivat kiinnitettynä ryhmittäin omiin laatikoihinsa. /3, s.138/

Foililla eli päästölistalla tarkoitetaan viiran alle sovitettua paikallaan pysyvää kaavinta, joka muodostaa viiran kanssa pienen päästökulman ( $0-3^\circ$ ). Juuri tämä kulma aiheuttaa veden poistamiseksi tarvittavan imupaineen. Kun päästökulma on tarpeeksi pieni, saavutetaan korkeillakin viiranopeuksilla riittävä imupaine. Kuvassa 20 on esitetty foililistan vedenpoiston yhteydessä muodostuvan viiran tukivoiman syntyminen ja foilin synnyttämän painepulssin muoto. /30, s.225/



Kuva 20. Foilin vedenpoisto ja rataan kohdistama painepulssi viiranopeudella 660 m/min ( $F$  = tukivoima,  $h$  = vesikerroksen paksuus,  $u$  = viiran nopeus,  $\beta$  = foililistan etuseinän kaltevuuskulma) /30, s.224-225/.

Suurin osa foilin alaspäin imemästä vedestä tarrautuu viiran alapuolelle ja kaavautuu pois vasta seuraavan foililistan toimesta. Tällöin viiran mukana kulkeutuva vesikerros törmää päästölistan etuseinään, pyrkien nostamaan listaa tiukemmin viiraa vasten. Näin syntyvän tukivoiman aiheuttaman painepulssin minimoimiseksi, pitäisi listan etuseinämän kaltevuuskulman olla mahdollisimman pieni. /30, s.225/

Useamman foilin asentamisella yhteiseen imulaatikkoon on vedenpoistoa lisäävä vaikutus, koska vettä poistuu tällöin myös listojen välillä. Foilikulman kasvu koneen suunnassa antaa parhaan vedenpoistokapasiteetin ja rainan formaation yhdistelmän. Vedenpoistoon voidaan vaikuttaa myös foililaatikoiden imutasoja muuttamalla. Mitä korkeampi tyhjö on, sitä suurempi on alaspäin suuntautuva imu ja siten sitä suurempi on aktiivisuusaste viiralla. /30, s.225-226/

Vesirajan jälkeen radan sakeutta lisätään korkeaimulaatikoin. Tällöin poistuvan veden kiintoainepitoisuudet ovat huomattavasti alhaisempia kuin vedenpoiston tapahtuessa ennen vesirajaa. Tästä johtuen tasoimulaatikoilla ei kannata käyttää voimakkaita imuja ennen vesirajaa. Lopullinen vedenpoisto tapahtuu imutelalla, joka muodostuu rei'itetystä teräsvaipasta ja sen sisään sijoitetusta paikallaan pysyvistä imulaatikosta. Tyhjötasot vaihtelevat imulaatikoilla 15-40 kPa ja imutelalla 40-80 kPa. /30, s.226, 33/

### 8.2.2 Formeri

Yksipuoliselle vedenpoistolle tyypillistä arkin toispuolisuutta voidaan vähentää lisäämällä tasoviiran päälle yläviirayksikkö, jolloin muodostuu ns. hybridiformeri. Tällaisella viiraosan rakenteella saavutetaan myös tasaisempi hienoainejakauma kuin perinteisellä tasoviiralla.

Rainan saapuessa tasoviiraosalta formerin kitaan, alkaa siitä poistua vettä myös ylöspäin. Vedenpoistoon voidaan vaikuttaa kitatelan asemaa muuttamalla, jolloin siirtyy myös ylä- ja alaviiran kosketuskohta imukengän päällä. Tämän mukaan määräytyy imukengällä tapahtuvan vedenpoiston voimakkuus, mutta telan asema määrää myös vedenpoiston jakautumisen muodostuskengän 1. ja 2. imukammion välillä. Kun telaa nostetaan, painottuu kammioiden vedenpoisto jälkimmäisellä kammiolle ja laskettaessa päinvastoin. Kitatelan aseman vaikutus vedenpoistoon pienenee kuitenkin neliömassan kasvaessa. Kitatelan asemoinnilla säädetäänkin ensisijaisesti yläviirayksikön muodostuskengälle johdettavan rainan paksuus, joka taas määrää muodostuskengän kärkilistan (autoslice) optimiaseman. Formerille saapuvan radan paksuuteen voidaan vaikuttaa sitä edeltävillä tasoviiraosan vedenpoistoelementeillä. /33/



Autoslice muodostuu formerin muodostuskengän ensimmäisestä imukammioista ja sitä edeltävästä kärkिलistasta, joka vuolee veden radan pinnasta kammioon. Kaavauslistan vettä poistava vaikutus on sitä voimakkaampi, mitä lähemmäksi rataa se on asetettu. Jos lista kuitenkin asetetaan liian lähelle rataa, voi osa vedestä jäädä pyörimään sen etupuolelle heikentäen formaatiota. Lisäksi voimakkaan kaavauksen seurauksena raina tiivistyy liian nopeasti, jolloin formerin vedenpoistosta tulee huomattavasti vaikeampaa. Jos taas kitatela on liian alhaalla, on radan suotautuminen imukengällä liian rajua ja flokkien rikkominen vaikeutuu.

Formerin vedenpoistoon voidaan vaikuttaa myös alaviiran puolella olevien listojen kuormituksia vaihtelemalla, jolloin muuttuu yläviiran puolelle liike-energian ja imulaatikoiden alipaineen vaikutuksesta poistuvan veden määrä. Formerin imusuhteilla on todettu olevan suhteellisen pieni merkitys formaation suhteen. Alaviiran puolelle vesi poistuu listojen synnyttämän alipaineen ja osittain maan vetovoiman avulla. Jos formerin ala- tai yläpuolinen vedenpoisto on liian voimakasta, huuhtoutuu hienoaines herkästi rainasta ja liitoslujuus heikkenee.

### 8.2.3 Hienoaineretentio

Hienoaineen pidättäytymiseen kuitukerroksessa voidaan aktiivisesti vaikuttaa lähinnä vedenpoistotapaa tai retentioaineiden annostelua muuttamalla. Varsinkin rajua alkuvedenpoistoa huonontaa retentiota, koska retentoitumista edistävä suotautunut kuitumatto ei ole ehtinyt vielä muodostua. Myös hybridiformereilla käytettävien kuormituslistojen pulseeraavalla vedenpoistolla on retentiota huonontava vaikutus. Mitä suurempia listojen kuormitukset ovat, sitä suurempia ovat myös niiden synnyttämät painepulssit ja tämän seurauksena huuhtoutuu hienoainetta poistuvan veden mukana yhä lisääntyvissä määrin. /33/

### 8.2.4 Hienoaineen paksuussuuntainen jakautuminen

Kuituverkon pintojen korkea hienoainepitoisuus parantaa sileyttä, painettavuutta ja taivutusjäykkyyttä. Tästä seuraa hyvä painojäljen laatu, alhainen pölyävyys ja korkea vastus veden karhentavaa vaikutusta vastaan. Rainanmuodostuksella on suurin vaikutus hienoainejakaumaan, koska hienoaine kulkeutuu poistuvan veden

mukana. Hienoainejakauman muoto riippuu myös massakoostumuksesta. Vaikka korkea hienoainepitoisuus on eduksi pinnoilla, voi liian alhainen keskikerrosten pitoisuus aiheuttaa palstautumisongelmia. Näin saattaa käydä poistettaessa vettä molempiin suuntiin, jolloin myös keskikohdan kuituverkon huopautumisaste saattaa jäädä alhaiseksi. /35, s.97/

#### 8.2.5 Liitossakeus

Taivekartongin paksuussuuntaisiin lujuusominaisuuksiin voidaan vaikuttaa myös kerrosten liitoskuiva-ainepitoisuuksia muuttamalla. Palstautumislujuuden kannalta kerrokset kannattaa liittää toisiinsa mahdollisimman kosteina. Jos liitossakeudet ovat kuitenkin liian alhaisia, saattaa vasta muodostettu kuitumatto rikkoontua ja siten formaatio huonontua. Kartongin kerrosten väliseen liitoslujuuteen voidaan vaikuttaa myös toisiinsa liitettävien kerrosten pintaan sumutettavan veden avulla sen sijaan, että vaikutettaisiin koko kerroksen kuiva-ainetasoon. Tämä on vaikutukseltaan kuitenkin tehottomampi kuin tavallisesti liitospinnoille sumutettava tärkkelys. /30/

Jylkkä /27/ on tutkinut taivekartongin pinta- ja runkokerrosten liitossakeuksien vaikutusta kartongin z-suuntaiseen lujuuteen. Tällöin kerrosten kuiva-ainetasoihin vaikutettiin tasoimulaatikoiden avulla. Hänen mukaan yhteen liitettävien kerrosten kuiva-aineiden tulisi olla lähellä toisiaan, koska Scott Bond-arvot huonontuivat jo prosenttia suuremmilla eroilla. Parhaat tulokset saavutettiin, kun taivekartongin pintakerroksen liitoskuiva-ainepitoisuus oli 11 % ja runkokerroksen 12 %.

Tillin /36/ mukaan taivekartongin pinta- ja selkäkerroksen liitossakeuksien tulisi olla välillä 10-12 % ja runkokerroksen 12-14 %. Jos selkäkerroksen liitossakeus on alle 6 %, huuhtoutuu osa sen sisältämästä hienoaineesta runkokerroksesta poistuvan veden mukana ja kerrosten välinen liitoslujuus heikkenee. Puolestaan jos pintakerroksen liitossakeus on 14 % tai suurempi, on palstautumistasolla taipumus siirtyä kerrosten liitoskohdasta runkokerroksen puolelle.

## KOKEELLINEN OSA

### 9 KOKEELLISEN OSAN TARKOITUS

Taivekartongin keskikerroksessa käytettävästä hylystä on ajoittain pulaa, kun koneen ajettavuus jatkuu hyvänä, eikä hylkyä ole saatavilla muilta tehtailta. Joka tapauksessa hylkyä tarvitaan, koska sen avulla varmistetaan rungon riittävä lujuus. Tästä johtuen hyllyn käytön rinnalle alettiin etsiä muita keinoja, jotta rungon lujuus olisi taattu myös silloin, kun hyllyn annostelu on tavallista vähäisempää.

Koska hyllyn käytöllä tiedettiin olevan myös monia muita vaikutuksia, mutta niitä ei ollut tehtaalla aikaisemmin tutkittu, tehtiin alkuun selvitys hyllyn annostelun merkityksestä kartonkikoneen ajettavuuden ja lopputuotteen laadun kannalta. Kun hylkymassan annostelumuutosten merkitys tunnettiin, voitiin tutkia eri tekijöiden vaikutusta kartongin palstautumislujuuteen ja muihin ominaisuuksiin.

Kokeiden muuttujat voitiin valita melko vapaasti, koska tyypillisesti vedenpoistoa vaikeuttavien ja bulkkia pienentävien muuttujien vaikutus tasoittuisi lisääntyneen hiokkeen käytön seurauksena. Ensimmäisenä selvitettiin mahdollisuus vaikuttaa taivekartongin paksuussuuntaiseen lujuuteen olemassa olevaa massakoostumusta hyödyntäen. Koska hiokemassaseoksen jauhatusta ei olisi pystytty juurikaan muuttamaan, päädyttiin lisäämään hyllyn jauhatusta. Seuraavien koeajojen avulla selvitettiin mäntysellun potentiaali rungon armeerausmassana sekä mahdollisuus tehostaa mäntysellun käyttöä kuivaluvalisäaineiden avulla. Viimeisessä koeajossa tutkittiin runkoviiraosan vedenpoiston vaikutusta hienoaineen jakautumiseen ja pidättäytymiseen.

### 10 INKEROISTEN KARTONKITEHDAS

Teollinen toiminta aloitettiin Inkeröissä jo vuonna 1872 ja vielä tänäkin päivänä tätä perinnettä jatketaan Inkeröiden kartonkitehtaalla. Kartongin valmistuksella ja siihen kytkeytyvillä monilla muilla toiminnoilla on noin 300 ihmisen työllistävä vaikutus. Nykyinen tuotanto on keskitetty sarjassaan neljännelle kartonkikoneelle (KK4) ja tuotannon aloittaneeseen Suomen ensimmäiseen jatkuvatoimiseen kartonkikoneeseen (KK1) voi edelleen tutustua alkuperäisessä ympäristössään.

Kartonkikoneen 4:n on toimittanut Tampella vuonna 1965. Tämän jälkeen konetta on uudistettu useita kertoja, joista viimeisimpänä voidaan mainita vuonna 1990 toteutettu runkoviiraosan modernisointi. Tässä yhteydessä rungon tasoviirarainain muunnettiin hybridiformeriksi asentamalla tasoviiran päälle yläviirayksikkö.

Kartonkikone 4 suunnittelunopeus on 550 m/min, mutta kartongin valmistukselle tyypillisesti nopeus vaihtelee huomattavasti laajan neliömassa-alueen (195-380 g/m<sup>2</sup>) mukaan. Tämän hetkinen koneen hyötyleveys on 4620 mm. /37/

### 10.1 Kartonkilajit ja niiden kuitukoostumus

Inkeröisten kartonkitehtaalla valmistetaan kolmea pintakäsittelyltään toisistaan eroavaa taivekartonkilajia, jotka ovat Tamfold (TF), Tambrite (TB) ja Tamwhite (TW). Pohjakartonki on siis sama lajista riippumatta. TF ja TB päällystetään vain pintapuolelta, kun taas TW päällystetään myös selkäpuolelta. TF- ja TB-lajeilla kartongin tausta pintaliimataan. TF poikkeaa muista lajeista siinä, että sen pinta päällystetään ainoastaan kerran, kun taas TB- ja TW-lajeilla pinta on päällystetty kahdesti. Näiden päälajien lisäksi valmistetaan joitakin alalajeja, jotka poikkeavat hieman päälajeista loppukäyttökohteen tarpeiden mukaan.

Pohjakartonki koostuu kolmesta toisistaan eroavasta kerroksesta. Pintakerrokset ovat ohuita yksistään valkaistuja selluja sisältäviä kerroksia, kun taas paksussa ja bulkkisessa keskikerroksessa käytetään erilaisia mekaanisia massoja ja hylkyä. Pintakerroksessa käytetään lyhytkuituisia koivu- ja eukalyptusselluja (60/40), kun taas selkäkerroksessa koivusellun parina on pitkäkuituinen mäntysellu (65 /35).

Runkomassa koostuu pääasiassa suhteellisen karkeasta painehiokkeesta (330 +/- 20 ml CSF) ja kartongin valmistuksessa syntyvästä hylystä. Kokonaisuudessaan runkomassaan annosteltavan hyllyn osuus vaihtelee tuotantotilanteesta riippuen välillä 27-38 %. Runkomassakoostumusta täydennetään pienellä määrällä selvästi hienompaa painehioketta (150 ml CSF) ja tarvittaessa ostohyllyllä. Tämän lisäksi tehtaalla saatetaan käyttää hyvin pieniä määriä kivihiokeetta.

## 10.2 Massankäsittely

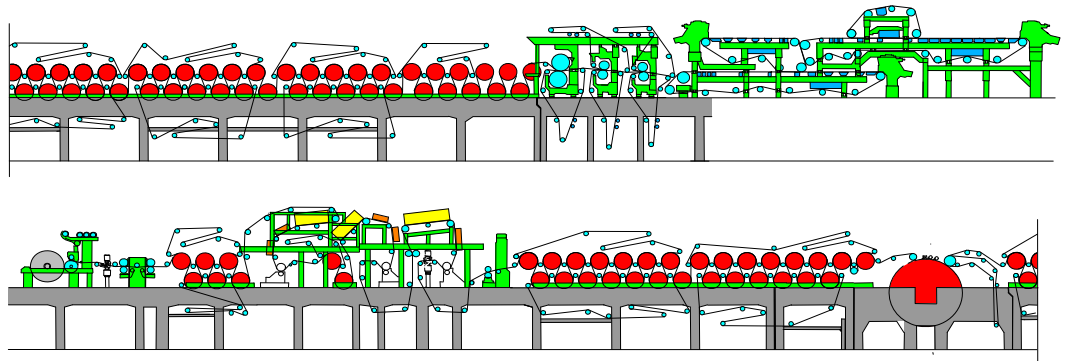
Tätä työtä aloitettaessa kartongin eri kerroksissa käytettävät massat käsiteltiin vielä omilla massankäsittelylinjoillaan, jolloin tiettyyn kerrokseen annosteltavat massat saivat yhtäläisen käsittelyn kuituraaka-aineiden eroista huolimatta. Koska eukalyptussellu haluttiin osaksi pintamassareseptiä ja sen tiedettiin jauhautuvan hieman eri tavalla kuin koivusellun, siirryttiin massojen erillisjauhatukseen. Tämä tarkoitti myös siirtymistä massojen erillishajotukseen. Käytännössä muutos tehtiin niin, että varalla ollut massalinja otettiin jatkuvaan käyttöön ja tehtiin tarvittavat putkisto- ja automaatiomuutokset. Massan hajotuksen kannalta tämä oli helposti toteutettavissa, koska kaikki pulpperit olivat lähes toisiaan vastaavia vertikaalisia pulppereita.

Vaikka pinta- ja selkäkerroksessa käytettävien massojen esijauhatusta tapahtuukin nykyään omilla jauhimillaan, käsitellään näihin kerroksiin annosteltavat massat edelleen yhdessä jälkijauhatuksessa. Runkokerroksen konesäiliöön annosteltavista massoista kartonkitehtaalla käsitellään ainoastaan hylky. Tätä varten tehtaalla on 3 kuidutinta ja 2 levyjauhinta, jotka on kytketty rinnan. Hylkyjauhimissa käytetään karkeaa terämallia, joka sopii hyvin sellua ja hioketta sisältävien hylkymassojen jauhatukseen.

Konesäiliömassat pumpataan suoraan tai trimmijauhimien ja tasauslaatikon kautta viirakaivon pohjaan, jossa massa laimennetaan haluttuun sakeuteen. Viirakaivo on osa lyhyttä kiertoa, joita kartonkikoneella on kaikkiaan kolme; yksi jokaiselle kerrokselle. Lisäksi jokaiselle kerrokselle on omat 0-vesilinjansa.

## 10.3 Kartonkikone 4

Inkeröiden kartonkitehtaalla toimiva taivekartonkikone (Kuva 21) voidaan jakaa pienempiin osiin, jotka ovat viira-, puristin-, kuivatus-, päällystys- ja rullausosat. Näillä osaprosesseilla on omat tehtävänsä ja niitä varten tehdyt laiteratkaisut.



Kuva 21. Inkeröisten kartonkitehtaan kartonkikone 4 /37/.

### 10.3.1 Viira- ja puristinosa

Kartonkikoneella on jokaiselle kerrokselle myös oma perälaatikko ja viiraosa. Perälaatikot ovat reikätelaperälaatikoita. Pinta- ja selkäkerroksella on perinteiset tasoviirarainaimet, kun taas rungolla on hybridirainain. Pinta- ja runkokerroksen viiraosat ovat samassa tasossa selkäviiraosan päällä. Pintakerros ajetaan muista kerroksista eroten vasten koneen ajosuuntaa, jolloin sen pintapuoli huopautetaan vasten runkokerrosta ja viirapuoli muodostaa kartongin pinnan.

Kartonkirata siirretään viiraosalta puristinosalle pick-up-telan avulla. Puristinosa muodostuu 3 suoravientisestä puristinnipistä, joista ensimmäisissä on ylä- ja alahuovat sekä viimeisessä on ainoastaan alahuopa. Ensimmäisen nipin ylätela on sokeaporattu kumipäällysteinen tela ja alatelana toimii imutela. Taas 2. nipissä telat ovat sokeaporattuja ja alimmainen tela on lisäksi taipumakompensoitavissa. Kolmannen nipin muodostaa ns. pitkänippipuristin, jossa telat ovat kooltaan muita suurempia ja pinnaltaan sileitä.

### 10.3.2 Kuivatus- ja päällystysosa

Koneen kuivatusosalla vettä poistetaan kuivatussylintereiden ja jenkkisylinterin avulla, joka parantaa myös kartongin pinnan sileyttä. Kuivatusosalla on kaikkiaan seitsemän kuivatusryhmää, joista neljä ensimmäistä sijoittuvat alkukuivatusosalle sekä 6. ja 7. ryhmä sijoittuvat jälkikuivatusosalle. Väliin jäävän viidennen ryhmän muodostaa jenkkisylinteri. Kuivatusosan kahdella viimeisellä ryhmällä säädetään kartongin loppukosteutta ja suoruutta. Kartonkikoneen kuivatusosaa seuraa 1-nippinen välikalanteri.

Päällystysosalla on 3 teräpäällystysasemaa. Viimeisellä asemalla tehdään lajista riippuen joko taustan päällystys tai pintaliimaus. Päällystysosalla rainan kuivatus tapahtuu infra- ja kuumailmakuivaimilla sekä kuivatussyylintereillä. Sylintereiden avulla vaikutetaan loppukosteuden lisäksi myös kartongin käyristymiseen.

### 10.3.3 Kalanterointi ja rullausosa

Päällystys- ja rullausosan väliin jää Gloss-kalanteri, joka on kahdesta perättäisestä suoravientisestä nipistä muodostuva kiillotuskalanteri. Näistä nipeistä käytetään ainoastaan ensimmäistä. Kalanterin ylätelat ovat öljylämmitteisiä kokilliteloja ja alatelat joustavalla pinnoitteella päällystettyjä taipumakompensoitavia teloja. Koneen päättää rullausosa, jossa kartonkiraina rullataan tambuuritelan ympärille pope-rullaimen avulla.

### 10.4 Jälkikäsittely

Tehtaan jälkikäsittelyosastolla toimii pituusleikkuri, hylsysaha, 4 arkkileikkuria ja uudelleenrullauskone sekä rulla- ja arkkipakkaamot. Kartonkikoneelta valmistuvat konerullat leikataan pituusleikkurilla suoraan asiakasrulliksi tai arkkileikkureille arkitettavaksi. Arkkileikkurit 1-3 leikkaavat pituusleikkurilta valmistuneita rullia, kun taas arkkileikkurilla 4 arkit leikataan suoraan konerullasta. Asiakasrullat ja palletit toimitetaan rulla- ja arkkipakkaamoihin, joista ne lähtevät välivaraston kautta maailmalle.

## 11 Z-SUUNTAISEN LUJUUDEN MITTAUSMENETELMÄT

Kartongin paksuussuuntaista lujuutta mitattiin monin menetelmin, joista suurin painoarvo annettiin z-lujuutta ja Scott Bond-lujuutta mittaaville menetelmille. Z-lujuus määritettiin standardin SCAN-P 80:98 ja Scott Bond-lujuus standardin TAPPI 569 mukaisesti. Näiden mittausten suuri merkitys suoritettujen koeajojen kannalta johtui siitä, että juuri ne antoivat parhaan kuvan runkokerroksen sisäisen lujuuden muutoksista. Koska paksuussuuntaisen lujuuden mittaamiseksi ei ole muutenkaan löydetty yhtä yleisesti hyväksyttyä mittaustapaa, katsottiin parhaaksi tarkastella näiden kahden menetelmän antamia tuloksia rinnan.

Koeajoilla haettiin parannusta myös kerrosten väliseen liitoslujuuteen, joten tässä suhteessa puolustivat paikkaansa pinta- ja selkäkerrosten irrotuslukutestit. Koska irrotuslukukokeelle ei ole omaa standardia, on mittausmenetelmä kuvattu erikseen ensimmäisessä liitteessä. Lisäksi paksuussuuntaisen lujuuden mittausmenetelmät käsiteltiin aikaisemmin omana kokonaisuutenaan. Myös muut työssä käytetyt mittausmenetelmät on esitetty liitteessä I.

## 12 HYLYN OSUUS

### 12.1 Koeajon tarkoitus

Osana tätä tutkimustyötä, selvitettiin aluksi erillisen koeajon avulla hylyn osuuden vaikutus taivekartongin laatuun ja kartonkikoneen toimintaan. Tämän jälkeen keskityttiin etsimään vaihtoehtoja, joilla hylyn osuuden pysyvistä alentumisesta seuraava lujuuden menetys voitaisiin kompensoida.

### 12.2 Koeajon suoritus

Tämä hylyn osuuden vaikutuksien selvittämiseksi järjestetty koeajo keskitettiin Tamprite-lajille ja neliömassalle 290 g/m<sup>2</sup>. Koeajo ajettiin normaalin tuotannon aikana 7.12.2007 klo 9-12. Pankakosken kivihiokkeen annostelu lopetettiin hyvissä ajoin koeajoa edeltäneen vuorokauden aikana, jolloin hylkyjärjestelmässä oli ainoastaan hylkymassaa koeajo aloitettaessa. Hyllyn lisäksi runkomassaan annosteltiin painehioketta, joka koostui Anjalan paperitehtaan H4-hiokkeesta ja sitä hienommasta H3-linjan sanomalehtihiokeesta. Hyllyn osuus nostettiin 41 %:in koeajoa edeltäneen lajinvaihdon aikana. Koepisteet ja niitä vastaavat hylyn ja hiokkeen annostelusuhteet on esitetty taulukossa VIII.

Taulukko VIII Hyllyn ja hiokkeen annostelusuhteet. Runkomassaan annosteltiin hyllyn ja H4-hiokkeen lisäksi H3-hioketta vakiovirtauksella 3 l/s.

Koepiste	Hylky/hiokeisuus, %
1	41/59
2	34/66
3	27/73
4	20/80



Ennen koeajoa hylkyjauhimiin venttiilit käännettiin niin, että kuormitus jakaantui jauhimiin välillä mahdollisimman tasaisesti. Tästä huolehdittiin myös koeajon aikana. Hylkyjauhimiin ohjaus käännettiin tehosäädöltä EOK-säädölle ja hylkylinjan jauhatuksen EOK asetettiin arvoon 42 kWh/t. Tämä jauhatuksen määrä valittiin aikaisempaan vastaavaan tuotantotilanteeseen perustuen.

Hiokkeen sameuden säädössä käytettävän sidokkemikaalin annostelu asetettiin arvoon 500 g/t. Tämä toteutettiin kääntämällä annostelun ohjaus sameussäädöltä suhdessäädölle. Kartonkikoneelta vakioitiin viiraosan hallintasuureet lukuun ottamatta rungon perälaatikkosakeutta, vetoerot, puristimien kuormat ja välikalanterin viivakuorma.

Myös kiiltokalanterin viivakuorma oli tarkoitus vakioda koeajon ajaksi, mutta tämä osoittautui käytännössä mahdottomaksi johtuen kartongin ennakoitua suuremmista paksuusvaihteluista. Kiiltokalanterin kuormat pystyttiin kuitenkin asettamaan halutulle tasolle vähän ennen konerullan valmistumista, jolloin poikkiratanäytteet olivat edelleen keskenään vertailukelpoisia ja toisaalta kartongin paksuustavoitteet saavutettiin myös koeajon aikana. Konerullan pintakerroksia kuormitettiin mahdollisimman kevyellä kuormituksella (4-6 kN/m), kun taas pelkkä profiloitikin olisi vaatinut jo kuorman 10 kN/m. Näin saatiin mahdollisimman selvä kuva keskikerroksen rakenteen vaikutuksesta kartongin sileyteen.

Rungon perälaatikkosakeus laski koeajon aikana, vaikka se oli tarkoitus vakioda yhtenä runkoviiraosan hallintasuureista. Tämä oli seurausta sakeamassavirtauksen pienentymisestä, mutta syytä sille ei tiedetty. Lisäksi kolmannen päällystysaseman ilmakeivain oli sen vikaantumisen vuoksi poissa käytöstä koeajon aikana, mutta tällä ei ollut merkitystä koeajon suorituksen kannalta.

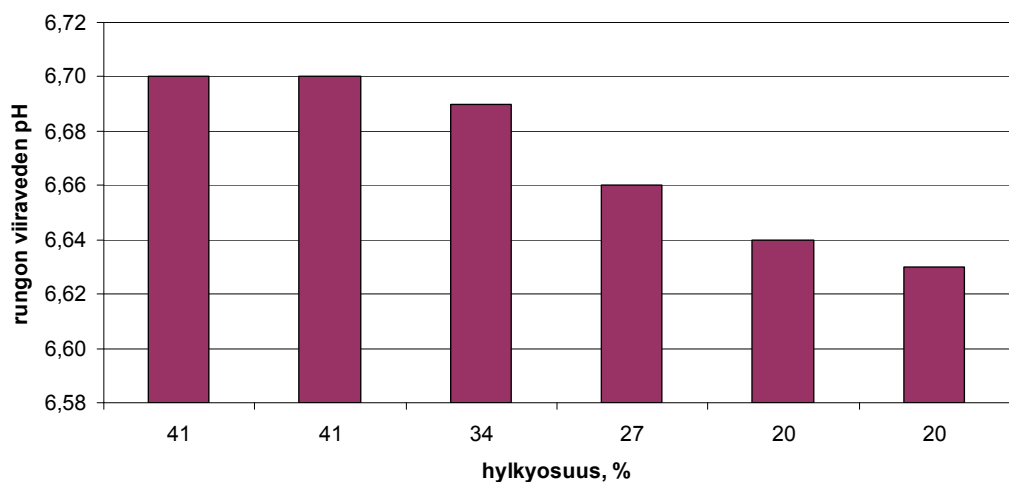
Koeajossa ajettiin kaksi konerullaa 1. ja 4. koepistettä kohti ja yksi konerulla 2. ja 3. koepistettä kohti. Näin huomioitiin mahdollinen koeajoa edeltäneen lajinvaihdon jälkeinen laatuviivaisuus ja saatiin selvyys siitä, oliko rungon konesäiliön viive huomioitu riittävän hyvin. Konerullanäytteistä määritettiin z-lujuus, Scott Bond-lujuus, pinta- ja selkäkerrosten irrotusluvut, bulkki, paksuus,

kone- ja poikkisuuntaiset taivutusjäykkyydet, Bendtsen-sileys, PPS-karheus, vaaleus ja sävyt. Lopuksi eri koepisteitä edustaneet kartonkinäytteet, jotka oli stansattu samasta kohtaa keskeltä poikkiratanäytettä, asetettiin rinnakkain valopöydälle, jossa niitä verrattiin keskenään visuaalisesti.

Poikkiratanäytteiden lisäksi otettiin vesiensuranta koskevat näytteet rungon perälaatikkomassasta ja viiravedestä. Tämän tarkoituksena oli selvittää hyllyn osuuden vaikutus kartonkikoneen määränpään toimintaan. Tässä käytettiin näytteenottotajuutta näyte koepistettä kohti. Näistä näytteistä mitattiin kiintoaine- ja tuhkapitoisuudet, varaus sekä sameus, joista kiintoaine- ja tuhkapitoisuuksien avulla määritettiin perälaatikkomassan ja viiraveden tuhka- ja kokonaisretentiot. Tämän lisäksi seurannassa olivat mukana hiokkeen jauhatuste ja sakeus, mitä varten myös massanäytteitä kerättiin yksi koepistettä kohti.

### 12.3 Koeajon tulokset ja niiden tarkastelu

Koeajon aikana ei esiintynyt hyllyn annostelun muutoksista johtuneita prosessiongelmia. Ainoastaan rungon viiraveden pH laski hieman hyllyn osuuden pienentämisen seurauksena, kuten kuvassa 22 on esitetty. Näin pienellä muutoksella ei kuitenkaan ole vaikutusta kartongin valmistusprosessin toimintaan. Myöskään kartongin leikkauspölyn määrä ei lisääntynyt, kuten alun perin epäiltiin. Koeajon ajo-olosuhteet on esitetty liitteessä II ja tulokset liitteessä III.

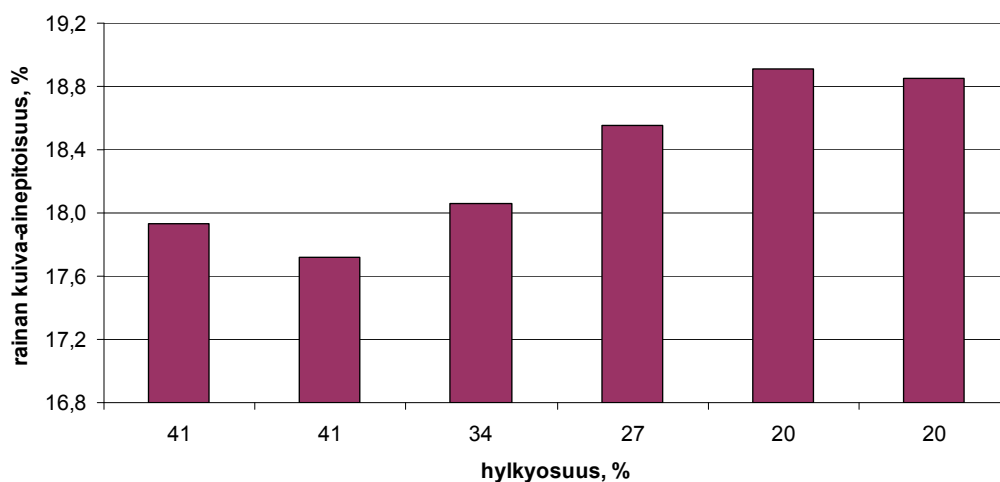


Kuva 22. Hyllyn annostelun vaikutus rungon viiraveden pH-arvoon.

### *Vedenpoisto ja höyrynkulutus*

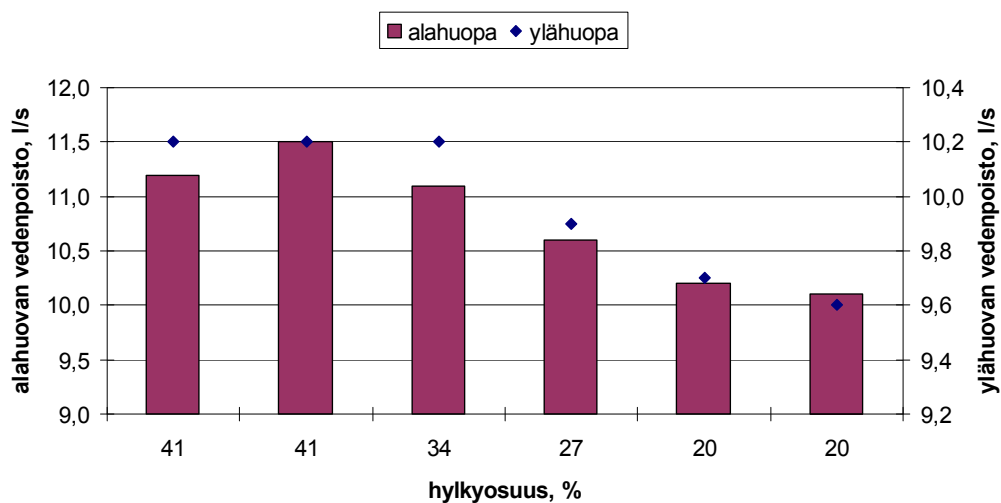
Kartonkirainan kuiva-ainepitoisuus nousi selvästi hylyn määrän vähentyessä, kuten kuvasta 23 voidaan nähdä. Tämä viittaa siihen, että kartonkikoneen viiraosan vedenpoisto olisi helpottunut koeajon aikana. Näin varmasti olikin, koska hylyn osuus korvattiin pienemmän vedenpoistovastuksen omaavalla hiokkeella.

Toisaalta hiokkeen jauhatuste oli tavoitetasoonsa nähden korkealla läpi koeajon, mikä luultavasti vaikeutti vedenpoistoa ja siten lisäsi myös höyrynkulutusta. Lisäksi laimean kuitusulpun mukana runkoviiraosalle tulleen veden määrä nousi kohti koeajon loppua, koska rungon perälaatikkosakeus laski koeajon kuluessa. Tämä saattoi tasoittaa hylyn annostelumuutoksien vaikutusta rainan sakeuteen, joka mitattiin kartonkikoneen viiraosan päättävän selkäviiraosan imutelan ja viimeisen tasoimulaatikon välissä sijaitsevan NDC-mittausanturin avulla.



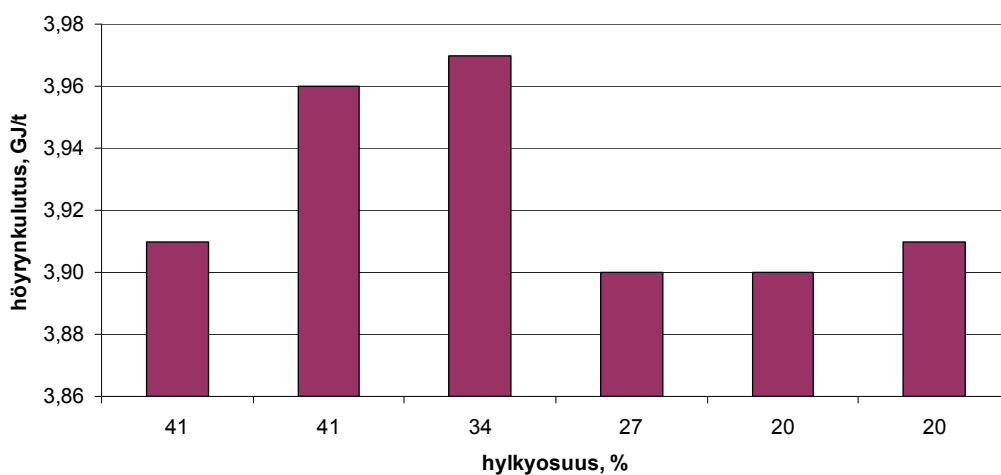
Kuva 23. Hyllyn annostelun vaikutus kartonkirainan kuiva-ainepitoisuuteen. Hyllyn °SR oli 48 ja hiokkeen 39.

Yllä tehtyä päätelmää viiraosan vedenpoiston helpottumisesta tukee myös se, että kartonkikoneen ensimmäisen puristimen ylä- ja alahuovilta poistui sitä vähemmän vettä, mitä alhaisempi hyllyn osuus oli (Kuva 24). Hyllyn annosteluosuuden lasku tavanomaisesta 34 prosentista 20 prosenttiin nosti radan kuiva-ainepitoisuutta noin 0,8 prosenttiyksiköllä. Vastaavalla muutoksella 1. puristimelta poistettavan veden tarve vähentyi puolesta yhteen litraa.



Kuva 24. Hyllyn annostelun vaikutus kartonkikoneen ensimmäisen puristimen vedenpoistoon. Hyllyn °SR oli 48 ja hiokkeen 39.

Hyllyn annostelumuutoksien ja kartonkikoneen höyrynkulutuksen välillä ei ollut selvää trendiä (Kuva 25). Tämä oli hieman outoa, sillä kartonkikoneen alkupään vedenpoiston ja hyllyn annostelun välinen yhteys oli hyvinkin selvä. Koska myös viira- ja puristinosan vedenpoistotuloksien välillä oli selvä vastaavuus, eivät höyrynkulutuksen muutokset selittyneet puristinosan vedenpoiston muutoksilla koeajon aikana.



Kuva 25. Hyllyn annostelun vaikutus kartonkikoneen höyrynkulutukseen. Hyllyn °SR oli 48 ja hiokkeen 39.

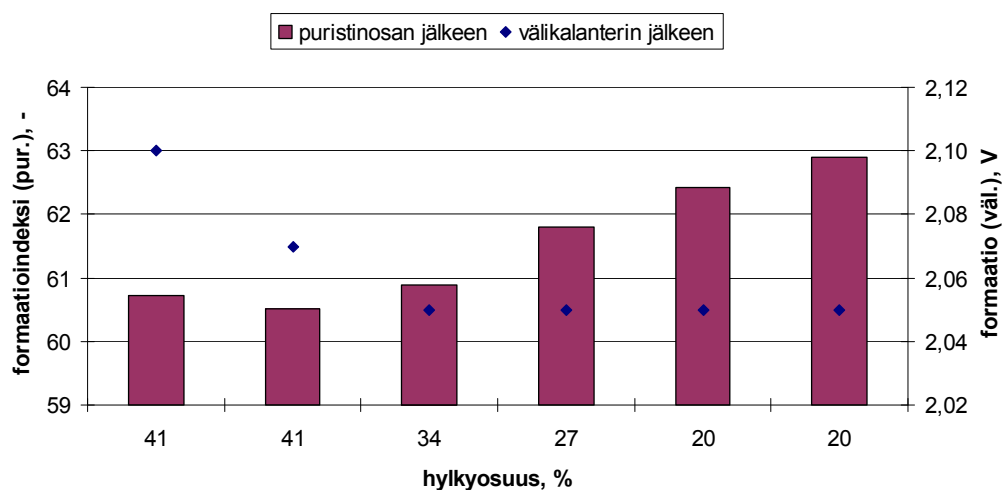
Joka tapauksessa höyrynkulutus oli koeajon ensimmäisen puoliskon aikana korkeammalla tasolla kuin jälkimmäisellä puoliskolla, mikä kuvaa edellä tehtyjen havaintojen tavoin vedenpoiston helpottumista koeajon aikana. Tästä poikkesi

kuitenkin ensimmäisen pisteen arvo, mikä saattoi johtua siitä, ettei koneen toiminta olisi ehtinyt tasaantua koeajoa edeltäneen lajinvaihdon jälkeen. Kun rungon konesäiliöön annosteltavan hylyn osuus muuttui 34 prosentista 20 prosenttiin, laski höyrynkulutus 0,07 GJ/t.

### *Formaatio*

Taivekartongin formaatio huonontui hieman tarkasteltaessa kartonkikoneen puristinosan jälkeisiä mittaustuloksia, kun taas välikalanterin jälkeen saadut arvot eivät poikenneet toisistaan juuri ollenkaan (Kuva 26). Välikalanterin jälkeiset mittaustulokset olivat jonkin verran parempia ainoastaan silloin, kun hylyn osuus oli 41 %. Välikalanterin jälkeen mitattuja arvoja luetaan niin, että formaatio on sitä parempi, mitä suurempia lukemat ovat.

Koska rungon perälaatikkosakeus laski koeajon aikana, olisi formaation pitänyt teorian mukaan kuitenkin parantua, eikä huonontua. Formaation heikentyminen olisi voinut johtua viiraosan vedenpoiston vaikeutumisesta, mutta päinvastoin vedenpoisto helpottui. Tämän vuoksi formaatiovaihteluiden voitiin nähdä johtuneen runkomassan ominaisuuksien muutoksista, kun hylyn annostelua muutettiin.



Kuva 26. Hylyn annostelun vaikutus taivekartongin formaatioon. Hylyn °SR oli 48 ja hiokkeen 39.

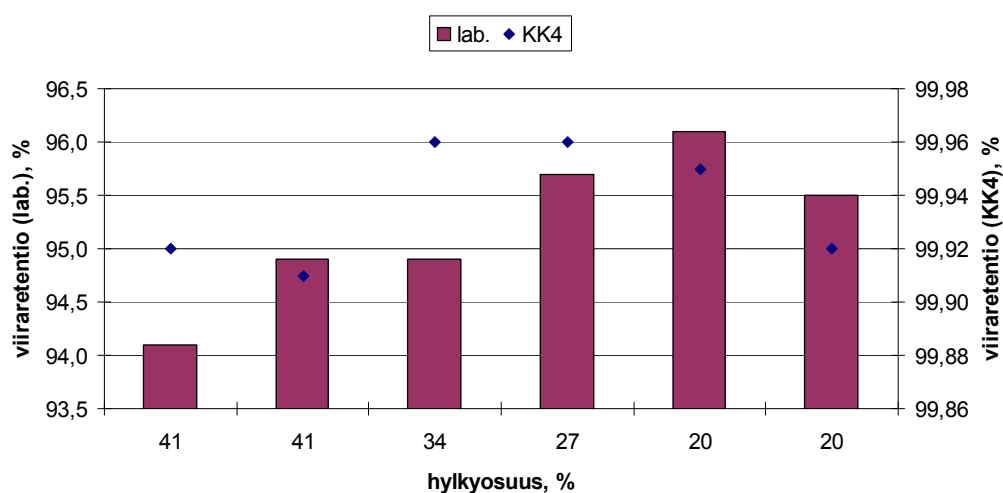
Hylyn positiivinen vaikutus kartongin formaatioon perustuu siihen, että sillä on hioketta hienojakoisempaa massana enemmän formaation eduksi toimivia

keskikuitupituudeltaan lyhyempiä kuituja ja hienoainesta. Myös hylky sisältää taivekartongin kuitukoostumuksesta seuraten suuren määrän hioketta, mutta paperitehtaan putkihiokkeesta poiketen se on jauhettu samalla tavoin kuin hyllyn muutkin massakomponentit.

### 12.3.1 Perälaatikkomassa- ja viiravesinäytteet

#### *Retentio ja viiraveden laatu*

Hylyn annostelulla ei ollut selvää vaikutusta rungon perälaatikkomassa- ja viiravesinäytteistä mitattuihin varaustilaan tai sameuteen. Tästä huolimatta runkoviiraosan retentio parantui koeajon aikana, muttei kuitenkaan kovin merkittävästi (Kuva 27).



Kuva 27. Hylyn annostelun vaikutus kartonkikoneen runkoviiraosan retentioon. Hylyn °SR oli 48 ja hiokkeen 39.

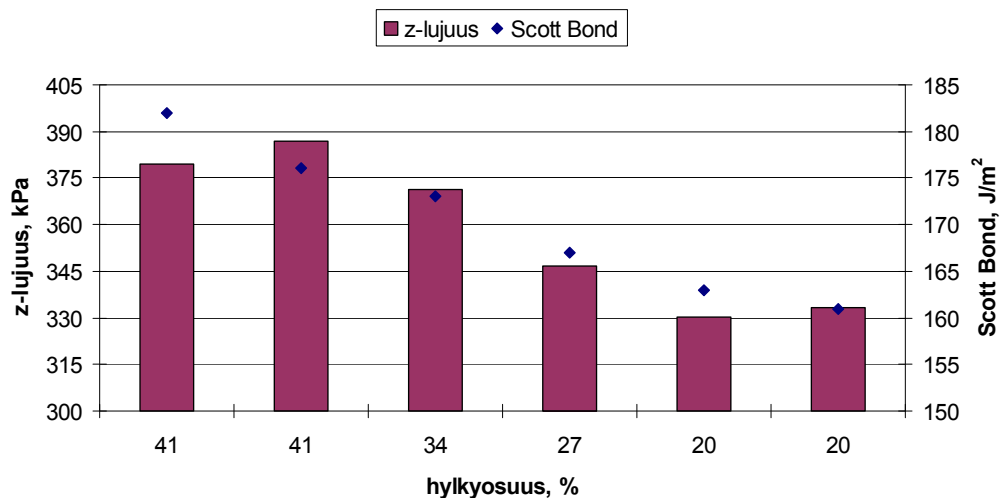
Varsinkin kartonkikoneen omien mittausten mukaan rungon retentiossa tapahtuneet muutokset olivat hyvin marginaalisia ja retentio pysyi koko koeajon ajan lähes 100 %:n tasolla. Laboratoriomittausten mukainen retention hienoinen parantuminen johtui heikosti pidättäytyvien hieno- ja täyteaineiden määrän vähentymisestä, kun runkomassaan annosteltavan hyllyn osuutta pienennettiin. Tämä olisi voinut näkyä myös viiraveden sameuden vähentymisenä, mutta todennäköisesti muutoksia näkyisi vasta pidemmän ajan kuluessa. Siten myös runsaasta hyllyn käytöstä seuraavat saostumat ovat pidemmällä aikavälillä esiintyviä ongelmia.

### 12.3.2 Kartonkinäytteet

#### *Z-suuntainen lujuus*

Taivekartongin z-suuntainen lujuus heikentyi pienennettäessä runkomassan joukkoon annosteltavan hylkymassan osuutta (Kuva 28), mikä oli odotettavissa myös aikaisempien kokemusten ja teorian perusteella. Todennäköisesti hyllyn annostelun vaikutus kuitenkin korostui tuloksissa, koska samanaikaisesti laski myös rungon perälaatikkosakeus.

Joka tapauksessa z-lujuus oli lähellä tavoitearvoaan vielä hylkyosuudella 27 %, joten sitä voidaan pitää z-lujuuden kannalta kriittisenä rajana. Tässä tulee kuitenkin huomioida, että lopullinen raja määräytyy hyllyn ja hiokkeen jauhatusteiden mukaan. Tällä kertaa hiokkeen °SR-luvut olivat korkealla läpi koeajon, mikä todennäköisesti nosti hieman lujuustasoa.



Kuva 28. Hyllyn annostelun vaikutus taivekartongin z-suuntaiseen lujuuteen. Hyllyn °SR oli 48 ja hiokkeen 39.

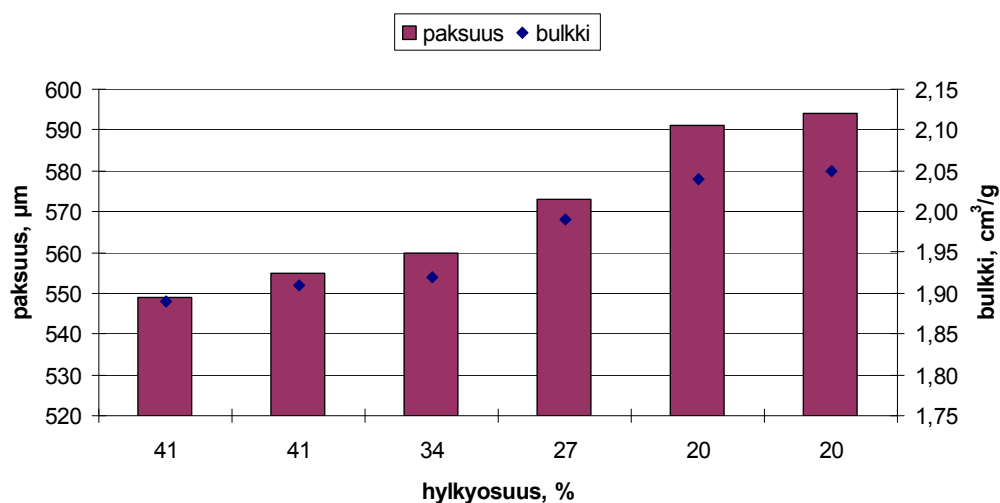
Kaikki Scott Bond-arvot olivat selvästi yli tavoitteensa ja niiden trendi oli samalla tavoin laskeva kuin z-lujuuksien kohdalla. Suurimmalla hylkyosuudella arvot olivat jo niille asetetun ylärajan tuntumassa. Jos palstautumislujuudet olisivat vielä suurempia, saattaisi siitä seurata ongelmia kartonkia nuutattaessa.

Taas taivekartongin pinta- ja selkakerroksien irrotuslukuihin hyllyn osuudella ei ollut vaikutusta, joten hyllyn annostelumuutokset eivät vaikuttaneet myöskään saavutettuihin liitoslujuuksiin.

#### *Paksuus, bulkki ja taivutusjäykkyys*

Taivekartongin bulkki lisääntyi korvattaessa hyllyn osuutta sitä karkeammalla ja siten bulkkisemmalla hiokemassalla, minkä seurauksena kasvoi myös kartongin paksuus (Kuva 29).

Hylkyosuudella 41 % kartongin paksuus oli niin alhainen, ettei kartonkia käytännössä voitu kuormittaa kiiltokalanterilla, kun taas hylkyosuudella 20 % kartonkia jouduttiin kuormittamaan tavallistakin voimakkaammin. Joka tapauksessa kiiltokalanterin kuorma vakioitiin tultaessa konerullan pintaan, joten vaihtelut olivat seurausta hyllyn annostelumuutoksista ja tulokset ovat siten keskenään täysin vertailukelpoisia.

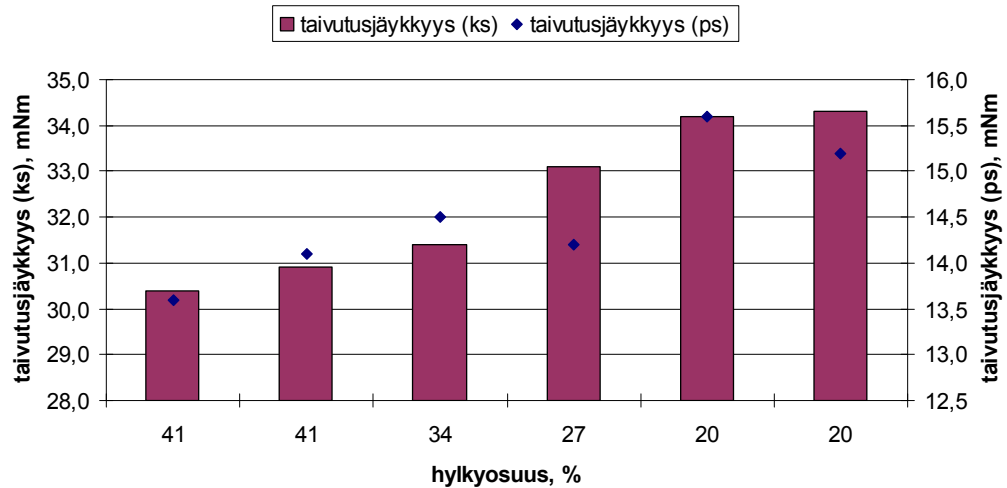


Kuva 29. Hyllyn annostelun vaikutus taivekartongin paksuuteen ja bulkkiin. Hyllyn °SR oli 48 ja hiokkeen 39.

Paksuus nousi yli ylärajan, kun hylkyosuus laskettiin 27 %:in. Koska kartongin kuormitus oli kuitenkin hyvin vähäistä, voi kartongin paksuus tällöinkin olla vielä hallittavissa, toisin kuin pienimmällä hylkyosuudella. Toki kartongin paksuuteen voidaan vaikuttaa myös neliömassaa muuttamalla.



Taivekartongin taivutusjäykkyys lisääntyi teorian mukaisesti kartongin paksuuden kasvaessa (Kuva 30). Koska kartonkia ei ajettu vakiopaksuuteen, ei näistä tuloksista voi kuitenkaan suoraan päätellä hyllyn määrän vaikutusta kartongin taivutusjäykkyyteen.

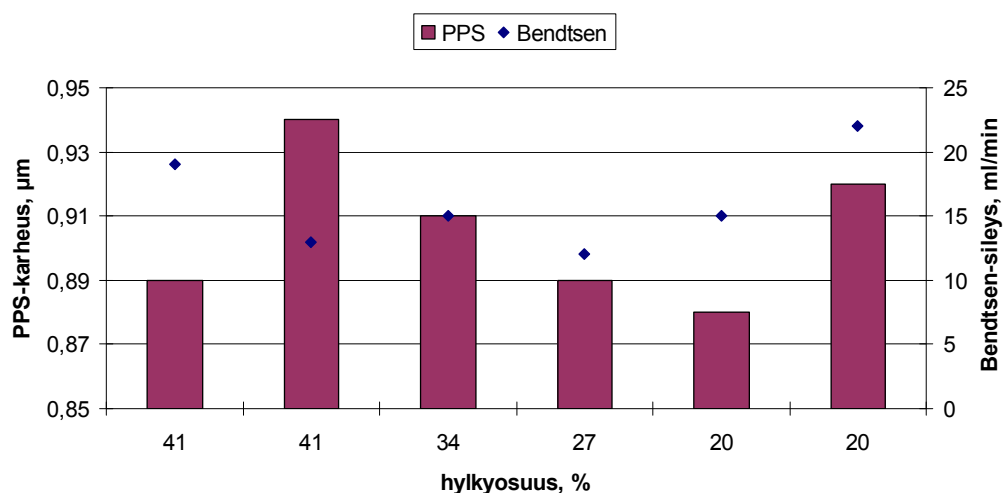


Kuva 30. Hyllyn annostelun vaikutus kartongin kone- ja poikkisuuntaiseen taivutusjäykkyyteen. Hyllyn °SR oli 48 ja hiokkeen 39.

Kokonaisuudessaan jäykkyydet olivat yli tavoitearvojen ja konesuuntainen arvo asettui ylärajalle, kun hylkyosuus oli 27 %. Vastaavasti poikkisuuntainen arvo ylitti sille asetetun ylärajan, kun hyllyn osuus laskettiin 20 %:in. Täten konesuuntaista taivutusjäykkyyttä voidaan pitää poikkisuuntaista jäykkyyttä kriittisempänä hyllyn annostelumuutoksille. Päätelmää tukee myös se, että kartongin konesuuntaisen taivutusjäykkyyden ja paksuuden välinen korrelaatio oli voimakkaampi kuin poikkisuuntaisen taivutusjäykkyyden ja paksuuden välillä (Liite III).

### *Sileyks*

Taivekartongin pinnan karheus vähentyi hyllyn osuuden pienentyessä (Kuva 31), toisin kuin edellä esitetyt formaatiotulokset antoivat odottaa. Taas kartongin sileyteen hyllyn annostelumuutoksilla ei ollut selvää vaikutusta. Kaiken kaikkiaan nämä arvot olivat hyvällä tasolla.



Kuva 31. Hylyn annostelun vaikutus taivekartongin pinnan sileyteen. Hylyn °SR oli 48 ja hiokkeen 39.

#### 12.4 Johtopäätökset

Kuten tämä koeajo osoitti, on runkomassaan annosteltavan hylyn osuutta mahdollista laskea, jos löydetään keino säilyttää taivekartongin palstautumislujuus riittävällä tasolla. Jos tähän päästään, voidaan korkeammasta hiokeosuudesta seuraten saavuttaa samanaikaisesti korkeampi bulkki ja paksuus ja siten myös taivutusjäykkyys, mikäli halutun lujuustason vaatimat muutokset eivät niitä vuorostaan laske. Palstautumislujuuden lisäksi hylyn osuuden pienentäminen huononsi hieman runkokerroksen formaatiota.

Kun runkomassaan annosteltavan hylyn osuus korvataan hiokkeella, kuten tässä koeajossa, voidaan z-lujuuden suhteen kriittisenä rajana pitää hylkyosuutta 27 %. Scott-Bond-lujuus ei ole hylyn osuuden suhteen kriittinen ominaisuus, jos se ei nouse nuutattavuutta rajoittavaksi tekijäksi.

Koska hylyn annosteluosuuden pienentäminen helpotti vedenpoistoa, voitaisiin rungon lujuutta lisätä hylyn jauhatuksen määrää lisäämällä tai korvaamalla osa hylystä pienellä määrällä pitkälle jauhettua mäntysellua. Vastaavasti vedenpoiston helpottuminen antaa tilaa kuivalujalisäaineiden käytölle, jotka saattavat hidastaa vedenpoistumista.

Taas hylyn käytön vähentämisen seurauksena parantunut runkoviiraosan retentio voisi mahdollistaa retentioaineiden käytön vähentämisen. Tämän seurauksena

laskisi järjestelmän kationinen kuorma, mikä vuorostaan mahdollistaisi kuivalujalisäaineiden käytön lisäämisen tai parantaisi käytössä olevan annoksen retentiota. Toisaalta retentioaineilla on myös vedenpoistoa parantava vaikutus, mitä ei sovi unohtaa retentioaineiden käyttöön liittyviä muutoksia harkittaessa.

## 13 HYLYN JAUHATUS

### 13.1 Koeajon tarkoitus

Tämän koeajon avulla selvitettiin, miten hyllyn jauhatuksella voidaan vaikuttaa taivekartongin z-suuntaisiin lujuusominaisuuksiin ja mitkä sen mahdolliset muut vaikutukset ovat. Jauhatuksen odotettiin vaikuttavan negatiivisesti ainakin vedenpoistoon ja bulkkiin, joten etenkin näiden tekijöiden asettamat rajat olivat erityisen kiinnostuksen kohteina.

### 13.2 Koeajon suoritus

Edellisestä koeajosta poiketen rungon koesäiliöön annosteltavan hyllyn osuus vakioitiin 20 %:in ja tästä seuraava lujuuden menetys pyrittiin kompensoimaan hyllyn jauhatuksen määrää lisäämällä (Taulukko IX). Koeajo ajettiin 11.1.2008 klo 13.45-19.35.

Taulukko IX Hyllyn jauhatuksen määrä.

Koepiste	Hyllyn EOK, kWh/t
1	40
2	70
3	100
4	130

Hylkyjauhimien ohjaus alkoi olla ongelmallista, kun jauhatuksen määrä nostettiin 100 kWh/t. Tällöin oltiin vielä selvästi hylkyjauhimille asetettujen tehoylärajojen alapuolella, eikä hyllyn sakeudessakaan tapahtunut ratkaisevia muutoksia. Täten ongelmat saattoivat johtua jauhimien syötön pienistäkin epätasaisuuksista, koska virtaukset jauhimien läpi olivat hylkyosuudella 20 % jo lähellä alarajaansa. Joka tapauksessa tilanne pystyttiin hallitsemaan, kun siirryttiin paikallisohjaukseen. Kiiltokalanterin kuormitus oli koeajon aikana luokkaa 25 kN/m.

Hylyn jauhatusta seurattiin massanäytteiden avulla, joita otettiin ennen ja jälkeen jauhatusta. Molemmista näytteenottopisteistä kerättiin 2 näytettä koepistettä kohti. Näistä näytteistä määritettiin hylyn sakeus, pH, jauhatusaste ja kuidunpituus. Tämän lisäksi jauhetusta ja jauhamattomasta hylkymassasta valmistettiin käsiarkit, joista määritettiin paksuus, bulkki, lujuusominaisuudet, vaaleus, opasiteetti ja huokoisuus.

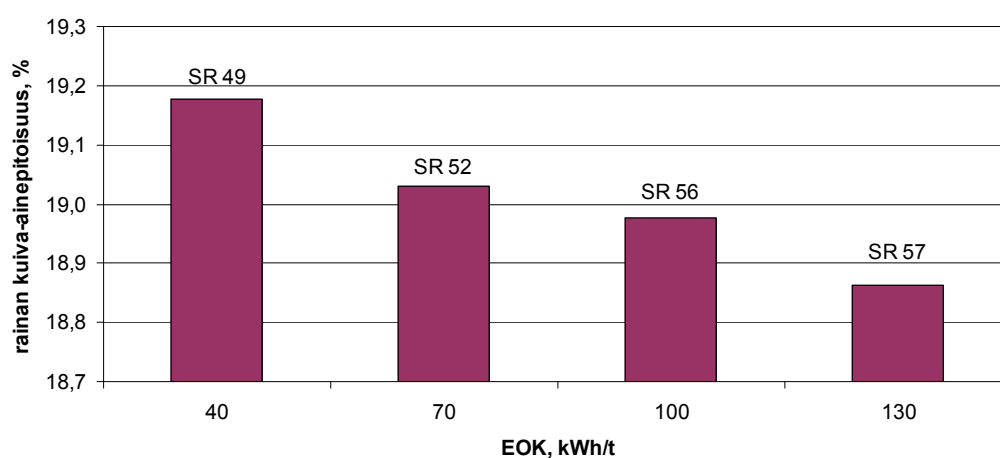
Jokaista koepistettä kohti ajettiin 3 konerullaa, joista otettiin poikkiratanäytteet. Näistä määritettiin paksuus, bulkki, lujuusominaisuudet, sileys, vaaleus ja sävyt. Tämän lisäksi poikkiratanäytteille tehtiin visuaalinen tarkastelu.

### 13.3 Koeajon tulokset ja niiden tarkastelu

Rungon sakeamassan sakeus oli koeajon ensimmäisellä puoliskolla hieman alhaisemmalla tasolla kuin koeajon loppupuolella. Myös hiokkeen freeness nousi jonkin verran koeajon kuluessa. Muutokset olivat kuitenkin niin pieniä, ettei niillä ollut merkitystä lopputuotteen laadun tai kartonkikoneen toiminnan kannalta. Koeajon ajo-olosuhteet on esitetty liitteessä IV ja tulokset liitteessä V.

#### *Vedenpoisto ja höyrynkulutus*

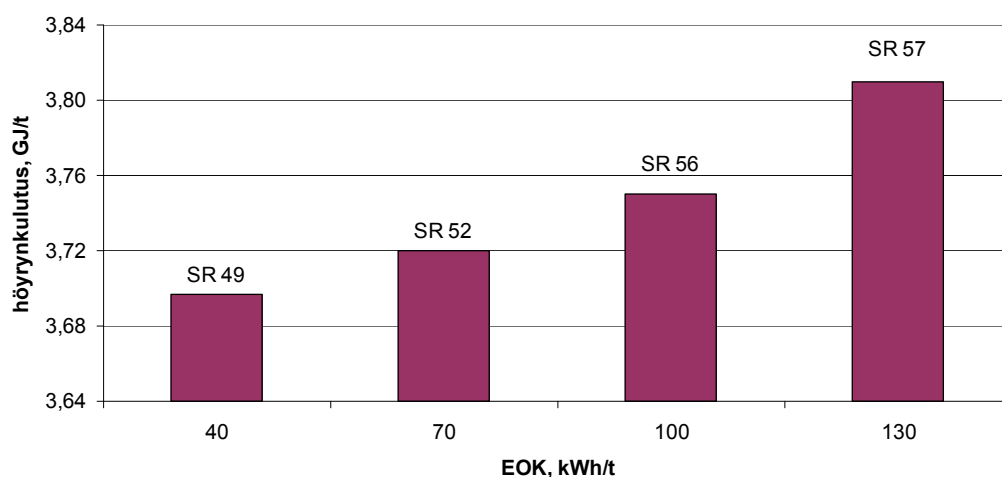
Hylyn jauhatuksen muutokset eivät näkyneet 1. puristimelta poistetun veden määrässä, mutta sillä oli selvä vaikutus viiraosan vedenpoistoon (Kuva 32).



Kuva 32. Hylyn jauhatuksen vaikutus kartonkirainan kuiva-ainepitoisuuteen, kun hylyn osuus oli 20 %. Runkomassan °SR oli 38-40.

Viiraosan vedenpoisto vaikeutui, koska hyllyn ja siten myös runkomassan vedenpoistovastus kasvoi hyllyn jauhatuksen vaikutuksesta. Huomattavin muutos rainan sakeudessa tapahtui, kun hyllyn jauhatuksen määrä nostettiin 70 kWh/t. Kun mittaustuloksia verrattiin Hyllyn osuus-koeajon tuloksiin, huomattiin että hyllyn annostelumuutoksilla oli huomattavasti suurempi vaikutus viiraosalta puristinosalle siirrettävän rainan kosteuteen kuin tämän koeajon yhteydessä tehdyillä hyllyn jauhatuksen muutoksilla.

Hyllyn kokonaisjauhatusergian nousu näkyi selvästi myös kartonkikoneen höyrynkulutuksen lisääntymisenä (Kuva 33). Edelliseen koeajoon nähden kulutus oli kuitenkin varsin maltillista, koska silloin höyrynkulutus oli pienimmilläänkin 3,90 GJ/t. Voimakkaimmin höyryenergian tarve lisääntyi, kun hyllyn jauhatuksen määrä nostettiin 130 kWh/t. Tällöin höyryenergiankulutus lisääntyi 0,06 GJ/t ja koko koeajon aikana muutos oli 0,11 GJ/t. Koska hyllyn osuuden pienentäminen 34 prosentista 20 prosenttiin vähensi höyrynkulutusta 0,07 GJ/t, voitaisiin hyllyn jauhatuksen määrä nostaa 100 kWh/t ja oltaisiin edelleen tyypillistä ajotilannetta (hyllyn osuus 34 % ja °SR 48) alhaisemmalla tasolla.



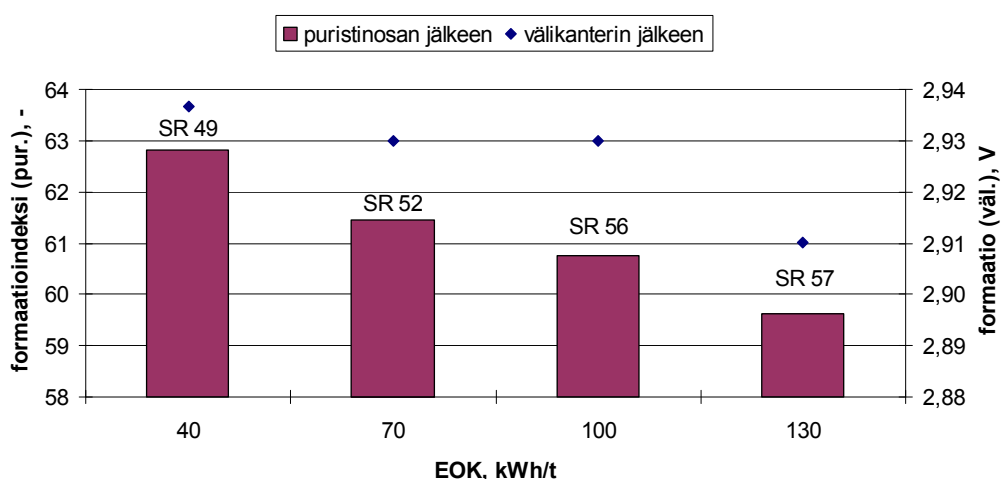
Kuva 33. Hyllyn jauhatuksen vaikutus kartonkikoneen höyrynkulutukseen, kun hyllyn osuus oli 20 %. Runkomassan °SR oli 38-40.

#### *Formaatio*

Kuvassa 34 on esitetty hyllyn jauhatuksen vaikutus taivekartongin formaatioon. Tästä huomattiin, että kartonkikoneen eri kohdista saadut mittaustulokset olivat

keskenään täysin ristiriitaisia. Puristinosan jälkeen tehtyjä mittauksia voitaneen kuitenkin pitää totuuden mukaisempina, koska teorian mukaan kuidunpituus lyhenee voimakkaan jauhatuksen vaikutuksesta ja siten myös formaation pitäisi parantua. Tätä päätelmää tukee myös formaation ja hylyn kuidunpituuden välinen korrelaatio, joka oli kiistaton juuri puristimen jälkeen suoritettujen mittausten kohdalla (Liite V). Lisäksi kartongin pohjan arvioitiin olleen huonoa pienimmällä EOK-tasolla ja ongelma poistui, kun hylyn jauhatuksen määrää lisättiin.

Taivekartongin pinnan sileyden arvot eivät kertoneet kuituverkon rakenteen muutoksista, koska ne eivät muuttuneet koeajon aikana. Tämä saattoi johtua kartongin tavallista voimakkaammasta kuormituksesta kiiltokalanterilla, mikä tasoitti runkokerroksen rakenteesta kartongin pintaan mahdollisesti heijastuneita epätasaisuuksia. Tietysti tähän vaikutti osaltaan myös kartongin päällystys.



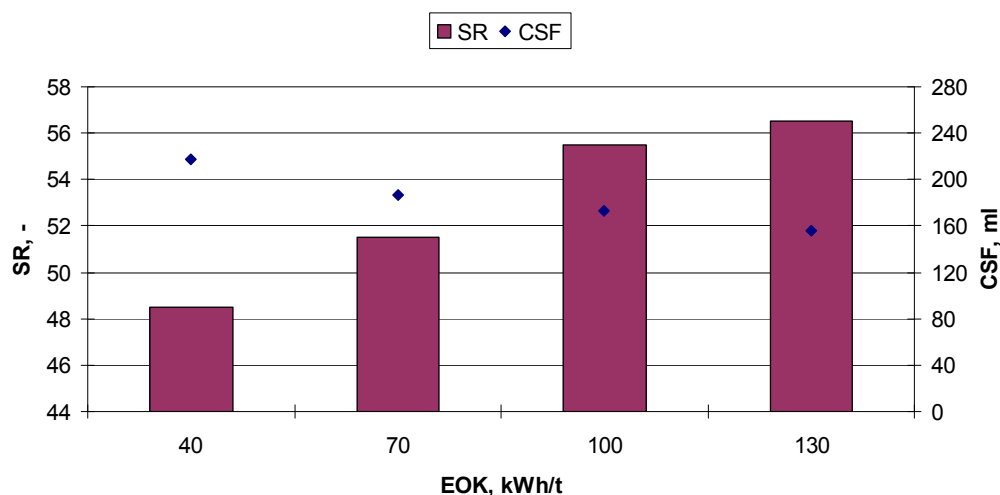
Kuva 34. Hylyn jauhatuksen vaikutus taivekartongin formaatioon, kun hylyn osuus oli 20 %. Runkomassan °SR oli 38-40.

Kun tuloksia verrattiin edellisestä koeajosta saatuihin arvoihin, huomattiin puristinosan jälkeen mitattujen arvojen olleen samalla alueella kuin aikaisemminkin, kun taas välikalanterin jälkeen mitatut arvot olivat selvästi paremmalla tasolla. Tämä viittaa siihen, että puristinosan ja välikalanterin välillä olisi tapahtunut jotakin ratkaisevaa, mutta todennäköisempi syy saattaisi olla mittaustason muuttuminen koeajojen välillä.

Lisäksi kahden ensimmäisen koeajon tulosten keskinäinen vertailu osoitti, että alhaisemmasta hylyn osuudesta seurannut formaation menetys voidaan kompensoida hylyn jauhatuksen määrää lisäämällä. Kun hylyn jauhatuksen määrä nostettiin 100 kWh/t, oltiin samassa tasossa kuin normaalissa ajotilanteessa (hylyn osuus 34 % ja °SR 48) ja viimeisen koepisteen aikana formaatio oli jopa hieman parempi.

### 13.3.1 Hylkymassanäytteet ja laboratorioarkit

Kuvassa 35 on esitetty hylyn jauhatusasteen kehittyminen jauhatuksen määrän lisääntyessä. Hyllyn jauhatusaste nousi koeajon edetessä, kuten samaa massavirtausta kohti käytetyn jauhatusenergian lisääntymisen seurauksena saattoi olettaakin. Hyllyn jauhatuksen EOK-arvolla 40 kWh/t saavutettu jauhatusaste vastasi normaalitilannetta ja tästä jauhatusastetta voitiin nostaa vielä jonkin verran. Sekä °SR- että freeness-arvoilla oli hyvä korrelaatio kuidunpituuden kanssa (Liite V).

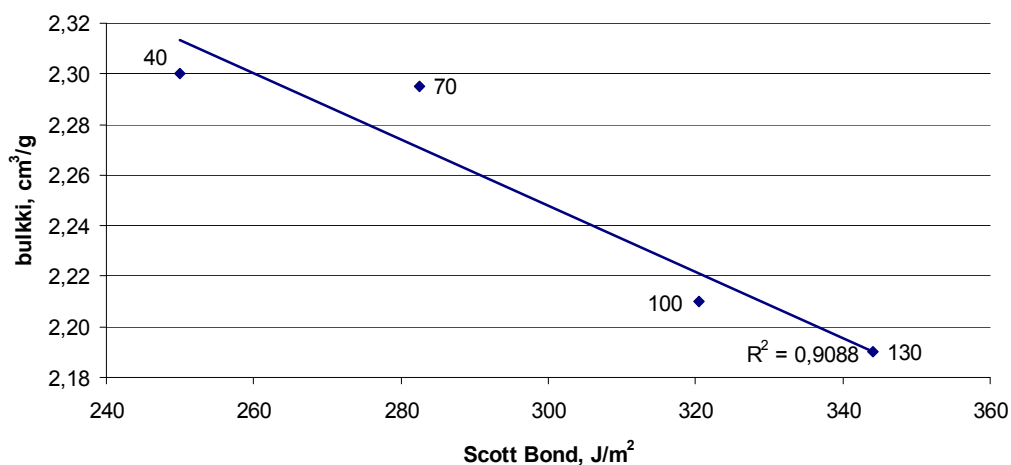
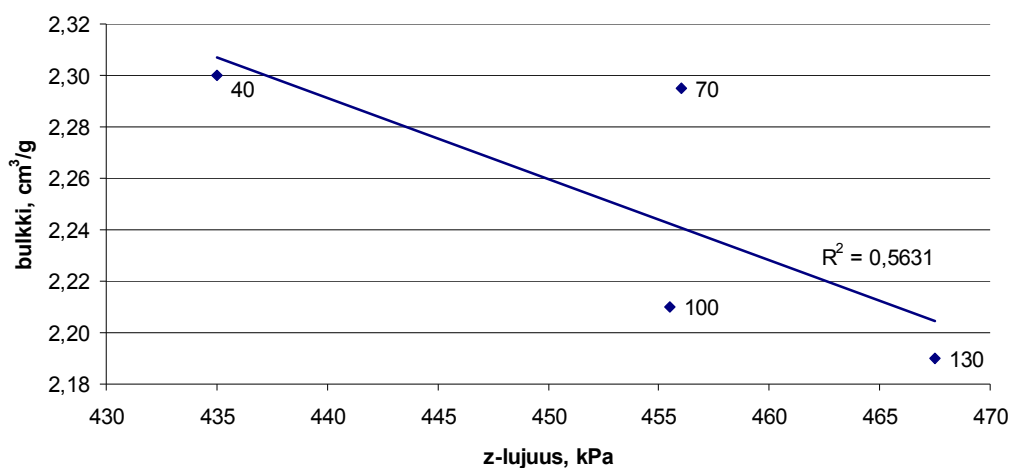


Kuva 35. Hyllyn jauhatuksen määrän vaikutus jauhatusasteeseen.

#### *Bulkki ja z-suuntainen lujuus*

Kuvassa 36 on esitetty hylkymassasta valmistettujen laboratorioarkkien bulkin ja z-suuntaisen lujuuden välinen korrelaatio, kun hylyn jauhatuksen määrää muutettiin. Hyllyn paksuussuuntainen lujuus lisääntyi jauhatuksen vaikutuksesta, kuten kirjallisuudessakin on esitetty. Bulkki- z-lujuusominaisuusparin suhteen

edullisin tilanne saavutettiin, kun hyllyn jauhatuksen kokonaismäärä oli 70 kWh/t. Tällöin bulkki ei oikeastaan edes laskenut vielä ja paksuussuuntainen lujuus kehittyi jo merkittävästi. Toisaalta jauhatuksen määrää pitäisi lisätä huomattavasti, jos z-lujuutta haluttaisiin tästä nostaa ja sekin tapahtuisi bulkin kustannuksella.



Kuva 36. Hylkymassa-arkkien bulkin ja paksuussuuntaisen lujuuden välinen korrelaatio, kun hyllyn jauhatuksen määrää muutettiin. Pisteiden otsikot kertovat hyllyn jauhatuksen määrän [kWh/t]. Hyllyn °SR oli 49-57.

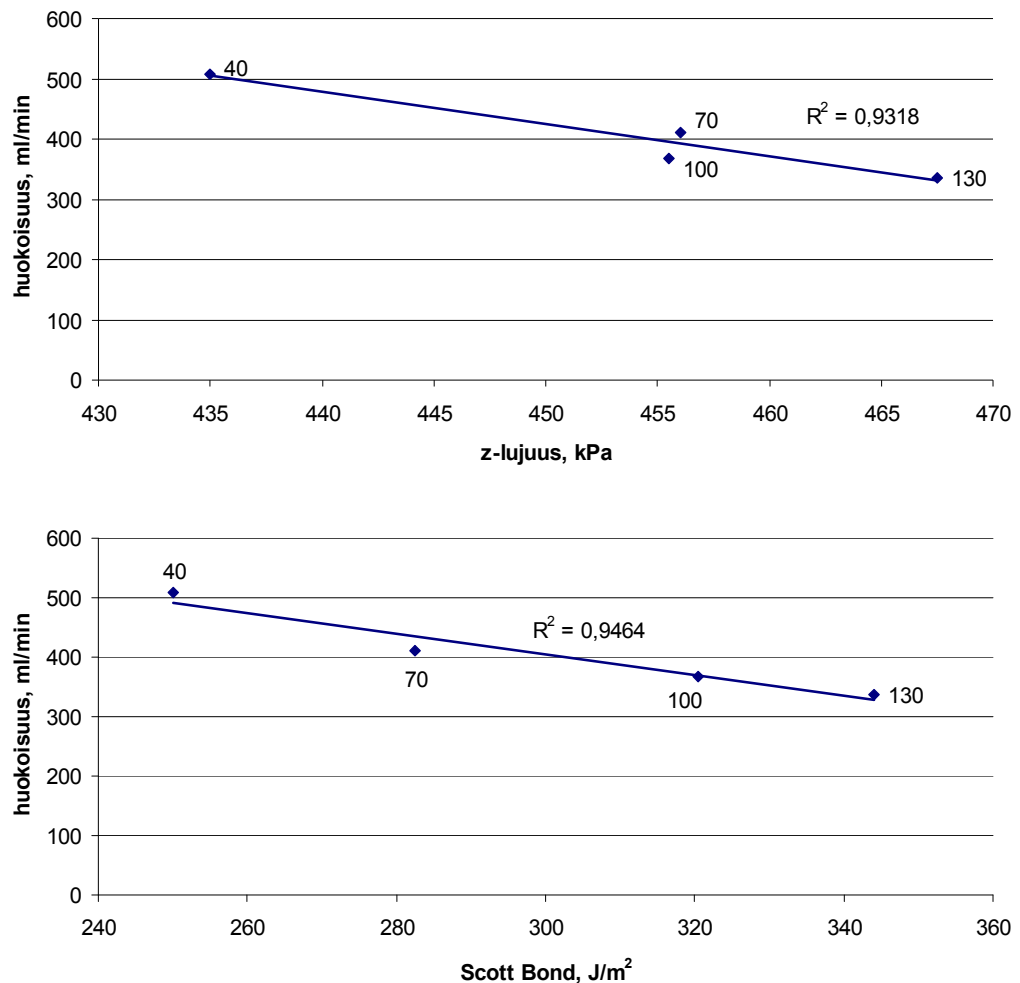
Scott Bond-arvojen perusteella hyllyn z-suuntaisen lujuuden kehittyminen oli huomattavasti tasaisempaa kuin z-lujuuksien kohdalla. Koska bulkki kuitenkin laskee jyrkästi jauhatuksen määrän ylitettyä arvon 70 kWh/t, ei jauhatuksen kokonaisenergian kulutusta voida tästä enää juurikaan nostaa. Suhteellisesti tarkasteltuna hyllyn jauhatuksella oli huomattavasti suurempi vaikutus Scott Bond-



lujuuteen kuin z-lujuuteen. Kun hyllyn jauhatuksen määrä nostettiin 70 kWh/t, lisääntyi Scott Bond-lujuus 13 % ja z-lujuus 5 %.

### *Huokoisuus ja z-suuntainen lujuus*

Vastaavasti kuten edellä, on seuraavassa kuvassa 37 esitetty paksuussuuntaisen lujuuden kehittyminen rinnan huokoisuuden kanssa.



Kuva 37. Hylkymassa-arkkien huokoisuuden ja z-suuntaisen lujuuden välinen korrelaatio, kun hyllyn jauhatuksen määrää muutettiin. Pisteiden otsikot kertovat hyllyn jauhatuksen määrän [kWh/t]. Hyllyn °SR oli 49-57.

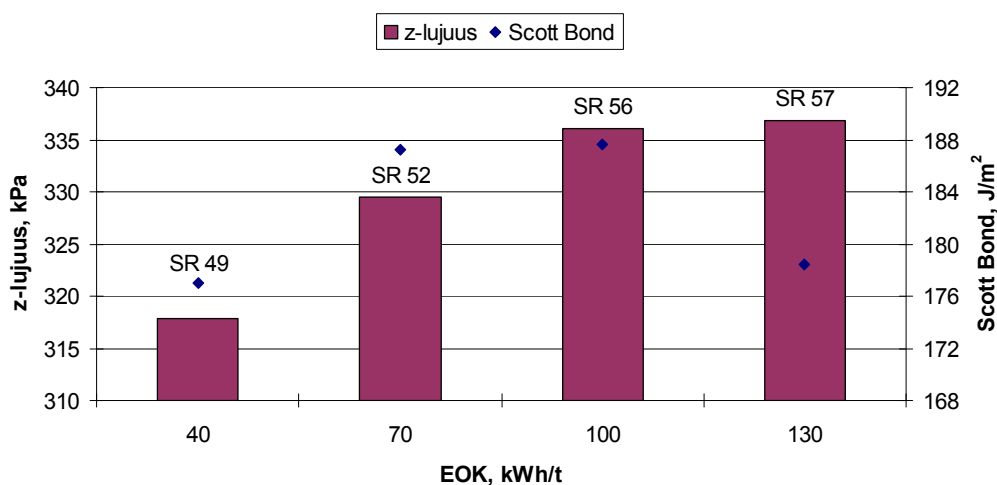
Myös hyllyn jauhatuksen vaikutus huokoisuuteen on tärkeää tuntea, koska se vaikuttaa runkokerroksen vedenpoistoon. Huokoisuus laskee jauhatuksen määrän lisääntyessä ja tämä nähtiin aikaisemmin myös lisääntyneenä höyrynkulutuksena.

Toisin kuin bulkin tapauksessa, tapahtui huomattavin huokoisuuden lasku jo ensimmäisen muutoksen yhteydessä, kun hyllyn jauhatuksen määrä nostettiin 70 kWh/t. Tällöin laboratorioarkin huokoisuus laski 19 %, mikä oli seurausta hyllyn keskikuitupituuden lyhentymisestä.

### 13.3.2 Kartonkinäytteet

#### *Z-suuntainen lujuus*

Taivekartongin paksuussuuntainen lujuus lisääntyi selvästi hyllyn jauhatuksen vaikutuksesta (Kuva 38), mikä oli odotettavissa myös edellä esitettyjen laboratorioarkeista saatujen mittaustulosten perusteella. Hyllyn jauhatuksen vaikutus ei ollut kuitenkaan korkeammillakaan EOK-tasoilla niin merkittävä, että se olisi riittänyt palauttamaan z-lujuuden tavoitetasolleen. Tämä tarkoittaa sitä, ettei kartongin z-lujuuteen voida vaikuttaa yksistään hyllyn jauhatusta muuttamalla samassa laajuudessa kuin hyllyn annostelumuutoksilla.



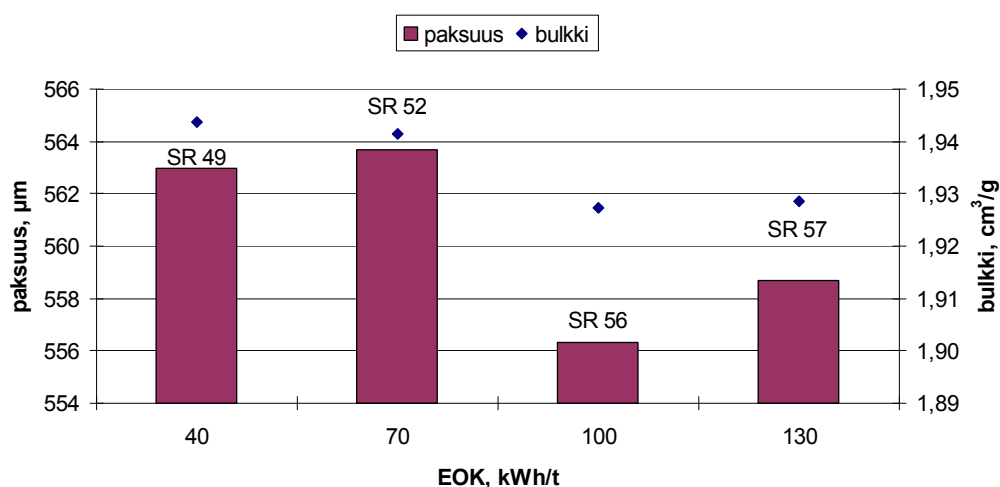
Kuva 38. Hyllyn jauhatuksen vaikutus taivekartongin z-suuntaiseen lujuuteen, kun hyllyn osuus oli 20 %. Runkomassan °SR oli 38-40.

Scott Bond-arvot olivat yli niille asetetun ylärajan tai hyvin lähellä sitä. Kun hyllyn jauhatuksen määrä nostettiin 70 kWh/t, lisääntyi Scott Bond-lujuus 6 % ja z-lujuus 3 %. Muutokset eivät olleet yhtä selviä kuin puhtaasti hylkymassasta valmistettujen käsiarkkien kohdalla, koska runkomassaan annostellun hyllyn määrä oli suhteellisen pieni hiokkeen määrään nähden.

Hylyn jauhatuksen vaikutus pinta- ja runkokerrosten väliseen liitoslujuuteen jäi epäselväksi, eikä se vaikuttanut selkäpuoleltakaan mitattuihin irrotuslukuihin.

#### *Paksuus, bulkki ja taivutusjäykkyys*

Myös kuvassa 39 esitetyt tulokset noudattelivat hyvin edellä kuvattuja arkkituloksia, vaikka hylyn jauhatuksen muutokset näkyivätkin huomattavasti selvemmin käsiarkeissa.

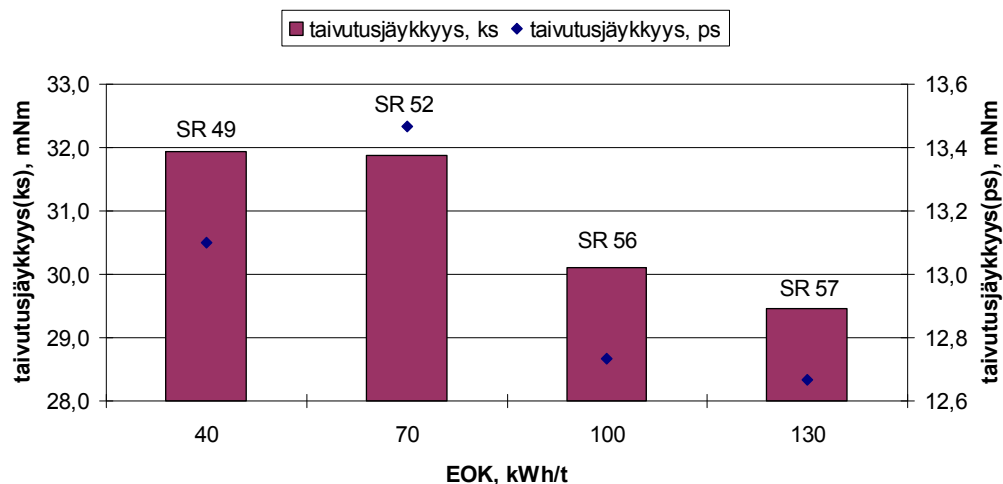


Kuva 39. Hylyn jauhatuksen vaikutus taivekartongin paksuuteen ja bulkkiin, kun hylyn osuus oli 20 %. Runkomassan °SR oli 38-40.

Koska rungon konesäiliöön annosteltavan hylyn osuus oli ainoastaan 20 %, oli hylkyä jauhettava huomattavasti tavallista voimakkaammin, jotta päästiin edes lähelle kartongille asetettua paksuustavoitetta. Kiiltokalanterin kuorma pidettiin normaalia korkeammalla läpi koeajon, joten senkään avulla ei voitaisi kartongin puristusta lisätä. Paksuudelle asetettua ylärajaa arvot eivät kuitenkaan ylittäneet. Myös kartongin bulkki oli korkeasta hiokeosuudesta johtuen ylärajallaan tai sen yläpuolella.

Kartongin taivutusjäykkyys muuttui jälleen paksuusvaihteluiden mukaisesti, koska kartonkia ei ajettu vakio paksuuteen (Kuva 40). Hylyn jauhatus ei vaikuttanut kuitenkaan paksuuteen tai jäykkyyteen yhtä voimakkaasti kuin hylyn annostelumuutokset. Konesuuntainen taivutusjäykkyys painui alle tavoitteensa, kun siirryttiin viimeiseen koepisteeseen. Samanaikaisesti myös poikkisuuntainen

jäykkyys laski alarajalle, eikä yksikään poikkisuuntainen arvo yltänyt niille asetettuun tavoitteeseen.



Kuva 40. Hylyn jauhatuksen vaikutus taivekartongin taivutusjäykkyyteen, kun hylyn osuus oli 20 %. Runkomassan °SR oli 38-40.

#### 13.4 Johtopäätökset

Kun runkomassaan annosteltavan hylyn osuus laskettiin 20 %:in, laski taivekartongin z-lujuus niin voimakkaasti, ettei sitä pystytty palauttamaan tavoitetasoonsa hylyn jauhatuksen määrää lisäämällä. Tämä voisi kuitenkin onnistua, joko hylkyä kierrättämällä tai lisäämällä hylyn jauhatuskapasiteettia. Taas hylyn annosteluosuuden pienentämisen seurauksena menetetty formaatio saavutettiin jälleen, kun hylyn jauhatuksen määrä nostettiin 100 kWh/t. Toisaalta kartongin paksuus säilyi hylyn jauhatuksen määrän lisääntymisestä huolimatta niin korkealla, ettei paksuustavoitteen saavuttaminen tai paksuusprofilointi ollut enää käytännössä mahdollista.

Koska lähtökohtana oli niinkin alhainen hylyn osuus kuin 20 %, tulisi mahdollinen hylyn jauhatuskapasiteetin nosto toteuttaa niin, että lisäkapasiteetti kytkettäisiin sarjaan olemassa olevien jauhimien kanssa. Tämä olisi välttämätöntä siitä johtuen, ettei muuten saavutettaisi riittävää virtausta jauhimien läpi. Jauhatuskapasiteetin lisääminen antaisi paremmat edellytykset hylyn lujuusominaisuuksien kehittymiselle kuin tämän hetkinen jauhatusjärjestelmä, sillä jauhatusenergia jakautuisi tasaisemmin jauhatuksen läpivirtausta kohti,

eivätkä kuituihin kohdistuvat iskut olisi niin voimakkaita kuin yksivaiheisessa jauhatuksessa.

Tyypillisessä tuotantotilanteessa, jolloin hyllyn käyttökin on huomattavasti runsaampaa, kannattaa hyllyn jauhatuksen määrä pitää tasossa 70 kWh/t, sen sijaan että se laskettaisiin lähemmäksi 40 kWh/t. Tällöin saavutetaan selvä etu kartongin paksuussuuntaisen lujuuden suhteen, muttei menetetä runkokerrokselle tärkeää bulkkia. Eri hylkymäärille voisikin olla oma EOK-ohje, jolloin haluttu lujuustaso saavutettaisiin hyllyn annostelusta riippumatta.

Taas normaalia selvästi alhaisemmalla hylkyosuudella z-lujuuden ja bulkin välinen yhtälö voisi toteutua pitkälle jauhetun mäntysellun avulla, joka antaisi runkokerrokselle lisää lujuutta ja vähentäisi tarpeettoman suureksi kasvanutta bulkkia. Samanaikaisesti vaikeutuisi kuitenkin vedenpoisto ja lisääntyisi höyrynkulutus, joten näiden tekijöiden suhteen pienemmällä hyllyn osuudella saavutettu etu saatettaisiin menettää. Osa tästä edusta menetettiin jo hyllyn jauhatuksen määrää lisättäessä.

## 14 MÄNTYSELLUN JAUHATUS JA ANNOSTELU

### 14.1 Koeajon tarkoitus

Yhtenä keinona lisätä taivekartongin paksuussuuntaista lujuutta nähtiin pitkälle jauhetun mäntysellun käyttö runkokerroksessa. Tämän koeajon tarkoitus olikin selvittää mäntysellun potentiaali keskikerroksen lujuuden lisääjänä. Lisäksi haluttiin selvittää, että voidaanko mäntysellun käyttöä tehostaa tärkkelyksen avulla. Ainakin teorian mukaan paras tulos saavutetaan annostelemalla tärkkelys nimenomaan pitkäkuituisen massan joukkoon.

Koeajon toteuttaminen oli perusteltua myös siksi, että alhaisempi hylkyosuus helpottaa vedenpoistoa ja antaa siten mahdollisuuden lisätä runkomassan joukkoon hyvinkin pitkälle jauhettua massaa. Jauhatushan tyypillisesti lisää massojen suotautumismvastusta. Taas modifioidun tärkkelyksen käytöllä ei pitäisi olla aikaisempien kokemusten perusteella haitallisia vaikutuksia vedenpoistoon. Käytettäessä perinteisempää massatärkkelystä tilanne voisi kuitenkin olla toinen

ja tästä johtuen sitä annostellaan tavallisesti rungon konesäiliöön ainoastaan ASA-liiman kanssa.

#### 14.2 Koeajon suoritus

Tämän 7.-8.2.2008 järjestetyn koeajon suunnittelussa käytettiin pohjana Hylyn jauhatus-koeajon suunnitelmaa. Koska tehtaalla oli siirrytty ennen koeajoa sellujen erillisjauhatukseen, palattiin massan käsittelyn osalta sitä varten tehtyjä muutoksia edeltäneeseen tilanteeseen. Tämä mahdollisti aikaisemmin varalla olleen massalinjan vapauttamisen koeajoa varten ja koeajossa käytetyn mäntysellun valmistamisen sen avulla. Sellua kierrätettiin sekoitussäiliöstä ja jauhimesta muodostuvassa suljetussa kierrossa, kunnes saavutettiin haluttu jauhatusaste ja voitiin aloittaa annostelu. Hylyn jauhatuksen määräksi asetettiin 74 kWh/t, jolloin sen °SR oli 52. Hiokkeen freeness oli 292-306 ml CSF.

Mäntysellu jauhautui alussa tavoiteltua (°SR 38) huomattavasti pidemmälle (°SR 51), koska sen annostelua ei aloitettu riittävän ajoissa. Kun tieto jauhatusasteen noususta saatiin, laskettiin jauhimen tehoa liiankin voimakkaasti. Tämän seurauksena jauhatusaste laski vuorostaan selvästi tavoitearvon alapuolelle ja pysyi tällä alhaisella tasolla (°SR 29), vaikka jauhimen teho nostettiin 200 kW asti. Tästä johtuen mäntysellun annostelu lopetettiin ennen viimeistä pistettä ja sitä kierrätettiin suljetussa kierrossa, kunnes jauhatusaste oli noussut halutulle tasolle (°SR 50).

Mäntyselluerän valmistuksen yhteydessä käytettiin aluksi kierrätysvirtausta 45 l/s, mutta se laskettiin vähän ajan kuluttua - kuristamalla kierrätyslinjan käsiventtiiliä - 33 l/s ja koeajon loppupuolella 30 l/s. Tähän liittyvä operointi oli suoritettava paikanpäällä, koska jauhetun massan kierrätysvirtauksen mittausasteikko oli rajoitettu prosessinohjausjärjestelmässä 20 l/s. Virtausta tiputettiin, koska mäntysellun jauhatusaste olisi noussut muuten aivan liian hitaasti. Muutoksien jälkeenkin mäntysellun °SR-luvun nostamiseen arvosta 15 arvoon 38 kului aikaa kaksi tuntia, vaikka mäntysellua kierrätettiin suljetusti.

Mäntysellun pH oli tavallista korkeammalla ainakin viimeisen koepisteen kohdalla. Tämä johtui siitä, että pH-säätö annosteli lipeää maksimiannoksella jo toisen pisteen aikana, koska pH-mittaus antoi todella alhaisia lukemia. Ongelman perimmäinen syy selvisi vasta kuukausia myöhemmin, kun huomattiin että pH-anturin huuhteluvetenä käytettävän tiivisteveden pH oli aivan liian alhainen. Tästä johtuen mittaus vaati huuhtelun jälkeen pitkän palautumisajan, eikä säätökään voinut silloin toimia halutulla tavalla. Taas tiivisteveden alhainen pH oli seurausta samaan aikaan meneillään olleesta biosidikoeajossa käytetystä klooridioksidista.

Myös hiomolla oli ongelmia lajittimen kanssa, jolloin H3-linjan annostelu oli poissa käytöstä lähes parin tunnin ajan. Kaiken tämän lisäksi koeajossa ei onnistuttu kuivalujalisäaineiden annostelussa ja tähän on annettu selvitys vasta seuraavan koeajon käsittelyn yhteydessä. Lukuisista ongelmista johtuen tähän käsittelyyn kerättiin ainoastaan seuraavaksi taulukossa X esitetyt pisteet.

Taulukko X Runkomassaan annostellun mäntysellun osuus ja jauhatusaste.

Koepiste	Mäntysellun osuus, %	Mäntysellun °SR, -
1	0	-
2	6	29
3	4	29
4	4	45

Jokaista koepistettä kohti ajettiin 2 tai tarvittaessa 3 konerullaa, joista kerättiin poikkiratanäytteet. Mäntysellunäytteitä otettiin 3 kappaletta ennen ja jälkeen jauhatusta niin, että saatiin näyte kolmesta eri jauhatustasosta. Sekä kartonki- että massanäytteistä tehtiin vastaavat määrytykset kuin edellisen koeajon yhteydessä. Tämän lisäksi mäntysellun jauhatusta seurattiin erillisten massanäytteiden avulla, joista määritettiin jauhatusaste ja sakeus.

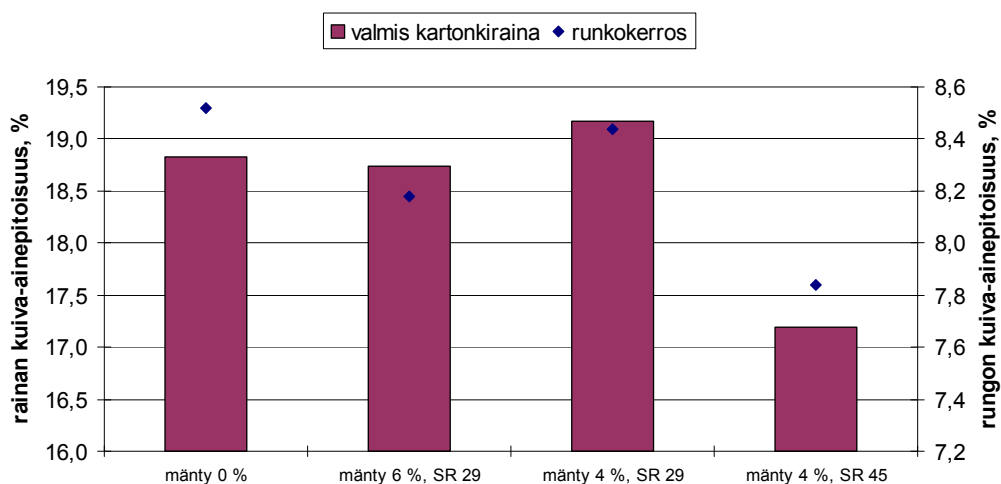
### 14.3 Koeajon tulokset ja niiden tarkastelu

Edellä mainituista syistä johtuen supistui käsittelyssä mukana olevien poikkiratanäytteidenkin määrää niin, että vain 1. ja 3. koepisteen kohdalla esitettävät tulokset ovat kahden peräkkäisen konerullan arvoista laskettuja keskiarvoja. Tästä alkuperäisestä suunnitelmasta poiketen, valittiin muista pisteistä mukaan ainoastaan yhtä tiettyä konerullaa edustaneet arvot.

Koeajon aikana tapahtuneet hiokkeen jauhatustason muutokset olivat niin pieniä, ettei niitä katsottu tarpeen huomioida tuloksia tarkasteltaessa. Sitä vastoin ensimmäisen pisteen rungon perälaatikkosakeus oli alhaisemmalla tasolla kuin muissa pisteissä, mikä saattoi osaltaan vaikuttaa tuloksiin. Koeajon ajo-olosuhteet on esitetty liitteessä VI ja tulokset liitteessä VII.

#### *Vedenpoisto ja höyrynkulutus*

Kuvasta 41 nähdään, kuinka mäntysellun annostelu ja jauhatus vaikuttivat kartonkikoneen viiraosan vedenpoistoon. Ensimmäisestä pisteestä mitatut kuiva-ainepitoisuudet olisivat luultavasti olleet suurempiakin, jos runkoperän sakeus olisi ollut samassa tasossa kuin muissa pisteissä.



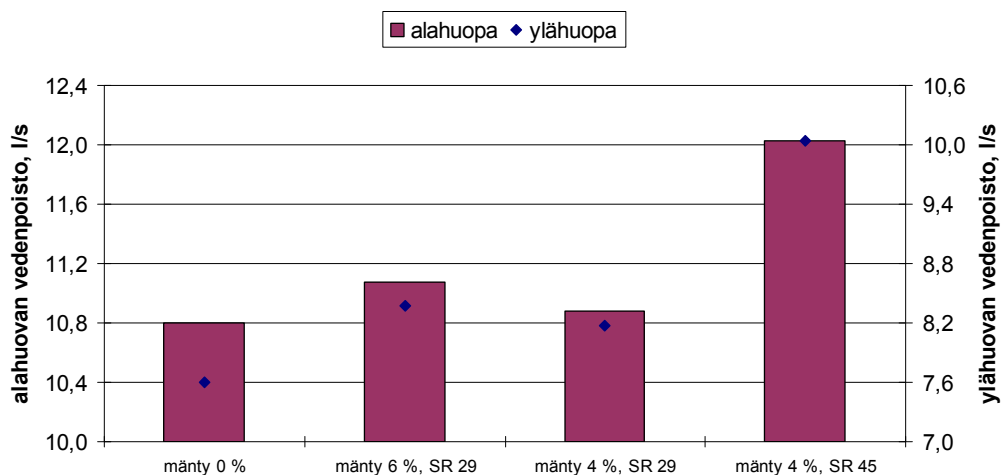
Kuva 41. Mäntysellun osuuden ja jauhatustason vaikutus kartonkirainan ja runkokerroksen kuiva-ainepitoisuuteen.

Koneen runkoviiraosan vedenpoisto vaikeutui selvästi aloitettaessa mäntysellun annostelu, mutta sen vaikutus ei ollut niin merkittävä enää pienemmällä osuudella. Päinvastoin valmiin kartonkirainan sakeuden mukaan vedenpoisto näytti jopa helpottuneen lähtötilanteeseen nähden. Taas mäntysellun jauhatustason nosto laski kartonkirainan sakeutta lähes kahdella prosenttiyksiköllä. Tämän perusteella mäntysellun jauhatuksella oli huomattavasti voimakkaampi vaikutus runkomassan vedenpoistovastukseen kuin runkomassaan annosteltavan mäntysellun määrällä.

Koeajossa tehtyjen muutosten vaikutus näkyi selvästi myös kartonkikoneen ensimmäiseltä puristimelta poistetun veden määrässä (Kuva 42) ja puristinosan

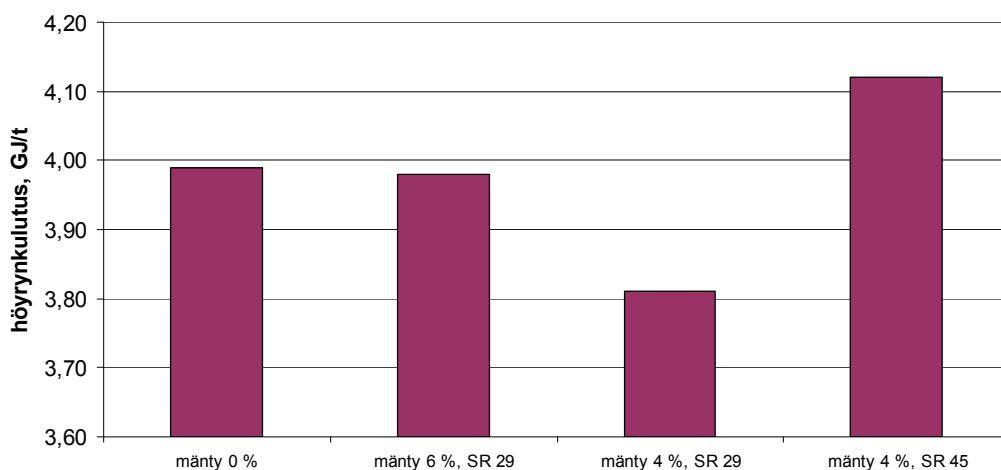


vedenpoistomittaukset korreloivat hienosti runkoviiraosan kuiva-ainemittausten kanssa. Näistä tuloksista voidaan jälleen nähdä, kuinka merkittävä vaikutus mäntysellun jauhatuksella oli kartonkikoneen vedenpoistoon.



Kuva 42. Mäntysellun osuuden ja jauhatusasteen vaikutus kartonkikoneen 1. puristimen vedenpoistoon.

Mäntysellun annostelun ja varsinkin jauhatuksen muutokset näkyivät selvästi myös kartonkikoneen höyrynkulutuksessa (Kuva 43). Nämä tulokset vastasivat erityisen hyvin kartonkirainan kuiva-ainemittauksia.



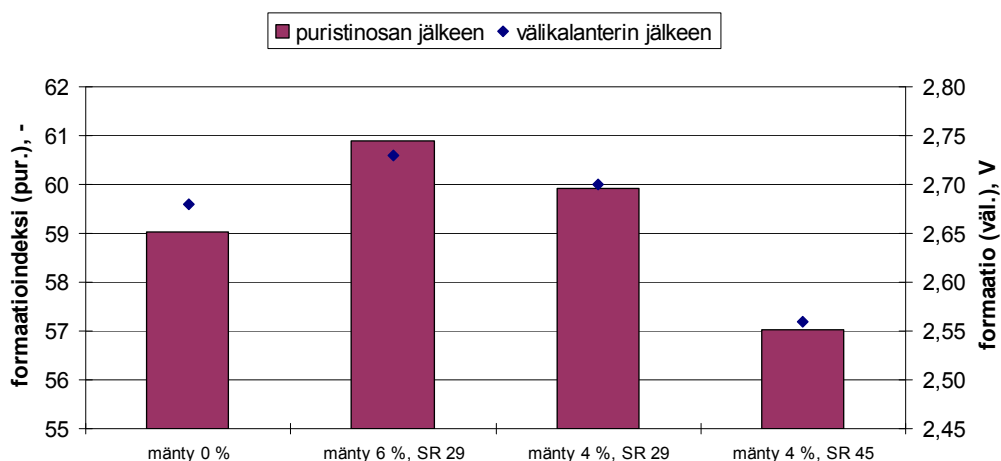
Kuva 43. Mäntysellun osuuden ja jauhatusasteen vaikutus kartonkikoneen höyrynkulutukseen.

Kun tuloksia verrattiin Hylyn jauhatus-koeajosta saatuihin arvoihin, huomattiin että kartonkikoneen höyrynkulutus oli jo tähän koeajoon lähettäessä selvästi aikaisempaa korkeammalla tasolla. Tämä tasoero huomioiden voitiin kuitenkin

päätellä, että pitkälle jauhetun mäntysellun annostelu lisäsi voimakkaammin kartonkikoneen höyrynkulutusta kuin hyllyn jauhatuksen määrän lisääminen. Toisaalta mäntysellun annosteluosuudella ja jauhatusasteella on tähän huomattava vaikutus ja karkeamman massan käyttö pienempinä määrinä näyttäisikin jopa vähentävän höyryenergian tarvetta.

### Formaatio

Kartongin formaatio huonontuu, jos runkomassaan annosteltavaa pitkäkuituista mäntysellua ei jauheta riittävän pitkälle (Kuva 44). Voimakas jauhatus lyhentää tehokkaasti keskikuitupituutta ja parantaa siten myös formaatiota. Toisaalta eri mittareiden antamat tulokset olivat jälleen ristiriitaisia.

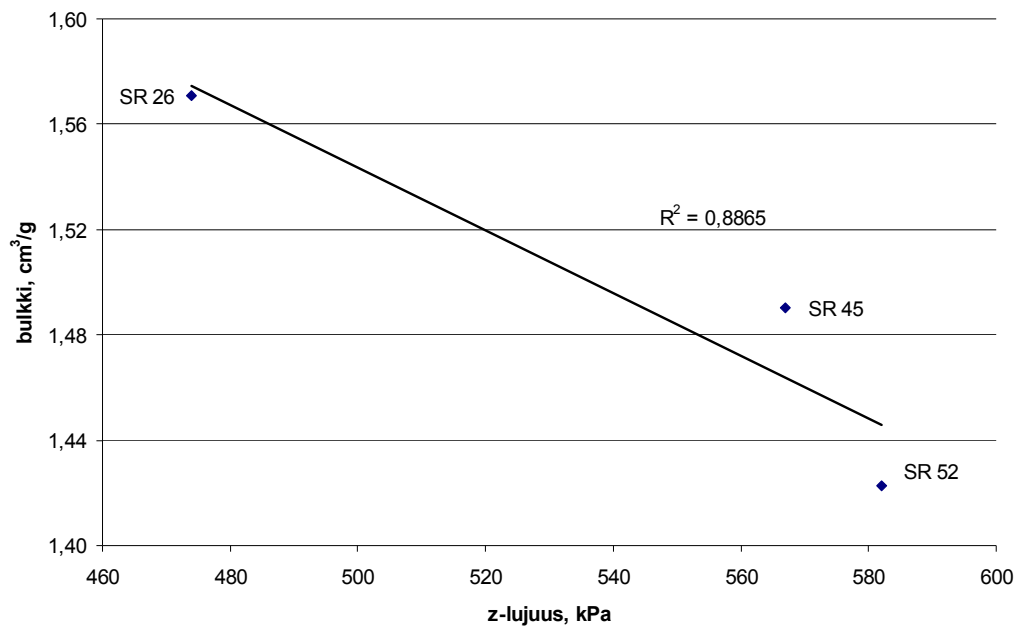


Kuva 44. Mäntysellun osuuden ja jauhatusasteen vaikutus taivekartongin formaatioon.

#### 14.3.1 Mäntysellunäytteet ja laboratorioarkit

##### *Bulkki ja z-suuntainen lujuus*

Kuvasta 45 nähdään, että mäntysellun palstautumislujuus lisääntyi voimakkaasti jauhatusasteen nousun myötä, mutta samanaikaisesti menetettiin väistämättä myös bulkkia. Tämä oli seurausta kuitujen katkeamisesta, luhistumisesta ja taipuisuuden lisääntymisestä jauhatuksen vaikutuksesta, mikä mahdollisti kuitujen asettumisen arkissa tiiviimmin toisiinsa nähden.



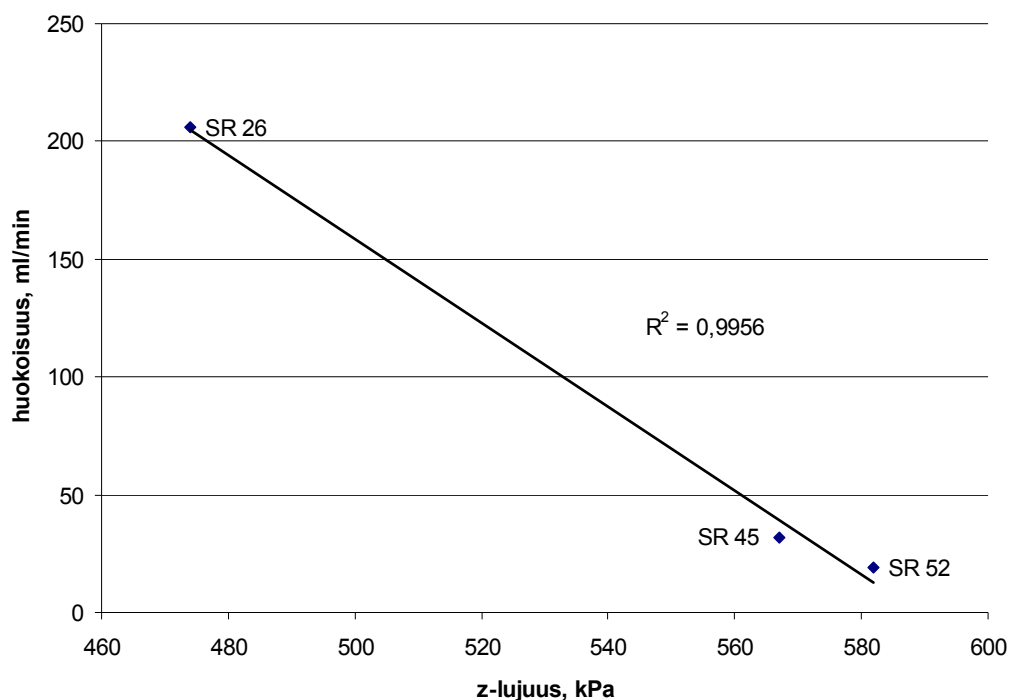
Kuva 45. Mäntyselluarkkien bulkin ja z-lujuuden välinen korrelaatio.

Kun tuloksia verrattiin hyllyn jauhatuskokeiden yhteydessä saatuihin tuloksiin, voitiin hyvin nähdä näiden massojen keskinäiset erot. Mäntysellun alhaisin jauhatuste antoi yhtä suuren z-lujuuden kuin mihin hylkyä jauhamalla parhaimmillaan päästiin. Taas hyllyn bulkki oli selvästi korkeampi kuin mäntysellulla, seuraten sen huomattavan suuresta hiokeosuudesta.

#### *Huokoisuus ja z-suuntainen lujuus*

Kuvasta 46 nähdään, että mäntysellun jauhatus vaikutti siitä valmistettujen arkkien huokoisuuteen samalla tavoin kuin niiden bulkkisuuteenkin, mikä oli seurausta kuituominaisuuksien muuttumisesta edellä kuvatulla tavoin.

Mäntysellun ja hylkymassan ero oli nähtävissä selvästi myös käsiarkeista mitatuista huokoisuuksista. Näiden toisistaan selvästi poikkeavien massojen huokoisuuserot voidaan perustella samalla tavoin kuin eroavaisuudet arkkien bulkkisuudessa, sillä hiokekuidut ovat paksuseinäisempiä ja jäykempiä kuin sellukuidut ja siten ne voivat muodostaa huokoisemman arkkirakenteen.



Kuva 46. Mäntyselluarkkien huokoisuuden ja z-lujuuden välinen korrelaatio.

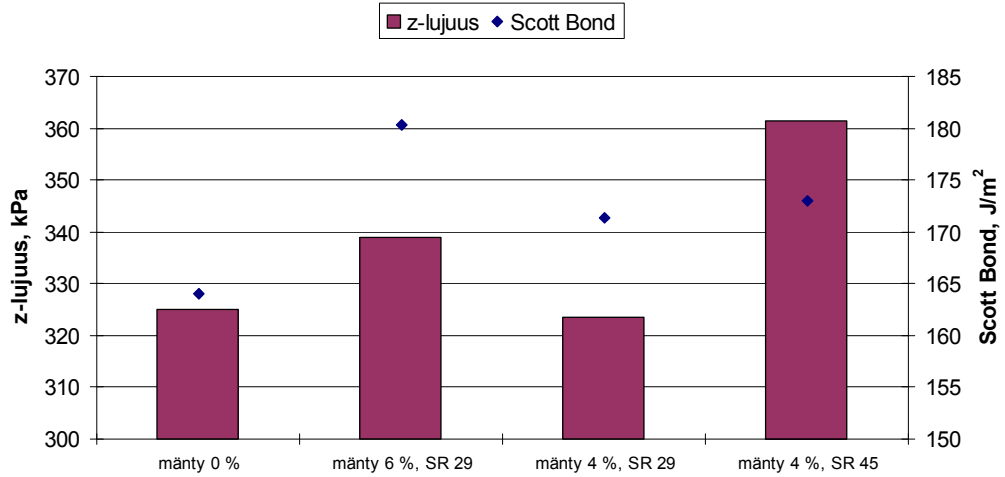
#### 14.3.2 Kartonkinäytteet

##### *Z-suuntainen lujuus*

Kuvassa 47 on esitetty runkomassan mäntyselluosuuden ja mäntysellun jauhatusasteen vaikutus taivekartongin z-suuntaiseen lujuuteen. Taivekartongin Scott Bond-lujuus nousi yli ylärajan, kun runkomassan mäntyselluosuus nostettiin 6 %:iin. Kun mäntysellun osuus laskettiin 4 %:iin, menetettiin noin puolet saavutetusta lujuudesta. Mäntysellun jauhatusasteen nostaminen ei auttanut palauttamaan Scott Bond-arvoa samalle tasolle kuin mitä se oli suuremmalla mäntyselluosuudella.

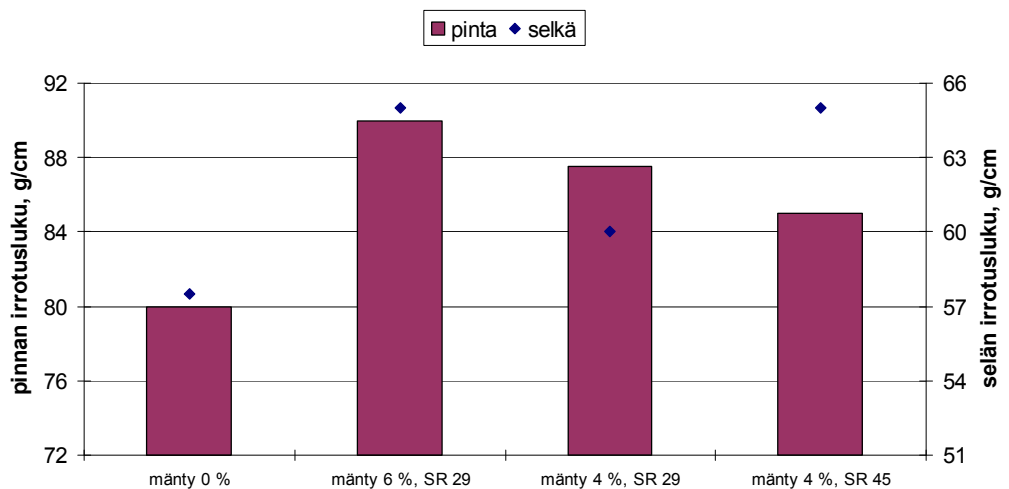
Z-lujuudet jäivät viimeistä koepistettä lukuun ottamatta selvästi alle tavoiterajan. Siten on selvää, että mäntysellu pitää jauhaa riittävän pitkälle, jotta sen avulla voitaisiin kumota hyllyn osuuden alentamisesta seurannut lujuuden menetys. Kartongin z-lujuudet olivat Scott Bond-lujuuksien kanssa hyvin samansuuntaisia, mutta mäntysellun annostelulla oli voimakkaampi vaikutus Scott Bond-lujuuteen kuin z-lujuuteen, kun taas jauhatusasteella oli merkittävämpi vaikutus z-lujuuteen. Z-lujuuksien mukaan pidemmälle jauhetulla mäntysellulla pystyttäisiin helposti

paikkaamaan parin prosentin mäntyselluosuuden laskusta seurannut lujuuden menetys.



Kuva 47. Mäntysellun osuuden ja jauhatustyyppien vaikutus taivekartongin z-suuntaiseen lujuuteen.

Kuvassa 48 on esitetty runkomassan mäntyselluosuuden ja mäntysellun jauhatustyyppien vaikutus taivekartongin liitoslujuuteen. Kartongin pinnan ja selän irrotuslukujen mukaan liitoslujuudet muuttuivat koeajon aikana samalla tavoin kuin muutkin kartongin paksuussuuntaista lujuutta kuvaavat mittarit. Myös kirjallisuuden mukaan kartongin keskikerrokseen annosteltavalla havusellulla ja sen jauhatuksella on merkittävä vaikutus saavutettavissa oleviin z-suuntaisiin lujuusominaisuuksiin.



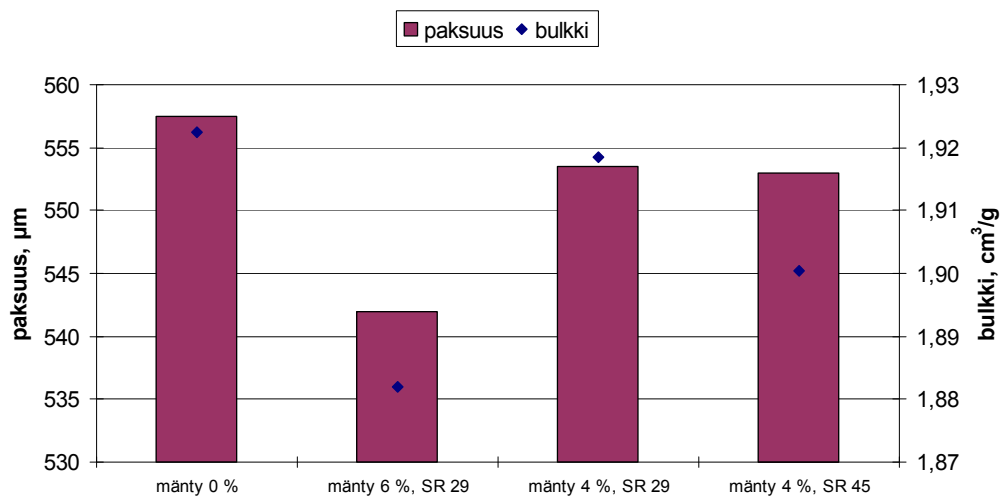
Kuva 48. Mäntysellun osuuden ja jauhatustyyppien vaikutus taivekartongin liitoslujuuteen.

Pinnan irrotuslukutavoite saavutettiin ainoastaan korkeimmalla selluosuudella ja arvot laskivat SR-luvun noususta huolimatta, kun sellun osuus laskettiin 4 %:in. Viimeisen koepisteen heikko arvo saattoi olla seurausta pinta- ja runkokerroksen liitossakeuksien ajautumisesta liian etäälle toisistaan, jolloin kerrosten välinen sitoutuminen olisi ollut vähäisempää.

Kun runkomassaan ei annosteltu mäntysellua, laski selän irrotusluku alle alarajan, eikä selän tavoitearvoa saavutettu yhdenkään esitetyn koepisteen kohdalla. Siitä huolimatta selän irrotusluvut kasvoivat, kun sellun annosta tai jauhatusastetta nostettiin.

#### *Paksuus, bulkki ja taivutusjäykkyys*

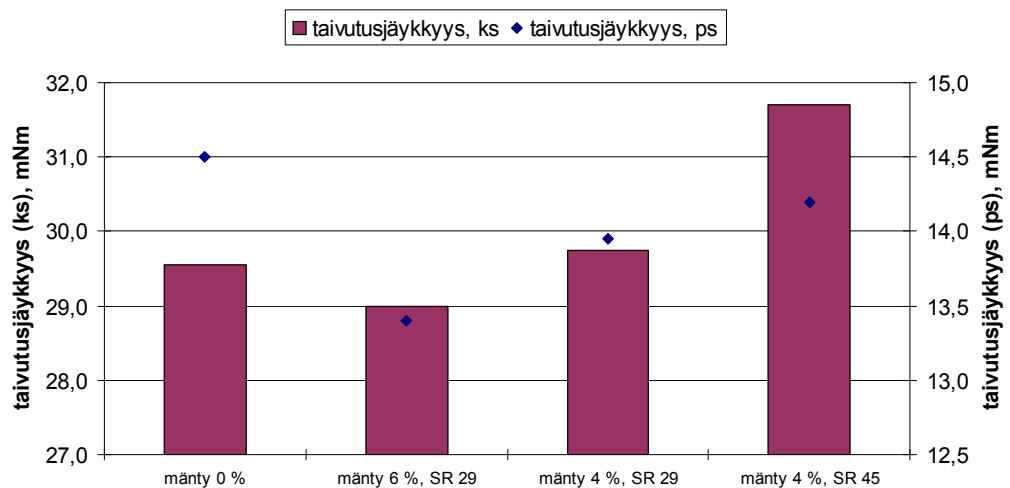
Kuvassa 49 on esitetty runkomassan mäntyselluosuuden ja mäntysellun jauhatusasteen vaikutus taivekartongin paksuuteen ja bulkkiin. Taivekartongin paksuus laski lähelle alarajaa, kun runkomassaan annosteltiin 6 % mäntysellua. Tästä johtuen kiiltokalanterin kuormaa laskettiin 10 kN/m, jotta saavutettaisiin jälleen kartongille asetettu paksuustavoite. Kuorma palautettiin ensimmäisen pisteen tasoon seuraavan pisteen aikana, koska pienemmällä selluosuudella päästiin jo lähelle tavoitetta. Taas sellun jauhatusasteella ei näyttänyt olevan vaikutusta kartongin paksuuteen.



Kuva 49. Mäntysellun osuuden ja jauhatusasteen vaikutus taivekartongin paksuuteen ja bulkkiin.

Bulkki oli koko koeajon ajan suuresta hiokeosuudesta johtuen lähellä sille asetettua ylärajaa. Ainoastaan korkeimmalla selluosuudella se oli tavoitteensa tuntumassa. Paksuuksista poiketen sellun jauhatustason nostaminen laski hieman kartongin bulkkia, mutta siitä huolimatta se säilyi edelleen hyvällä tasolla. Myös teorian mukaan jauhatus vaikuttaa bulkkiin negatiivisesti.

Kuvasta 50 nähdään runkomassan mäntyselluosuuden ja mäntysellun jauhatustason vaikutus taivekartongin kone- ja poikkisuuntaiseen jäykkyyteen. Koska jäykkyys on verrannollinen paksuuteen sen kolmannessa potenssissa, on edellä esitetyillä paksuuseroilla ymmärrettävästi huomattava vaikutus näihin arvoihin.



Kuva 50. Mäntysellun osuuden ja jauhatustason vaikutus taivekartongin taivutusjäykkyyteen.

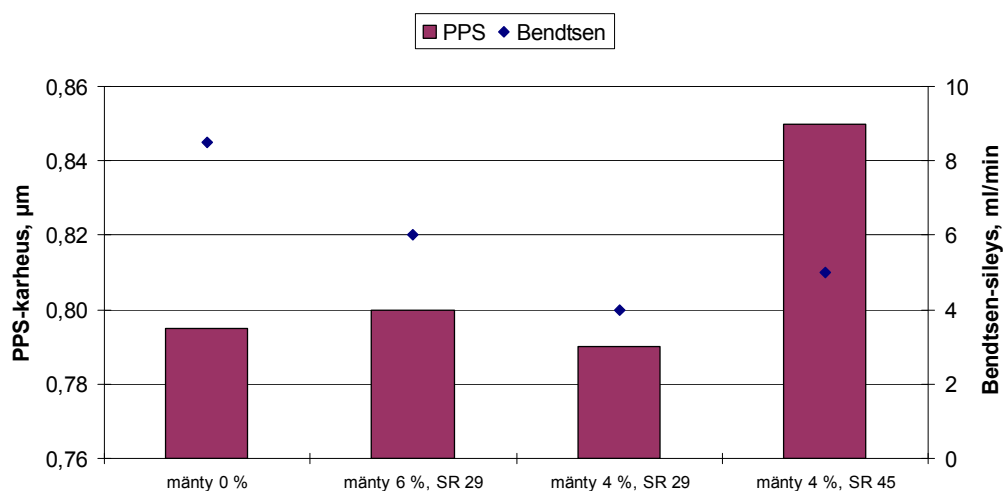
Koska vain alhaisemman mäntyselluosuuden omaavat pisteet olivat samassa paksuustasossa, ovat ne myös ainoat pisteet, joita on mielekästä verrata keskenään. Muutenhan taivutusjäykkyyden arvot seurasivat paksuusmuutoksia. Kun mäntysellun osuus oli 4 %, saavutettiin hienommalla sellulla suurempi konesuuntainen taivutusjäykkyys kuin karkeammalla sellulla. Tämä oli myös ainoa arvo, joka ylitti taivekartongin taivutusjäykkyydelle asetetun tavoitteen.

Taas poikkisuuntaiseen taivutusjäykkyyteen jauhatustason vaikutus oli selvästi vaatimattomampi. Poikkisuuntainen taivutusjäykkyys jäi alle tavoitteensa vain

korkeimmalla mäntyselluosuudella, jolloin myös kartongin paksuus laski hälyttävän alas.

### *Sileyks*

Runkomassan mäntyselluosuuden ja mäntysellun jauhatusteen vaikutus taivekartongin pinnan sileyteen nähdään kuvasta 51. Kartongin pinnan sileyks parantui käytettäessä mäntysellua, mutta paras arvo saavutettiin pienemmällä sellun annosteluosuudella. Taas pinnan karheuteen mäntysellun annostelulla ei ollut juurikaan vaikutusta. Pinnan karheus lisääntyi kuitenkin selvästi, kun mäntysellun jauhatustetta nostettiin.



Kuva 51. Mäntysellun osuuden ja jauhatusteen vaikutus taivekartongin sileyteen.

### 14.4 Johtopäätökset

Jotta hyllyn käytön vähentämisestä seurannut lujuuden menetys voitaisiin kompensoida mäntysellun avulla, täytyisi se jauhaa hyvin pitkälle. Jauhatuksen tarve korostuu myös siitä syystä, ettei mäntysellua voida annostella korkeasta hinnastaan johtuen kuin hyvin pieniä määriä. Toisaalta mäntysellun annostelun ja jauhatuksen lisääminen kasvattaa voimakkaasti höyrynkulutusta, joten toimeen on tultava vieläkin vähäisemmällä mäntysellun määrällä. Tämän lisäksi mäntysellun annostelulla oli huomattava vaikutus kartongin paksuuteen.



Pitkälle jauhetulla mäntysellulla on mahdollista saavuttaa sama lujuustaso jo pari prosenttia pienemmällä osuudella kuin käytettäessä selvästi karkeampaa massaa. Jauhatusasteen nosto ei vaikuttanut kartongin paksuuteen, mutta se laski hieman bulkkia. Kartongin bulkki ei muodostunut kuitenkaan kriittiseksi runkomassan suuresta hiokeosuudesta johtuen. Toisaalta mäntysellun jauhatustason nostolla oli positiivinen vaikutus taivekartongin jäykkyyteen ja formaatioon.

## 15 MÄNTYSELLU JA TÄRKKELYS

### 15.1 Koeajon tarkoitus

Koska kuivalujalisäaineiden annostelu ei onnistunut aikaisemmin, päätettiin sitä yrittää uudestaan vielä tässä koeajossa. Tämän lisäksi haluttiin uusia pienempiä mäntyselluosuuksia edustaneet koepisteet.

### 15.2 Koeajon suoritus

Tämän 2.3.2008 järjestetyn koeajon suoritus noudatteli hyvin pitkälle Mäntysellun jauhatusta ja annostelu-koeajon toteutusta. Siitä poiketen hyllyn jauhatuksen määrä asetettiin 70 kWh/t, jolloin hyllyn jauhatustaso (°SR 49-51) oli lähes samassa tasossa kuin edellisessä koeajossa (74 kWh/t, °SR 52). Runkomassaan annostellun hyllyn osuus oli jälleen 20 %.

Hiokkeen freeness laski koeajon edetessä arvosta 260 ml CSF arvoon 243 ml CSF ja se oli siten jo koeajon alussa selvästi alhaisemmalla tasolla kuin aikaisemmissa koeajoissa (290-306 ml CSF). Hiokemassaseos oli tavallista hienompaa osittain siitä johtuen, että H3-linjan hioketta annosteltiin runsaammin (4 l/s) kuin aikaisemmin (3 l/s). Koska hienomman hiokekomponentin annostelumäärä oli tästä huolimatta hyvin pieni, täytyi pääkomponenttina käytettävän H4-linjan hiokkeenkin olla tavoitetasoonsa nähden hienompaa.

Runkomassaan annosteltu mäntysellu jauhautui tavoiteltua (°SR 50) selvästi pidemmälle (°SR 74), koska sen sakeus ja pH olivat alussa liian alhaisia. Tämän seurauksena lisääntyi kuitujen katkeamistaipumus ja siten myös massan suotautumisvastus. Mäntysellun jauhatustason hallinta oli muutenkin erittäin

hankalaa, koska tieto jauhatusteen muutoksesta saatiin lähes aina liian myöhään ja jauhimen kuormitusta muuttamalla jauhatusta säädettiin lähinnä oikeaan suuntaan. Tästä johtuen mäntysellun jauhatusteelle oli valittu ainoastaan yksi taso, jossa se pyrittiin pitämään (Taulukko XI).

Taulukko XI Runkomassaan annostellun mäntysellun osuus ja jauhatuste sekä kuivalujalisäaineen annostelumäärät.

Koepiste	SIDOSKEMIKAALI		MÄNTYSELLU	
	runkomassaan, g/t*	mäntyselluun, g/t**	osuus, %	°SR, -
1	900	0	0	-
2	900	0	1	50
3	900	12000	1	50
4	900	12000	2	50
5	900	6000	2	50
6	900	0	2	50

\*Kuivalujalisäaineen määrä runkomassatonnia kohden.

\*\*Kuivalujalisäaineen määrä mäntysellutonna kohden.

Kuivalujalisäaineiden annostelu ei onnistunut edellisessä koeajossa, koska annostelupaikka oli valittu väärin ja toisaalta massatärkkelyksen annostelulinjan paine oli riittämätön mäntysellulinjan vastapaineeseen nähden. Tällöin annostelu tapahtui mäntysellun virtausmittarin tulopuolelle, mikä sekoitti sen toiminnan. Siksi annostelupaikka siirrettiin tätä koeajoa varten virtausmittarin jättöpuolelle, eikä massaliimojen annostelussa esiintynyt enää vastaavia ongelmia. Sitä vastoin mäntysellun joukkoon annostellun sidoskemikaalin annostelumäärät poikkesivat huomattavasti tavoitteeksi asetetuista annoksista (Taulukko XI). Suurin tekijä tässä oli se, ettei sidoskemikaalipumpulla voitu ajaa tarpeeksi pieniä määriä sen jälkeen, kun pumpun taajuus oli nostettu 100 Hz. Toisaalta toteutuneisiin annosmääriin vaikuttivat myös mäntysellun sakeuden ja virtauksen poikkeamat laskennassa käytetyistä arvoista. Toteutuneet sidoskemikaalin annostelumäärät on esitetty kuvaajien yhteydessä ja liitteessä VIII. Runkomassaan annostellun mäntysellun kuivalujalisäainepitoisuus huomioitiin laskemalla runkomassan sidoskemikaaliannos 900 g/t.

Myös massatärkkelyksen annostelun osalta onnistuttiin ratkaisemaan aikaisemmin esiintyneet ongelmat, mutta valitettavasti tämän seurauksena syntyi jälleen uusia. Massatärkkelyslinjan paine nostettiin lähes 4 bar sulkemalla painetta ohjaava

kierrätyslinjan venttiili. Tämän lisäksi massatärkkelyksen annostelua helpotettiin laskemalla mäntysellulinjan painetta ja siten myös mäntysellujauhimen jättöpuolen painetta. Tähän pyrittiin vaikuttamaan myös kuristamalla jauhimen jättöpuolen venttiili puoliksi kiinni. Näin toimittiin myös edellisellä kerralla, jolloin massatärkkelyksen paine todettiin liian alhaiseksi. Tällä kertaa painetta nostettiin edelleen lisäämällä massatärkkelyspumpun kierrosnopeus maksimiinsa (1500 1/min), jolloin paine oli korkeimmillaan 5,5 bar ja siten jo aivan riittävä. Tässä tilanteessa massatärkkelyksen paine nousi kuitenkin jo niin korkealle, ettei sitä laimentavan kemiallisen veden paine riittänyt. Tämän seurauksena alkoi heitellä taas tärkkelyksen kuiva-ainepitoisuus ja siitä seuraten annostelumäärät. Myöskään laimennusveden pois jättäminen ei auttanut, vaan virtaukset heittelivät edelleen. Tilanne helpottui, kun massaliiman paine laskettiin noin 5 bar. Tämä paine oli kuitenkin niin alhainen, ettei se pystynyt tuottamaan kuin hyvin pieniä virtauksia ja tästä johtuen jouduttiin jälleen luopumaan osittain asetetuista tavoitteista.

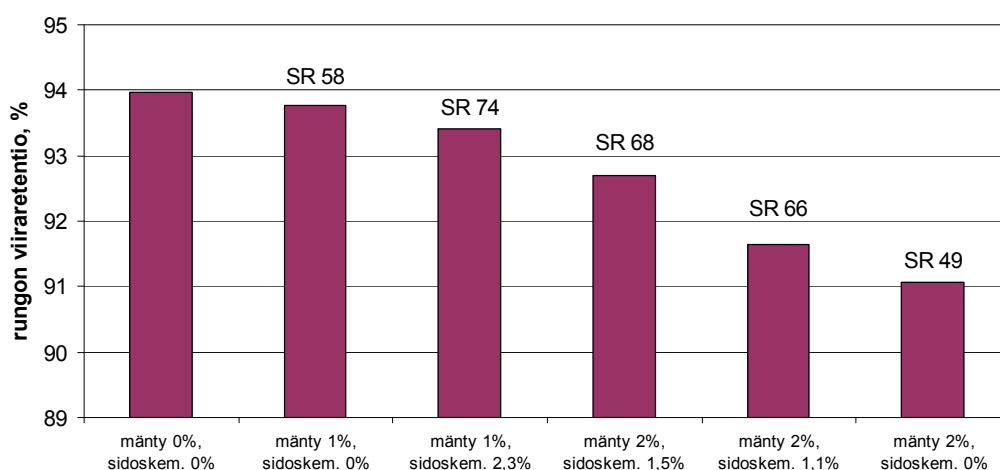
Kiiltokalanterin 1. nipin kuorma asetettiin 25 kN/m, kuten aikaisemminkin. Näin ei voitu kuitenkaan jatkaa läpi koeajon, vaan kuorma oli laskettava 4. koepisteen aikana 18 kN/m. Tämä johtui taivekartongin paksuuden painumisesta alarajalle, kun pitkälle jauhetun mäntysellun osuus runkomassasta nostettiin 2 %:iin. Myös välikalanterin kuormaa kevennettiin 1 kN/m, kun mäntysellun annostelu aloitettiin ja vielä 0,25 kN/m, kun annosteluosuutta nostettiin. Lähtötilanteessa se oli keskimäärin 14 kN/m. Tämä oli korkeampi kuormitustaso kuin muissa koeajoissa, joissa se oli luokkaa 8-9 kN/m. Lisäksi ensimmäisen puristimen alatelana toimivan imutelan alipainetaso (26 kPa) oli selvästi alhaisempi kuin yhdessäkään aikaisemmassa koeajossa (44-72 kPa). Imutaso on ollut vakaa koeajojen aikana, mutta erot koeajojen välillä ovat olleet huomattavia.

Koeajossa ajettiin 2 konerullaa koepistettä kohti ja jokaisesta konerullasta otettiin poikkiratanäytteet. Niistä stansattiin arkit, joista määritettiin paksuus, bulkki, Scott Bond- ja z-lujuus, pinnan ja selän irrotusluvut, pinnan sileys ja karheus, kone- ja poikkisuuntaiset taivutusjäykkyydet sekä pinnan vaaleus ja sävyt.

Kartonkinäytteiden lisäksi jokaisesta koepisteestä kerättiin runkomassanäyte ennen rungon viirakaivoa ja näistä näytteistä mitattiin sakeus, jauhatusaste ja pH. Tämän jälkeen valmistettiin käsiarkit, joista määritettiin lujuusominaisuudet, vaaleus, opasiteetti ja huokoisuus. Myös mäntysellun jauhatuksen seuranta varten kerättiin omat näytteet, joista määritettiin sakeus, jauhatusaste ja pH.

### 15.3 Koeajon tulokset ja niiden tarkastelu

Kartonkikoneen runkoviiraosan retentio huonontui koeajon aikana ja muutenkin oltiin selvästi alhaisemmalla tasolla kuin aikaisemmissa koeajoissa (Kuva 52). Tasoero saattoi johtua joko mittaustason muutoksesta koeajojen välillä tai aikaisempia koeajoja selvästi korkeammasta hiokkeen jauhatusasteesta.

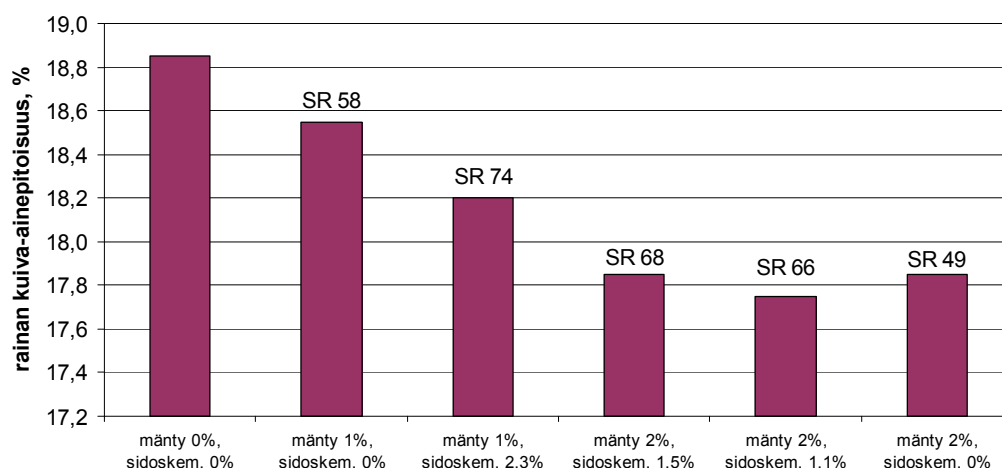


Kuva 52. Mäntysellun osuuden, jauhatusasteen ja sidoskemikaaliannoksen vaikutus kartonkikoneen runkoviiraosan retentioon.

Koeajonaikainen retention heikentyminen oli luultavasti seurausta hiokkeen jauhatusasteen noususta koeajon edetessä, eikä niinkään koeajoon suunnitelluista muutoksista. Muutenhan mäntysellun annostelun vaikutus rungon retentioon olisi näkynyt jo edellisen koeajon yhteydessä, koska annostelumäärät olivat silloin suurempia. Poikkeuksellisen alhaisella hiokkeen freeness-arvolla ja sen muutoksilla koeajon aikana oli todennäköisesti oma vaikutuksensa myös tässä yhteydessä esitettäviin muihin tuloksiin. Koeajon ajo-olosuhteet on esitetty liitteessä VIII ja tulokset liitteessä IX.

## Vedenpoisto ja höyrynkulutus

Kartonkikoneen viiraosan vedenpoisto vaikeutui koeajon edetessä (Kuva 53). Samanaikaisesti lisääntyi hiokkeen vedenpoistovastus, mikä saattoi korostaa koeajossa tehtyjen muutosten vaikutusta vedenpoistoon.



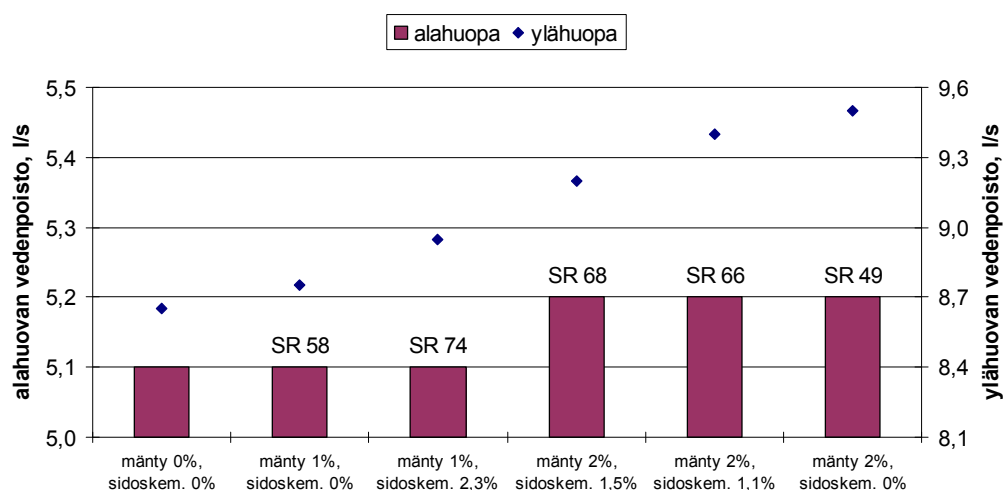
Kuva 53. Mäntysellun osuuden, jauhatusasteen ja sidoskemikaaliannoksen vaikutus kartonkirainan kuiva-ainepitoisuuteen.

Runkomassan vedenpoisto-ominaisuuksien kannalta hallitsevin muuttuja oli mäntysellun annosteluosuus, jonka vaikutus vedenpoistoon vahvistui osuuden kasvaessa. Myös mäntysellun jauhatusasteella oli oma vaikutuksensa tähän, vaikka suuremmalla mäntyselluosuudella muutokset olivatkin hyvin vähäisiä. Mäntysellun massaliimauksella ei ollut merkitystä kartonkikoneen vedenpoiston kannalta.

Kartonkirainan sakeus oli lähtötilanteessa samassa tasossa kuin useimmissa aikaisemmissa koeajoissa, vaikka hiokkeen freeness oli huomattavan paljon alhaisempi. Joka tapauksessa koeajon aikana tapahtunut muutos kartonkirainan sakeudessa oli samaa luokkaa kuin Hylyn osuus-koeajon yhteydessä ja siten se oli jo varsin merkittävä. Tästä johtuen runkomassaan annosteltavan pitkälle jauhetun mäntysellun osuus olisi rajoitettava ainoastaan yhteen prosenttiin, koska muuten menetettäisiin hylyn osuuden alentamisesta seurannut etu vedenpoistossa.

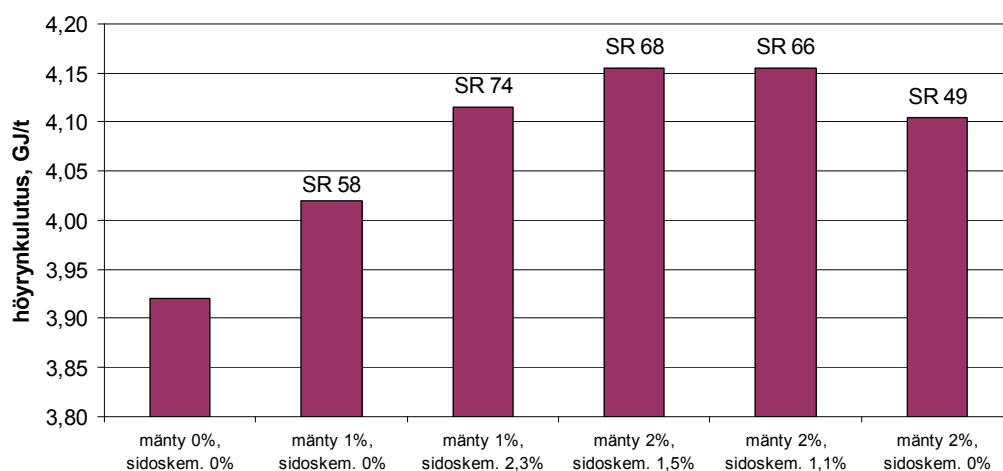
Ensimmäisen puristimen alahuovalta poistetun veden määrä oli huomattavasti pienempi kuin aikaisemmissa koeajoissa, eikä se juurikaan muuttunut koeajon

edetessä (Kuva 54). Vähäinen alahuovan puolelle poistetun veden määrä johtui 1. puristimen alatelana toimivan imutelan aikaisempaa huomattavasti alhaisemmasta imutasosta. Taas ylähuovan puolelle poistetun veden määrä lisääntyi tasaisesti sitä mukaan, kun viiraosalta puristinosalle siirrettävän rainan kosteus lisääntyi.



Kuva 54. Määntysellun osuuden, jauhatustason ja sidoksemmäärän vaikutus kartonkikoneen 1. puristimen vedenpoistoon.

Määntysellun annostelu ja jauhatus lisäsivät huomattavasti kartonkikoneen höyrynkulutusta (Kuva 55), mikä oli seurausta vedenpoiston vaikeutumisesta edellä kuvatulla tavoin. Taas määntysellun massaliimauksella ei ollut vaikutusta myöskään höyrynkulutukseen, vaikka sidoksemmäärän kokonaiskäyttöä lisättiin parhaimmillaan 16 prosentilla.

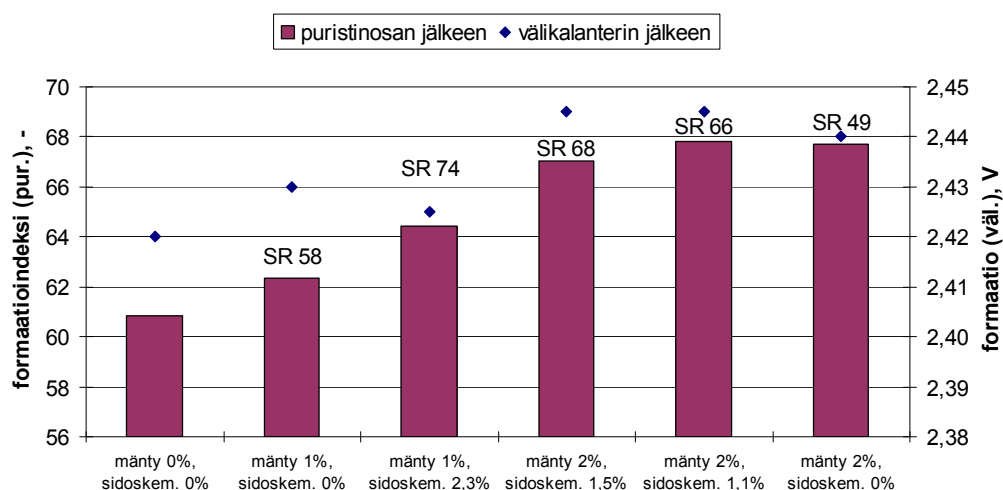


Kuva 55. Määntysellun osuuden, jauhatustason ja sidoksemmäärän vaikutus kartonkikoneen höyrynkulutukseen.

Höyrynkulutuksen lähtötaso oli alhaisempi kuin edellisessä koeajossa, vaikka hioke oli jauhettu huomattavasti pidemmälle ja ensimmäisen puristimen alaspäin suuntautunut vedenpoisto oli selvästi rajoittuneempaa. Höyryenergian tarve lisääntyi kuitenkin voimakkaammin kuin aikaisemmin. Tämä johtui osaltaan hiokkeen vedenpoisto-ominaisuuksien kehittymisestä epäedulliseen suuntaan, mutta myös edellistä koeajoa pidemmälle jauhetusta mäntysellusta.

### Formaatio

Edellisen koeajon yhteydessä todettiin, että kartongin formaatio huonontuu, jos runkomassaan annosteltavaa mäntysellua ei jauheta riittävän pitkälle. Tällä kertaa jauhatusta ei kuitenkaan auttanut palauttamaan formaatiota (Kuva 56), mikä johtui luultavasti runkoviiraosan vedenpoiston vaikeutumisesta.



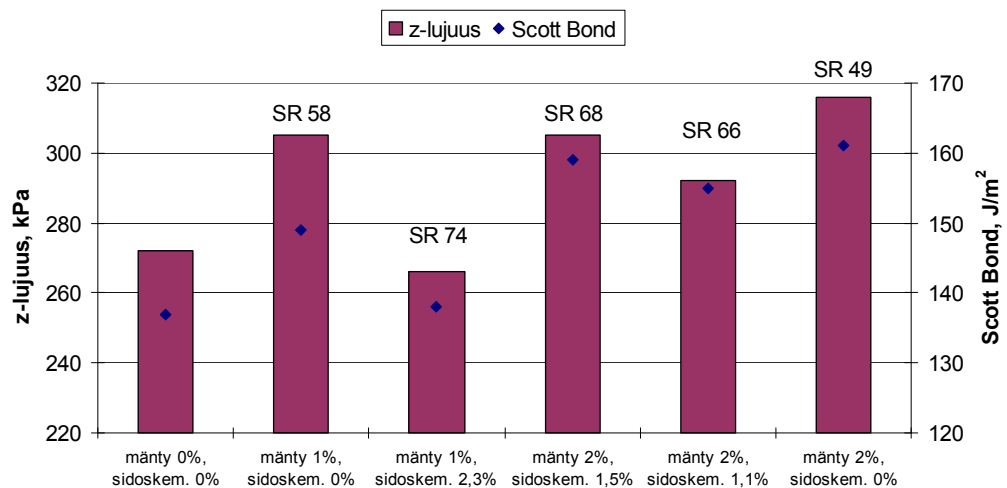
Kuva 56. Mäntysellun osuuden, jauhatusasteen ja sidoskemikaaliannoksen vaikutus taivekartongin formaatioon.

Lisäksi formaatio oli heikommalla tasolla kuin edellistä koeajoa aloitettaessa, mikä oli nähtävissä sekä puristimen että välikalanterin jälkeen mitatuista arvoista. Tämä saattoi johtua 1. puristimen vähäisemmästä vedenpoitosta, koska viiraosan vedenpoitossa ei ollut tapahtunut ratkaisevia muutoksia koeajojen välillä. Toisaalta hienommaksi jauhettu hioke olisi voinut parantaa formaatiota, mutta vedenpoiston vaikutus oli selvästikin hallitsevampi.

### 15.3.1 Runkomassa-arkit

#### *Z-suuntainen lujuus*

Runkomassanäytteistä valmistettujen arkkien paksuussuuntainen lujuus lisääntyi merkittävästi jo pienellä määrällä hienoksi jauhettua mäntysellua (Kuva 57). Lujuudet kuitenkin romahtivat, kun mäntysellun jauhatusta nostettiin ja sen joukkoon annosteltiin sidoskemikaalia. Tämä saattoi johtua lujuusominaisuuksien kannalta tärkeän keskikuidunpituuden liian voimakkaasta lyhentymisestä ja toisaalta käytetyn sidoskemikaaliannoksen kyvyttömyydestä sitoa hienoaines kuituihin ja kuituja toisiinsa.

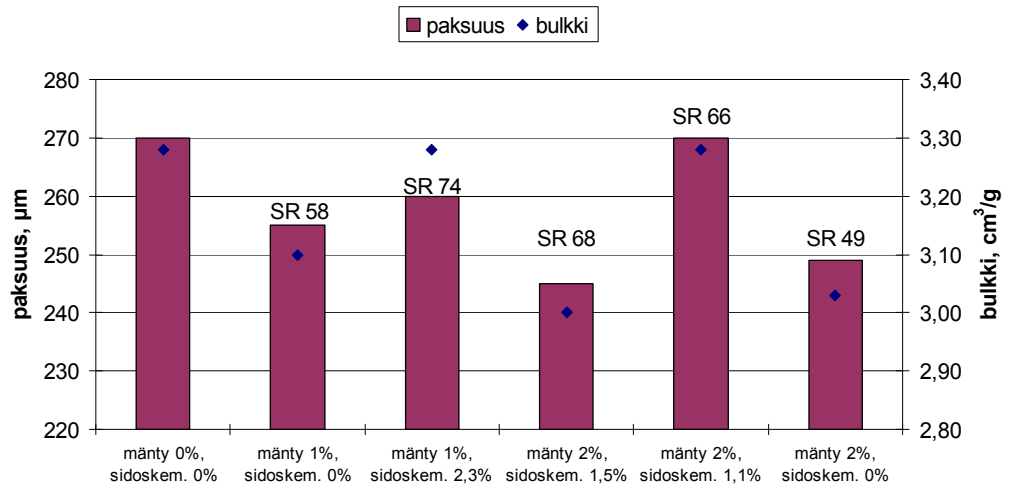


Kuva 57. Mäntysellun osuuden, jauhatustason ja sidoskemikaaliannoksen vaikutus runkomassa-arkkien z-suuntaiseen lujuuteen.

#### *Paksuus ja bulkki*

Mäntysellun annostelulla oli odotetusti negatiivinen vaikutus runkomassasta valmistettujen arkkien paksuuteen ja bulkkiin, kun taas jauhatustason ja sidoskemikaalin vaikutukset olivat hyvin hämmäntäviä (Kuva 58). Teorian mukaan massatärkkelyksen ei pitäisi juurikaan vaikuttaa paksuuteen tai bulkkiin, mutta jauhatuksen vaikutuksen pitäisi olla hyvinkin selvä. Tyypillisesti jauhatus kuitenkin vähentää bulkkia, eikä lisää sitä.



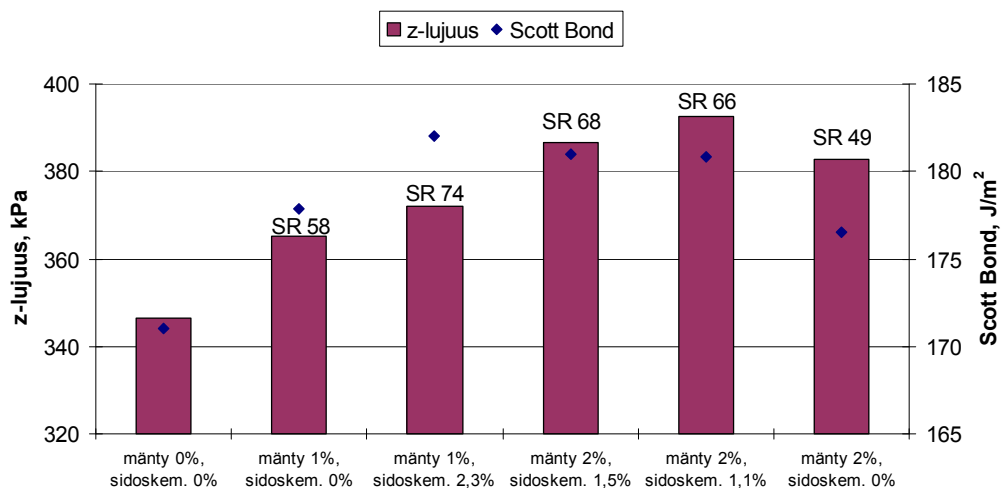


Kuva 58. Mäntysellun osuuden, jauhatusteen ja sidoksemikaaliannoksen vaikutus runkomassa-arkkien paksuuteen ja bulkkiin.

### 15.3.2 Kartonkinäytteet

#### Z-suuntainen lujuus

Hiokkeen jauhatustee vaikutti huomattavasti myös koeajossa saavutettuun lujuustasoon, sillä taivekartongin z-lujuus oli tämän koeajon alussa (346 kPa, Kuva 59) selvästi korkeammalla kuin edelliseen koeajoon lähdetessä (325 kPa).



Kuva 59. Mäntysellun osuuden, jauhatusteen ja sidoksemikaaliannoksen vaikutus taivekartongin z-suuntaiseen lujuuteen.

Hylyn käytön vähentämisen seurauksena menetettyä lujuutta olisi kuitenkin mahdollista palauttaa yksistään hiokkeen jauhatustetta nostamalla, mutta taivekartongin z-lujuudelle asetetun tavoitteen saavuttaminen voisi hyvinkin olla

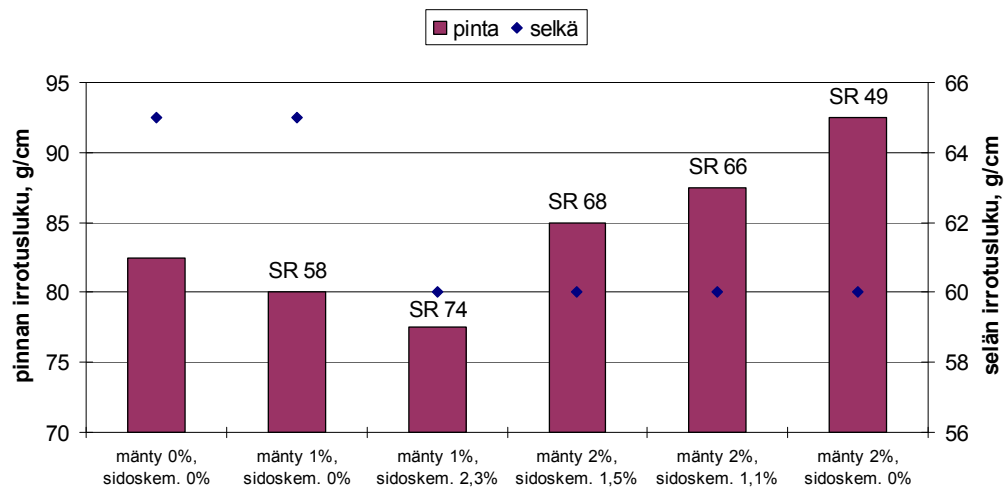
mahdollista. Tämä vaatisi, että hiokemassaseoksen freeness olisi luokkaa 250 ml CSF.

Jos hiokkeen jauhatustasetta ei haluta kuitenkaan nostaa, voidaan taivekartongin z-lujuustavoite saavuttaa myös runkomassaan annosteltavan mäntysellun avulla. Tällöin mäntysellu pitäisi jauhaa hyvin pitkälle (°SR 74) tai nostaa sen annosteluosuus vähintään 2 prosenttiin, jolloin mäntysellun jauhatustaseksi riittäisi °SR 49. Toisaalta jos mäntysellun jauhatustaso nostetaan riittävän korkealle (°SR 66), voidaan jo kahden prosentin mäntyselluosuudella saavuttaa hylyn osuuden pienentämisen seurauksena menetetty lujuustaso. Kun tähän yhdistetään vielä hienomman hiokkeen vaikutus, ollaan samalla tasolla kuin hylkyosuudella 41 %.

Massatärkkelyslisäys ei vaikuttanut kartongin z-suuntaisiin lujuusominaisuuksiin, vaikka kirjallisuuden mukaan sillä pitäisi olla huomattavin vaikutus juuri näihin ominaisuuksiin. Aikaisemmin epäiltiin massatärkkelysannoksen kykyä muodostaa riittävästi sidoksia massakomponenttien ja etenkin pitkien kuitujen välille, mikä olisi onnistuessaan vaikuttanut oleellisesti myös kartongin lujuusominaisuuksiin. Toisaalta voi olla, että lisätyn tärkkelysannoksen retentio oli yksinkertaisesti olematonta.

Selän irrotusluvut olivat alkuun korkeampia, koska selkä- ja runkokerroksen välinen liitoslujuus haluttiin varmistaa selkäkerroksen pintaan sumutettavan tärkkelyksen avulla (Kuva 60). Sumutärkkelys jätettiin pois, kun selkäpuolelta mitatut arvot nousivat alarajalta. Muilla koeajossa tehdyillä muutoksilla ei ollut vaikutusta selän arvoihin.

Suuremmalla mäntyselluosuudella oli positiivinen vaikutus pinnan irrotuslukuun, kun taas pienemmällä osuudella arvot laskivat. Myös mäntysellun jauhatustason nosto vaikutti negatiivisesti pinta- ja runkokerroksen väliseen liitoslujuuteen, vaikka vaikutuksen pitäisi olla päinvastainen. Lisäksi jauhatuksen vaikutuksesta muodostuvan hienoaineksen on todettu olevan eduksi kerrosten liitospinnoilla. On tietysti mahdollista, että hienoainepitoisuus lisääntyi runkokerroksen sisäosissa, eikä varsinaisilla rajapinnoilla.



Kuva 60. Mäntysellun osuuden, jauhatusasteen ja sidoskemikaaliannoksen vaikutus taivekartongin liitoslujuuteen.

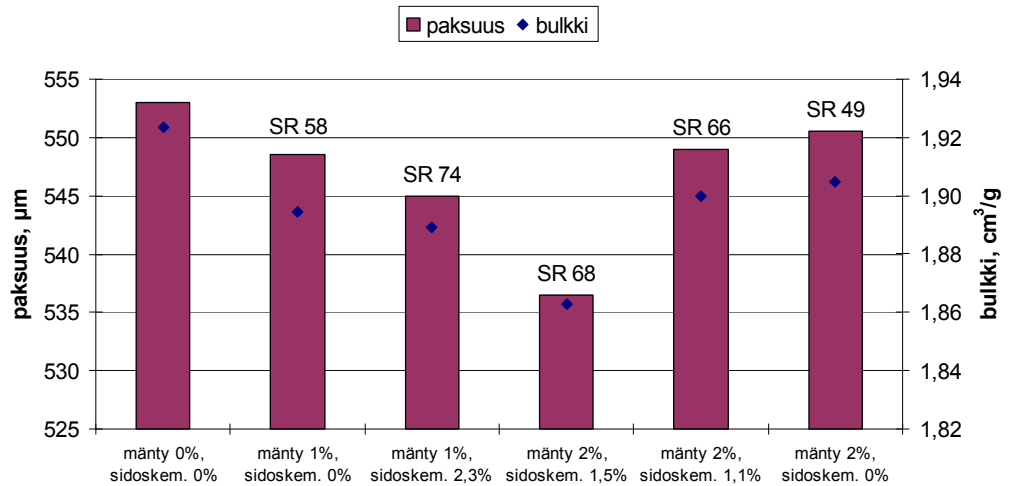
Toisaalta runkokerroksen liitossakeus saattoi laskea liian lähelle pintakerroksen sakeutta, kun lähestyttiin koeajon puoliväliä. Aikaisempien tutkimusten mukaan yhteen liitettävien kerrosten kuiva-ainepitoisuuksien tulisi olla hieman erillään toisistaan ja suurin liitoslujuus saavutettaisiin, kun runkokerroksen liitoskuiva-ainepitoisuus olisi hieman korkeampi kuin pintakerroksella. Tällä kertaa suurimmat arvot saavutettiin kuitenkin silloin, kun rungon kuiva-ainepitoisuus oli mahdollisesti hieman alhaisempi kuin pinnalla. Tässä kuvailtu tilanne on tietysti täysin hypoteettinen, koska yksittäisten kerrosten sakeuksia ei tunnettu.

#### *Paksuus, bulkki ja taivutusjäykkyys*

Suuremmalla mäntyselluosuudella esiintyneet taivekartongin paksuserot (Kuva 61) olivat seurausta kiiltokalanterin kuormitusmuutoksista koeajon aikana. Kalanterin kuormitustasoa oli muutettava, koska kartongin paksuus laski alle alarajan, kun siirryttiin suurempaan mäntysellun osuuteen. Myös välikalanterin kuormitusta kevennettiin neljän ensimmäisen koepisteen aikana, mikä saattoi heikentää suunniteltujen muutosten vaikutusta kartongin paksuuteen.

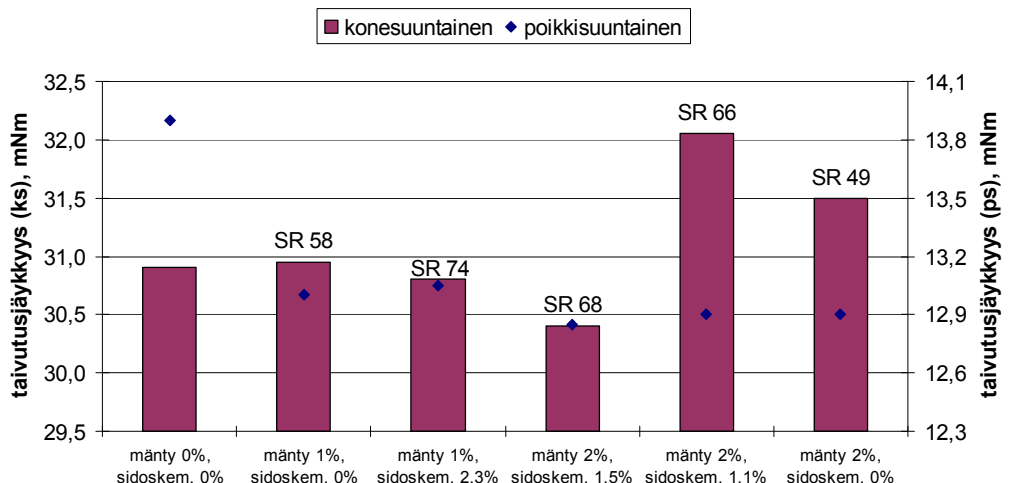
Runkomassan mäntyselluosuudella oli selvästi voimakkaampi vaikutus kartongin paksuuteen ja bulkkiin kuin mäntysellun jauhatusasteella. Bulkkiin jauhatuksen muutoksilla ei ollut oikeastaan edes vaikutusta. Kartongin paksuustavoitetta ei saavutettu koko koeajon aikana, mikä johtui osaltaan myös tavallista hienommasta

hiokkeesta ja kartonkirainan suuremmasta kuormituksesta välikalanterilla. Siten taivekartongin paksuus oli jo tämän koeajon alussa hieman alhaisemmalla tasolla (553 µm) kuin edellisessä koeajossa (558 µm).



Kuva 61. Mäntysellun osuuden, jauhatustason ja sidoksemikaaliannoksen vaikutus taivekartongin paksuuteen ja bulkkiin.

Kun mäntysellun annostelu aloitettiin, laski taivekartongin poikkisuuntainen jäykkyys selvästi sille asetetun tavoitteen alapuolelle (Kuva 62). Mäntysellun käytöllä ei ollut kuitenkaan vastaavanlaista vaikutusta konesuuntaisiin arvoihin, jotka seurasivat selvemmin paksuusmuutoksia.



Kuva 62. Mäntysellun osuuden, jauhatustason ja sidoksemikaaliannoksen vaikutus taivekartongin taivutusjäykkyyteen.

Myös kalanteroinnin vaikutukset olivat hyvin poikkeavia taivekartongin taivutussuunnasta riippuen. Kun kiiltokalanterin kuormitusta kevennettiin, nousi konesuuntainen arvo selvästi ja samanaikaisesti poikkisuuntainen arvo pysyi lähes muuttumattomana.

#### 15.4 Johtopäätökset

Taivekartongin runkokerroksen riittävä lujuus on mahdollista varmistaa, vaikka hyllyn osuus laskettaisiin 20 %:iin. Tämä edellyttää, että hiokkeen jauhatusta nostetaan merkittävästi tai osa hiokkeesta korvataan hyvin hienoksi jauhetulla mäntysellulla. Hiokkeen freeness pitäisi laskea tasolta 300 ml CSF tasoon 250 ml CSF. Jos hiokkeen jauhatusta ei haluta kuitenkaan lisätä, voidaan vastaava vaikutus saavuttaa mäntysellun avulla. Tällöin mäntysellu täytyisi jauhaa riittävän pitkälle (°SR 74) tai nostaa sen osuus vähintään 2 %:in, jolloin mäntysellun jauhatusteeksi riittäisi °SR 49.

Hiokkeen jauhatusteiden nostolla oli myös vähemmän toivottuja vaikutuksia, sillä se lisäsi voimakkaasti runkomassan mukana kulkeutuvan hienoaineen määrää. Tämän seurauksena huonontuivat runkoviiraosan hienoaine- ja kokonaisretentio, koska sidokemikaalin tai retentioaineiden käyttöä ei lisätty. Lisäksi hiokkeen jauhatusteiden nosto lisäsi merkittävästi runkomassan vedenpoistovastusta, mikä ei näkynyt kuitenkaan kartonkikoneen vedenpoiston tai höyryenergian tarpeen muutoksina. Myös kartongin paksuudessa tapahtunut muutos oli yllättävän pieni.

Mäntysellun annostelulla oli selvä vaikutus myös kartonkikoneen vedenpoistoon ja höyrynkulutukseen. Tästä johtuen runkomassaan annosteltavan mäntysellun osuus olisi rajoitettava ainoastaan yhteen prosenttiin tai menetettäisiin hyllyn käytön vähentämisellä saavutettu etu vedenpoistossa. Höyrynkulutuksen suhteen etu menetettiin mäntysellun osuudesta ja jauhatusteesta riippumatta.

Lisäksi mäntysellun annostelulla oli edelleen huomattavan negatiivinen vaikutus kartongin paksuuteen ja bulkkiin siitä huolimatta, että annosteluosuuksia oli pienennetty edellisestä koeajosta. Mäntysellun käyttö vähensi merkittävästi myös taivekartongin kykyä vastustaa poikkisuuntaista taivutusta. Tämän lisäksi hyvän

formaation saavuttaminen vaikeutui koeajon edetessä, koska vedenpoistolla oli tähän jauhatusta hallitsevampi vaikutus.

Sidoskemikaali ei tehostanut mäntysellun käyttöä, eikä sen vaikutuksia saatu muutenkaan esiin. Koska sidoskemikaalin kokonaiskäytön lisäys ei vaikuttanut vedenpoistoon, olisi sidoskemikaalin annostelua mahdollista lisätä. Toisaalta vedenpoisto ei myöskään helpottunut, joten lujuuden ja vedenpoiston kannalta optimaalinen annos voi olla hyvinkin lähellä.

Voi olla, että sidoskemikaalin kuituverkon rakennetta lujittava vaikutus olisi saatu paremmin esille, jos mäntysellua ei olisi jauhettu niin pitkälle. Jauhatus lisää hienoaineen määrää ja hienoaines adsorboi tärkkelystä voimakkaammin kuin kuidut. Tärkkelys antaa kuitenkin parhaan lujuusvasteen, kun se sitoutuu pitkien kuitujen kanssa.

Toisaalta tärkkelyksen parhaan lujuusvasteen saavuttamiseksi olisi varmistuttava myös lisätyn annoksen retentiosta. Tästä johtuen massaliimojen ja mäntysellun yhteensopivuus pitäisi selvittää laboratoriossa suoritettavien kokeiden avulla jo ennen tuotantomittakaavaisiin kokeisiin siirtymistä. Tämän lisäksi olisi hyvä selvittää mäntysellun hienoainepitoisuuden merkitys tärkkelysretention kannalta.

## 16 RUNKOVIIRAOSAN VEDENPOISTO

### 16.1 Koeajon tarkoitus

Tämän koeajon avulla selvitettiin runkoviiraosan alkuvedenpoiston vaikutus hienoaineretentioon sekä formerin alueella tapahtuvan vedenpoiston merkitys hienoaineen jakautumisen ja pidättäytymisen kannalta.

Tehtaalla tehtyjen tutkimusten mukaan runkokerroksen hienoaine jakautuu niin, että hienoaineköyhä kohta muodostuu kerroksen yläpinnan läheisyyteen. Rungon lujuuden kannalta olisi kuitenkin edullisinta, jos hienoaines jakautuisi tasaisesti poikki kerroksen paksuuden tai hienoaineköyhä kohta olisi mahdollisimman kaukana kerrospinnoista. Liitospinnoilla hienoaine lisää yhteen huopautettavien kerrosten liitoslujuutta.

## 16.2 Koeajon suoritus

Edellisistä koeajoista poiketen hylyn osuus laskettiin ainoastaan 25 %:iin, koska kartonkikoneen runkoviiraosalle suunniteltujen muutosten arvioitiin aiheuttavan aikaisempia muutoksia suuremman ratakatkoriskin. Taas hylyn jauhatuksen määrä jouduttiin asettamaan suunniteltua (70 kWh/t) alhaisemmalle tasolle (50 kWh/t, °SR 48), koska runkoviiraosan vedenpoisto oli tavallista rajoittuneempaa. Tästä johtuen myös rungon virtaama oli muita koeajoja selvästi alhaisemmalla tasolla, sillä lisävesi olisi pilannut formaation.

Hiokkeen freeness oli jälleen lähes yhtä alhaisella tasolla (266-275 ml CSF) kuin edellisessä koeajossa (243-260 ml CSF), mikä oli seurausta H3-linjan hiokkeen tavallista (3 l/s) suuremmasta annostelumäärästä (5 l/s). H3-hioketta annosteltiin normaalisti koeajon alussa, mutta annostelumäärä oli ollut korkeammalla tasolla jo ennen koeajoa. Varsinaiset koeajoon valitut muuttujat ja niiden yhdistelmät on esitetty taulukossa XII.

Taulukko XII Koeajon muuttujat ja niiden yhdistelmät (- = alhainen/normaali taso, + = korkea taso ja ++ = korkeampi taso).

Koepiste	Huulisuihkun iskukulma	Muodostuskengän imutaso (MI)	Listojen kuormitustaso (LK)
1	5,9°	-	-
2	5,5°	-	-
3	5,3°	-	-
4	5,3°	-	++
5	5,3°	+	-
6	5,3°	+	+
7	6,0°	+	+
8	6,0°	+	-
9	6,0°	-	+
10	6,0°	-	-

Koeajo aloitettiin määrittämällä pienin runkoperälaatikon huulisuihkun iskukulma ja sitä vastaava iskuetäisyys, jolla rintapöydän kärkilista kaavaisi edelleenkin vettä. Kaavaus loppui, kun iskukulma ajettiin alle 5,3°. Siten tämä kulma valittiin iskukulman alarajaksi, jolloin iskupiste asettui 199 mm etäisyydelle perälaatikon alahuulen etureunasta. Koska iskukohta oli 39 mm kauempana perälaatikosta kuin kärkilista (160 mm), täytyi huulisuihkun hajota koneensuunnassa ainakin 4 cm pituiselle alueelle. Tämän lisäksi huulisuihku tai muodostuspöytä oli vinossa,

koska kärkilistan kaavaus oli voimakkaampaa käyttöpuolella kuin hoitopuolella. Toinen suihkun iskukulmataso (5,9/6,0°) valittiin normaalin ajotilanteen mukaan. Tällä kulmalla suihkun iskeytymisetäisyys oli 157 tai 154 mm, joten se laskeutui muodostuspöydän etupuolelle.

Formerin alueella vedenpoistoon vaikutettiin rainan yläpuolisen muodostuskengän ja alapuolisen kuormituskengän avulla. Yläkengän imukammioiden alipaineita ja alakengän kuormituslistojen paineita säädettiin niin, että vaikutettiin imujen tai kuormitusten porrastuksen jyrkkyyteen, eikä ainoastaan yksittäisen kammion tai listan toimintaan. Tästä johtuen formerin muutokset esitettiin yksinkertaistetusti porrastuksen jyrkkyyttä kuvaavin symbolein (Taulukko XII), joita käytettiin myöhemmin myös kuvaajien yhteydessä. Koeajosuunnitelma on esitetty liitteessä X.

Sekä imukammioiden alipaineille että kuormituslistojen paineille valittiin kaksi tasoa. Näistä alhaisempi taso edusti listojen paineiden osalta normaalia ajotapaa, mutta kahden ensimmäisen kammion imut olivat hieman alhaisemmalla tasolla kuin tavallisesti. Ennen koeajoa imukammioiden alipaineet olivat 4,8; 5,1 ja 8,0 kPa, kun taas koeajon alussa ne olivat 4,0; 4,0 ja 8,0 kPa. Ensimmäisen kammion alhaisempi imutaso saavutettiin, kun muodostuskengän kaavauslistaa käännettiin lähemmäksi rataa. Taas korkeammalla muodostuskengän imutasolla kammioiden imupaineet olivat 4,0; 8,0 ja 14,0 kPa. Kolmannen kammion imutasoa ei nostettu tämän korkeammalle, koska sen vaatima linjan kokonaispaineen nosto olisi heiluttanut muidenkin kammioiden painetasoja, eikä imua olisi pystytty tästä juuri lisäämään.

Listojen alhaisemmalla kuormitustasolla paineet olivat 2, 3, 4 ja 8 psi, kun taas korkeammalla tasolla ne olivat 2, 4, 6 ja 8 tai 12 psi. Alkuun listojen kuormituksia porrastettiin liiankin jyrkästi, minkä seurauksena formaatio muuttui huomattavan rikkonaiseksi. Tästä johtuen viimeisen kuormituslistan paine laskettiin neljännen koepisteen jälkeen arvosta 12 psi arvoon 8 psi, johon se myös jätettiin.

Kiiltokalanterin kartonkiin kohdistama kuormitus oli vähäisempää ensimmäisen koepisteen aikana (20 kN/m) kuin sitä seuraavilla koepisteillä (26 kN/m).

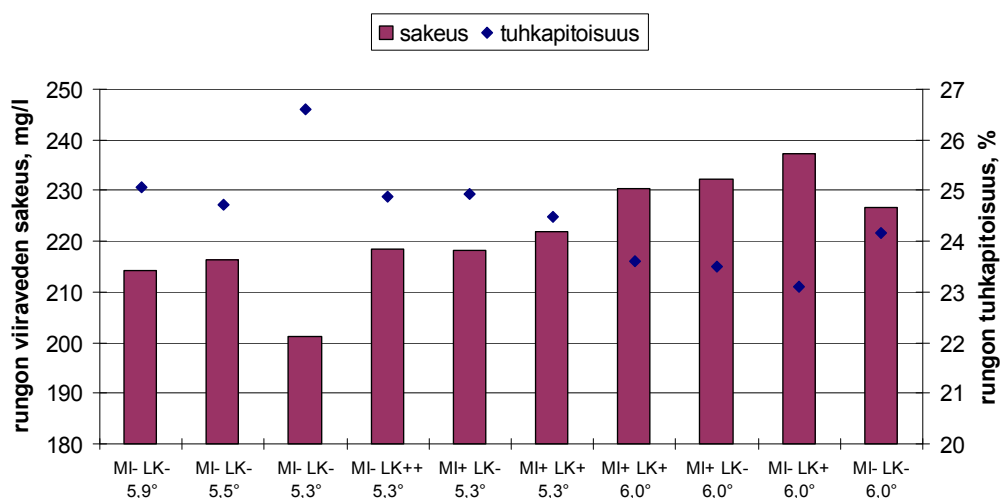


Kalanterin kuormitusta muutettiin vielä koeajon loppupuolella tapahtuneen katkon jälkeen niin, että se oli jälleen hieman alhaisemmalla tasolla (24 kN/m). Rata katkesi ensimmäiselle päällystysasemalle 7. ja 8. koepisteen välillä, mutta syy jäi tuntemattomaksi.

Koeajossa ajettiin koepisteiden runsaudesta johtuen ainoastaan yksi konerulla koepistettä kohti ja jokaisesta konerullasta kerättiin poikkiratanäytteet. Näistä näytteistä stanssatuista arkeista määritettiin samat ominaisuudet kuin muissakin koeajoissa. Lisäksi arkeista määritettiin z-suuntainen kiintoainejakauma, pinnan formaatio ja pinnan irrotuslukutestin yhteydessä muodostunut palstautumiskohta.

### 16.3 Koeajon tulokset ja niiden tarkastelu

Runkoviiraosan muutokset eivät vaikuttaneet viirarententioon siitä huolimatta, että vaikutukset näkyivät rungon tuhkapitoisuudessa ja viiraveden sakeudessa (Kuva 63).



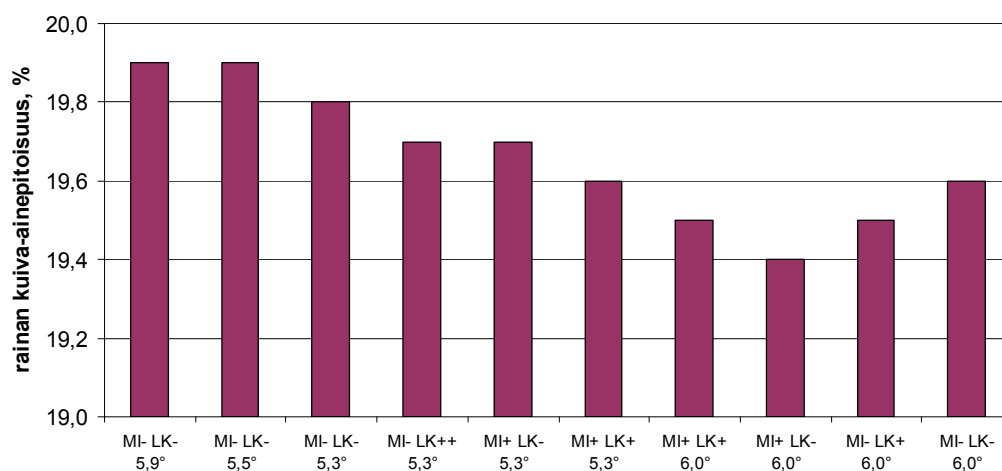
Kuva 63. Muodostuskengän imutason (MI), listojen kuormitustason (LK) ja iskukulman vaikutus runkokerroksen tuhkapitoisuuteen ja viiraveden sakeuteen.

Rungon viiraveden sakeus vähentyi ja runkokerroksen tuhkapitoisuus lisääntyi, kun huulisuihkun iskukulma laskettiin 5,3°. Siten alkuvedenpoiston keventäminen paransi todennäköisesti myös keskikerroksen hienoaineretentiota. Yläviirayksikön alueella tehdyillä muutoksilla oli negatiivinen vaikutus rungon tuhkapitoisuuteen

ja viiraveden kiintoainepitoisuuteen, mutta muuten vaikutukset olivat ristiriitaisia. Koeajon ajo-olosuhteet on esitetty liitteessä XI ja tulokset liitteessä XII.

### *Vedenpoisto ja höyrynkulutus*

Varovainen initiaalivedenpoisto lisäsi vedenpoiston tarvetta muodostuspöytää seuraavilla vedenpoistoelementeillä (Kuva 64). Tähän ei pystytty kuitenkaan vastaamaan vaikuttamalla yläviirayksikön alueella tapahtuvaan vedenpoistoon. Päinvastoin imu- ja kuormituspainneiden voimakkaampi porrastaminen vaikeutti vedenpoistoa entisestään, mikä saattoi olla seurausta runkokerroksen liian nopeasta tiivistymisestä.

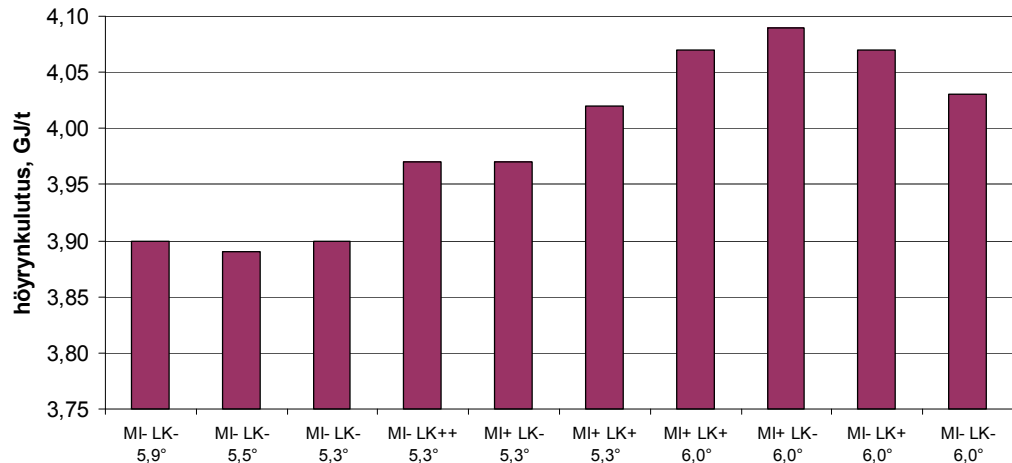


Kuva 64. Muodostuskengän imutason (MI), listojen kuormitustason (LK) ja iskukulman vaikutus kartonkirainan kuiva-ainepitoisuuteen.

Kartonkirainan sakeus oli ennen koeajoa huomattavasti korkeammalla tasolla kuin edellisissä koeajoissa, koska runkoperälaatikon huulisuihkuvirtaus oli pienempi kuin aikaisemmin. Lähtötaso olisi voinut olla korkeammallakin, koska hioke oli tavallista hienompaa ja hylyn käyttö edellisiä kertoja runsaampaa. Koeajon aikana tapahtuneet hiokkeen jauhatustason muutokset olivat niin pieniä, ettei niillä ollut merkitystä tuloksien kannalta.

Kartonkikoneen höyryenergian tarve muuttui edellä kuvattujen kartonkirainan kuiva-ainepitoisuudessa tapahtuneiden muutosten mukaisesti (Kuva 65). Myös kartonkirainan korkea kuiva-ainepitoisuustaso heijastui höyrynkulutukseen, koska se oli alussa samalla tasolla kuin aikaisemmin 5 prosenttiyksikköä pienemmällä

hykyosuudella. Kun huomioitiin höyrynkulutustasossa koeajon aikana tapahtunut muutos, voitiin hylyn annosteluosuuden vaikutusta pitää merkittävämpänä kuin tässä nähtyjä muutoksia.



Kuva 65. Muodostuskengän imutason (MI), listojen kuormitustason (LK) ja iskukulman vaikutus kartonkikoneen höyrynkulutukseen.

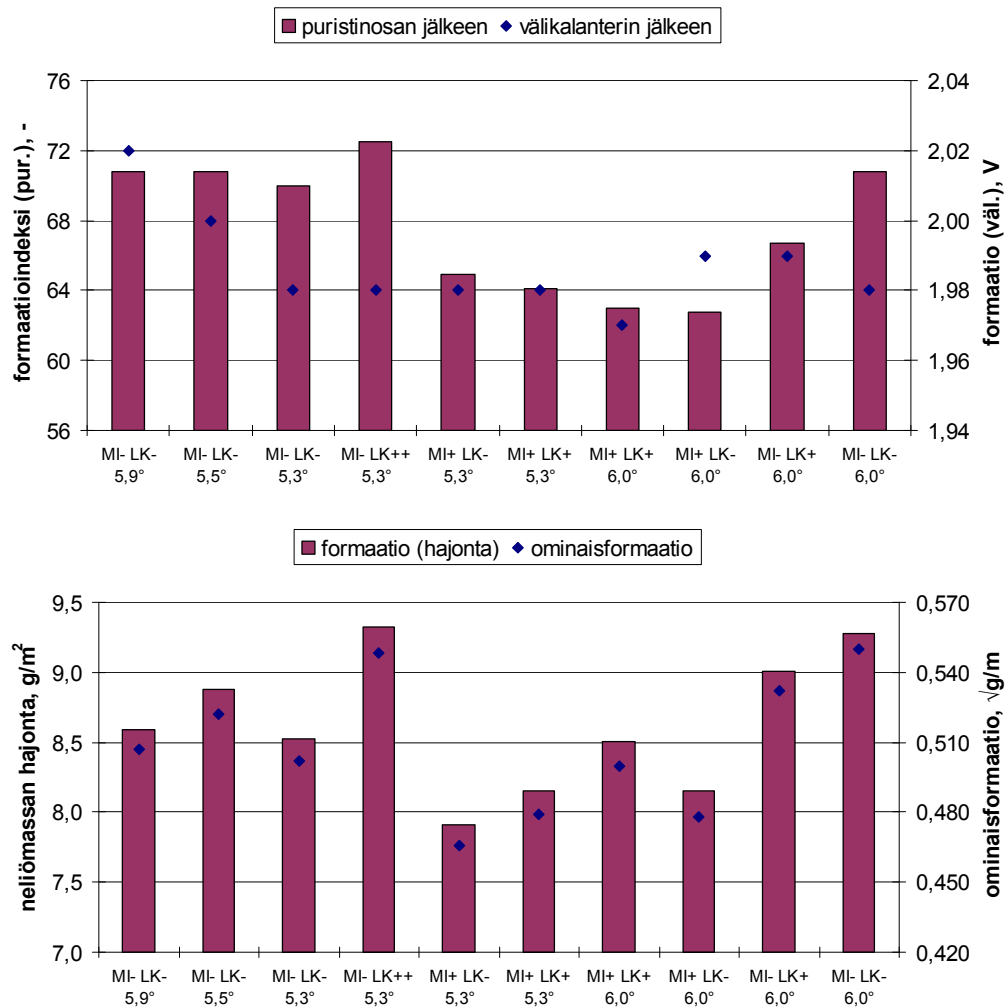
### *Formaatio*

Kartonkikoneen online-mittausten lisäksi taivekartongin pintakerroksen formaatio määritettiin laboratoriossa (Kuva 66). Näiden tulosten perusteella runkoviiraosan muutoksilla oli selvästi voimakkaampi vaikutus taivekartongin formaatioon kuin aikaisempien koeajojen muutoksilla. Toisaalta formaatio oli jo koeajon alussa huonommalla tasolla kuin yhdenkään edellisen koeajon aikana. Tähän vaikutti merkittävästi runkoviiraosan yliherkkyys vettä kohtaan ja siten myös vedenpoistoon vaikuttavia muutoksia kohtaan.

Koska perälaatikkomassa johdettiin viiralle tavallista sakeampana, oli lähtötilanne hyvän pohjanmuodostuksen kannalta aikaisempaa haastavampi. Taivekartongin formaatio muuttui alkuun ryynimäiseksi, kun muodostuskengän 1. ja 2. kammion imut laskettiin koeajosuunnitelmassa määritettyyn tasoon. Tähän saattoi vaikuttaa myös yläkengän kaavauslistan siirto lähemmäksi rataa, vaikkei vesi jäänytkään pyörimään listan päälle.

Kartongin pohjan ryynimäisyyden havaittiin häviävän, kun suihkun iskuetäisyyttä kasvatettiin. Tämä havainto oli ristiriitainen mittaustulosten ja joiltain osin myös

teorian kanssa. Teorian mukaan iskuetäisyyden kasvattaminen lisää huulisuihkun turbulenssia, minkä seurauksena kartongin formaation pitäisi huonontua. Toisaalta huulieron kasvattamisen on todettu myös parantavan formaatiota, jos rintapöydän kärkilistan kaavaus pysyy samana. Koska kärkilistan kaavaus ei muuttunut, kun alahuulen ulottumaa kasvatettiin, saattoi formaatio yhtä hyvin myös parantua.



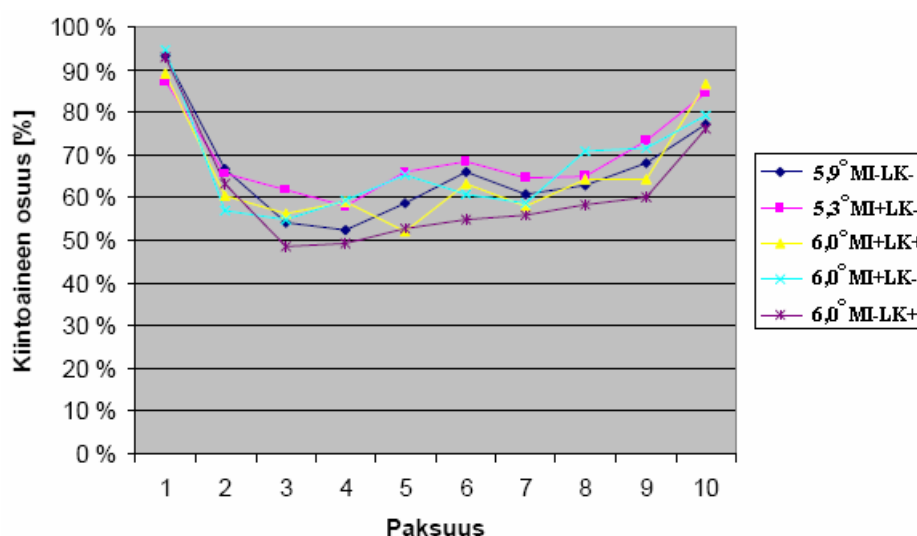
Kuva 66. Muodostuskengän imutason (MI), listojen kuormitustason (LK) ja iskukulman vaikutus taivekartongin formaatioon.

Kärkilistan kaavaus muuttui vasta, kun huulisuihkun iskukulma laskettiin 5,3°. Tämän jälkeen kaavaus oli voimakkaampaa kartonkikoneen käyttöpuolella kuin hoitopuolella. Koska hoitopuolen alkusuotautuminen tapahtui liian rauhallisesti, lisääntyi rainan etureunan flokkisuus ja etureunan formaatio muuttui jälleen ryynimäiseksi. Tämä näkyi vain välikalanterin jälkeen mitatussa formaatiossa, koska muut mittaukset eivät ulottuneet koneen hoitopuolelle.

Kaikista haitallisista vaikutuksista kartongin formaation kannalta oli kuormituskengän 4. listan paineen nostolla. Sen vaikutuksesta kartongin pohja muuttui huomattavan rikkonaiseksi koko radan leveydeltä. Puolestaan ainoa formaatiota merkittävästi parantanut muutos oli muodostuskengän imujen voimakkaampi porrastaminen. Lisäksi koeajon aikana esiintyneet hoitopuolen formaatio-ongelmat poistuivat muodostuskengän imutasojen nousun myötä ja vastaavasti palasivat imutasojen laskun myötä, joten näillä imuilla oli myös formaatiota tasoittava vaikutus.

### 16.3.1 Kiintoaineen jakautuminen

Osa kartonkinäytteistä lähetettiin jatkotutkimuksia varten Stora Enson Imatralla sijaitsevalle tutkimuskeskukselle. Täällä jokaisesta kartonkiarkista valmistettiin 2 poikkileikettä. Leikkeet kuvattiin 2 osassa ja osakuvista tehtiin yhdistelmäkuva. Tämän jälkeen poikkileikekuvat lähetettiin edelleen Jyväskylään VTT:lle, jossa suoritettiin paksuussuuntaisen kiintoainejakauman laskenta. Näytteitä oli lähetetty eteenpäin 5 kappaletta, joten analysoitavia kuvia oli yhteensä 10 kappaletta. Jokaiselle poikkileikekuvalle tehtiin kuva-analyysi, joka antoi kiintoainejakauman kymmenessä kartongin paksuussuuntaan jaetussa kerroksessa (Kuva 67). Tulokset esitettiin kahden samana näytteenä edustavan poikkileikkeen kiintoainejakaumista laskettuina keskiarvoina.



Kuva 67. Muodostuskengän imutason (MI), listojen kuormitustason (LK) ja iskukulman vaikutus kartongin z-suuntaiseen kiintoainejakaumaan. Paksuuskoordinaatti 1 kuvaa näytteen yläpintaa ja 10 alapintaa.

Kaikkien näytteiden yläpinnan kiintoainepitoisuus oli 90 % tasolla, kun taas alapinnan pitoisuus oli 10 prosenttiyksikköä päällystettyä yläpintaa alhaisempi. Vaihtelu oli suurimmillaan näytteiden sisäkerroksissa. Suurin kiintoainetiheys saavutettiin pienemmän iskukulman ja korkeamman imutason yhdistelmällä, kun taas suurempi iskukulma ja korkeampi kuormitustaso antoivat huokoisimman arkin.

Normaalia ajotilannetta vastaavilla asetuksilla (5,9° MI-LK-) kiintoaineköyhä ja siten myös hienoaineköyhä kohta asettuivat lähelle runkokerroksen yläpintaa, kuten oli todettu myös aikaisemmissa tutkimuksissa. Hienoaineköyhän kohdan siirtäminen tai hienoainejakauman tasoittaminen on näiden tulosten perusteella kuitenkin hyvin vaikeaa. Toisaalta koko kerroksen hienoainepitoisuus lisääntyi alkuvedenpoistoa keventämällä, mikä havaittiin myös vähentyneenä viiraveden sakeutena. Myös kammioiden imutason nosto lisäsi rungon hienoainepitoisuutta, kun taas listojen kuormitustason nostolla oli selvästi negatiivisin vaikutus.

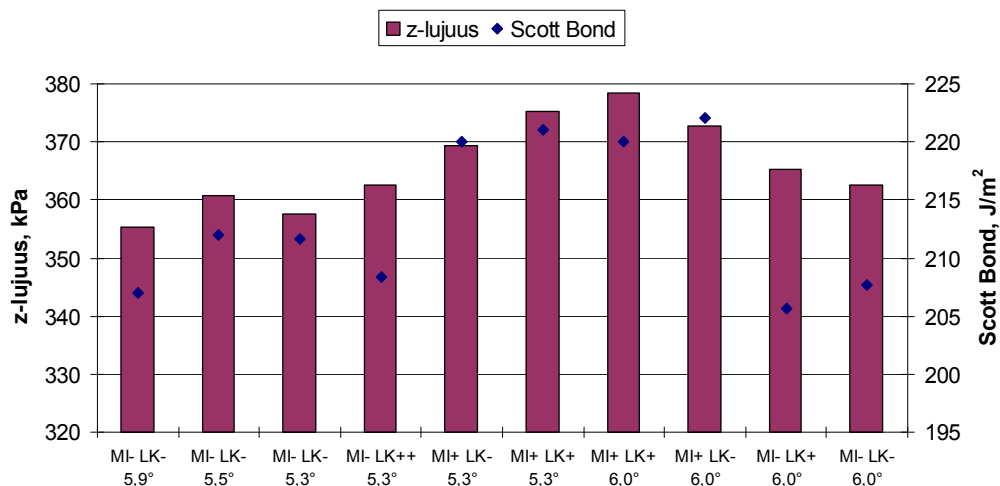
### 16.3.2 Kartonkinäytteet

#### *Z-suuntainen lujuus*

Kartongin z- ja Scott Bond-lujuus olivat koeajon alussa selvästi korkeammalla tasolla kuin edellisiä koeajoja aloitettaessa (Kuva 68). Scott Bond-arvot olivat suurempia kuin kertaakaan aikaisemmin. Tämä johtui lähinnä rungon korkeasta perälaatikkosakeudesta, joka antoi huopautuneemman kuituverkon rakenteen ja siten myös suuremman z-suuntaisen lujuuden. Toisaalta palstautumislujuuden lähtötasoa nostivat myös edellisiä koeajoja suurempi hylyn osuus ja hiokkeen tavallista korkeampi jauhatustaso.

Koeajoon suunnitelluilla muutoksilla ei ollut niin suurta vaikutusta, että niiden avulla voitaisiin saavuttaa hylynkäytön vähentämisen seurauksena menetettävä lujuus. Formerin vedenpoistoalueella tehdyt muutokset lisäsivät taivekartongin z-lujuutta kuitenkin poikkeuksetta. Kammioiden imuilla oli tähän suurempi vaikutus kuin kuormituselementeillä, mutta suurin z-lujuus saavutettiin korkeamman imu- ja kuormitustason yhdistelmällä. Taas Scott Bond-arvojen mukaan taivekartongin

palstautumislujuus heikentyi, kun listojen kuormitustasoa nostettiin. Scott Bond-lujuus lisääntyi luotettavasti ainoastaan korkeamman imutason vaikutuksesta.



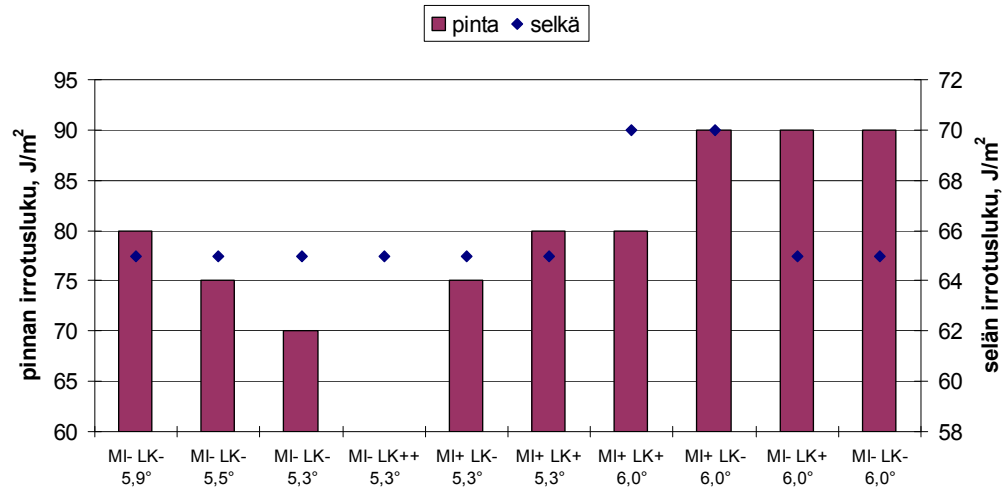
Kuva 68. Muodostuskengän imutason (MI), listojen kuormitustason (LK) ja iskukulman vaikutus taivekartongin z-suuntaiseen lujuteen.

Kun runkoperälaatikon huulisuihkun iskukulmaa pienennettiin, pienentyi myös z-lujuus. Tehtaalla ei ole aikaisemmin tutkittu iskukulman vaikutusta z-lujuteen, mutta sillä on havaittu olevan päinvastainen vaikutus Scott Bond-lujuteen. Myös varovaisen alkuvedenpoiston seurauksena lisääntyneen hienoainepitoisuuden olisi luullut kasvattavan z-suuntaista lujutta, koska hienoaineen on kerrottu toimivan kuitujen välillä liiman tavoin.

Pinnan irrotusluvun määrittäminen epäonnistui neljännen koepisteen kohdalla, koska kerros repeytyi kesken mittauksen (Kuva 69). Lisäksi koeajossa tapahtui ratakatko 7. ja 8. koepisteen välillä, jonka jälkeen pinnan arvot olivat selvästi korkeammalla tasolla. Myös selän arvot olivat korkeammalla katkon molemmilla puolilla, mikä saattoi johtua siitä, että kartonkirainan sakeus oli samanaikaisesti alhaisimmillaan. Kirjallisuuden mukaan alhainen puristinosan sisääntulosakeus helpottaa hyvän liitoslujuuden saavuttamista.

Kartonkinäytteet palstautuivat poikkeuksetta läheltä runkokerroksen yläpintaa. Palstautumiskohta siirtyi kuitenkin ratakatkon jälkeen hieman syvemmälle, mikä selitti silloin saavutetun suuremman pinnan irrotusluvun. Kartongin z-lujuuden tavoin pinta- ja runkokerroksen välinen liitoslujuus heikentyi, kun huulisuihkun

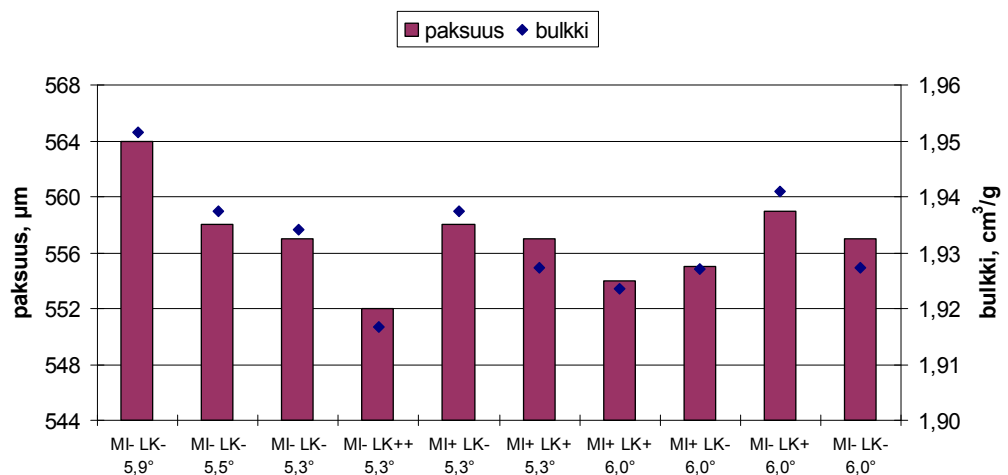
iskukulmaa pienennettiin. Myöskään liitoslujuutta ei pystytty siten kasvattamaan runkokerroksen tai liospintojen hienoainepitoisuutta lisäämällä.



Kuva 69. Muodostuskengän imutason (MI), listojen kuormitustason (LK) ja iskukulman vaikutus taivekartongin liitoslujuuteen.

#### *Paksuus, bulkki ja taivutusjäykkyys*

Taivekartonkia kalanterointiin ensimmäisen koepisteen aikana kevyemmin kuin sitä seuraavilla pisteillä, mikä selittää sen muita pisteitä suuremman paksuuden ja bulkin (Kuva 70). Myös ratakatkoa seuranneiden kolmen viimeisen koepisteen kuormitus oli hieman vähäisempää kuin sitä edeltäneillä pisteillä.

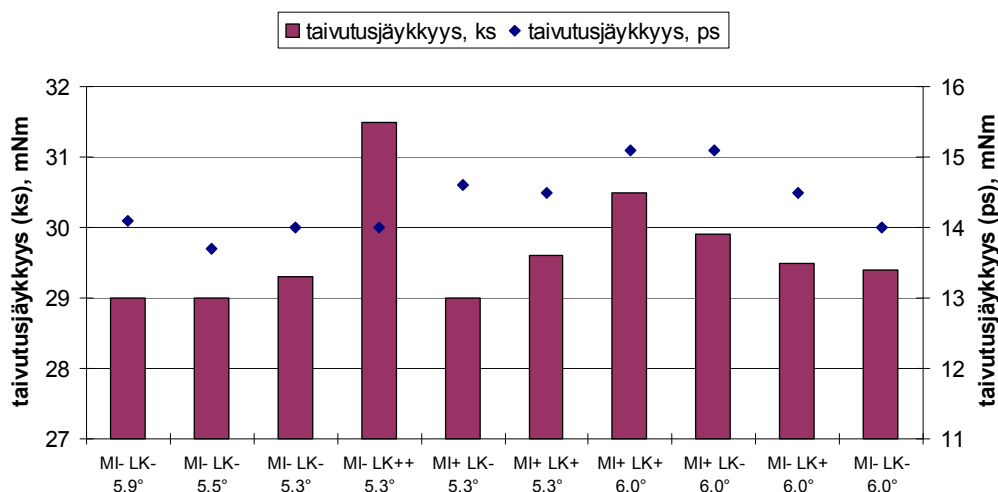


Kuva 70. Muodostuskengän imutason (MI), listojen kuormitustason (LK) ja iskukulman vaikutus taivekartongin paksuuteen ja bulkkiin.



Kuormituskengän viimeisen listan paine oli ainoa muuttuja, joka todella vähensi taivekartongin paksuutta ja bulkkia. Tosin silloinkin arvot olivat aivan normaalilla tasolla.

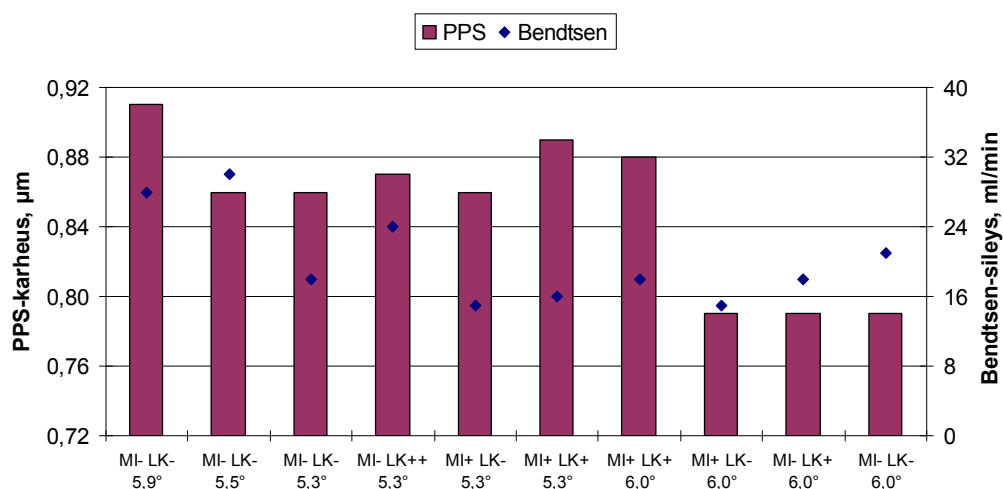
Vaikka 4. kuormituslistan paineen nosto vähensi taivekartongin paksuutta, lisäsi se huomattavasti taivekartongin konesuuntaista taivutusjäykkyyttä, kun taas poikkisuuntainen jäykkyys pysyi samanaikaisesti muuttumattomana (Kuva 71). Lähes kaikki muut arvot jäivät kartongin konesuuntaiselle taivutusjäykkyydelle asetetun tavoitteen alapuolelle, mutta poikkisuuntaiset jäykkyyсарvot pysyivät tavoitteessaan. Siten kartongin konesuuntainen jäykkyys oli jälleen kriittisempi ominaisuus kuin poikkisuuntainen jäykkyys.



Kuva 71. Muodostuskengän imutason (MI), listojen kuormitustason (LK) ja iskukulman vaikutus taivekartongin kone- ja poikkisuuntaiseen taivutusjäykkyyteen.

### Sileyks

Huomattavin vaikutus taivekartongin pinnan PPS-karheuteen oli kiiltokalanterin kuormituksen muutoksilla, jotka tehtiin koeajon alussa ja katkon jälkeen (Kuva 72). Taivekartongin pinnan Bendtsen-sileyks seurasi selvemmin kartongin pinnan formaatiossa tapahtuneita muutoksia. Siten neljännen kuormituslistan korkeampi painetaso huononsi kartongin sileyttä, kun taas kammioiden korkeampi imutaso saattoi aavistuksen parantaa sitä.



Kuva 72. Muodostuskengän imutason (MI), listojen kuormitustason (LK) ja iskukulman vaikutus taivekartongin silyteen.

#### 16.4 Johtopäätökset

Taivekartongin z-suuntaisen hienoainejakauman muotoon pystytään vaikuttamaan lähinnä viiraosan rakennetta koskevilla valinnoilla, mutta hienoaineretentioon voidaan vaikuttaa myös näiden valintojen jälkeen. Kartongikoneen runkoviiraosan alkuvedenpoiston keventäminen lisäsi rungon hienoainepitoisuutta. Tämän lisäksi formerin alueella tapahtuneella vedenpoistolla oli suuri merkitys hienoaineen pidättäytymisen kannalta. Rungon hienoainepitoisuus lisääntyi, kun kammiodien alipaineiden porrastusta jyrkennettiin. Taas listojen paineiden voimakkaamman porrastamisen seurauksena huomattava osa hienoaineesta huuhtoutui poistettavan veden mukana.

Vaikka kartongin runkokerroksen hienoainepitoisuutta onnistuttiinkin lisäämään, ei tällä ollut merkitystä paksuussuuntaisten lujuusominaisuuksien kannalta. Siten hienoaineen osuus kiintoaineesta saattoi olla paljon oletettua pienempi. Kartongin palstautumislujuus kasvoi luotettavasti ainoastaan muodostuskengän korkeamman imutason vaikutuksesta. Muutos oli kuitenkin niin vaatimaton, ettei se riittäisi palauttamaan hylynkäytön vähentämisen seurauksena menetettävää lujuutta.

Lisäksi muodostus- ja kuormituskengän alipaineiden ja paineiden voimakkaampi porrastaminen vaikeutti vedenpoistoa ja lisäsi siten myös höyrynkulutusta. Näillä tekijöillä oli myös huomattava vaikutus kartongin pinnan formaatioon. Formaatio

parantui muodostuskengän imutasoa nostamalla, kun taas viimeisen listan liian voimakas kuormitus pilasi sen. Myös taivekartongin paksuus ja bulkki laskivat, kun 4. listan painetta nostettiin. Toisaalta samanaikaisesti lisääntyi taivekartongin konesuuntainen taivutusjäykkyys.

Koska taivekartongin kerrosten väliseen sitoutumiseen ei pystytty vaikuttamaan rungon hienoainepitoisuutta lisäämällä, voidaan liitossakeutta pitää liitoslujuuden suhteen hienoainepitoisuutta huomattavasti tärkeämpänä tekijänä. Tästä johtuen myös tutkimuspanoksia kannattaisi suunnata enemmän optimaalisten liitoskuiva-ainepitoisuuksien selvittämiseksi. Tämä edellyttäisi NDC-antureiden huomattavaa toimintavarmuuden parantamista, jotta niitä voitaisiin hyödyntää myös osana päivittäistä prosessin ohjausta.

Lisäksi koeajon aikana huomattiin, että muodostuspöydän kärkilistan kaavaus oli voimakkaampaa koneen käyttöpuolella kuin hoitopuolella. Myös tämä kannattaa ottaa huomioon, koska kartongin laatuongelmat ovat painottuneet viimeaikoina juuri kartonkikoneen hoitopuolelle.

## 17 KOKEELLISEN OSAN YHTEENVETO

Tämän työn tarkoituksena oli selvittää, miten kartongin runkokerroksen lujuus voitaisiin varmistaa, kun hyllyn käyttöä vähennetään. Tämä oli vaikea kysymys, koska kartongin z-suuntainen lujuus heikentyi merkittävästi, kun runkomassan hylkyosuus laskettiin 20 %:in. Samanaikaisesti saavutettiin kuitenkin huomattava etu kartongin paksuuden ja taivutusjäykkyyden sekä runkomassan vedenpoist ominaisuuksien suhteen.

Taivekartongin runkokerroksen riittävän lujuuden varmistaminen edellyttää, että hiokkeen jauhatustetta nostetaan merkittävästi tai osa hiokkeesta korvataan hyvin hienoksi jauhetulla mäntysellulla. Hiokkeen freeness pitäisi laskea tasolta 300 ml CSF tasoon 250 ml CSF. Jos hiokkeen jauhatustetta ei haluta kuitenkaan lisätä, voidaan vastaava vaikutus saavuttaa mäntysellun avulla. Tällöin mäntysellu täytyisi jauhaa riittävän pitkälle (°SR 74) tai nostaa sen annosteluosuus vähintään 2 %:in, jolloin mäntysellun jauhatusteeksi riittäisi °SR 49.

Toisaalta hienoksi jauhetun mäntysellun käytöllä oli huomattava vaikutus myös kartonkikoneen vedenpoistoon ja höyrynkulutukseen, joten vähäisemmällä hyllyn käytöllä saavutettu etu näiden tekijöiden suhteen saatettaisiin menettää. Myös hienomman hiokkeen käytöllä on todennäköisesti vastaavanlaisia vaikutuksia, vaikkeivät ne tämän työn aikana selvinneekään.

## LÄHDELUETTELO

1. Kiviranta, A., *Paperboard grades*, Paper and Board Grades, Papermaking Science and Technology, Book 18, Paulapuro, H. (Ed.), Fapet Oy, Jyväskylä, 2000, p. 54-72.
2. Joukio, R., Mansikkamäki, S., Cartonboard package manufacturing and applications, *Paper and Paperboard Converting*, Papermaking Science and Technology, Book 12, Savolainen, A. (Ed.), Fapet Oy, Jyväskylä, 1998, p. 214-241.
3. Häggblom-Ahnger, U., Komulainen, P., *Paperin ja kartongin valmistus*, 3. painos, Gummerus Kirjapaino Oy, Jyväskylä, 2003, 290 s.
4. Mauranen, P., Tärkeimmät paperi- ja kartonkilajit, *Paperin valmistus*, Suomen Paperi-insinöörien Yhdistyksen oppi- ja käsikirja, 3. kirja, Osa 1, Arjas, A. (Ed.), Suomen Paperi-insinöörien Yhdistys r.y., Turku, 1983, p. 361-390.
5. Kajanto, I., Structural mechanics of paper and board, *Paper Physics*, Papermaking Science and Technology, Book 16, Niskanen, K. (Ed.), Fapet Oy, Jyväskylä, 1998, p. 192-221.
6. Ketola, H., Andersson, T., Dry-strength additives, *Papermaking Chemistry*, Papermaking Science and Technology, Book 4, Neimo, L. (Ed.), Fapet Oy, Jyväskylä, 1999, p. 268-287.
7. Retulainen, E., Niskanen, K., Nilsen, N., Fibers and bonds, *Paper Physics*, Papermaking Science and Technology, Book 16, Niskanen, K. (Ed.), Fapet Oy, Jyväskylä, 1998, p. 54-87.
8. Niskanen, K., Kajanto, I., Pakarinen, P., Paper structure, *Paper Physics*, Papermaking Science and Technology, Book 16, Niskanen, K. (Ed.), Fapet Oy, Jyväskylä, 1998, p. 12-53.
9. Veitola, A., Suullinen tiedonanto, 2007.

10. Stora Enso, Sisäinen seloste, 2007.
11. Sundholm, J., Raw materials, *Mechanical Pulping*, Papermaking Science and Technology, Book 5, Sundholm, J. (Ed.), Fapet Oy, Jyväskylä, 1999, p. 66-104.
12. Sundholm, J., What is mechanical pulping?, *Mechanical Pulping*, Papermaking Science and Technology, Book 5, Sundholm, J. (Ed.), Fapet Oy, Jyväskylä, 1999, p. 16-21.
13. Manson, D.W., Introduction to wet end operations, TAPPI Wet End Operations Short Course, Minneapolis, MN, May 14-18, 1990, TAPPI Press, Atlanta, GA, 1990, s.3-5.
14. Heikkurinen, A., Leskelä, L., The character and properties of mechanical pulps, *Mechanical Pulping*, Papermaking Science and Technology, Book 5, Sundholm, J. (Ed.), Fapet Oy, Jyväskylä, 1999, p. 394-413.
15. Weise, U., Terho, J., Paulapuro, H., Stock and water systems of the paper machine, *Papermaking Part 1, Stock Preparation and Wet End*, Papermaking Science and Technology, Book 8, Paulapuro, H. (Ed.), Fapet Oy, Jyväskylä, 2000, p. 123-190.
16. Palonen, H., Influence of coated broke on wet end chemistry, *Papermaking Chemistry*, Papermaking Science and Technology, Book 4, Neimo, L. (Ed.), Fapet Oy, Jyväskylä, 1999, p. 240-251.
17. Paavola, J., Taivekartongin runkokerroksen kuitukoostumuksen optimointi, Insinöörityö, EKAMK, Imatra, 2001, 79 s.
18. Lukkarinen, S., Massojen jauhatuksen optimointi kartongin valmistuksessa, Insinöörityö, EKAMK, Imatra, 2004, 82 s.
19. Lumiainen, J., Refining of chemical pulp, *Papermaking Part 1, Stock Preparation and Wet End*, Papermaking Science and Technology, Book 8, Paulapuro, H. (Ed.), Fapet Oy, Jyväskylä, 2000, p. 72-85.

20. Heinänen, A., Nestepakkauskartongin runkokerroksen rakenteen optimointi, Diplomityö, LTY, Kemianteekniikan osasto, Lappeenranta, 2002, 76 s.
21. Stora Enso, Sisäinen seloste, 2006.
22. Marin, P., Suullinen tiedonanto, 2008.
23. Anon., Strength [sähköposti], Esitelmä, Cipa Specialty Chemicals Oy, 2007, [viitattu 7.11.2007].
24. Anon., RAIFIX TECHNOLOGY [sähköposti], Esitelmä, Cipa Specialty Chemicals Oy, 2007, [viitattu 7.11.2007].
25. Riistama, K., Laitinen, J., Vuori, M., *SUOMEN KEMIANTEOLLISUUS*, Tammer-Paino Oy, Tampere, 2003, 272 s.
26. Anon., Wet End Starches – dry strength additive [sähköposti], Esitelmä, Cipa Specialty Chemicals Oy, 2007, [viitattu 7.11.2007].
27. Jylkkä, H., Taivekartongin palstautumislajuuden hallinta, Diplomityö, TKK, Puunjalostustekniikan osasto, Helsinki, 2002, 82 s.
28. Katajamäki, S., Jatkojalostuksen asettamat vaatimukset taivekartongin palstautumislajuudelle, Diplomityö, TKK, Puunjalostustekniikan osasto, Helsinki, 2001, 77 s.
29. Niemi, P., Kosteuden ja neliömassan mittaaminen kartonkikoneen viiraosalla, Diplomityö, LTY, Kemianteekniikan osasto, Lappeenranta, 2006, 74 s.
30. Norman, B., Web forming, *Papermaking Part 1, Stock Preparation and Wet End*, Papermaking Science and Technology, Book 8, Paulapuro, H. (Ed.), Fapet Oy, Jyväskylä, 2000, p. 191-250.

31. Kiviranta, A., Paulapuro, H., Comparison of hydraulic and rectifier roll headboxes in the manufacture of the middle ply of folding boxboard, *Paperi ja Puu* **72**(1990)4, s.335-344.
32. Härkisalmi, J., Ilmoniemi, E., Koskimies, J., Mauranen, P., Massalietteen laimennus ja syöttö paperikoneelle, *Paperin valmistus*, Suomen Paperi-insinöörien Yhdistyksen oppi- ja käsikirja, 3. kirja, Osa 1, Arjas, A. (Ed.), Suomen Paperi-insinöörien Yhdistys r.y., Turku, 1983, p. 525-550.
33. Räisänen, K., Viiraosan ratkaisut/Viiraosan vaikutus laatuun, Kartonkikoneen formeriosan hallinta, Lahti 6.-7.2.2002, AEL Metsäteollisuuden koulutuskeskus, Metso Paper Oy, Jyväskylä, 21 s.
34. Leino, M., Huulisuihkun hallintaparametrien vaikutus taivekartongin laatuun, Diplomityö, TKK, Prosessi- ja materiaalitekniiikan osasto, Espoo, 1996, 94 s.
35. Kajanto, I., Laamanen, J., Kainulainen, M., Paper bulk and surface, *Paper Physics*, Papermaking Science and Technology, Book 16, Niskanen, K. (Ed.), Fapet Oy, Jyväskylä, 1998, p. 88-115.
36. Tilli, A., Suullinen tiedonanto, 2008.
37. Stora Enson sisäinen verkko, 2007.



## LIITTEET

Liite I	Mittausmenetelmät
Liite II	Hylyn osuus-koeajon ajo-olosuhteet
Liite III	Hylyn osuus-koeajon tulokset
Liite IV	Hylyn jauhatus-koeajon ajo-olosuhteet
Liite V	Hylyn jauhatus-koeajon tulokset
Liite VI	Mäntysellun jauhatus ja annostelu-koeajon ajo-olosuhteet
Liite VII	Mäntysellun jauhatus ja annostelu-koeajon tulokset
Liite VIII	Mäntysellu ja tärkkelys-koeajon ajo-olosuhteet
Liite IX	Mäntysellu ja tärkkelys-koeajon tulokset
Liite X	Runkoviiraosan vedenpoisto-koeajon koeajosuunnitelma
Liite XI	Runkoviiraosan vedenpoisto-koeajon ajo-olosuhteet
Liite XII	Runkoviiraosan vedenpoisto-koeajon tulokset

## Mittausmenetelmät

Taulukko I Mittausmenetelmien standardit tai standardin puuttuessa viittaus mittausmenetelmän kuvaukseen.

<b>Mittausmenetelmä</b>	<b>Standardi/viittaus</b>
Näytteiden ilmastointi	ISO 187
Neliömassa	ISO 536
Paksuus	ISO 534
Taivutusjäykkyys, Taber	ISO 2493
Sileys, Bendtsen	SCAN-P 21:67
Karheus, PPS	ISO 8791-4
Formaatio	Katso liite I(2/3)
Z-lujuus	SCAN-P 80:98
Scott Bond-lujuus	TAPPI 569
Irrotusluku	Katso liite I(3/3)
Vaaleus	ISO 2470

Formaatio

Kartongin pinnan formaatio mitataan Ambertec Beta Formation Tester-laitteella. Formaatiomittari on kytketty tietokoneeseen, joka laskee näytteelle formaation tunnusluvut.

Toimintaperiaate	$\beta$ -säteilyn absorptio mittaaminen
Mittausalue	70x70 mm
Mittausaukko	1 mm
Näytteen liikutus	askeltava, näyte liikkuu mittausten välillä
Mittauspisteiden lukumäärä	400 kpl/näyte (20 kpl x-suuntaan ja 20 kpl y-suuntaan)
Mittauspisteiden välimatka	3,5 mm sekä x- että y-suuntaan
Pulssinlaskenta-aika	säädettävissä välillä 0,1-20 s/mittauspiste
Säteilylähde	suljettu prometium-147-lähde, jonka nimellinen aktiivisuus on 5 mCi
Tulostus	arkin keskimääräinen neliömassa neliömassan hajonta normeerattu hajonta variaatiokerroin pulssivuo arkin läpi koepisteen rinnakkaismääritysten keskiarvo

Irrotusluku

## 1. Periaate

Vedetään vetolujuuslaitteella irrotettavaa kerrosta irti ja mitataan irrotukseen tarvittava voima.

## 2. Laitteet

a. Vetolujuuslaite

b. Vetolujuuslaitteeseen kiinnitettävä metallirulla

## 3. Suoritus

Ilmastoimattomasta kartongista leikataan konesuuntaan 2 liuskaa, joiden pituus on 30 cm ja leveys 10 cm. Irrotetaan käsin liuskojen toisesta päästä tutkittavaa kerrosta muutaman senttimetrin pituudelta. Irrotus tehdään niin, että toinen liuska edustaa koneen ajosuuntaa ja toinen ajosuunnalle vastakkaista suuntaa.

Näytteen toinen pää kiinnitetään metallirullaan teipillä siten, että irrotettava kerros tulee ulospäin. Näyte kiedotaan rullan ympärille kiinnittäen irti revitty kerros vetolujuusmittarin yläkiinnikkeeseen ja muut kerrokset teipillä rullaan. Vetolujuuskojeella vedetään irrotettavaa kerrosta irti nopeudella 16 cm/min samalla tarkkaillen asteikolta irrotukseen tarvittavaa voimaa. Kokeen katsotaan päättyneen, kun osoitin pysähtyy, eikä lukema enää muutu. Irrotusvoima  $T$  [g/cm] lasketaan seuraavasti

$$T = \frac{G}{A} \quad (1)$$

jossa  $G$  vetolujuuslaitteen lukema, g  
 $A$  näytepalan leveys, cm

## Hylyn osuus-koeajon ajo-olosuhteet

Taulukko II Kartonkikoneen ajo-olosuhteet 7.12.2007, osa 1/2.

AJO-OLosuhteet, KK4 - TB290	Koepiste 1		Koepiste 2	Koepiste 3	Koepiste 4	
konerulla	7154/29	30	31	32	33	34
neliömassa, g/m <sup>2</sup>	285	289	292	293	291	290
rullaajan nopeus, m/min	394	390	390	391	390	390
<u>massaosuudet (pi), %</u>						
koivusellu	67	67	67	67	67	67
eukalyptussellu	33	33	33	33	33	33
<u>massaosuudet (ru), %</u>						
hioke	59	59	66	73	80	80
hylky	41	41	34	27	20	20
<u>massaosuudet (se), %</u>						
koivusellu	50	50	50	50	50	50
mäntysellu	50	50	50	50	50	50
<u>rungon sakeamassa</u>						
virtaus, l/s	238,6	241,8	241,1	237,7	235,9	235,5
sakeus, %	2,45	2,45	2,45	2,45	2,45	2,45
°SR	-	-	-	38	-	-
<u>runkoperälaatikko</u>						
huuliaukko, mm	30,13	30,48	30,47	30,47	30,47	30,47
huulisuihkuvirtaus, l/s	658,6	661,1	661,1	661,0	661,0	660,9
sakeus, % *	0,88	0,88	0,87	0,85	0,83	0,82
<u>viiraosa</u>						
rungon retentio, %	99,92	99,91	99,96	99,96	99,95	99,92
rungon viiraveden pH	6,70	6,70	6,69	6,66	6,64	6,63
rainan kuiva-ainepitoisuus, %	17,9	17,7	18,1	18,6	18,9	18,9
<u>kuormat, kN/m</u>						
1. puristin	47,95	47,95	47,95	47,96	47,95	47,96
2. puristin	87,96	88,00	87,97	87,81	88,10	87,77
3. puristin	201,93	201,95	201,92	201,99	201,96	201,94
välikalanteri	8,10	7,50	7,50	7,50	7,50	7,51
kiiltokalanteri, 1. nippi **	5,56	5,54	5,57	6,52	4,47	4,74
<u>1. puristimen vedenpoisto, l/s</u>						
alahuopa	11,2	11,5	11,1	10,6	10,2	10,1
ylähuopa	10,2	10,2	10,2	9,9	9,7	9,6
<u>höyrynpaineet, kPa</u>						
4YHR	284,48	293,16	294,83	293,73	285,41	285,03
7AHR	298,29	314,86	337,48	342,01	352,68	362,14
höyryn kulutus, GJ/t	3,91	3,96	3,97	3,90	3,90	3,91
<u>formaatio</u>						
puristinosan jälkeen	60,72	60,51	60,88	61,80	62,42	62,90
välikalanterin jälkeen	2,10	2,07	2,05	2,05	2,05	2,05

\* Rungon perälaatikkosakeus saattoi laskea sakeamassavirtauksen mukana.

\*\* Konerullan pintakerroksien kuormitus.

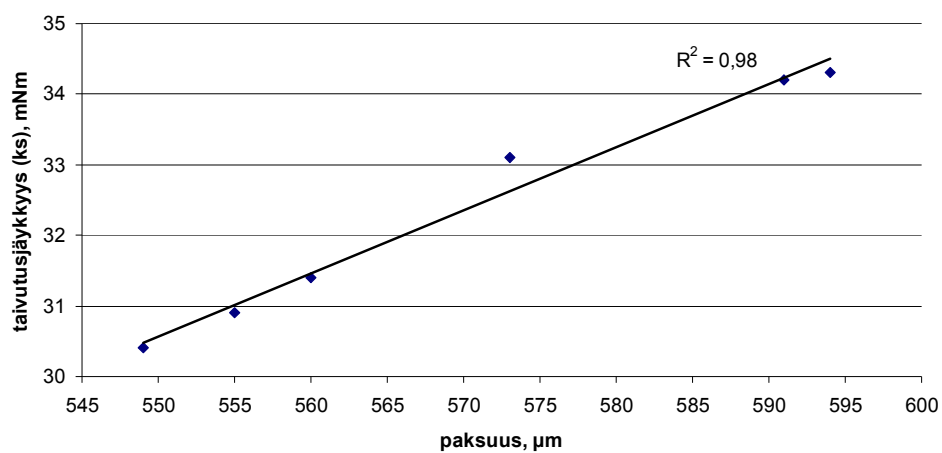
Taulukko III Kartonkikoneen ajo-olosuhteet 7.12.2007, osa 2/2.

AJO-OLOSUHTEET, KK4 - TB290	Koepiste 1		Koepiste 2	Koepiste 3	Koepiste 4	
<u>hylky</u>						
kokonaisteho, kW	560	557	500	449	383	382
EOK, kWh/t	42	42	42	42	42	42
konesäiliöön, l/s	68,9	68,2	57,5	47,6	35,0	34,9
sakeus, %	3,44	3,44	3,44	3,43	3,43	3,44
pH	6,42	6,37	6,29	6,44	6,19	5,72
°SR	-	-	48	-	-	-
<u>hioke</u>						
konesäiliöön, l/s	133,0	133,8	149,2	165,2	183,7	186,8
sakeus, %	2,57	2,57	2,57	2,58	2,57	2,57
freeness, ml	299	299	299	299	299	299
°SR	39	38	40	38	39	40
vaaleus, %	71,5	70,8	69,9	75,9	72,3	69,9
H3 varastotorniin, l/s	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0

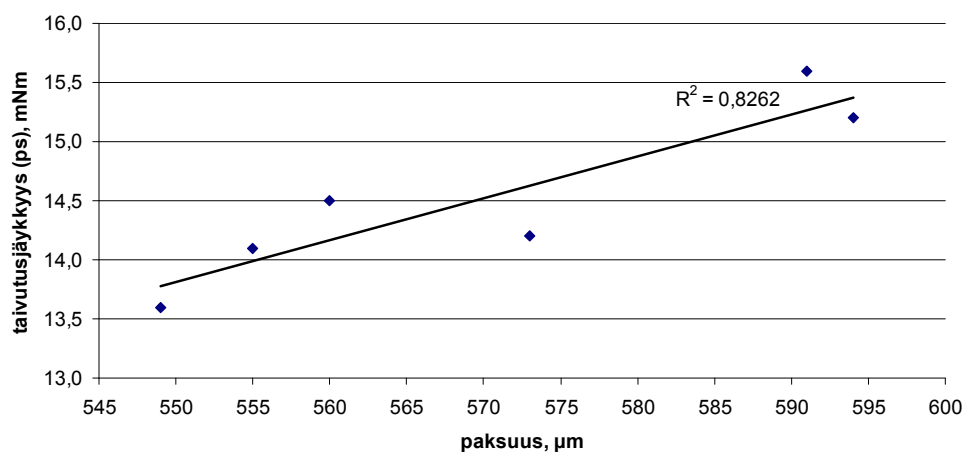
## Hylyn osuus-koeajon tulokset

Taulukko IV Kartonkinäytteiden tulokset Hylyn osuus-koeajosta.

TB290 – 7.12.2007	Koepiste 1		Koepiste 2	Koepiste 3	Koepiste 4	
konerullanumero	7154/29	30	31	32	33	34
näytteenottoaika	9:27	9:58	10:29	11:03	11:32	11:55
neliömassa, g/m <sup>2</sup>	290	290	292	288	290	290
z-lujuus, kPa	380	387	371	347	330	333
Scott Bond-lujuus, J/m <sup>2</sup>	182	176	173	167	163	161
irrotusluku, g/cm						
pinta	80	85	85	85	85	85
selkä	70	70	70	70	65	65
paksuus, µm	549	555	560	573	591	594
bulkki, cm <sup>3</sup> /g	1,89	1,91	1,92	1,99	2,04	2,05
taivutusjäykkyys, mNm						
ks	30,4	30,9	31,4	33,1	34,2	34,3
ps	13,6	14,1	14,5	14,2	15,6	15,2
jäykkyyssuhde (ks/ps)	2,24	2,19	2,17	2,33	2,19	2,26
PPS-karheus, µm	0,89	0,94	0,91	0,89	0,88	0,92
Bendtsen-sileys, ml/min	19	13	15	12	15	22
vaaleus, %						
ilman UV-valoa	85,34	85,46	85,49	85,70	85,81	85,80
UV-valolla	82,23	82,31	82,32	82,50	82,60	82,58
sävyt						
L*	94,47	94,49	94,5	94,57	94,63	94,62
a*	0,32	0,35	0,35	0,35	0,37	0,39
b*	0,68	0,62	0,61	0,58	0,59	0,57



Kuva 1. Taivekartongin paksuuden ja konesuuntaisen taivutusjäykkyyden välinen korrelaatio.



Kuva 2. Taivekartongin paksuuden ja poikkisuuntaisen taivutusjäykkyyden välinen korrelaatio.



Taulukko V Rungon perälaatikkomassa- ja viiravesinäytteiden tulokset Hylyn osuus-koeajosta.

Perälaatikkomassa ja viiravesi - 7.12.2007	Koepiste 1		Koepiste 2	Koepiste 3	Koepiste 4	
	9:27	10:00	10:29	11:02	11:29	11:56
<u>perälaatikko</u>						
pitoisuus, mg/l	9240	9236	9392	9044	9104	9060
varaustila, $\mu$ Ekv/l	-360,2	-357,8	-330,2	-342,8	-363,6	-371,0
sameus, FTU	27	27	28	27	25	25
tuhka, mg/l	416	360	340	284	240	232
tuhka, %	4,50	3,90	3,64	3,14	2,64	2,56
<u>viiravesi</u>						
pitoisuus, mg/l	544	474	478	390	352	404
varaustila, $\mu$ Ekv/l	-414,2	-396,6	-412,4	*	-433,0	-413,4
sameus, FTU	26	31	28	28	28	24
tuhka, mg/l	72	58	56	42	34	26
tuhka, %	13,24	12,24	11,72	10,77	9,66	6,44
<u>retentiot</u>						
kokonais, %	94,1	94,9	94,9	95,7	96,1	95,5
tuhka, %	82,7	83,9	83,5	85,2	85,8	88,8

\* Suodos tuhoutui.

Taulukko VI Hiokkeen tulokset Hylyn osuus-koeajosta.

Hioke - 7.12.2007	Koepiste 1		Koepiste 2	Koepiste 3	Koepiste 4	
	9:27	10:00	10:29	11:02	11:29	11:56
sakeus, %	2,35	2,23	2,30	2,09	2,30	2,38
°SR, -	39	38	40	38	39	40

## Hylyn jauhatus-koeajon ajo-olosuhteet

Taulukko VII Kartonkikoneen ajo-olosuhteet 11.1.2008, osa 1/2.

AJO-OLosuhteet, KK4 - TB290	Koepiste 1	Koepiste 2	Koepiste 3	Koepiste 4
konerulla	8005/44-46	47-49	50-52	53-55
rullaajan nopeus, m/min	376	376	376	376
<u>massaosuudet (pi), %</u>				
koivusellu	67	67	67	67
eukalyptussellu	33	33	33	33
<u>massaosuudet (ru), %</u>				
hioke	80	80	80	80
hylky	20	20	20	20
<u>massaosuudet (se), %</u>				
koivusellu	50	50	50	50
mäntysellu	50	50	50	50
<u>rungon sakeamassa</u>				
virtaus, l/s	221,7	220,7	219,9	219,9
sakeus, %	2,40	2,40	2,44	2,45
°SR	38	39	-	40
<u>runkoperälaatikko</u>				
huulisuihkuvirtaus, l/s	619,1	619,1	619,1	618,9
sakeus, %	0,84	0,84	0,84	0,84
<u>viiraosa</u>				
rungon retentio, %	99,94	99,96	99,94	99,93
rainan kuiva-ainepitoisuus, %	19,2	19,0	19,0	18,9
<u>kuormat, kN/m</u>				
1. puristin	47,95	47,96	47,96	47,96
2. puristin	87,94	87,92	87,95	87,94
3. puristin	201,95	201,94	201,95	201,95
välikalanteri	9,00	9,00	9,00	9,00
kiiltokalanteri, 1.nippi	22,85	24,67	24,67	24,66
<u>1. puristimen vedenpoisto, l/s</u>				
alahuopa	10,2	10,2	10,1	10,1
ylähuopa	8,6	8,7	8,7	8,7
<u>höyrynpaineet, kPa</u>				
4YHR	235,92	239,33	243,04	251,67
7AHR	385,91	406,52	409,67	423,37
höyryn kulutus, GJ/t	3,70	3,72	3,75	3,81
Calcoil-taso	48,26	49,35	47,49	49,80
<u>formaatio</u>				
puristinosan jälkeen	62,80	61,44	60,77	59,61
välikalanterin jälkeen	2,94	2,93	2,93	2,91

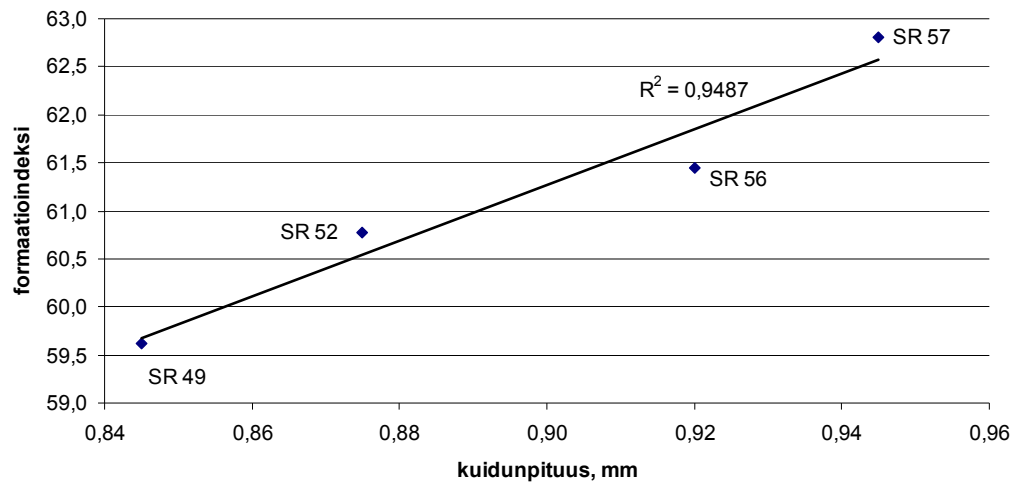
Taulukko VIII Kartonkikoneen ajo-olosuhteet 11.1.2008, osa 2/2.

AJO-OLOSUhteET, KK4 - TB290	Koepiste 1	Koepiste 2	Koepiste 3	Koepiste 4
<u>hylky</u>				
kokonaisteho, kW	364	482	634	705
EOK, kWh/t	40	69	107	125
konesäiliöön, l/s	33,9	33,4	33,0	33,2
sakeus, %	3,36	3,39	3,42	3,41
pH	6,10	6,14	6,00	6,22
°SR	49	52	56	57
<u>hioke</u>				
konesäiliöön, l/s	178,1	177,1	176,4	175,9
sakeus, %	2,56	2,56	2,56	2,56
freeness, ml	290	296	300	303
vaaleus, %	71,5	74,1	72,4	73,4
H3 varastotorniin, l/s	3,0	3,0	3,0	3,0

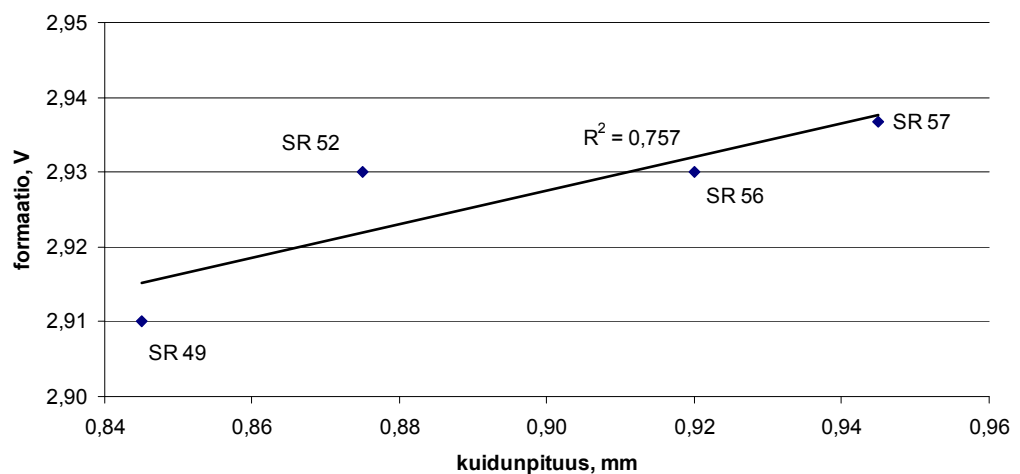
## Hylyn jauhatus-koeajon tulokset

Taulukko IX Kartonkinäytteiden tulokset Hylyn jauhatus-koeajosta.

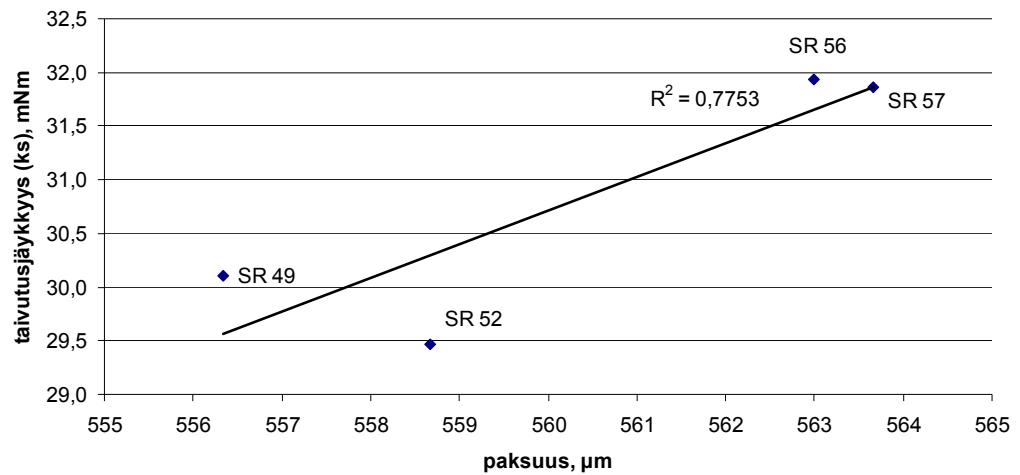
TB290 - 11.1.2008	Koepiste 1	Koepiste 2	Koepiste 3	Koepiste 4
konerullanumero	8005/44-46	47-49	50-52	53-55
	14:14	15:30	17:02	18:33
näytteenottoaika	14:45	16:01	17:32	19:05
	15:02	16:32	18:03	19:36
neliömassa, g/m <sup>2</sup>	290	290	289	290
z-lujuus, kPa	318	329	336	337
Scott Bond-lujuus, J/m <sup>2</sup>	177	187	188	178
Irrotusluku, g/cm				
pinta	85	88	85	90
selkä	57	60	60	60
paksuus, µm	563	564	556	559
bulkki, cm <sup>3</sup> /g	1,94	1,94	1,93	1,93
taivutusjäykkyys, mNm				
ks	31,9	31,9	30,1	29,5
ps	13,1	13,5	12,7	12,7
jäykkyyssuhde (ks/ps)	2,40	2,40	2,40	2,30
Bendtsen-sileys, ml/min	9	11	9	9
vaaleus, %				
ilman UV-valoa	86,30	86,40	86,30	86,20
UV-valolla	82,80	83,00	82,90	82,80
sävyt				
L*	94,9	94,9	94,9	94,9
a*	0,5	0,5	0,5	0,5
b*	0,7	0,6	0,7	0,7



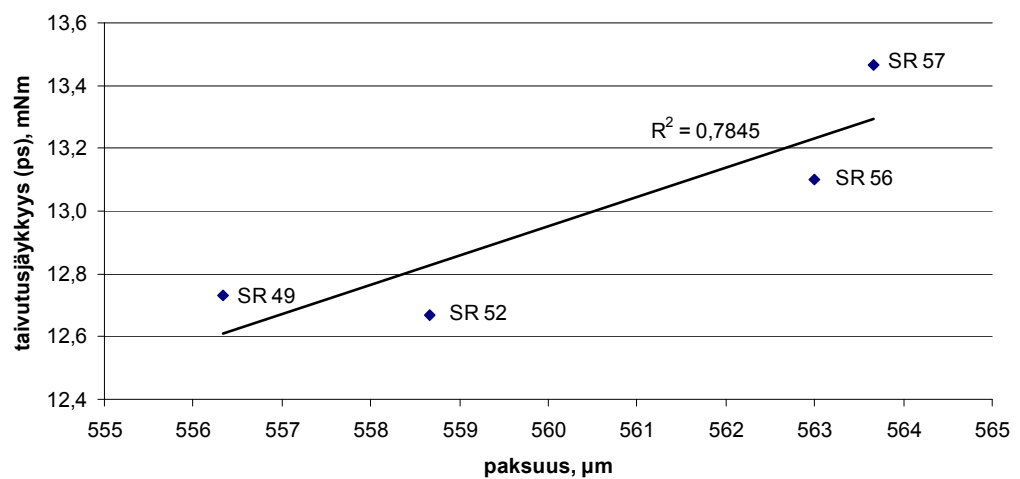
Kuva 3. Hylyn kuidunpituuden ja kartonkikoneen puristinosan jälkeen mitattavan formaation korrelaatio.



Kuva 4. Hylyn kuidunpituuden ja kartonkikoneen välikalanterin jälkeen mitattavan formaation korrelaatio.



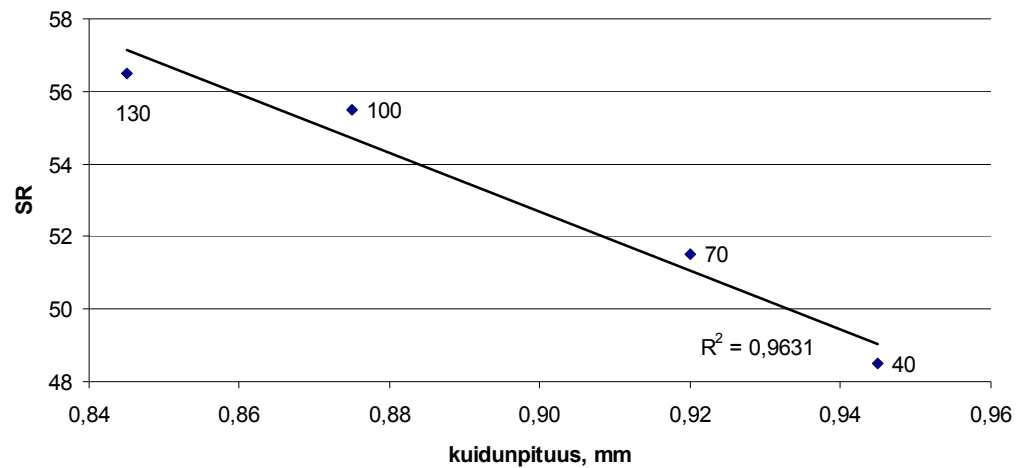
Kuva 5. Taivekartongin paksuuden ja konesuuntaisen taivutusjäykkyyden välinen korrelaatio.



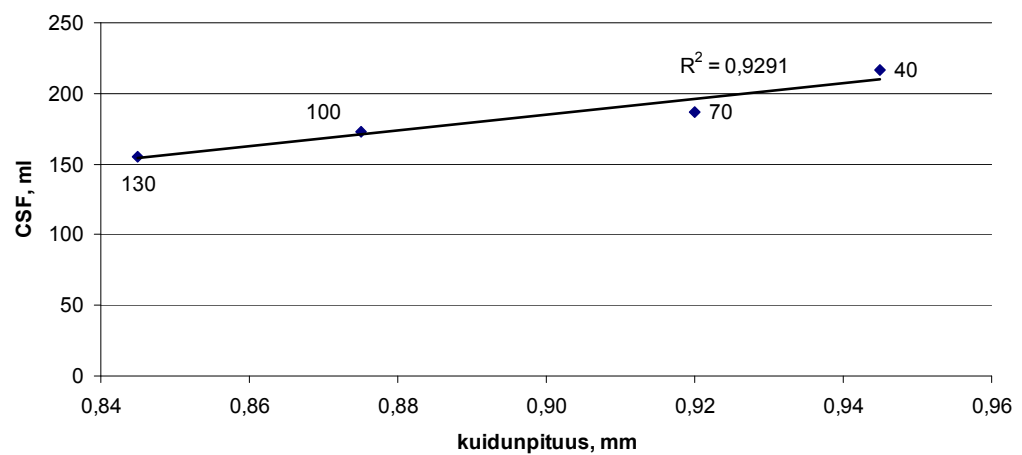
Kuva 6. Taivekartongin paksuuden ja poikkisuuntaisen taivutusjäykkyyden välinen korrelaatio.

Taulukko X Hylyn jauhatusta ennen ja jälkeen otettujen massanäytteiden ja niistä valmistettujen laboratorioarkkien tulokset Hylyn jauhatus-koeajosta.

Hylky - 11.1.2008	Koepiste 1		Koepiste 2		Koepiste 3		Koepiste 4	
	ennen	jälkeen	ennen	jälkeen	ennen	jälkeen	ennen	jälkeen
näytteenottoaika	14:25	14:25	15:25	15:25	17:15	17:15	18:15	18:15
	14:55	14:55	15:50	15:50	17:45	17:45	18:50	18:50
sakeus, %	3,43	3,60	3,43	3,60	3,52	3,62	3,41	3,61
°SR	42	49	42	51	44	55	45	56
CSF, ml	269	217	262	187	264	173	249	156
kuidunpituus, mm	0,95	0,95	0,91	0,92	0,94	0,88	0,94	0,85
pH	6,65	6,85	6,54	6,77	6,53	6,73	6,58	6,77
neliömassa, g/m <sup>2</sup>	80,82	80,01	80,44	79,88	80,01	80,25	78,63	79,69
z-lujuus, kPa	349	435	374	456	367	456	365	468
Scott Bond-lujuus, J/m <sup>2</sup>	196	250	188	283	184	321	185	344
repimäindeksi, mNm <sup>2</sup> /g	5,22	5,33	5,31	5,03	5,34	5,32	5,24	4,92
vetoindeksi, Nm/g	28	33	29	34	27	36	28	34
venymä, %	1,9	2,1	2,2	2,3	2,0	2,4	2,1	2,3
puhkaisuindeksi, kPam <sup>2</sup> /g	2,10	2,39	2,12	2,34	2,06	2,40	2,09	2,42
paksuus, µm	209	184	211	184	207	178	205	175
bulkki, cm <sup>3</sup> /g	2,59	2,30	2,62	2,30	2,59	2,21	2,61	2,19
huokoisuus, ml/min	1432	508	1208	412	1246	368	1260	337
vaaleus, %	65,91	66,29	66,73	66,39	66,83	66,88	66,42	66,20
opasiteetti, %	93,90	94,30	93,58	94,26	93,51	94,24	93,51	94,70



Kuva 7. Hylyn kuidunpituuden ja °SR-arvon välinen korrelaatio, kun hylyn jauhatuksen määrää muutettiin. Pisteiden otsikot kertovat hylyn jauhatuksen määrän [kWh/t].



Kuva 8. Hylyn kuidunpituuden ja freeness-arvon välinen korrelaatio, kun hylyn jauhatuksen määrää muutettiin. Pisteiden otsikot kertovat hylyn jauhatuksen määrän [kWh/t].



## Mäntysellun jauhatus ja annostelu-koeajon ajo-olosuhteet

Taulukko XI Kartonkikoneen ajo-olosuhteet 7.-8.2.2008, osa 1/2.

AJO-OLOSUHTEET, KK4 – TB290	Koepiste 1	Koepiste 2	Koepiste 3	Koepiste 4
konerulla	8016/69-70	73	74-75	88
rullaajan nopeus, m/min	354	372	373	372
<u>massaosuudet (pi), %</u>				
koivusellu	67	67	67	67
eukalyptussellu	33	33	33	33
<u>massaosuudet (ru), %</u>				
hioke	80	74	76	76
hylky	20	20	20	20
mäntysellu	0	6	4	4
<u>massaosuudet (se), %</u>				
koivusellu	67	67	67	67
mäntysellu	33	33	33	33
<u>rungon sakeamassa</u>				
virtaus, l/s	213,3	225,3	225,7	229,8
sakeus, %	2,45	2,45	2,45	2,45
°SR	37	-	-	-
<u>runkoperälaatikko</u>				
huuliaukko, mm	30,40	30,58	30,59	30,60
huulisuihkvirtaus, l/s	597,4	631,3	632,9	631,2
sakeus, %	0,80	0,85	0,84	0,84
<u>viiraosa</u>				
rungon retentio, %	99,94	99,95	99,91	99,91
rungon kuiva-ainepitoisuus, %	8,52	8,18	8,44	7,84
rainan kuiva-ainepitoisuus, %	18,83	18,74	19,17	17,19
<u>kuormat, kN/m</u>				
1. puristin	47,95	47,95	47,96	47,95
2. puristin	87,95	87,90	87,94	87,97
3. puristin	201,95	201,96	201,96	201,95
välikalanteri	9,00	9,00	9,00	9,00
kiiltokalanteri, 1.nippi	25,39	16,02	24,98	24,93
<u>1. puristimen vedenpoisto, l/s</u>				
alahuopa	10,8	11,1	10,9	12,0
ylähuopa	7,6	8,4	8,2	10,0
<u>höyrynpaineet, kPa</u>				
4YHR	263,06	261,08	242,64	274,64
7AHR	256,24	334,33	320,23	438,57
höyryn kulutus, GJ/t	3,99	3,98	3,81	4,12
<u>formaatio</u>				
puristinosan jälkeen	59,04	60,88	59,93	57,02
välikalanterin jälkeen	2,68	2,73	2,70	2,56

Taulukko XII Kartonkikoneen ajo-olosuhteet 7.-8.2.2008, osa 2/2.

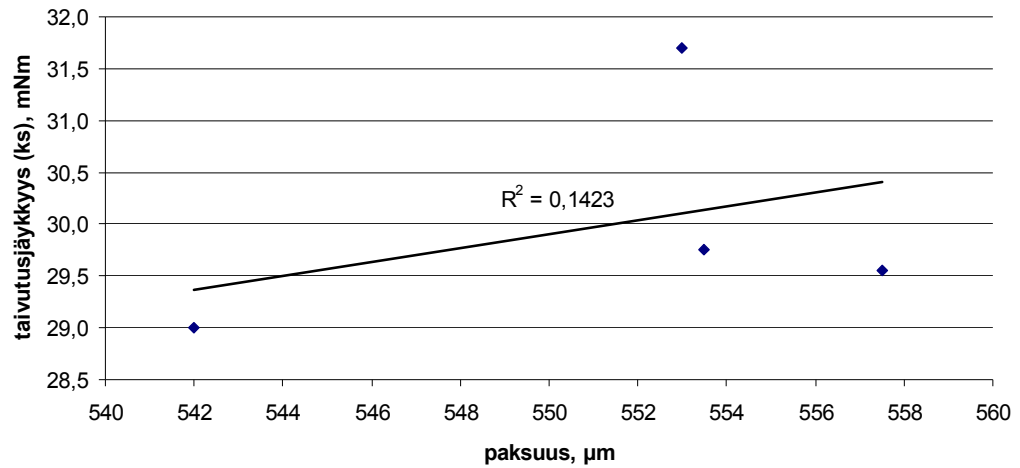
AJO-OLosuhteet, KK4 - TB290	Koepiste 1	Koepiste 2	Koepiste 3	Koepiste 4
<u>mäntysellu (ru)</u>				
kokonaisteho, kW	217	165	149	220
EOK, kWh/t	-	94	105	190
konesäiliöön, l/s	0	10,1	6,8	7,4
takaisinkierätys, l/s	> 20	8,5	8,5	14,3
jauhimelle, l/s	> 20	18,6	15,3	21,7
sakeus, %	3,13	3,16	3,16	3,16
pH*	7,77	6,12	4,95	5,11
°SR	34	29	29	45
<u>hylky</u>				
kokonaisteho, kW	467	484	485	489
EOK, kWh/t	74	74	74	74
konesäiliöön, l/s	30,4	32,2	32,4	32,9
sakeus, %	3,30	3,30	3,30	3,30
pH	6,28	6,27	6,18	6,38
°SR	52	52	52	52
<u>hioke</u>				
konesäiliöön, l/s	160,0	157,0	162,0	164,0
sakeus, %	2,51	2,51	2,51	2,51
freeness, ml	302	302	306	292
vaaleus, %	73,5	75,3	75,9	72,6
H3 varastotorniin, l/s	3,0	3,0	3,0	3,0

\* Online-mittauksen antamat mäntysellun pH-arvot poikkesivat huomattavasti mäntysellunäytteistä mitatuista arvoista.

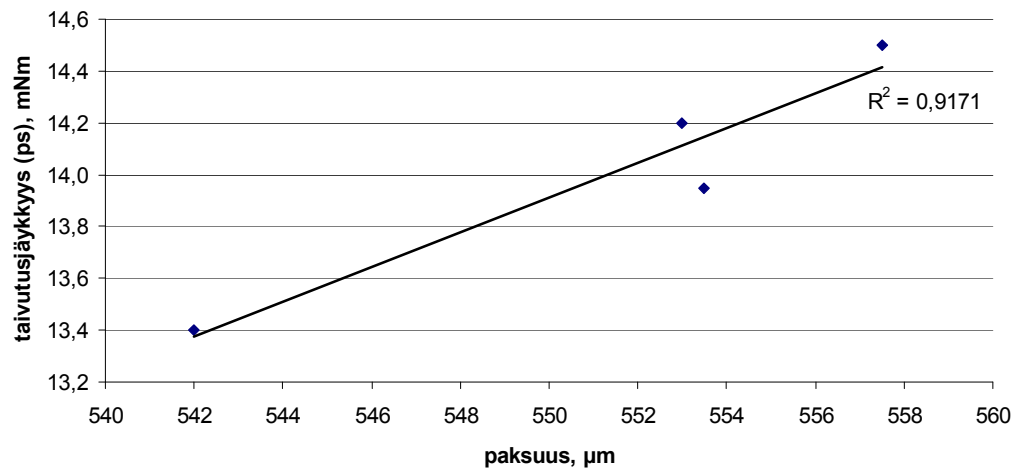
## Mäntysellun jauhatus ja annostelu-koeajon tulokset

TaulukkoXIII Kartonkinäytteiden tulokset Mäntysellun jauhatus ja annostelu-koeajosta.

<b>TB290 - 7.2.2008</b>	<b>Koepiste 1</b>	<b>Koepiste 2</b>	<b>Koepiste 3</b>	<b>Koepiste 4</b>
konerullanumero	8016/69-70	73	74-75	88
näytteenottoaika	18:52 19:14	20:43	21:13 21:41	3:48
neliömassa, g/m <sup>2</sup>	290	288	289	291
z-lujuus, kPa	325	339	324	361
Scott Bond-lujuus, J/m <sup>2</sup>	164	180	171	173
irrotusluku, g/cm				
pinta	80	90	88	85
selkä	58	65	60	65
paksuus, µm	558	542	554	553
bulkki, cm <sup>3</sup> /g	1,92	1,88	1,92	1,90
taivutusjäykkyys, mNm				
ks	29,6	29,0	29,8	31,7
ps	14,5	13,4	14,0	14,2
jäykkyyssuhde (ks/ps)	2,0	2,2	2,1	2,2
PPS-karheus, µm	0,80	0,80	0,79	0,85
Bendtsen-sileys, ml/min	9	6	4	5
vaaleus, %				
ilman UV-valoa	85,8	85,9	85,9	85,6
UV-valolla	82,5	82,6	82,6	82,3
sävyt				
L*	94,6	94,6	94,6	94,6
a*	0,3	0,3	0,3	0,3
b*	0,6	0,5	0,5	0,7



Kuva 9. Taivekartongin paksuuden ja konesuuntaisen taivutusjäykkyyden välinen korrelaatio.



Kuva 10. Taivekartongin paksuuden ja poikkisuuntaisen taivutusjäykkyyden välinen korrelaatio.

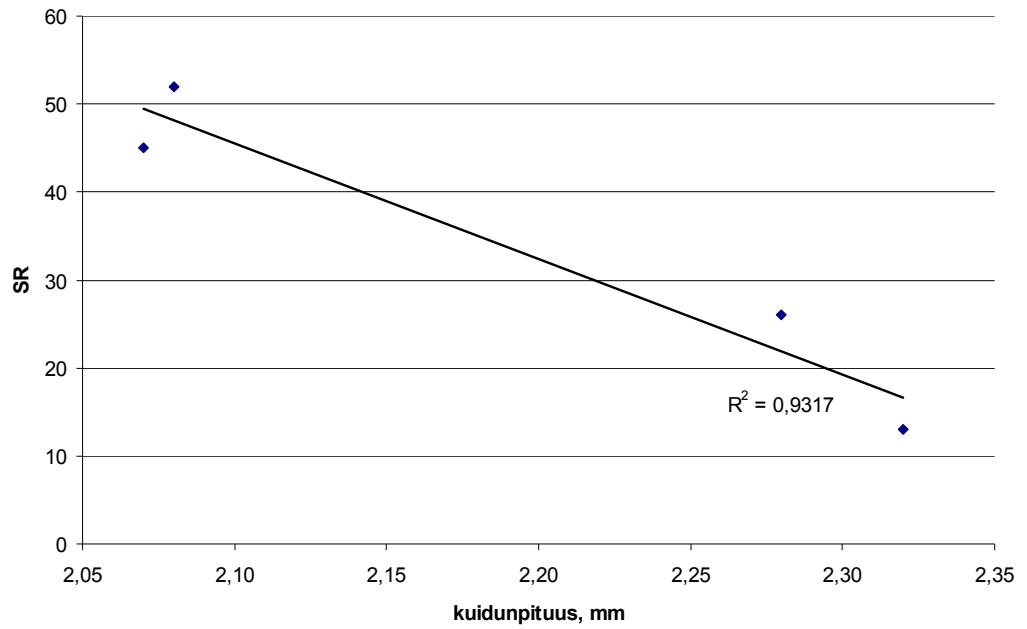
Taulukko XIV Mäntysellun jauhatusta ennen ja jälkeen otettujen massanäytteiden ja niistä valmistettujen laboratorioarkkien tulokset Mäntysellun jauhatus ja annostelu-koeajosta.

Mäntysellu - 7.-8.2.2008	Näytteenottokerta 1		Näytteenottokerta 2		Näytteenottokerta 3	
	ennen	jälkeen	ennen	jälkeen	ennen	jälkeen
näytteenottoaika	19:55	19:55	22:20	22:20	3:30	3:30
°SR	13	52	14	26	13	45
sakeus, %	3,68	3,10	3,18	3,18	3,38	3,12
pH	7,1	7,5	10,7	9,2	9,9	10,0
kuidunpituus, mm	2,32	2,08	2,36	2,28	2,34	2,07
neliömassa, g/m <sup>2</sup>	83,38	80,13	85,88	82,75	84,75	83,88
z-lujuus, kPa	144	582	137	474	141	567
Scott Bond-lujuus, J/m <sup>2</sup>	96	*	99	*	95	*
repimäindeksi, mNm <sup>2</sup> /g	12,9	12,4	15,2	16,9	12,8	15,2
vetoindeksi, Nm/g	19	60	19	58	18	56
venymä, %	3,1	3,4	2,3	4,4	2,2	3,2
puhkaisuindeksi, kPam <sup>2</sup> /g	2,14	7,30	2,21	6,34	2,24	7,00
paksuus, µm	180	114	185	130	183	125
bulkki, cm <sup>3</sup> /g	2,16	1,42	2,15	1,57	2,16	1,49
huokoisuus, ml/min	> 5000	19	> 5000	206	> 5000	32
vaaleus, %	85,88	84,13	86,59	85,14	86,76	84,66
opasiteetti, %	80,37	74,51	79,96	76,18	80,30	76,34

\*Scott Bond-lujuus oli niin suuri, ettei mittari antanut lukemaa.

Taulukko XV Mäntysellun jauhatuksen seurannan tulokset Mäntysellun jauhatus ja annostelu-koeajosta.

Näytteenottoaika	Sakeus, %	°SR
17.00	3,34	15
17.45	3,19	16
18.00	3,24	19
18.20	3,48	22
18.50	3,41	29
19.00	2,93	38
20.15	3,14	51
21.10	3,14	29
22.10	3,10	25
0.00	3,34	27
0.40	2,98	29
1.30	3,12	51



Kuva 11. Mäntysellun kuidunpituuden ja jauhatusasteen välinen korrelaatio.

## Mäntysellu ja tärkkelys-koeajon ajo-olosuhteet

Taulukko XVI Kartonkikoneen ajo-olosuhteet 2.3.2008, osa 1/2.

<b>AJO-OLOSUHTEET, KK4 - TB290</b>	<b>Koepiste 1</b>	<b>Koepiste 2</b>	<b>Koepiste 3</b>	<b>Koepiste 4</b>	<b>Koepiste 5</b>	<b>Koepiste 6</b>
konerulla	8027/87-88	89-90	91-92	93-94	95-96	97-98
rullaajan nopeus, m/min	368	369	369	369	369	369
<u>massaosuudet (pi), %</u>						
koivusellu	67	67	67	67	67	67
eukalyptussellu	33	33	33	33	33	33
<u>massaosuudet (ru), %</u>						
hioke	80	79	79	78	78	78
hylky	20	20	20	20	20	20
mäntysellu	0	1	1	2	2	2
<u>massaosuudet (se), %</u>						
koivusellu	67	67	67	67	67	67
mäntysellu	33	33	33	33	33	33
<u>rungon sakeamassa</u>						
virtaus, l/s	224,3	225,0	224,3	223,7	224,5	224,6
sakeus, %	2,45	2,45	2,45	2,45	2,45	2,45
°SR	-	39	-	-	44	-
<u>runkoperälaatikko</u>						
huuliaukko, mm	30,80	30,80	30,80	30,80	30,80	30,80
huulisuihkuvirtaus, l/s	627,0	627,0	627,0	627,0	627,0	627,0
sakeus, %	0,82	0,84	0,84	0,85	0,86	0,86
<u>viiraosa</u>						
rungon retentio, %	93,97	93,76	93,41	92,70	91,64	91,07
rainan kuiva-ainepitoisuus, %	18,9	18,6	18,2	17,9	17,8	17,9
<u>kuormat, kN/m</u>						
1. puristin	46,45	46,45	46,45	46,45	46,45	46,45
2. puristin	87,95	87,95	87,95	87,94	87,95	87,95
3. puristin	201,95	201,97	201,95	201,96	201,96	201,94
välikalanteri	14,25	13,48	13,25	12,93	12,99	13,00
kiiltokalanteri, 1.nippi	25,35	25,34	25,33	25,34	19,33	17,78
<u>1. puristimen vedenpoisto, l/s</u>						
alahuopa	5,1	5,1	5,1	5,2	5,2	5,2
ylähuopa	8,7	8,8	9,0	9,2	9,4	9,5
<u>höyrynpaineet, kPa</u>						
4YHR	240,37	247,74	258,74	263,82	263,95	258,78
7AHR	413,66	431,15	446,73	445,14	445,03	435,58
höyryn kulutus, GJ/t	3,92	4,02	4,12	4,16	4,16	4,11
<u>formaatio</u>						
puristinosan jälkeen	60,85	62,37	64,44	67,02	67,81	67,73
välikalanterin jälkeen	2,42	2,43	2,43	2,45	2,45	2,44

Taulukko XVII Kartonkikoneen ajo-olosuhteet 2.3.2008, osa 2/2.

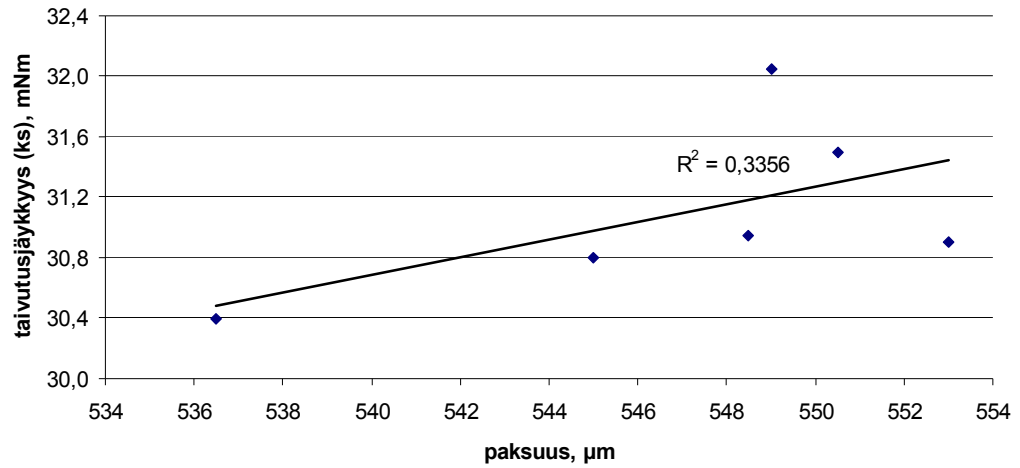
AJO-OLOSUHTEET, KK4 - TB290	Koepiste 1	Koepiste 2	Koepiste 3	Koepiste 4	Koepiste 5	Koepiste 6
<u>mäntysellu</u>						
kokonaisteho, kW	157	164	177	155	145	105
EOK, kWh/t	-	-	530	222	188	91
konesäiliöön, l/s	0	2,4	2,0	3,8	3,8	3,8
takaisinkierrätys, l/s	28,4	13,1	11,0	11,0	11,0	11,0
jauhimelle, l/s	28,4	15,5	13,0	14,8	14,8	14,8
sakeus, %	2,75	2,72	2,91	2,95	2,98	2,98
pH	5,03	5,31	8,53	7,71	7,03	7,38
°SR	49	58	74	68	66	49
<u>sidoskemikaali</u>						
mäntyselluun, g/t	0	0	22555	15187	10950	0
mäntyselluun, g/s	0	0	1,28	1,68	1,24	0
mäntyselluun, ml/s	0	0	5,94	7,77	5,74	0
kuiva-ainepitoisuus, %	20	20	20	20	20	20
<u>hylky</u>						
kokonaisteho, kW	486	486	486	486	486	485
EOK, kWh/t	70	70	70	70	70	70
konesäiliöön, l/s	34,3	34,3	34,3	34,2	34,2	34,2
sakeus, %	3,32	3,32	3,33	3,32	3,32	3,32
pH	6,02	6,24	6,15	6,14	6,15	6,15
°SR	49	-	-	-	51	-
<u>hioke</u>						
konesäiliöön, l/s	181,5	179,4	179,0	176,6	176,6	176,1
sakeus, %	2,51	2,51	2,51	2,51	2,51	2,51
freeness, ml	260	256	254	247	246	243
vaaleus, %	72,6	75,1	74,9	73,9	71,2	74,5
H3 varastotorniin, l/s	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0



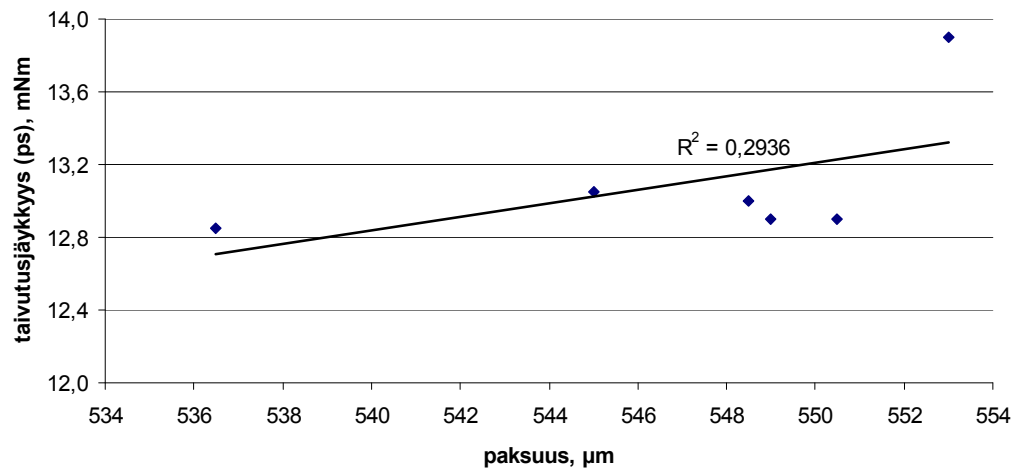
## Mäntysellu ja tärkkelys-koeajon tulokset

Taulukko XVIII Kartonkinäytteiden tulokset Mäntysellu ja tärkkelys-koeajosta.

TB290 - 2.3.2008	Koepiste 1	Koepiste 2	Koepiste 3	Koepiste 4	Koepiste 5	Koepiste 6
konerullanumero	8027/87-88	89-90	91-92	93-94	95-96	97-98
näytteenottoaika	2:15 2:47	3:16 3:46	4:11 4:37	5:03 5:29	5:54 6:20	6:50 7:15
neliömassa, g/m <sup>2</sup>	288	290	289	288	289	289
z-lujuus, kPa	346	365	372	387	393	383
Scott Bond-lujuus, J/m <sup>2</sup>	171	178	182	175	181	177
irrotusluku, g/cm						
pinta	83	80	78	85	88	93
selkä	65	65	60	60	60	60
paksuus, µm	553	549	545	537	549	551
bulkki, cm <sup>3</sup> /g	1,92	1,89	1,89	1,86	1,90	1,90
taivutusjäykkyys, mNm						
ks	30,9	31,0	30,8	30,4	32,1	31,5
ps	13,9	13,0	13,1	12,9	12,9	12,9
jäykkyyssuhde (ks/ps)	2,22	2,38	2,36	2,37	2,49	2,44
PPS-karheus, µm	0,81	0,79	0,79	0,83	0,83	0,84
Bendtsen-sileyys, ml/min	5	5	7	8	6	9
vaaleus, %						
ilman UV-valoa	85,3	85,2	85,1	85,1	85,1	85,1
UV-valolla	82,0	81,9	81,9	81,9	81,8	81,9
sävyt						
L*	94,4	94,4	94,4	94,4	94,4	94,4
a*	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
b*	0,7	0,7	0,7	0,8	0,7	0,7



Kuva 12. Kartongin paksuuden ja konesuuntaisen jäykkyyden välinen korrelaatio.



Kuva 13. Kartongin paksuuden ja poikkisuuntaisen jäykkyyden välinen korrelaatio.

Taulukko XIX Runkomassanäytteiden ja niistä valmistettujen laboratorioarkkien tulokset Mäntysellu ja tärkkelys-koeajosta.

Runkomassa - 2.3.2008	Koepiste 1	Koepiste 2	Koepiste 3	Koepiste 4	Koepiste 5	Koepiste 6
°SR	42	43	43	43	46	43
sakeus, %	2,54	2,59	2,66	2,59	2,59	2,57
pH	6,98	7,00	7,03	7,17	7,07	7,09
neliömassa, g/m <sup>2</sup>	82,38	82,25	79,38	81,63	82,38	82,25
z-lujuus, kPa	272	305	266	305	292	316
Scott Bond-lujuus, J/m <sup>2</sup>	137	149	138	159	155	161
repimäindeksi, mNm <sup>2</sup> /g	3,33	4,05	4,45	4,57	4,29	4,29
vetoindeksi, Nm/g	21	22	23	24	24	26
venymä, %	1,8	2,0	1,7	1,8	1,9	2,1
puhkaisuindeksi, kPam <sup>2</sup> /g	1,54	1,56	1,66	1,75	1,74	1,80
paksuus, µm	270	255	260	245	270	249
bulkki, cm <sup>3</sup> /g	3,28	3,10	3,28	3,00	3,28	3,03
huokoisuus, ml/min	2088	1429	2298	1501	1851	1354
vaaleus, %	67,27	67,81	67,90	68,08	67,38	67,38
opasiteetti, %	95,13	95,05	94,34	94,88	95,06	95,27

Taulukko XX Mäntysellun jauhatuksen seurannan tulokset 2.3.2008.

Näytteenottoaika	Sakeus, %	°SR	pH
1.00	2,69	22	5,3
1.30	2,50	32	5,4
2.00	2,54	49	5,3
3.00	2,57	58	5,3
4.00	2,69	74	5,3
5.00	2,69	68	5,6
6.00	2,81	66	6,1
7.00	2,95	49	6,6
8.00	3,10	42	6,8

## Runkoviiraosan vedenpoisto-koeajon koeajosuunnitelma

Taulukko XXI Runkoviiraosan vedenpoisto-koeajon koeajosuunnitelma.

Koepiste	Huulisuihkun iskukulma, °	Muodostuskengän imut, kPa			Listojen kuormitukset, psi*			
		1. kammio	2. kammio	3. kammio	1. lista	2. lista	3. lista	4. lista
1	5,9	4	4	8	2	3	4	8
2	5,5	4	4	8	2	3	4	8
3	5,3	4	4	8	2	3	4	8
4	5,3	4	4	8	2	4	6	12
5	5,3	4	8	14	2	3	4	8
6	5,3	4	8	14	2	4	6	8
7	6,0	4	8	14	2	4	6	8
8	6,0	4	8	14	2	3	4	8
9	6,0	4	4	8	2	4	6	8
10	6,0	4	4	8	2	3	4	8

\* psi = 6,894757 kPa

## Runkoviiraosan vedenpoisto-koeajon ajo-olosuhteet

Taulukko XXII Kartonkikoneen ajo-olosuhteet 19.4.2008, osa 1/4.

<b>AJO-OLOSUHTEET KK4 - TB290</b>	<b>Koepiste 1</b>	<b>Koepiste 2</b>	<b>Koepiste 3</b>	<b>Koepiste 4</b>	<b>Koepiste 5</b>
konerulla	8050/67	68	69	70	71
rullaajan nopeus, m/min	375	375	375	375	375
<u>massaosuudet (pi), %</u>					
koivusellu	60	60	60	60	60
eukalyptussellu	40	40	40	40	40
<u>massaosuudet (ru), %</u>					
hioke	75	75	75	75	75
hylky	25	25	25	25	25
<u>massaosuudet (se), %</u>					
koivusellu	65	65	65	65	65
mäntysellu	35	35	35	35	35
<u>rungon sakeamassa</u>					
virtaus, l/s	229,8	230,5	230,4	230,3	230,3
sakeus, %	2,45	2,45	2,45	2,45	2,45
°SR	-	-	-	-	40
<u>runkoperälaatikko</u>					
huulivirtaus, l/s	586	583	582	581	581
sakeus, %	0,89	0,90	0,90	0,90	0,90
huuliaukko, mm	28,3	28,2	28,2	28,2	28,2
huuliero, mm	24,9	28,4	30,5	31,2	31,2
huulisuihkun iskuetäisyys, mm	157	180	194	199	199
huulisuihkun iskukulma, °	5,9	5,5	5,3	5,3	5,3
<u>runkoviiraosan imut, kPa</u>					
vacufoililaatikot ja formeri	15,9	15,9	15,9	15,9	14,7
vacufoililaatikot	6,2	6,2	6,2	6,2	6,2
tasoimulaatikot	19,0	19,0	19,0	19,0	19,0
formerin muodostuskenkä					
1. imukammio	3,8	3,9	4,1	4,1	4,0
2. imukammio	4,1	4,0	4,0	4,0	7,3
3. imukammio	8,0	8,0	8,0	8,0	13,1
formerin alapuoli					
1. imulaatikko	9,9	9,9	9,9	9,9	9,9
siirtoimulaatikko	17,0	17,0	17,0	17,0	17,0
<u>listojen kuormitukset, psi *</u>					
1. lista	2	2	2	2	2
2. lista	3	3	3	4	3
3. lista	4	4	4	6	4
4. lista	8	8	8	12	8
<u>rungon viirakaivo</u>					
sakeus, mg/l	214,31	216,34	201,13	218,52	218,26
tuhkapitoisuus, %	25,06	24,72	26,61	24,88	24,93

\* 1 psi = 6,894757 kPa

Taulukko XXIII Kartonkikoneen ajo-olosuhteet 19.4.2008, osa 2/4.

<b>AJO-OLOSUHTEET</b> <b>KK4 - TB290</b>	<b>Koepiste</b> <b>1</b>	<b>Koepiste</b> <b>2</b>	<b>Koepiste</b> <b>3</b>	<b>Koepiste</b> <b>4</b>	<b>Koepiste</b> <b>5</b>
<u>viiraosa</u>					
rungen retentio, %	93,04	93,14	92,75	93,19	92,94
rainan kuiva-ainepitoisuus, %	19,9	19,9	19,8	19,7	19,7
<u>kuormat, kN/m</u>					
1. puristin	48,45	48,46	48,46	48,46	48,45
2. puristin	74,97	74,97	74,97	74,96	74,95
3. puristin	201,94	201,94	201,94	201,95	201,95
välikalanteri	9,00	9,00	9,00	9,00	9,01
kiiltokalanteri, 1. nippi	19,88	25,51	25,51	25,51	25,50
<u>1. puristimen vedenpoisto, l/s</u>					
alahuopa	9,4	9,4	9,4	9,4	9,4
ylähuopa	9,2	9,1	9,1	9,2	9,2
<u>höyrynpaineet, kPa</u>					
4YHR	262,37	262,39	263,58	268,18	277,66
7AHR	428,97	445,65	448,94	458,60	461,73
höyryn kulutus, GJ/t	3,90	3,89	3,90	3,97	3,97
<u>formaatio</u>					
puristinosan jälkeen	70,77	70,81	69,99	72,52	64,94
välikalanterin jälkeen	2,02	2,00	1,98	1,98	1,98
<u>hylky</u>					
kokonaisteho, kW	466	466	466	466	466
EOK, kWh/t	50	50	50	50	50
konesäiliöön, l/s	43,8	43,7	43,7	43,7	43,7
sakeus, %	3,37	3,38	3,38	3,38	3,38
pH	6,14	6,22	6,19	6,14	6,16
°SR	48	48	48	48	48
<u>hioke</u>					
konesäiliöön, l/s	171,4	172,1	171,5	171,8	171,8
sakeus, %	2,58	2,58	2,58	2,58	2,58
freeness, ml	271	271	267	266	266
vaaleus, %	74,0	74,1	76,5	74,2	71,9
H3 varastotorniin, l/s	3,0	3,1	5,0	5,0	5,0

Taulukko XXIV Kartonkikoneen ajo-olosuhteet 19.4.2008, osa 3/4.

<b>AJO-OLOSUHTEET</b> <b>KK4 - TB290</b>	<b>Koepiste</b> <b>6</b>	<b>Koepiste</b> <b>7</b>	<b>Koepiste</b> <b>8</b>	<b>Koepiste</b> <b>9</b>	<b>Koepiste</b> <b>10</b>
konerulla	72	73	76	77	78
rullaajan nopeus, m/min	375	375	375	375	375
<u>massaosuudet (pi), %</u>					
koivusellu	60	60	60	60	60
eukalyptussellu	40	40	40	40	40
<u>massaosuudet (ru), %</u>					
hioke	75	75	75	75	75
hylky	25	25	25	25	25
<u>massaosuudet (se), %</u>					
koivusellu	65	65	65	65	65
mäntysellu	35	35	35	35	35
<u>rungon sakeamassa</u>					
virtaus, l/s	230,3	230,2	228,3	228,7	228,5
sakeus, %	2,45	2,45	2,45	2,45	2,45
°SR	-	-	-	40	-
<u>runkoperälaatikko</u>					
huulivirtaus, l/s	581	585	586	586	586
sakeus, %	0,90	0,90	0,89	0,89	0,89
huuliaukko, mm	28,2	28,3	28,3	28,3	28,3
huuliero, mm	31,3	25,7	24,5	24,5	24,5
huulisuihkun iskuetäisyys, mm	199	162	154	154	154
huulisuihkun iskukulma, °	5,3	6,0	6,0	6,0	6,0
<u>runkoviiraosan imut, kPa</u>					
vacuofilaaatikot ja formeri	14,4	14,4	14,4	15,4	15,7
vacuofilaaatikot	6,2	6,2	6,2	6,2	6,2
tasoimulaatikot	19,0	19,0	19,0	19,0	19,0
formerin muodostuskenkä					
1. imukammio	4,0	4,1	4,0	4,1	4,1
2. imukammio	8,0	8,0	8,0	4,6	4,0
3. imukammio	14,3	14,3	14,1	9,6	8,0
formerin alapuoli					
1. imulaatikko	9,9	9,9	9,9	9,9	9,9
siirtoimulaatikko	17,0	17,0	17,0	17,0	17,0
<u>listojen kuormitukset, psi *</u>					
1. lista	2	2	2	2	2
2. lista	4	4	3	4	3
3. lista	6	6	4	6	4
4. lista	8	8	8	8	8
<u>rungon viirakaivo</u>					
sakeus, mg/l	221,77	230,44	232,22	237,35	226,61
tuhkapitoisuus, %	24,47	23,61	23,49	23,11	24,17

\* 1 psi = 6,894757 kPa

Taulukko XXV Kartonkikoneen ajo-olosuhteet 19.4.2008, osa 4/4.

<b>AJO-OLOSUHTEET</b> <b>KK4 - TB290</b>	<b>Koepiste</b> <b>6</b>	<b>Koepiste</b> <b>7</b>	<b>Koepiste</b> <b>8</b>	<b>Koepiste</b> <b>9</b>	<b>Koepiste</b> <b>10</b>
<u>viiraosa</u>					
rungon retentio, %	93,04	93,03	92,80	93,26	92,97
rainan kuiva-ainepitoisuus, %	19,6	19,5	19,4	19,5	19,6
<u>kuormat, kN/m</u>					
1. puristin	48,46	48,46	48,45	48,45	48,45
2. puristin	74,94	74,94	74,94	74,93	74,94
3. puristin	201,95	201,95	201,96	201,95	201,95
välikalanteri	9,00	9,00	9,00	9,00	9,00
kiiltokalanteri, 1. nippi	25,51	25,52	24,31	24,31	24,29
<u>1. puristimen vedenpoisto, l/s</u>					
alahuopa	9,5	9,6	9,7	9,6	9,6
ylähuopa	9,2	9,2	9,1	9,1	9,0
<u>höyrynpaineet, kPa</u>					
4YHR	297,17	310,11	321,65	322,10	319,39
7AHR	461,77	461,69	442,48	442,68	435,13
höyryn kulutus, GJ/t	4,02	4,07	4,09	4,07	4,03
<u>formaatio</u>					
puristinosan jälkeen	64,09	63,01	62,75	66,67	70,83
välikalanterin jälkeen	1,98	1,97	1,99	1,99	1,98
<u>hylky</u>					
kokonaisteho, kW	466	467	464	465	466
EOK, kWh/t	50	50	50	50	50
konesäiliöön, l/s	43,8	43,8	43,3	43,5	43,7
sakeus, %	3,38	3,38	3,38	3,38	3,38
pH	6,12	6,22	6,25	6,28	6,22
°SR	48	48	48	48	48
<u>hioke</u>					
konesäiliöön, l/s	171,8	172,1	170,4	170,9	171,5
sakeus, %	2,58	2,58	2,58	2,58	2,58
freeness, ml	268	271	275	275	275
vaaleus, %	71,9	76,9	76,7	77,5	77,7
H3 varastotorniin, l/s	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0



## Runkoviiraosan vedenpoisto-koeajon tulokset

Taulukko XXVI Kartonkinäytteiden tulokset Runkoviiraosan vedenpoisto-koeajosta, osa 1/2.

TB290 - 19.4.2008	Koepiste 1	Koepiste 2	Koepiste 3	Koepiste 4	Koepiste 5
konerullanumero	8050/67	68	69	70	71
näytteenottoaika	14:42	15:05	15:32	15:55	16:25
neliömassa, g/m <sup>2</sup>	289	288	288	288	288
z-lujuus, kPa	355	361	358	363	369
Scott Bond-lujuus, J/m <sup>2</sup>	207	212	212	208	220
pinnan irrotusluku, g/cm	80	75	70	-	75
palstautumiskerros	runko	runko	runko	runko	runko
palstautumiskohta*	++	+	++	++	++
selän irrotusluku, g/cm	65	65	65	65	65
paksuus, µm	564	558	557	552	558
bulkki, cm <sup>3</sup> /g	1,95	1,94	1,93	1,92	1,94
taivutusjäykkyys, mNm					
ks	29,0	29,0	29,3	31,5	29,0
ps	14,1	13,7	14,0	14,0	14,6
jäykkyyssuhde (ks/ps)	2,06	2,12	2,09	2,25	1,99
PPS-karheus, µm	0,91	0,86	0,86	0,87	0,86
Bendtsen-sileyys, ml/min	28	30	18	24	15
vaaleus, %					
ilman UV-valoa	85,68	85,70	85,66	85,61	85,78
UV-valolla	82,24	82,28	82,25	82,21	82,34
sävyt					
L*	94,63	94,64	94,64	94,63	94,66
a*	0,41	0,42	0,40	0,39	0,42
b*	0,70	0,69	0,72	0,75	0,67

\* (+)-merkit kuvaavat pintakerrokseen palstautumisen jälkeen jääneen runkokerroksen määrää.

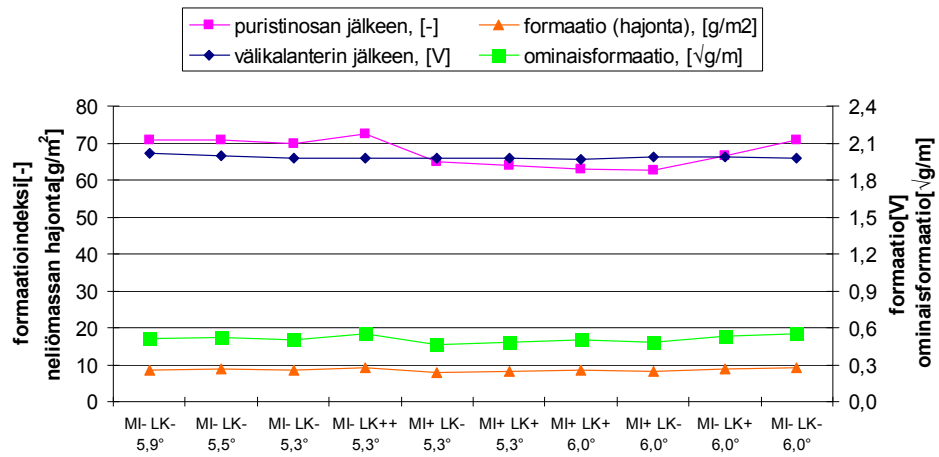
Taulukko XXVII Kartonkinäytteiden tulokset Runkoviiraosan vedenpoistokoeajosta, osa 2/2.

TB290 - 19.4.2008	Koepiste 6	Koepiste 7	Koepiste 8	Koepiste 9	Koepiste 10
konerullanumero	72	73	76	77	78
näytteenottoaika	16:53	17:19	18:45	19:06	19:30
neliömassa, g/m <sup>2</sup>	289	288	288	288	289
z-lujuus, kPa	375	378	373	365	363
Scott Bond-lujuus, J/m <sup>2</sup>	221	220	222	206	208
pinnan irrotusluku, g/cm	80	80	90	90	90
palstautumiskerros	runko	runko	runko	runko	runko
palstautumiskohta*	++	++	+++	+++	+++
selän irrotusluku, g/cm	65	70	70	65	65
paksuus, µm	557	554	555	559	557
bulkki, cm <sup>3</sup> /g	1,93	1,92	1,93	1,94	1,93
taivutusjäykkyys, mNm					
ks	29,6	30,5	29,9	29,5	29,4
ps	14,5	15,1	15,1	14,5	14,0
jäykkyyssuhde (ks/ps)	2,04	2,02	1,98	2,03	2,10
PPS-karheus, µm	0,89	0,88	0,79	0,79	0,79
Bendtsen-sileys, ml/min	16	18	15	18	21
vaaleus, %					
ilman UV-valoa	85,77	85,80	85,66	85,52	85,65
UV-valolla	82,21	82,15	82,27	82,36	82,32
sävyt					
L*	94,66	94,67	94,65	94,58	94,65
a*	0,42	0,43	0,38	0,34	0,36
b*	0,68	0,67	0,75	0,75	0,60

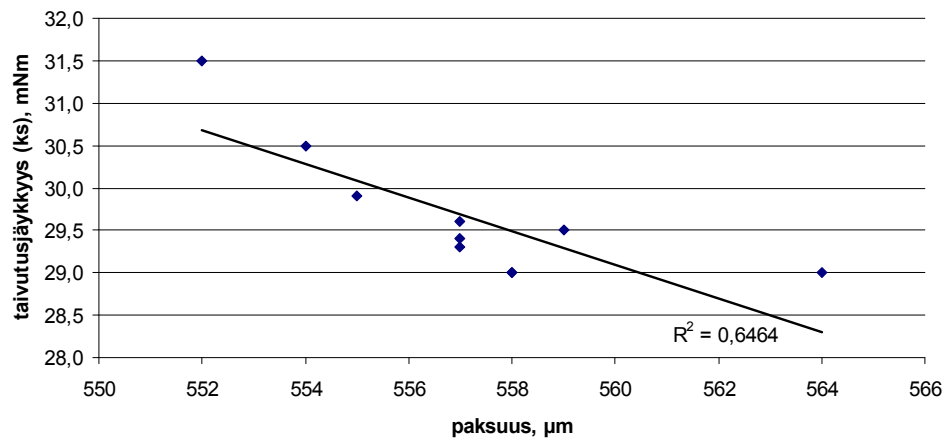
\* (+)-merkit kuvaavat pintakerrokseen palstautumisen jälkeen jääneen runkokerroksen määrää.

Taulukko XXVIII Kartonkinäytteistä laboratoriossa mitatut formaatiot.

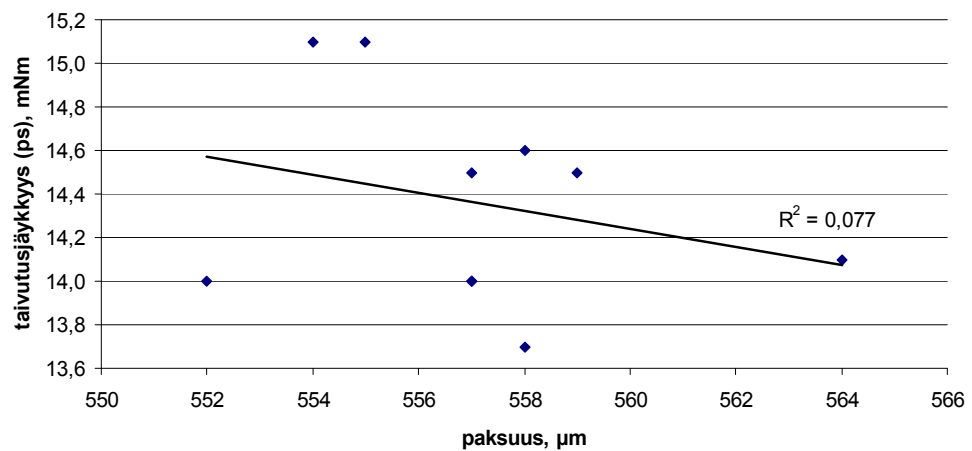
Koepiste	Neliömassa, g/m <sup>2</sup>	Formaatio (hajonta), g/m <sup>2</sup>	Ominaisformaatio, √g/m
1	287	8,59	0,507
2	289	8,88	0,522
3	289	8,52	0,502
4	290	9,32	0,548
5	288	7,91	0,466
6	291	8,15	0,479
7	290	8,51	0,500
8	291	8,15	0,478
9	287	9,01	0,532
10	285	9,28	0,550
keskiarvo	289	8,63	0,508



Kuva 14. Muodostuskengän imutason (MI), listojen kuormitustason (LK) ja iskukulman vaikutus taivekartongin formaatioon.



Kuva 15. Taivekartongin paksuuden ja konesuuntaisen taivutusjäykkyyden välinen korrelaatio.



Kuva 16. Taivekartongin paksuuden ja poikkisuuntaisen taivutusjäykkyyden välinen korrelaatio.