

LAPPEENRANNAN-LAHDEN TEKNILLINEN YLIOPISTO LUT
LUT School of Engineering Science
Kemiantekniikka

Nea Vahter

**HIOMAKIVEN PINNAN VAIKUTUS TAIVEKARTONGIN
LUJUUSOMINAISUUKSIIN**

Työn tarkastajat ja ohjaajat:

Professori Antti Häkkinen

Apulaisprofessori Kristian Melin

DI Jorma Kemppainen (Stora Enso)

TIIVISTELMÄ

Lappeenrannan-Lahden teknillinen yliopisto LUT
LUT School of Engineering Science
Kemiantekniikka

Nea Vahter

Hiomakiven pinnan vaikutus taivekartongin lujuusominaisuuksiin

Diplomityö

2021

170 sivua, 138 kuvaa ja 18 taulukkoa

Työn tarkastajat: Professori Antti Häkkinen
 Apulaisprofessori Kristian Melin
 DI Jorma Kemppainen

Hakusanat: Painehioke, Galileo-tekniikka, hiomakiven pinta, lajittelu

Tämän diplomityön tarkoituksena oli selvittää Stora Enson Anjalan paperitehtaan hiomon painehiokkeen ominaisuudet, jotka vaikuttavat merkittävästi Inkeröisten kartonkitehtaalla taivekartongin lujuusominaisuuksiin. Saatujen tulosten perusteella pyrittiin optimoimaan hiomakiven pinta ja kehittämään hiomon ajotapaa taivekartongin lujuusominaisuuksien parantamiseksi Inkeröisten kartonkitehtaalla.

Kirjallisuusosassa tarkasteltiin taivekartongin ja painehiokkeen lujuusominaisuuksia, painehionnan muuttujia, sekä lajittelun muuttujia. Kokeellisessa osassa selvitettiin hiokkeen laatu muutoksia erilaisten Galileo-pintojen ja keraamisen hiomakiven ajon aikana. Teoriaosan ja kokeellisen osan vertailutuloksien perusteella optimoitiin Galileo-hiomakiven pinta, sekä hiomakoneiden ajotapa vastaamaan haluttuja laatu tavoitteita. Tavoitteissa otettiin huomioon puun jäätyminen talvisin. Lisäksi lajittelussa tehtävien muutosten potentiaalia hiokkeen laadun kehittämiseksi tarkasteltiin taselaskennan avulla.

Työn tulosten perusteella voitiin todistaa, että hiokkeen laatuun merkittävimmin vaikuttava tekijä on hiomakiven pinta. Grittien muoto, koko ja tiheys vaikuttavat merkittävästi hiokkeen kuitujen ominaisuuksiin. Hiomakoneiden kivikohtaisella tuotantopyyntioptimoinnilla, lajittelulla ja suihkuveden lämpötilamuutoksilla voidaan hienosäätää hiokkeen laatua. Puun jäätyminen aiheuttamiin hiokkeen laatu muutoksiin voidaan varautua asettamalla hiomakoneiden ominaisenergiankulutukselle alarajat.

ABSTRACT

Lappeenranta-Lahti University of Technology LUT
LUT School of Engineering Science
Chemical and Process Engineering

Nea Vahter

The effect of grinding stone surface on folding boxboard strength properties

Master's thesis

2021

170 pages, 138 figures and 18 tables

Examiners: Professor Antti Häkkinen
Assistant professor Kristian Melin
M.Sc. (Tech.) Jorma Kemppainen

Keywords: Pressure groundwood (PGW), Galileo grinding technology, grinding surfaces, screening

The goal of this master's thesis was to study properties of pressure groundwood (PGW) in Stora Enso PGW plant which affect the tensile properties of folding box board (FBB) in Ingeröis Mill. The Galileo grinding surface and operational guidelines were optimized based on the results from literature review. The goal of the optimization was to enhance tensile properties of FBB.

The thesis consists of a literature review and an experimental section. Literature review is focused on tensile properties of FBB and PGW, variables of PGW process and variables of reject screening and refining. The experimental part includes comparison of PGW properties during PGW production with different types of Galileo surfaces and ceramic grinding stone. Freezing of wood was taken into account in the quality goals. Potential of reject screening was estimated by mass balance calculation.

Based on the results from the literature review and experimental section, the quality of PGW depends mostly on grinding stone surface type. Shape, size, and density of grits on the grinding surface mainly affect the fiber properties. Quality of PGW could be fine-tuned by setting different production rates in grinding machines, by using different types of grinding stones, by optimizing temperature of shower water and by optimizing reject screening and refining. The variance in PGW quality caused by freezing of wood can be prevented by setting a lower limit for specific energy consumption of the grinding machinery.

ALKUSANAT

Diplomityö on tehty joulukuun 2020 ja elokuun 2021 välisenä aikana Stora Enson Inkeröisten Kartonkitehtaalla ja Anjalan Paperitehtaan hiomolla. Kiitän Jorma Kemppaista diplomityöni ohjaamisesta, kommentteista, sekä tuesta koko työn aikana. Lisäksi haluan kiittää Anni Käppi-Palomaata ja Harri Suur-Hamaria diplomityön mahdollistamisesta, sekä hiomolta Pasi Marinia, Tara Haikosta ja Esa Mäkelää avusta koko työn aikana. Aiheen kanssa työskenteleminen oli hyvin mielenkiintoista ja opettavaista. Kiitos myös professori Antti Häkkiselle ja apulaisprofessori Kristian Melinille työni ohjaamisesta LUT-yliopiston puolelta.

Diplomityön aikana vallinnut etätyöaika toi omat haasteensa. Teamsin välillä olleet aamukahvikeskustelut ja muutamat kohtaamiset tehtaalla toivat onneksi piristystä päiviin. Erityisesti massalaboratorion, kartonkitehtaan laboratorion ja hiomon prosessioperaattoreiden apu oli korvaamatonta koeajojen aikana. Olen kiitollinen Inkeröisten Kartonkitehtaalla opintojeni aikana saamastani monipuolisesta työkokemuksesta, joka on mahdollistanut hyvän alun uralleni.

Haluan vielä lopuksi kiittää avopuolisoani Tonia tuesta koko yliopisto-opintojeni ja diplomityön aikana. Vaikka monesti sinulla ei ole ollut aavistustakaan kertomistani ongelmista, olet jaksanut kuunnella ja olla apuna.

Nea Vahter

Nea Vahter

Lappeenrannassa 28.8.2021

SISÄLLYSLUETTELO

TIIVISTELMÄ	1
ABSTRACT.....	2
ALKUSANAT	3
SISÄLLYSLUETTELO	1
SYMBOLI- JA LYHENNELUETTELO.....	4
1 JOHDANTO.....	8
KIRJALLISUUSOSA.....	9
2 PUU MEKAANISEN MASSANVALMISTUKSEN RAAKA-AINEENA.....	9
2.1 Puun rakenne.....	9
2.1.1 Selluloosa.....	13
2.1.2 Hemiselluloosat	14
2.1.3 Ligniini.....	15
2.1.4 Uuteaineet	16
3 MEKAANINEN MASSA	17
3.1 Painehiokkeen ominaisuudet	17
3.1.1 Kuitupituusjakauma	18
3.1.2 Kuitujen kiharus ja kinkkikulma.....	23
3.1.3 Suotautuvuus.....	25
3.1.4 Vetolujuus ja vetoindeksi.....	26
3.1.5 Repäisylujuus ja repäisyindeksi.....	28
3.1.1 Tikkupitoisuus	29
4 PAINEHIONTAPROSESSI	30
4.1 Hiontamekanismi.....	30
4.2 Puun kuorinta.....	32
4.3 Hiontaprosessi.....	32
5 HIONTAPROSESSIN MUUTTUJAT.....	34
5.1 Puun ominaisuudet ja vuodenaikaisvaihtelu.....	37
5.1.1 Puun kosteuspitoisuus.....	37
5.1.2 Vuodenaikavaihtelu	39
5.2 Hiontapaine ja lämpötila	39
5.2.1 Lämpötila	40

5.3	Hiomakiven pinnan vaikutus painehiokkeen laatuun	41
5.3.1	Hionnan amplitudi ja taajuus	41
5.3.2	Grittien muodon vaikutus hiokkeen laatuun	42
5.3.3	Hiomakiven urien vaikutus hiokkeen laatuun	45
5.3.4	Keraaminen hiomakivi.....	45
5.3.5	Galileo-tekniikka	48
6	LAJITTELU JA REJEKTIN KÄSITTELY	51
6.1	Painelajitin	51
6.1.1	Painelajittimen muuttujat	52
6.2	Rejektin jauhatus.....	57
6.2.1	Jauhatuksen muuttujat.....	58
7	TAIVEKARTONKI.....	60
7.1	Taivekartongin ominaisuudet	61
7.1.1	Z-suuntainen lujuus.....	61
7.1.2	IGT-pintalujuus.....	64
7.1.3	Taivutusjäykkyys	64
8	YHTEENVETO KIRJALLISUUSOSASTA.....	69
	KOKEELLINEN OSA	70
9	KOKELLISEN OSAN TAVOITE	70
10	PAINEHIONTAPROSESSIN KUVAUS.....	71
10.1	Hiontaprosessin muuttujat	71
11	MASSAN JA KARTONGIN LAADUN TARKKAILU.....	73
11.1	Pulp Expert hiomolla ja kartonkitehtaalla	73
11.2	L&W Autoline	73
11.3	Massalaboratorion laatumittaukset	73
11.3.1	Sakeus	74
11.3.2	Laboratorioarkkien valmistaminen	74
11.3.3	Vetolujuus.....	76
11.3.4	Freeness	76
11.3.5	Pulmac-tikkupitoisuus	77
11.3.6	Kuitupituusjakaumamittaus	78
12	HIOMAKIVEN PINNAN VAIKUTUS HIOKKEEN LAATUUN	79
13	HIOMAKIVEN PINNAN VAIKUTUS TAIVEKARTONGIN LAATUUN.....	89

14	HIOMAKONEEN AJOALUE	99
	14.1 Vuodenaikojen aiheuttama vaihtelu hiokkeen ominaisuuksiin	103
15	SUIHKUVEDEN LÄMPÖTILAN VAIKUTUS HIOKKEEN LAATUUN	111
16	GALILEO-HIOKKEEN VAIKUTUS KARTONGIN LAATUUN	113
	16.1 Koeajo puhtaalla Galileo-hiokkeella	113
	16.2 Koeajon tulokset hiomolla	115
	16.3 Koeajon tulokset kartonkitehtaalla	126
	16.4 Kulumisen vaikutus Galileo-hiomakiven pintaan.....	135
17	TUOTANTOPYYNNIN VAIKUTUS HIOKKEEN LAATUUN	140
	17.1 Tuotantotehokoeajon tulokset	140
18	LAJITTELUN JA REJEKTIN KÄSITTELYN TEHOSTAMINEN	149
	18.1 Lajittelun kartoitus ja 2A-sihdin syöttösakeuden nostaminen	152
	18.2 2A-lajittimen ohituksen ja rejektin jauhatuksen mallintaminen	155
19	KOKEELLISEN OSAN YHTEENVETO.....	162
20	JOHTOPÄÄTÖKSET	164
	LÄHDELUETTELO	166

SYMBOLI- JA LYHENNELUETTELO

CSF	Canadian Standard Freeness	
FBB	Taivekartonki	
FF	Kuitufragmentti	
ML	Välilamelli	
P	Primääriseinä	
S1	Sekundääriseinä	
S2	Sekundääriseinä	
SR	Shopper-Riegler	
T	Sekundääriseinä	
TB	Tambrite	
TF	Tamfold	
TSI	Tensile Stiffness Index	
TSO	Tensile Stiffness Orientation	
W	Kyhmykerros	
<i>A</i>	Gritin pinta-ala	[m ²]
\bar{A}	Keskiarvo mittauksen tuloksista	[mN]
<i>a</i>	Vakio	[-]
<i>B</i>	Gritin avoin kupera alue	[-]
<i>b</i>	Näytekappaleen leveys	[m]
<i>c</i>	Vakio	[-]
<i>C1B aksepti</i>	Lajittimen 1B akseptin kiintoainepitoisuus	[%]
<i>C2A aksepti</i>	Lajittimen 2A akseptin kiintoainepitoisuus	[%]
<i>CA</i>	Akseptin sakeus	[kg/m ³]
<i>CAksepti</i>	Valmiin akseptin kiintoainepitoisuus	[%]
<i>CHioke</i>	Hiokkeen kiintoainepitoisuus	[%]
<i>CR</i>	Rejektin sakeus	[kg/m ³]
<i>CRjektin</i>	Valmiin rejektin kiintoainepitoisuus	[%]
<i>CSF_A</i>	Akseptin freeness	[ml]
<i>CSF_F</i>	Syötön freeness	[ml]

CSF_{drop}	Freeness-alenema lajittimen yli	[ml]
d	Kappaleen paksuus	[m]
d_i	Kerroksen i paksuus	[m]
E	Kimmomoduuli	[Pa]
EOK	Ominaisenergiankulutus	[kWh/t]
E_i	Kerroksen i kimmomoduuli	[Pa]
E_R	Lajittimen erotustehokkuus	[%]
F	Voima	[mN]
ΔF	Kokonaisvoima	[N]
F_X	Repäisyjuuus	[mN]
G	Vetoluuslaitteen lukema	[g]
h_i	Kerroksen i etäisyys arkin keskikohdasta	[m]
K	Vakio	[-]
k	Vakiokerroin hiomakoneen tehokkuudelle 0,7–0,9	[-]
L	Kuidun pituus	[mm]
L_J	Jauhimen teräsärmien kokonaispituus	[km]
Δl	Näytekappaleen pituuden muutos	[m]
l	Jana kuidun päiden välillä	[mm]
l_0	Näytteen alkuperäinen pituus	[m]
m	Hiokkeen tuotantonopeus	[t/h]
m_F	Jauhimen läpi virtaavan kuivan massan määrä	[t/h]
\dot{m}_A	Akseptin massavirta	[kg/s]
\dot{m}_F	Syötön massavirta	[kg/s]
\dot{m}_R	Rejektin massavirta	[kg/s]
N	Kerrosten lukumäärä	[-]
n	Näytteiden lukumäärä	[-]
n_J	Jauhimen kierrosluku	[r/s]
OSK	Ominaisrämmäkuorma	[J/m]
P	Hiontateho	[MW]
P_{EQPC}	Ekvivalenttisen ympyrän kehä	[m]
P_p	Läpäisyysuhde	[-]
P_t	Jauhimen kokonaisteho	[kW]
P_w	Jauhimen häviöteho	[kW]

P_{real}	Ympyrän todellinen kehä	[m]
p	Heilurin kerroin	[-]
Q	Hiokkeen laatua kuvaava parametri	[-]
Q_N	Lajittimen selektiivisyys	[-]
RTF	Rejektin sakeutussuhde	[-]
RR_m	Massarejektisuhde	[%]
RR_V	Tilavuusrejektisuhde	[%]
S	Hiomakiven terävyys	[-]
S_b	Taivutusjäykkyys	[mNm]
$S_{b,DIN}$	DIN-jäykkyys	[mNm]
$S_{b,i}$	Kerroksen i taivutusjäykkyys	[mNm]
$S_{b,KS}$	Konesuunnan taivutusjäykkyys	[mNm]
$S_{b,PS}$	Poikkisuunnan taivutusjäykkyys	[mNm]
S_G	Gritin pallomaisuus	[-]
T	Irrotusvoima	[g/cm]
TS	Vetolujuus	[N/m]
$TS_{1B\ aksepti}$	Lajittimen 1B akseptin vetolujuus	[Nm/g]
$TS_{2A\ aksepti}$	Lajittimen 2A akseptin vetolujuus	[Nm/g]
$TS_{Aksepti}$	Valmiin akseptin vetolujuus	[Nm/g]
$TS_{Rejekti}$	Valmiin rejektin vetolujuus	[Nm/g]
\dot{V}_A	Akseptin tilavuusvirta	[m ³ /s]
V_A	Valmiin akseptin tilavuusvirta	[l/s]
\dot{V}_F	Syötön tilavuusvirta	[m ³ /s]
V_{Hioke}	Hiokkeen tilavuusvirta	[l/s]
\dot{V}_R	Rejektin tilavuusvirta	[m ³ /s]
w	Neliömassa	[g/m ²]
X	Repäisyindeksi	[mNm ² /g]
x_F	Komponentin määrä syötössä	[kg/m ³]
x_I	Komponentin määrä rejektissä tai akseptissa	[%]
x_{II}	Komponentin määrä rejektissä tai akseptissa	[%]
x_R	Komponentin määrä rejektissä	[kg/m ³]
Y	Vetoindeksi	[Nm/g]
z_0	Arkin neutraalitason etäisyys arkin keskikohdasta	[m]

α	Kivikohtainen vakio	[-]
ε	Venymä	[-]
θ	Kuitujen irtoamiskulma	[°]
Φ	Taivutuskulma	[°]
Ψ_c	Gritin kuperuus	[-]

1 JOHDANTO

Mekaanista massaa on alettu valmistaa ensimmäistä kertaa jo vuonna 1843 (Blechsmidt, Heinemann, 2006a). Aina 1930-luvulta alkaen hionta on perustunut keraamisiin hiomakiviin ja pääasiassa vain kapasiteettia on pyritty kasvattamaan, jolloin hiomakivien koko on myös kasvanut (Tuovinen, Olli, Fardim, 2015). Mekaanisen massanvalmistuksen pääongelmana tunnetaan sen suuri energiankulutus (Salmén et al., 2009), johon voidaan vaikuttaa hiomakiven pintaa muokkaamalla (Tuovinen, Fardim, 2015).

Painehioke (PGW) on mekaanista massaa, jonka raaka-aineena käytetään Anjalankosken tehtailla kuusta. Painehiontaprosessissa puu painetaan paineistetussa kammiossa pyörivää hiomakiveä vasten, joka aiheuttaa puun kuituuntumisen (Sundholm, Lönnberg, 2009). Työn tavoitteena on selvittää painehiokkeen ominaisuudet, jotka vaikuttavat taivekartongin lujuusominaisuuksiin ja optimoidaan hiomon lajittelun ja rejektijauhituksen toimintaa. Lisäksi työssä optimoidaan ajotapa, jotta vaaditut taivekartongin lujuusominaisuudet voidaan saavuttaa.

Diplomityö jakautuu kirjallisuusosaan ja kokeelliseen osaan. Kirjallisuusosassa käsitellään mekaanisen massan valmistusta, massan ominaisuuksia, sekä taivekartongin lujuutta kuvaavia suureita. Kokeellisessa osassa tutkitaan taivekartongin ominaisuuksia, jotka ovat riippuvaisia kiven pinnasta ja pyritään saavuttamaan halutut kartongin lujuusominaisuudet optimoimalla hiomakiven pinta, sekä hiomakoneiden ajotapa. Puun jäätyminen aiheuttamat muutokset otetaan huomioon ajotavassa.

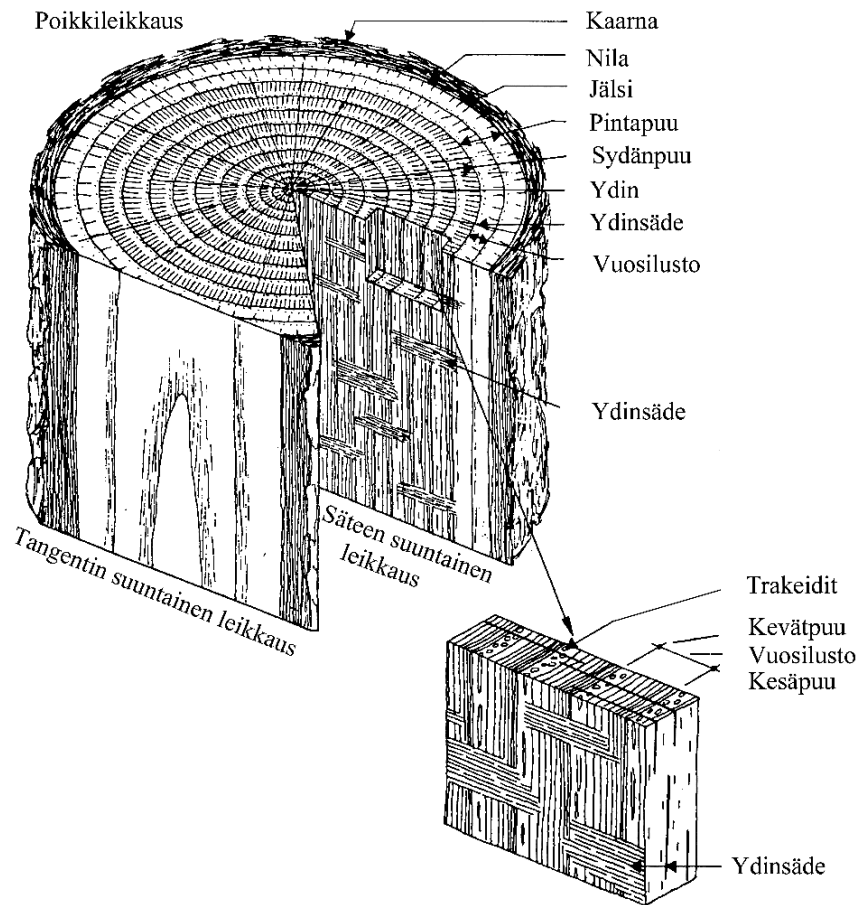
KIRJALLISUUSOSA

2 PUU MEKAANISEN MASSANVALMISTUKSEN RAAKA-AINEENA

Puun koostumus vaihtelee merkittävästi eri puulajien välillä, joka on merkittävin tekijä mekaanisen massan valmistuksen ja massan laadun kannalta. Yleisesti mekaanisen massanvalmistuksen raaka-aineena toimivat parhaiten havupuut ja etenkin kuusi. Kuusen kuitujen ominaisuudet, matala uuteaineiden määrä ja korkea vaaleus tekevät siitä parhaan mahdollisen raaka-aineen mekaanisten massojen valmistukseen. Seuraavissa kappaleissa kuvataan tarkemmin havupuiden koostumusta. (Varhimo, Sirviö & Tuovinen, 2009)

2.1 Puun rakenne

Puu on orgaaninen materiaali, jonka pääkomponentteja ovat selluloosa, hemiselluloosa ja ligniini. Nämä makromolekyylit koostuvat pääasiassa hiilestä, hapestä ja vedystä (Koch, 2006). Lisäksi puu sisältää uuteaineita (Alén, 2000). Hemiselluloosan ja ligniinin määrät vaihtelevat puulajien välillä, kun taas selluloosan määrä pysyy lähes vakiona, riippumatta siitä onko kyseessä havupuu vai lehtipuu (Koch, 2006). Puun koostumukseen vaikuttaa myös kasvupaikka, ilmasto ja puun ikä (Varhimo, Sirviö & Tuovinen, 2009). Raaka-aineena puu on heterogeeninen ja anisotrooppinen, joten rakennetta tulee tarkastella useilta eri tasoilta ja eri leikkaussuunnista kokonaiskuvan saamiseksi (Alén, 2000). Anisotrooppisen materiaalin rakenne vaihtelee riippuen tarkastelusuunnasta. Puun makroskooppinen poikkileikkaus, säteen suuntainen leikkaus ja tangentin suuntainen leikkaus ovat esitetty kuvassa 1.



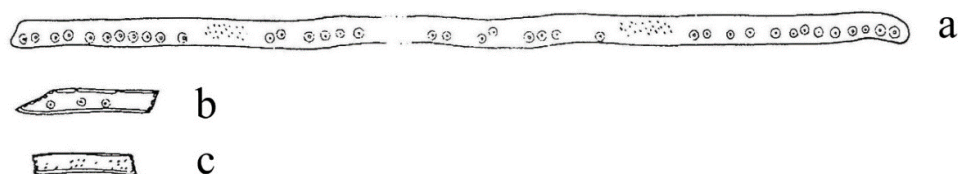
Kuva 1. Puun makroskooppinen rakenne esitettynä eri leikkaustasoista (mukaillen, Alén, 2000).

Puun kuoren ulko-osa, kaarna, muodostuu kuolleesta solukosta puun pinnalla. Se suojaa puun sisempiä osia mekaanisilta vaurioilta, sekä mikrobiologisilta haitoilta. Jälsi ja nila muodostuvat elävistä soluista. Puun kasvu tapahtuu jälsissä. Sydänpuu ja pintapuu muodostavat yhdessä puuaineksen eli ksyleemin, joka on kaarnan tavoin kuollutta solukkoa. Pintapuu sisältää joitakin eläviä parenkyymi-soluja, jotka mahdollistavat kerroksen fysiologisen aktiivisuuden. Pintapuu toimii ravinteiden varastona, kuljettaa vettä puun juurista lehvistöön ja tukee puun rakennetta. (Alén, 2000)

Vuosilusto koostuu kevät- ja kesäpuusta, joista kevätpuu erottuu vaaleampana osana ja kesäpuu tummempana. Kevätpuu muodostuu nimensä mukaisesti kasvukauden alussa, kun kesäpuu muodostuu myöhemmän kasvukauden aikana. Väri vaihtelu aiheutuu eroavaisuuksista kevät- ja kesäpuun soluissa. Kevätpuusolujen seinämät ovat ohuet ja poikkileikkauksen pinta-ala suuri, jotta veden kulkeminen on mahdollisimman tehokasta.

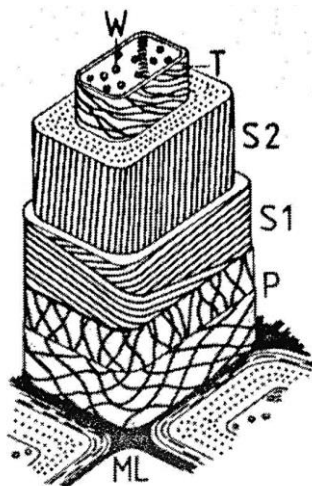
Kesäpuusolujen seinämät ovat paksumpia ja poikkileikkauksen pinta-ala on pienempi. Riippuen kasvuolosuhteista, vuosiluston koko vaihtelee vuosittain. (Alén, 2000)

Kuusen ksyleemin kuidut voidaan jakaa karkeasti kahteen eri luokkaan: suipposoluihin ja tylppysoluihin (Alén, 2000). Suipposolujen, kuten trakeidien tehtävänä on tukea puun rakennetta ja johtaa nesteitä, kun tylppysolut ovat ravinto- ja varastosoluja (Jääskeläinen, Sundqvist, 2007). Havupuiden ksyleemistä 90–95 % koostuu trakeideista (Alén, 2000). Piirroskuva kuusen kevätpuun ja ydinsäteen trakeidista, sekä ydinsäteen tylppysolusta on esitetty kuvassa 2.



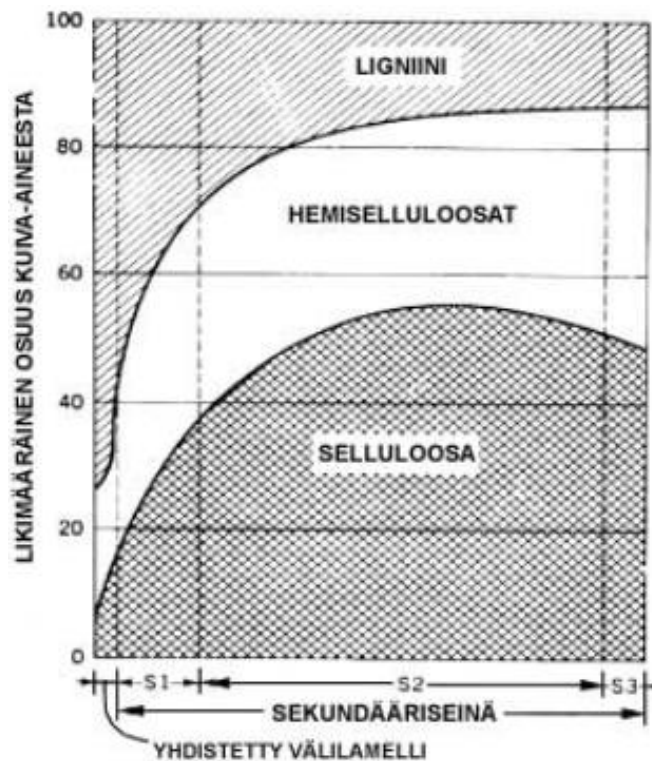
Kuva 2. Kuusen eri kuidut: a) kevätpuun trakeidi, b) ydinsäteen trakeidi ja c) ydinsäteen tylppysolu (mukaiillen, Alén, 2000).

Kevät- ja kesäpuun trakeidit ovat merkittävästi pidempiä, kuin ydinsäteen solut (Kuva 2). Trakeidien pituus on tyypillisesti 1,4–6,0 mm ja halkaisija 20–50 µm. Ydinsäteen trakeidien pituus on 0,01–0,16 mm ja halkaisija 2–50 µm. Yksityiskohtaisempi kuvaus havupuun soluseinän kerrosrakenteesta on esitetty kuvassa 3. (Alén, 2000)



Kuva 3. Piirroskuva havupuun trakeidin soluseinän rakenteesta, joka koostuu välilamellista (ML), primääriseinästä (P), sekundääriseinistä (S1, S2 ja T), sekä kyhmykerroksesta (W). (mukaiillen, Alén, 2000)

Havupuun trakeidit (Kuva 3) muodostuvat välilamellista (ML), primääriseinästä (P), sekundääriseinästä (S1, S2 ja T), sekä kyhmykerroksesta (W). Välilamelli on 0,2–1,0 µm paksu kerros, joka sitoo yksittäiset kuidut toisiinsa. Primääriseinän paksuus on 0,05–0,1 µm. Primääriseinä ja välilamelli koostuvat suurimmaksi osaksi ligniinistä (65 %), kun sekundääriseinät S1, S2 ja T koostuvat enimmäkseen pektiinisistä yhdisteistä (75 %), selluloosasta, glukomannaanista ja ksylaanista. Selluloosa, hemiselluloosan ja ligniinin määriä eri trakeidin soluseinäkerroksissa havainnollistaa kuva 4. (Alén, 2000)



Kuva 4. Selluloosan, hemiselluloosan ja ligniinin likimääräiset osuudet trakeidin soluseinän välilamellissa ja sekundääriseinissä. (VTT, 2013)

Ligniinin suhteellinen osuus on suurin trakeidin välilamellissa (Kuva 4) ja pienenee aina sisempiin kerroksiin edettäessä. Selluloosan määrä kasvaa välilamellista edettäessä kerroksiin S1 ja S2, mutta pienenee kerrokseen S3 edettäessä. Hemiselluloosan suhteellinen osuus kasvaa välilamellista sisempiin kerroksiin edettäessä.

Selluloosan, ligniinin ja uuteaineiden kokonaismäärät vaihtelevat puulajeittain (Taulukko I). Suomalainen koivu sisältää vähemmän selluloosaa ja ligniiniä, kuin havupuut. Kuusen ja

männyn koostumuksissa merkittävin ero on uuteaineiden määrässä. Männyn korkea uuteainemäärä rajoittaa sen käyttöä sekä mekaanisen, että kemiallisen massanvalmistuksen raaka-aineena. (VTT, 2013)

Taulukko I Suomalaisen kuusi-, mänty- ja koivukuitupuun kemiallinen koostumus (VTT, 2013).

Laji	Selluloosa, %	Hemiselluloosa, %	Ligniini, %	Uuteaineet, %
Kuusi	42	28	28	2
Mänty	42	26	27	5
Koivu	40	37	20	3

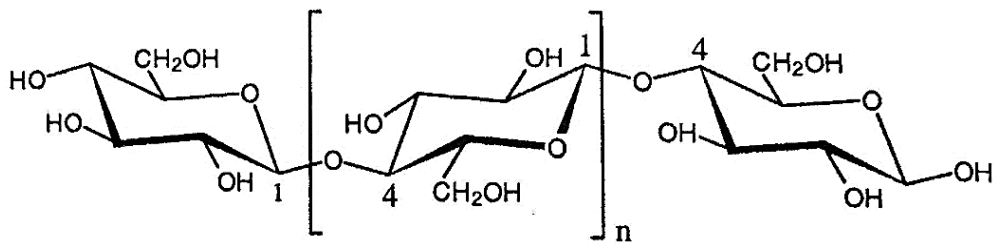
Havu- ja lehtipuiden kuitujen eroavaisuuksia voidaan arvioida myös kuitujen hoikkuus- ja joustavuusasteiden avulla. Hoikkuusasteella tarkoitetaan kuidun pituuden suhdetta kuidun halkaisijaan ja joustavuusaste voidaan määrittää kuidun lumen halkaisijan ja kuidun halkaisijan suhteesta. (Gharehkhani et al., 2015)

Taulukko II Havupuun ja lehtipuun keskimääräiset kuitujen hoikkuus- ja joustavuusasteet. (Gharehkhani et al., 2015)

Laji	Hoikkuusaste (kuidun pituus/kuidun halkaisija)	Joustavuusaste (kuidun lumen halkaisija/kuidun halkaisija)*100
Havupuu	95–12	55–75
Lehtipuu	75	55–70

2.1.1 Selluloosa

Selluloosamolekyylit ovat monidispergoitunut lineaarinen homopolysakkaridi. Se koostuu β -D-glukoosiyksiköistä, jotka ovat liittyneet toisiinsa 1 \rightarrow 4 glykosidisin sidoksilla. Selluloosan anhydroglukoosirenkaat ovat 4C_1 konfirmaatiossa, eli niin sanotussa tuolikonfirmaatiossa. β -D-glukoosiyksiköiden substituentit ovat suuntautuneet ekvatoriaalisesti, joka tekee selluloosan rakenteesta hyvin stabiilin. Selluloosan stereokemiallinen rakenne on esitetty kuvassa 5. (Alén, 2000)



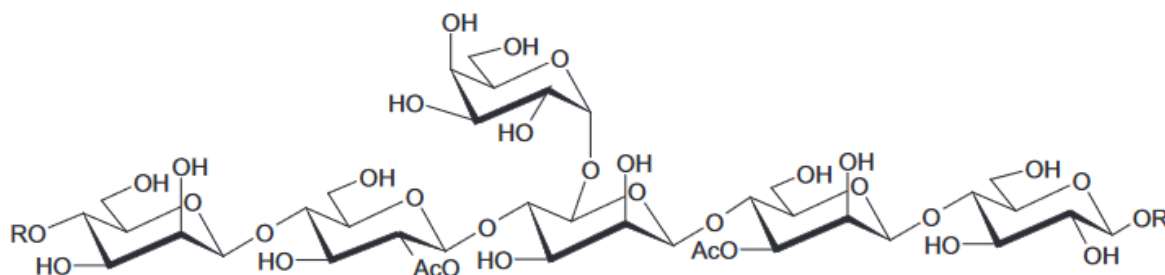
Kuva 5. Selluloosan stereokemiallinen rakenne (mukaillen, Alén, 2000).

Puuselluloosan polymeraatioaste on tyypillisesti noin 10 000 (Alén, 2000). Selluloosa muodostuu intra- ja intermolekulaaristen vetysidosten avulla. Atomien väliset vetysidokset muodostavat homoglykaaniketjuja, jotka muodostavat herkästi kristalliitteja. Epäjärjestäytyneet selluloosan alueet ovat amorfisia. Molekyylien väliset vetysidokset muodostuvat selluloosaketjujen välille ja muodostavat supramolekulaarisia rakenteita. (Koch, 2006)

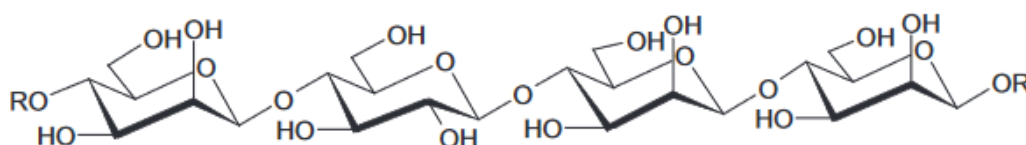
Kartongin valmistusprosessissa massasulpun kosteuspitoisuuden laskiessa aikana pintajännitys vetää kuituja toisiaan kohti. Kun kuidut lähestyvät toisiaan, van der Waalsin voimat, kemialliset sidokset ja kuitujen väliset kitkavoimat muodostavat sidoksia kuitujen välille. Kuitujen ominaispinta-alan kasvattaminen eli kuitujen fibrillaatio, sekä kuitumaisten hienoaineiden lisääminen parantavat kuitujen välisten sidosten muodostumista. (Vainio, Paulapuro, 2007, Sirviö, 2008)

2.1.2 Hemiselluloosat

Hemiselluloosat ovat heteropolysakkarideja, joiden polymeraatioaste on selluloosaan verrattuna pieni, 100–200. Amorfisen luonteensa vuoksi hemiselluloosan kemiallinen stabiilius ja lämpöstabiilius eivät ole yhtä hyviä kuin selluloosalla. (Alén, 2000) Hemiselluloosayksiköt muodostavat ketjuja, jotka voivat olla joko homopolymeerejä, eli koostua vain yhdestä yksiköstä, tai heteropolymeerejä, jolloin ketju muodostuu useammasta eri hemiselluloosayksiköstä. Galaktoglukomannaani (Kuva 6) on hyvä esimerkki heteropolymeeristä ja ksylaani (Kuva 7) homopolymeeristä. (Koch, 2006)



Kuva 6. Galaktoglukomannaanin rakenne havupuissa (Koch, 2006).

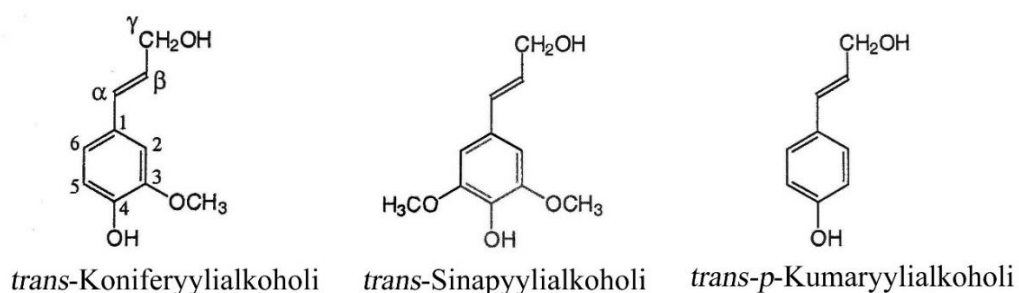


Kuva 7. Arabinoglukuronoksyylaenin rakenne havupuissa (Koch, 2006).

Havupuiden hemiselluloosat ovat pääasiassa glukomannaaneja (galaktoglukomannaani) ja ksyylaaniin (arabinoglukuronoksyylaani) osuus on pienempi. Lehtipuissa glukomannaanin ja ksyylaaniin osuudet ovat päinvastoin (Alén, 2000). Hemiselluloosa on merkittävästi kuitujen sitoutumiseen vaikuttava komponentti, ja hemiselluloosat antavat lopputuotteen kuituverkolle sen lujuuden (VTT, 2013).

2.1.3 Ligniini

Ligniini on amorfinen polymeeri, joka sitoo puun kuidut toisiinsa välilamellissa ja antaa kuiduille niiden jäykkyyden (Alén, 2000). Ligniini koostuu pääasiassa kolmesta eri monolignolista (Kuva 8) (Koch, 2006). Monolignolit eivät muodosta säännöllisiä rakenteita, vaan ligniinin rakenne on epäsäännöllinen. Monolignolit muodostavat sidoksia eetterisiltojen ja hiili-hiili-sidosten avulla. (Alén, 2000) Ligniinin koostumus vaihtelee myös kuidun soluseinän eri osissa (Jääskeläinen, Sundqvist, 2007).

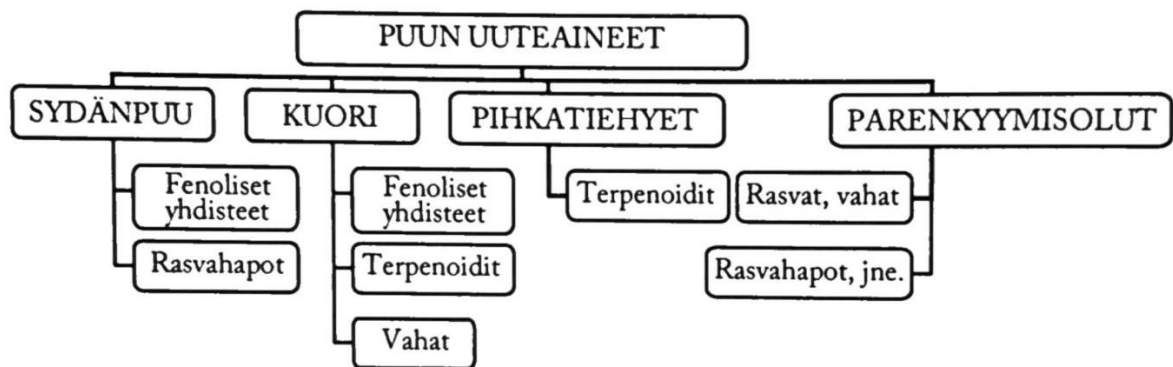


Kuva 8. Ligniinin rakenneyksiköt (Alén, 2000).

Ligniini on hydrofobinen komponentti, joten se ei lisää kuituverkon lujuusominaisuuksia valmiissa lopputuotteessa (VTT, 2013).

2.1.4 Uuteaineet

Uuteaineet käsittävät puussa pienen määrä yhdisteitä, jotka voidaan erottaa puusta uuttamalla neutraaleja liuottimia käyttämällä. Kuvassa 9 on esitetty puun tärkeimmät uuteaineet, sekä niiden sijainti puussa. (Jääskeläinen, Sundqvist, 2007)



Kuva 9. Puun tärkeimpien uuteaineiden sijainnit ja nimet (Jääskeläinen, Sundqvist, 2007).

Uuteaineet voidaan jakaa kahteen ryhmään – patologiseen ja fysiologiseen pihkaan. Patologinen pihka suojaa puuta vaurioilta ja koostuu fenoleista, sekä terpenoideista. Fysiologinen pihka on puun vararavintoa, joka sijaitsee elävissä tylppysoluissa. (Jääskeläinen, Sundqvist, 2007)

3 MEKAANINEN MASSA

Massaa voidaan valmistaa puusta kuituja irrottamalla joko kemiallisesti tai mekaanisesti leikkaus- ja kitkavoimien avulla. Mekaanisessa massanvalmistuksessa puun ligniini pehmennetään veden ja lämmön avulla, jolloin kuidut irtoavat paremmin. Mekaaniset valmistusmenetelmät voidaan jakaa karkeasti kahteen – hiontaan ja hiertämiseen. Hiokkeen raaka-aineena käytetään puupöllejä, jotka painetaan pyörivää hiomakiveä vasten. Hierteen valmistukseen käytetään taas puuhaketta, joka jauhetaan massaksi jauhimessa. Tässä työssä keskitytään vain hiokkeen valmistamiseen. (Sundholm, Lönnberg, 2009)

Painehiokkeen valmistuksessa puupölliin kuituuntuminen tapahtuu pehmittämällä pölliä lämmön ja suihkuveden avulla. Ideaalinen mekaaninen massanvalmistus edellyttää seuraavia asioita: kuidut tulee irrottaa puun matriisista, kuitupituuden tulee säilyä, kuitujen seinämät tulee kuiduttaa, välilamelli (ML) ja primääriseinä (P) tulee poistaa ainakin osittain hienoaineiden muodostamiseksi ja kuidun sekundääriseinä tulee kuiduttaa. Painehiokkeen saanto on hyvin korkea verrattuna muihin massoihin, jopa 98,5 %. Hiontaprosessissa liukenee vain joitakin vesiliukoisia komponentteja, kuten uuteaineita. (Sundholm, Lönnberg, 2009)

Verrattuna muihin massatyyppeihin, mekaanisilla massoilla voidaan saavuttaa korkea saanto, hyvä bulkki, opasiteetti, formaatio ja tyydyttävät lujuusominaisuudet. Lisäksi mekaanisten massojen valmistusprosessi on huomattavasti yksinkertaisempi kuin kemiallisten massojen. Mekaanisten massojen pääongelmana on suuri energiankulutus. Lisäksi saavutettavat lujuusominaisuudet ovat heikommät verrattuna kemiallisiin massoihin ja mekaaninen massa sisältää enemmän epäpuhtauksia. (Sundholm, Lönnberg, 2009)

3.1 Painehiokkeen ominaisuudet

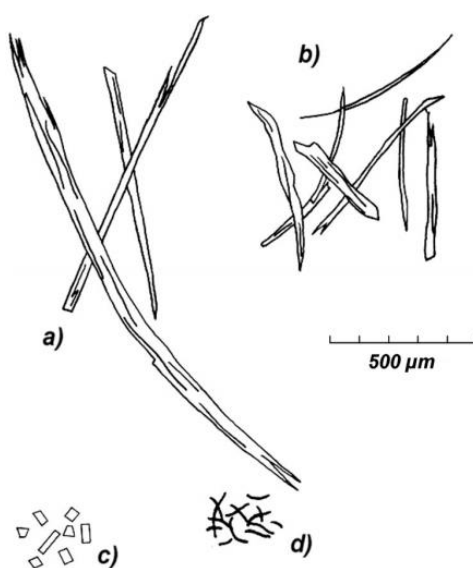
Perinteisesti massan ominaisuuksia voidaan määrittää laboratoriossa yksittäisistä kuiduista tai laboratorioarkeista (Hiltunen, 1999). Kuitujen ominaisuudet vaikuttavat merkittävästi formaatioon, lujuusominaisuuksiin ja valmiin kartongin ominaisuuksiin (Sirviö, 2008). Yksittäisten kuitujen ominaisuudet korreloivatkin laboratorioarkeista tehtyjen mittausten

kanssa, mutta pelkkien kuitumittausten perusteella ei voi tehdä suoria johtopäätöksiä laboratorioarkkimittausten tuloksista (Hiltunen, 1999).

3.1.1 Kuitupituusjakauma

Vaikka optimaalisen hiontaprosessin tavoitteena on irrottaa puun kuidut mahdollisimman kokonaisina puun rakenteesta, todellisuudessa mekaaninen massa sisältää dimensioltaan erilaisia kuituja (Blechsmidt, Heinemann, 2006c). Kuitupituusjakauman määrittämiseksi on olemassa useita eri menetelmiä, joista eniten käytettyjä ovat optiset menetelmät (Heikkurinen, 1999). Gravimetriset menetelmät jakautuvat seulonta- ja laskeutustekniikoihin. Massanvalmistuksessa yleisesti käytetty seulontamenetelmä on Bauer McNett -luokitin (Hyll, 2015). Anjalankosken tehtailla kuitupituusjakaumamittaukset suoritetaan Valmet FS5 -kuituanalysaattorilla. FS5-analysaattorissa on polarisoimaton valonlähde, joka muodostaa yksittäisistä kuiduista kuvan kennossa (ISO 16065-2:2014(E), 2014).

Kuiduttaminen muuttaa kuitujen dimensioita hiontaprosessissa. Keskimäärin mekaaninen massa sisältää yhtä paljon pitkiä kuituja, keskimittaisia kuituja ja hienoainetta. Hiontaprosessin olosuhteet vaikuttavat eniten kuitujen pituusjakaumaan (Heikkurinen, 1999). Mekaanisen massan erityyppiset kuidut ovat esitetty kuvassa 10.



Kuva 10. Hiokkeen sisältämät erilaiset kuidut: a) pitkät kuidut, b) lyhyet kuidut, c) hiutalemaiset hienoaineet ja d) kuitumaiset hienoaineet. (Blechsmidt, Heinemann, 2006)

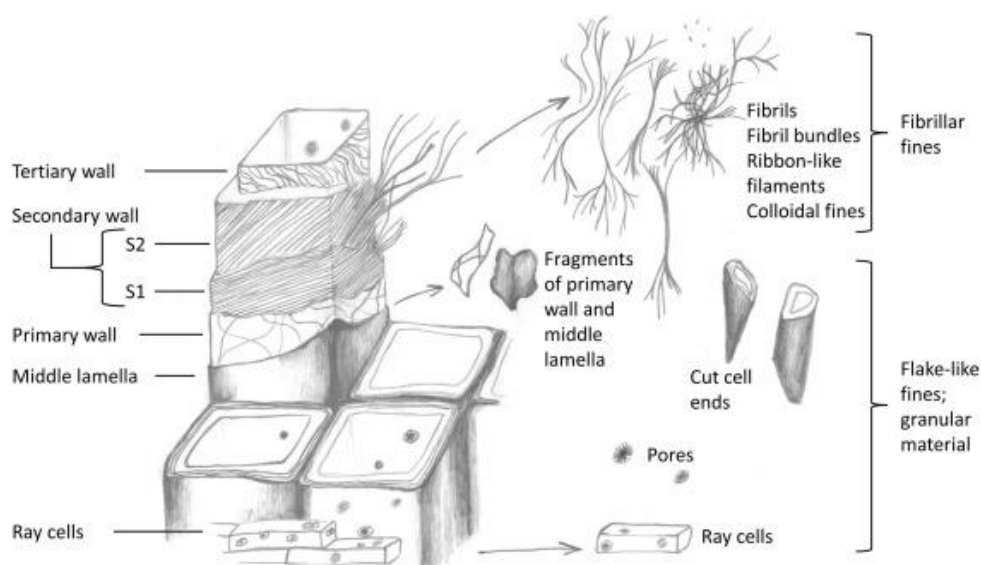
Hioke sisältää karkeasti jaettuna neljää eri kuitufraktiota (Kuva 10). Kuitufraktioiden tarkemmat dimensiot on esitetty taulukossa III.

Taulukko III Hiokkeen sisältämien kuitufraktioiden dimensiot (Blechsmidt, Heinemann, 2006).

Fraktion nimi	Pituus, μm	Halkaisija, μm
Pitkät kuidut	800–4500	25 –80
Lyhyet kuidut	200–800	2,5–25
Hiutalemaiset hienoaineet	20–30	1–30
Kuitumaiset hienoaineet	jopa 200	n. 1

Muodon lisäksi hienoaineet voidaan jakaa hionnassa muodostuviin primäärisiin hienoaineisiin ja myöhemmissä prosessivaiheissa muodostuviin sekundäärisiin hienoaineisiin. Sekundääriset hienoaineet ovat kuitumaisempia ja paremmin sitoutuvia kuin primääriset hienoaineet. Lisäksi hioke sisältään niin sanottuja mikrohienoaineita, jotka muodostuvat kuitujen kolloidisista fragmenteista. Kolloidiset hienoaineet aiheuttavat kuitufraktioiden erilaiset ominaisuudet. (Odabas et al., 2016)

Hienoaineet muodostuvat hionnassa puusolun välilamellin (ML) fragmenteista, katkeilleista kuiduista ja höylääntyneistä kuitujen pintakerroksista (Hafrén et al., 2013). Kuitumaiset hienoaineet muodostuvat sekundääriseinästä. Hienoaineiden muodostuminen puun rakenteesta on esitetty kuvassa 11.



Kuva 11. Hienoaineiden irtoaminen puun rakenteesta. (Odabas et al., 2016)

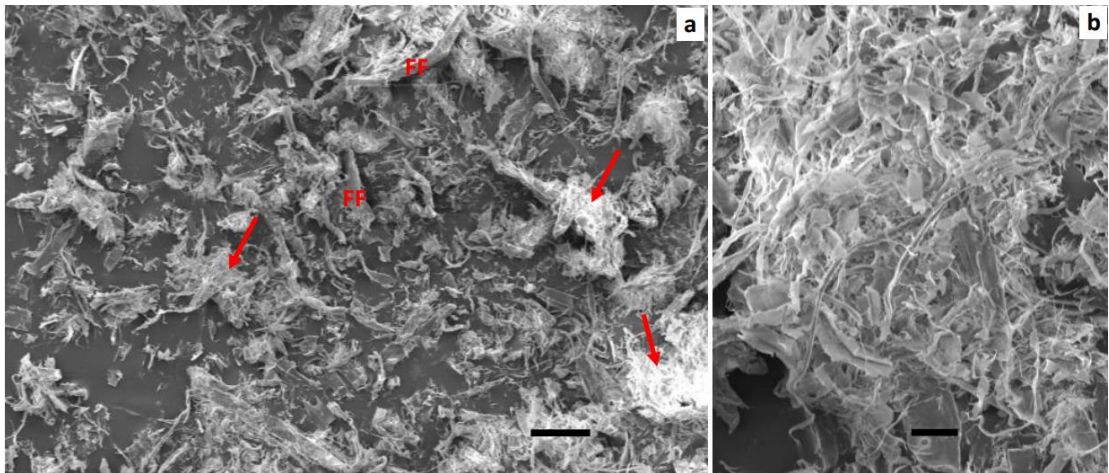
Koska hienoaineet muodostuvat kuidun ulkokerroksista, niiden hemiselluloosa-, pektiini- ja ligniinipitoisuus ovat korkeampia kuin pitkissä kuiduissa (Kuva 11) (Odabas et al., 2016). Kuitumaiset hienoaineet parantavat lujuus ja tiheysominaisuuksia, kun taas hiutalemaiset hienoaineet vaikuttavat enemmän vaaleusominaisuuksiin (Hafrén et al., 2013). Hienoaineet auttavat sitomaan kuidut yhteen ja arkkia kestävämmään siihen eri suunnista kohdistuvaa mekaanista rasitusta, mutta samalla hienoaineiden lisääminen aiheuttaa kartongin runkokerroksen tiivistymistä, joka heikentää taivutusjäykkyyttä (Odabas et al., 2016).

Hienoaineet voivat muodostaa, täyttää tai estää kuitujen välisiä sidoksia (Gorres et al., 1996). Tavallisesti hienoaineet lisäävät kuitujen välisiä sidoksia, joka aiheuttaa lujuusominaisuuksien parantumisen (Odabas et al., 2016).

Kuitupituudella on merkittävä rooli lujuusominaisuuksiin, sekä formaatioon. Kuitupituuden kasvattaminen parantaa lujuusominaisuuksia tiettyyn pisteeseen asti. Tyypillisesti yli 2–3 mm kuitupituudella formaatio heikkenee ja lujuusominaisuudet voivat kääntyä laskuun. (Hägglom-Ahnger, Komulainen & Seppälä, 2001)

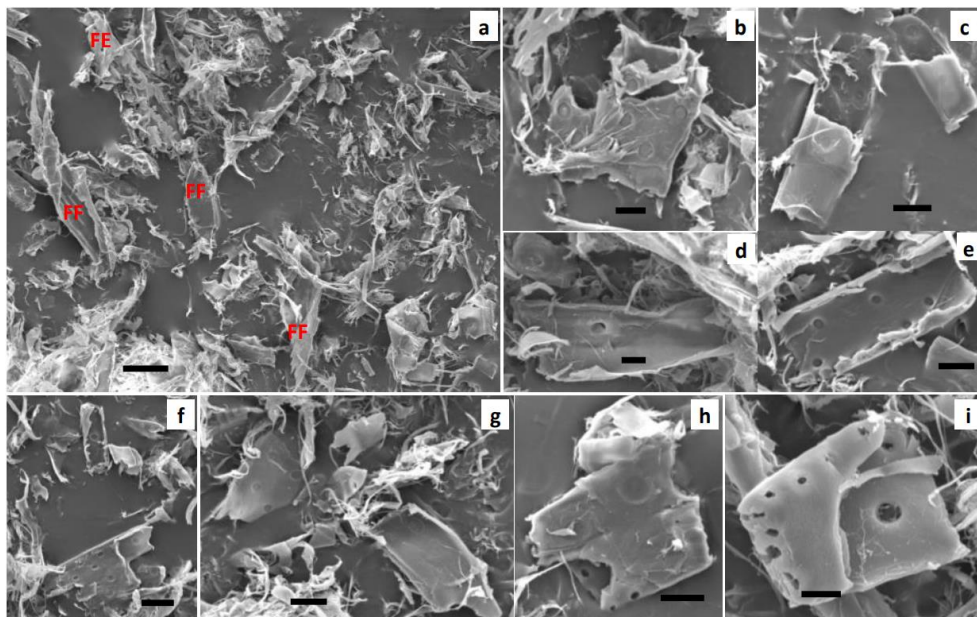
Hafrénin (2013) mukaan kartongin runkokerroksen lujuusominaisuuksiin voidaan vaikuttaa lisäämällä hienoaineita pitkäkuitujakeeseen. Laboratoriokokeessa erityyppisiä hienoaineita lisättiin 15 % ja 30 % CTMP pitkäkuitujakeeseen. Hienoaineiden lisääminen paransi lineaarisesti z-lujuutta, Scott Bond palstautumislujuutta ja vetolujuutta.

Kuitupituusjakauman laajemmaksi ymmärtämiseksi hienoaineiden tarkasteleminen elektronimikroskoopilla laajentaa tietoa hienoaineiden koostumuksesta ja muodoista. Painehioke sisältää tyypillisesti hyvän yhdistelmän kuitumaisia ja hiutalemaisia hienoaineita. Elektronimikroskooppikuvista voidaan löytää piirteitä, jotka korreloivat kuitupituusjakaumaan (Kuva 12 ja Kuva 13).



Kuva 12. Elektronimikroskooppikuva painehiokkeen hienoaineista. Nuolilla merkittyinä yhteen keräytyneet agglomeraatit ja FF rikkoutuneet kuitufragmentit (kuva a). Kuvassa b on esitetty agglomeraattien koostumus. Mittakaavapalkit; a) 100 μm ja b) 30 μm . (Hafrén et al., 2013)

Hienoaineagglomeraatit elektronimikroskooppikuvissa korreloivat korkeaa kuitumaisten hienoaineiden osuutta massassa. Lähempää tarkasteltuna (Kuva 12 b) kuitukimput koostuvat suikalemaisista kuiduista, joilla on korkea sitoutumisenergia. Painehiontaprosessi aiheuttaa myös hyvin pienten parenkyymisolujen ja trakeidien hajoamisen leikkautumalla (Kuva 13). (Hafrén et al., 2013)



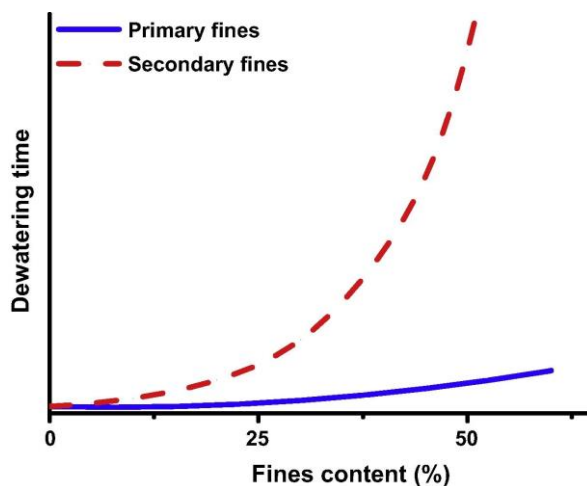
Kuva 13. Elektronimikroskooppikuva painehiokkeen parenkyymisolusta ja trakeideista, joista voidaan havaita painehionnan vaikutukset hiokkeen hienoaineisiin. FF tarkoittaa hajonneita kuitufragmentteja kuvassa a. Mittakaavapalkit: a) 40 μm ; b)–e), g), h), 10 μm ; f) 20 μm ; i) 5 μm . (Hafrén et al., 2013)

Painehiontaprosessin kuituihin aiheuttamat voimat ovat riittävän voimakkaita hajottamaan myös hienoaineita leikkautumalla (Kuva 13). On oletettu, että ligniinirikkailla ja ei-fibrillaarisilla osittain hajotetuilla hienoaineilla ei olisi merkittävästi parantavia ominaisuuksia sitoutumiskykyyn. (Hafrén et al., 2013)

Taulukko IV Hienoaineiden määrän vaikutus massaan ja siitä valmistettavien arkkien ominaisuuksiin. Merkinnät taulukossa: ominaisuus kasvaa (+) ja ominaisuus pienenee (-). (Odabas et al., 2016)

Ominaisuus	Vaikutus	Kommentti
Kuivatusaika	++	
Arkin tiheys	++	
Vetolujuus	+	Ei vaikutusta, mikäli kuitujen määrä vähäinen.
Repäisyjujuus	+/-	Maksimi saavutetaan pienellä hienoainemäärällä ja arvo heikkenee hienoaineiden määrän kasvaessa.

Hienoaineiden korkea ominaispinta-ala lisää niiden turpoamista vedessä. Hienoaineet vastustavatkin vedenpoistoa ja kasvattavat siten kuivatusaika. Erityisesti sekundääriset hienoaineet hidastavat kuivausta (Kuva 14). (Odabas et al., 2016)



Kuva 14. Hienoainepitoisuuden vaikutus hiokkeen kuivatusaikaan (Odabas et al., 2016).

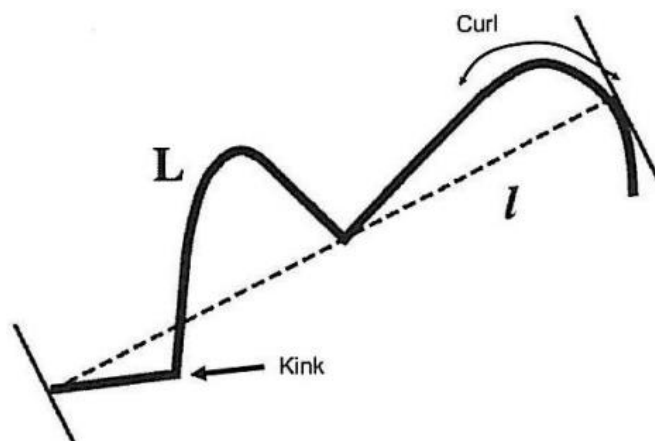
Sekundääristen hienoaineiden merkitys kasvaa kuivauksessa hienoainepitoisuuden kasvaessa (Odabas et al., 2016).

Hiokkeen kuitupituusjakaumaan voidaan vaikuttaa hiomakiven pinnalla, hionnan freeness-tavoitteella, sekä lajittelulla ja rejektin jauhatuksella. Korkeampi freeness-tavoite tarkoittaa karkeampaa hioketta eli pidempää keskikuidunpituutta. Lisäksi lajittelulla ja rejektin jauhatuksella voidaan säädellä tikkujen ja pitkien kuitujen määrää valmiissa hiokkeessa. Jauhatus myös lisää sekundääristen hienoaineiden määrää hiokkeessa.

3.1.2 Kuitujen kiharuus ja kinkkikulma

Puun kuidut ovat luonnostaan hyvin suorita, mutta mm. kuidutus ja putkilinjojen mutkat aiheuttavat kuituihin muodonmuutoksia. Muodonmuutoksien kanssa samanaikaisesti tapahtuu tavallisesti vaurioita kuidun rakenteessa. Vaurioiden syntymistä tulisi välttää prosessin aikana, mutta kuitujen muodonmuutokset vaikuttavat jopa positiivisesti joihinkin ominaisuuksiin. (Wathén, 2006)

Muodonmuutokset kuiduissa voivat olla kiharuuden lisäksi kinkkejä. Kinkit lasketaan mukaan kuidun kiharusindeksiin, mutta niiden vaikutukset arkkien ominaisuuksiin eroavat kuidun kiharuudesta. Kinkit vaikuttavat arkin märkälujuuteen ja märkärepäisyjuuteen. Kuidun kiharuus ja kinkkikulma ovat esitettynä kuvassa 15. (Wathén, 2006)



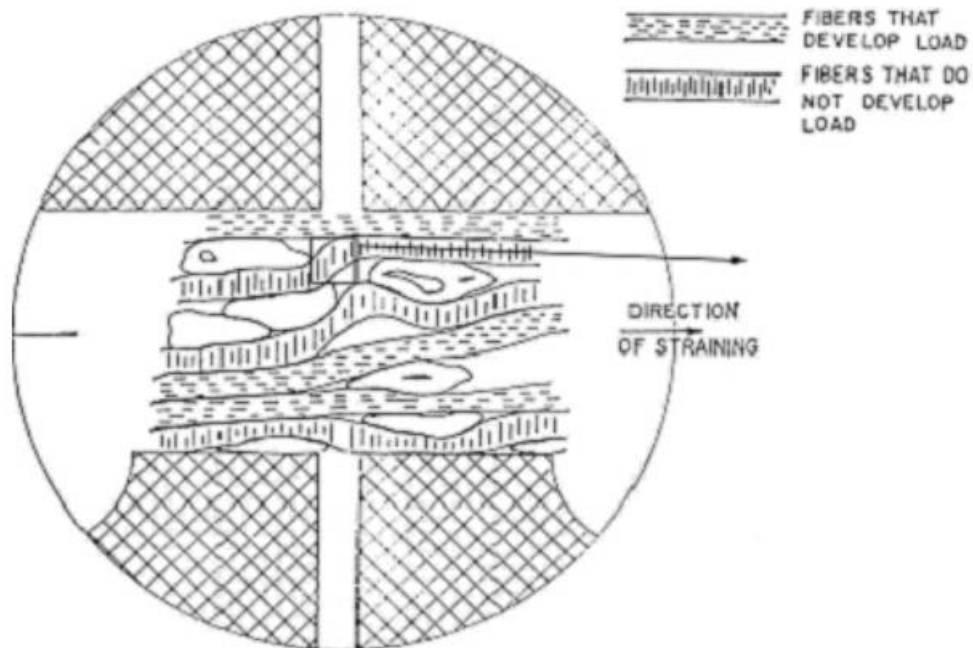
Kuva 15. Kuidun kiharuus ja kinkki (Wathén, 2006).

Kinkkikulmat lasketaan mukaan kuidun kiharuuteen. Kiharusindeksi voidaan määrittää yhtälön (1) mukaisesti (Wathén, 2006).

$$\text{Kiharuusindeksi} = \frac{L}{l} - 1 \quad (1)$$

Jossa,	L	Kuidun pituus	[mm]
	l	Jana kuidun päiden välillä	[mm]

Koska kuitujen kiharuus aiheuttaa jännityksen epätasaisen jakautumisen murtuma-alueelle, kiharuus parantaa repäisyindeksiä, mutta heikentää vetoindeksiä. Kuitujen kiharuus pienentää myös arkkien kimmomoduulia, mutta kasvattaa venymää. (Wathén, 2006, Joutsimo, Wathén & Robertsen, 2005) Yleisesti tunnetussa hypoteesissa (Kuva 16) vain suorat kuidut kannattelevat arkkiin kohdistuvaa kuormitusta, mutta hypoteesia on tutkittu ja on todettu, että kuidun S2-kerroksen eheys voi aiheuttaa suorien kuitujen kannattelevan voiman. Kiharien kuitujen S2-kerros on suorita kuituja rikkonaisempi. (Joutsimo, Wathén & Tamminen, 2005)



Kuva 16. Yleisesti tunnettu hypoteesi, jossa vain suorat kuidut kannattelevat arkkiin kohdistuvaa voimaa (Joutsimo, Wathén & Tamminen, 2005).

Massanäytteen kiharuus ja kinkkikulma määritellään Anjalankosken tehtailla Valmetin FS5 -kuituanalysaattorilla, jonka toimintaa on käsitelty kuitupituusjakaumaa käsittelevän kappaleen yhteydessä.

3.1.3 Suotautuvuus

Suotautuvuus kuvaa massasulppusta seulan läpi kulkeutuvan veden määrää eli massan vedenläpäisevyyttä ja puristuvuutta. Mekaanisen massan suotautuvuus riippuu voimakkaasti hienoaineen määrästä, kuitujen fibrillaatiosta ja hienoaineiden formaatiosta. Joissakin tapauksissa massan suotautuvuus voidaan määrittää myös kuitujen turpoamisasteen funktiona. (Hiltunen, 1999)

Suotautuvuuden määrittämiseksi on kaksi yleisesti käytettyä menetelmää: Shopper-Riegler (SR) ja Canadian Standard Freeness (CSF). Laboratoriomittaus suoritetaan molemmissa menetelmissä yhdestä litrasta laimennettua massasulppua, jonka pitoisuus on CSF-lukua määritettäessä 3 g/L ja SR-lukua määritettäessä 2 g/L. Massasulpun lämpötilan tulee olla 20,0 °C. CSF-tuloksen laskennassa käytetään lämpötilan korjauskerrointa. Kuvassa 17 on esitetty CSF-luvun määrittämiseksi käytetty laboratoriolaitte. (ISO 5267-1:1999, 2000, ISO 5267-2:2001(E), 2001, Hiltunen, 1999)



Kuva 17. Canadian Standard Freeness -testilaitte (VTT, 2013).

Freeness mittauksessa massasuppu kaadetaan suotautusastiaan, josta se kulkee sihtilevyn läpi ja suodos valuu sivu- ja pohjasuuttimien läpi astioihin. Sivusuuttimesta valuneen veden

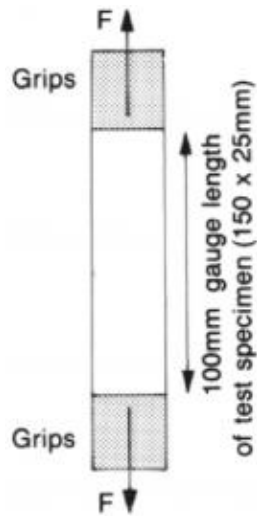
tilavuus kertoo CSF-luvun. Mitä nopeampaa suotautuvuus on, sitä suurempi on myös CSF-luku. CSF-luvun pienentyessä hienoaineen määrä massassa kasvaa. SR-luku asettuu välille 0–100. Mitä nopeammin sivusuuttimen virtaus hidastuu mittauksen aikana, sitä korkeampi SR-luku on. (Hiltunen, 1999)

Freeness-mittauksessa massasulpusta suotautuva vesi kulkee kuitujen välistä ja lopulta seulan läpi suppiloon. Massan hienoaineet liikkuvat vapaasti massasulpussa, kunnes ne tukkivat kuitujen välissä olevat kanavat. Liiallinen hienoaineen määrä heikentää suotautuvuutta, joka ei ole haluttu ominaisuus. Freeness-luvulla voidaan arvioida myös jauhatuksen vaikutusta, sillä freeneksen on havaittu olevan riippuvainen kuitujen fibrillaatiosta ja hienoaineiden formaatiosta. (Gharehkhani et al., 2015)

Freeneksen laskiessa massan kuivaaminen vaikeutuu (Höglund, 2009). Massan vedenpoistokyky on kääntäen verrannollinen massan sitoutumiskykyyn ja Freeness-luku kääntäen verrannollinen massan suotautumisvastukseen. CSF-lukua käytetään puristuksien ja kuivauksen säätämiseen. (VTT, 2013).

3.1.4 Vetolujuus ja vetoindeksi

Vetolujuutta käytetään kuvaamaan massojen lujuutta. Se kuvaa voimaa, joka vaaditaan näytekappaleen katkaisemiseksi. Vetolujuuteen vaikuttaa eniten kuitujen sitoutuneisuus ja konesuunta, mutta myös yksittäisten kuitujen lujuusominaisuudet. Vetolujuus kasvaa yksittäisten kuitujen ollessa taipuisampia. Vetolujuusmittauksen periaate on esitetty kuvassa 18. (Levlin, 1999)



Kuva 18. Vetolujuustestauksen periaate (Walker, 2006).

Testikappaleen leveys on $15 \pm 0,1$ mm (ISO 1924-2:2008, 2008). Vetolujuus voidaan määrittellä joko massasta valmistetuista laboratorioarkeista tai valmiista kartongista.

Vetolujuus voidaan laskea yhtälön (2) avulla (Levlin, 1999).

$$TS = \frac{\Delta F l_0}{b \Delta l} \quad (2)$$

Jossa,	TS	Vetolujuus	[N/m]
	ΔF	Kokonaisvoima	[N]
	b	Näytekappaleen leveys	[m]
	l_0	Näytteen alkuperäinen pituus	[m]
	Δl	Näytekappaleen pituuden muutos	[m]

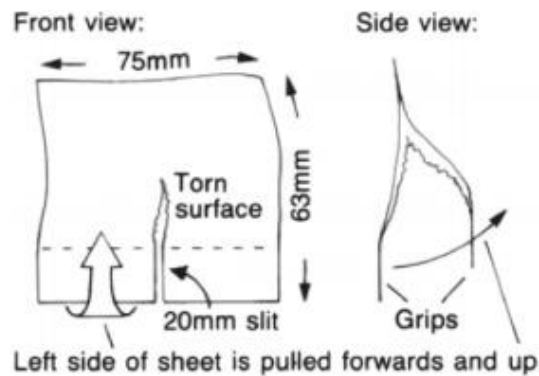
Vetoindeksi mahdollistaa eri neliöpainoisten näytteiden vertailemisen (Hägglom-Ahnger, Komulainen & Seppälä, 2001). Vetoindeksi voidaan laskea vetolujuuden, neliömassan ja näytekappaleen leveyden avulla (3) (Levlin, 1999).

$$Y = \frac{TS}{w} \quad (3)$$

Jossa,	Y	Vetoindeksi	[Nm/g]
	TS	Vetolujuus	[N/m]
	w	Neliömassa	[g/m ²]

3.1.5 Repäisylujuus ja repäisyindeksi

Repäisylujuudella tarkoitetaan voimaa, joka tarvitaan näytteen repäisemiseksi, kun näytteeseen on tehty aloitusrepeämä. Repäisylujuus voidaan mitata joko yhdelle näytteelle tai näytenipulle. Mittaus suoritetaan erikseen kone- ja poikkisuunnassa. Pitkät ja paksuseinämäiset kuidut massassa indikoivat korkeaa repäisylujuutta. Repäisylujuusmittauksen periaate on esitetty kuvassa 19. (Levlin, 1999)



Kuva 19. Repäisylujuusmittauksen periaate edestä ja sivusta katsottuna (Walker, 2006).

Repäisylujuus määritetään heilurin lukeman, näytteiden lukumäärän ja heilurin kertoimen avulla yhtälön 4 mukaisesti. Heilurin kerroin on tavallisesti 4, 8, 16 tai 32. (ISO 1974:2012(E), 2012)

$$F_X = \frac{\bar{A}p}{n} \quad (4)$$

Jossa,	F_X	Repäisylujuus	[mN]
	\bar{A}	Keskiarvo mittausten tuloksista	[mN]
	n	Näytteiden lukumäärä	[-]
	p	Heilurin kerroin	[-]

Repäisylujuudesta voidaan laskea vetoindeksin tapaan repäisyindeksi, jonka laskemiseksi on esitetty yhtälö (5) (Levlin, 1999).

$$X = \frac{F_X}{w} \quad (5)$$

Jossa,	X	Repäisyindeksi	[mNm ² /g]
	F_X	Repäisyjuuus	[mN]
	w	Neliömassa	[g/m ²]

Repäisyjuuus riippuu kuitujen pituudesta, lujuudesta, sitoutumisasteesta ja orientaatioasteesta. Mittauksessa kuidut liukuvat ennemmin repeämisalueella, kuin katkeavat. (Levlin, 1999)

3.1.1 Tikkupitoisuus

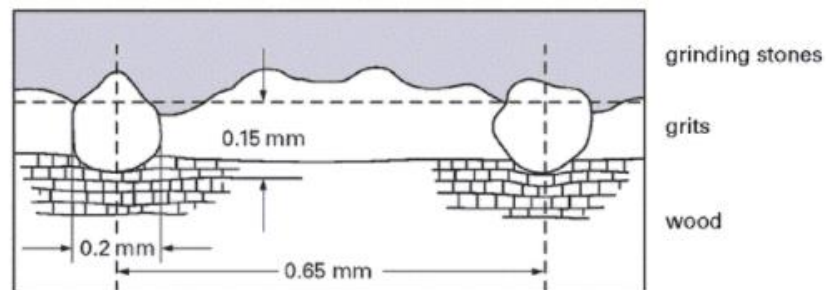
Tikut ovat kartonginvalmistusprosessiin kelpaamattomia kuituja, jotka tulee poistaa hiokkeesta (Blechsmidt, Heinemann, 2006). Perinteiset menetelmät perustuvat seulaan, jonka aukkokokoa suuremmat kuidut jäävät seulan päälle ja määritellään tikuiksi. Pulmac-tikkupitoisuusmittauksessa tarkasta määrästä massaa erotetut tikut kerääntyvät seulalle. Tulos määritetään seulalle jääneiden kuivattujen tikkujen massasta. (Heikkurinen et al., 2009)

4 PAINEHIONTAPROSESSI

Painehiontaprosessissa pätkitty ja kuorittu puu hiotaan paineen alla pyörivää hiomakiveä vasten hiokkeeksi. Hiontaprosessi on vaihteluherkkä ja siihen vaikuttavat puun laatu, hiomakiven pinta, suihkuvesien ominaisuudet, kiven käsittelyt ja käytön aikaiset muuttujat, kuten kemikaalit (Smook, Kocurek, 2016).

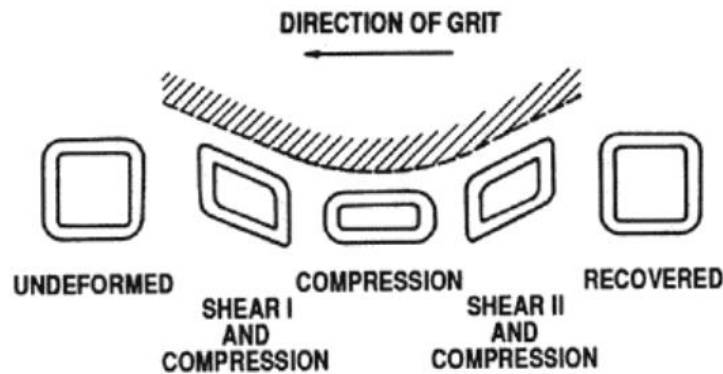
4.1 Hiontamekanismi

Hionnassa kivistä ulkonevat gritit aiheuttavat puun pintaan puristus- ja leikkausvoimia, jotka löystyttävät puun rakenteen ja kuidut kampaantuvat lopulta irti puusta (Smook, Kocurek, 2016). Hiontamekanismi voidaan jakaa kolmeen eri vaiheeseen. Ensimmäisessä vaiheessa kuidut pehmenevät mekaanisesti ja termisesti, kun gritit hiomakiven pinnassa ohittavat puun. Toisessa vaiheessa pehmenneet kuidut irtoavat puun hiomakiveä lähinnä olevasta kerroksesta. Viimeisessä vaiheessa kuidut kulkeutuvat hionta-alueelta pois. (Höglund, 2009)



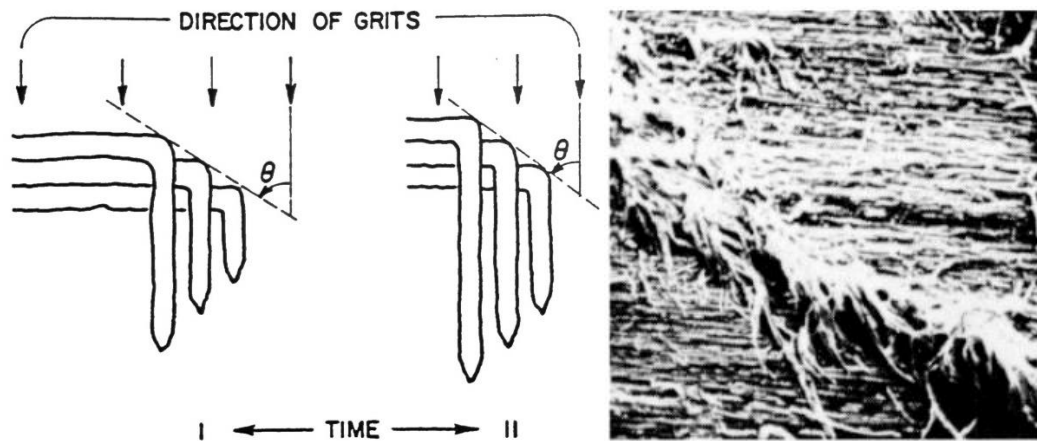
Kuva 20. Hiomakiven aiheuttamat muutokset puun pinnalla. Lisäksi kuvassa on esitetty keraamisen hiomakiven pinnan tyypilliset dimensiot. (Höglund, 2009)

Muodonmuutos puun pinnalla tapahtuu n. 20–50 kuitukerroksen syvyydessä (Kuva 20). Puu on viskoelastinen materiaali, joten rakenteen löystymisen kannalta tärkeitä parametreja ovat puristuksen amplitudi, taajuus ja lämpötila. (Salmén et al., 2009)



Kuva 21. Gritin kulkiessa puun pinnan ylitse, puristus- ja leikkausvoimat aiheuttavat puun rakenteen väsymisen. (Smook, Kocurek, 2016)

Gritit aiheuttavat vuorotellen useiden kuitukerrosten syvyyteen puristus- ja leikkausvoimia, jotka aiheuttavat muodonmuutoksia puun pinnalla (Kuva 21) (Smook, Kocurek, 2016). Suurin osa energiasta hionnassa kuluu puun rakenteen löystyttämiseen, kun taas kuitujen irtoaminen löystytetystä rakenteesta vie suhteellisesti vain pienen osan hiontaan kuluvasta energiasta. Kuitujen irtoamisvaihetta voidaan säätää hiomakiven pinnan grittien dimensioilla. Kuitujen irtikampautuminen on esitetty kuvassa 22. (Salmén et al., 2009)



Kuva 22. Kuitujen irtikampautumisen periaate löystytetystä puun rakenteesta piirroskuvana (Salmén et al., 2009) ja elektronimikroskooppikuva irtoavista kuiduista (VTT, 2013). Kuvassa θ on kuitujen irtoamiskulma suhteessa grittien pyörimissuuntaan.

Kuitujen irtoaminen alkaa tavallisesti kuidun toisesta päästä. Kuidut irtoavat samaan suuntaan hiomakiven pyörimissuunnan mukaisesti, jolloin ne taittavat ennen kuin irtoavat puun rakenteesta. Kuitujen irtoamiskulma θ on tavallisesti 45° suhteessa hiomakiven grittien

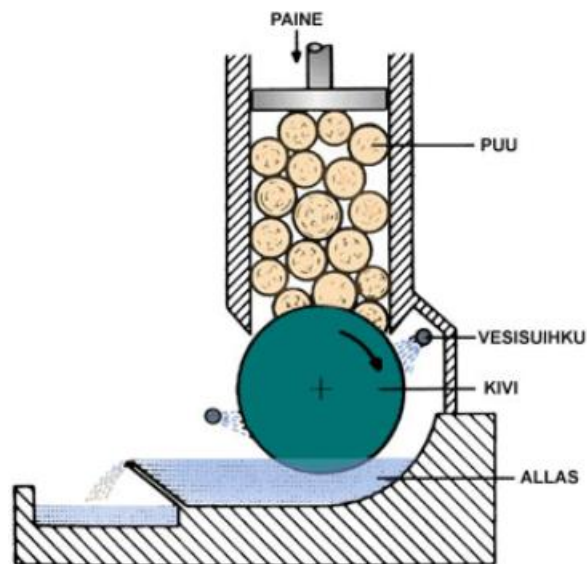
pyörimissuuntaan (Kuva 22). Kuitujen taipumisen takia kuidut katkeilevat helposti, vaikka ne olisivat pehmentyneet hyvin. (Salmén et al., 2009, Höglund, 2009)

4.2 Puun kuorinta

Ennen painehiontaa puupölliit kuoritaan. Kuorinnan tarkoituksena on poistaa puun kuori halutusta puuvirrasta, kuoria puut haluttuun puhtausasteeseen, sekä poistaa epäpuhtauksia, kuten hiekkaa ja kiviä. Kuoriminen tapahtuu kuorimarummussa, jossa kuoren pehmentämiseksi käytetään vettä. (VTT, 2013) Kuorintaprosessin hyvä toiminta vähentää massan puhdistustarvetta (Blechsmidt, Heinemann, 2006d).

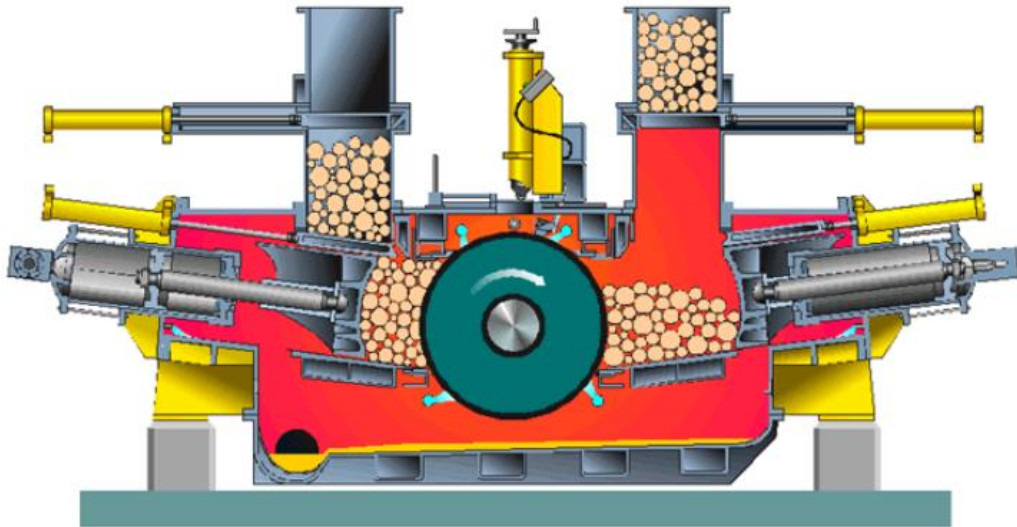
4.3 Hiontaprosessi

Painehiontaprosessissa kuoritut ja katkaistut puupölliit painetaan pyörivää hiomakiveä vasten ylipaineessa. Suihkuvesi vähentää liukukitkaa hiontagrittien ja puun välissä, sekä puhdistaa kuidut kiven pinnalta altaaseen. Painehionnassa ylipaine nostaa veden kiehumispistettä, joka estää veden kiehumisen kiven pinnalla. (Salmén et al., 2009) Suihkuveden lämpötila on painehionnassa alle 100 °C (Blechsmidt, Heinemann, 2006b).



Kuva 23. Yksinkertaistettu hiomakoneen toimintaperiaate. (VTT, 2013)

Anjalankosken tehtailla käytössä olevat H4-osahiomalinjan hiomakoneet ovat kaksiuunisia painehiomakoneita. Sivuleikkaus Valmetin kaksiuunisesta painehiomakoneesta on esitetty kuvassa 24.



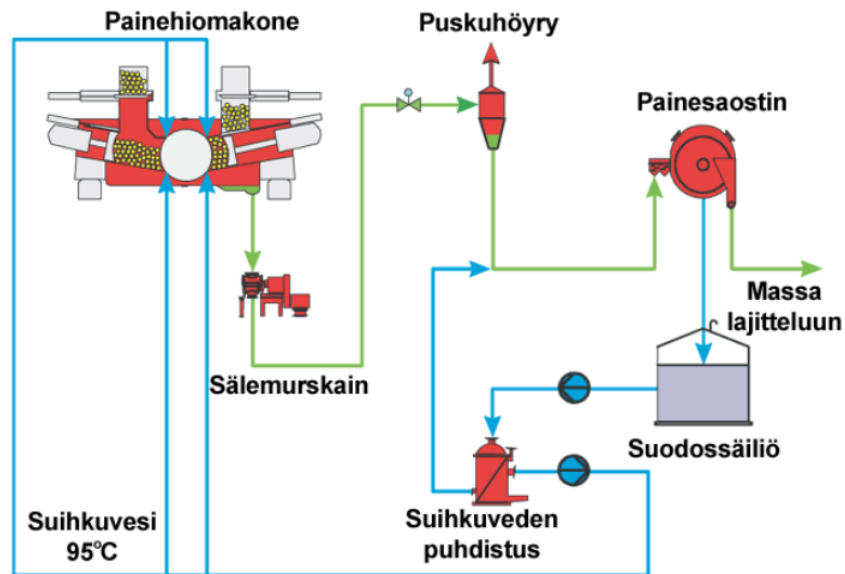
Kuva 24. Sivuleikkaus Valmetin kaksiuunisesta painehiomakoneesta. (VTT, 2013)

Painehiomakoneessa puupöllit kulkevat paineistetun kammion kautta hiontauuniin. Paineantura painaa puut pyörivää hiomakiveä vasten samalla kun suihkuvesi viilentää ja puhdistaa kiven pintaa. Kuidut kulkeutuvat suihkuveden mukana altaaseen. (VTT, 2013)

Hiomakoneen toimintaa voidaan säätää moottorin tehon, paineanturan nopeuden tai hiomakoneen EOK:n avulla. Hionta voi tapahtua joko vuorotellen molemmissa hiontauuneissa tai vain toisella uunilla. Hiomakoneen tuotantonopeus voidaan määrittää yhtälön (6) avulla. (Karojärvi et al., 2009)

$$\text{Hiomakoneen tuotantonopeus} \left[\frac{t}{h} \right] = k * \frac{\text{Moottorin teho [MW]}}{\text{EOK} \left[\frac{\text{MWh}}{t} \right]} \quad (6)$$

Jossa, k vakiokerroin hiomakoneen tehokkuudelle 0,7–0,9 [-]

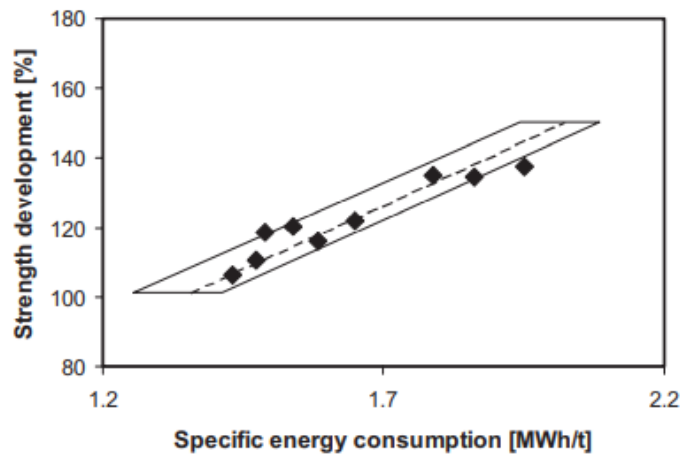


Kuva 25. Yksinkertaistettu virtauskaavio painehiontaprosessista (VTT, 2013).

Painehiomakoneelta hioke kulkee sälemurskaimelle, joka poistaa säleet ja isot tikut hiokkeesta. Puskusykloonalla hioke paisutetaan ilmanpaineeseen, jonka jälkeen hioke saostetaan painesaostimella n. 10 % sakeuteen. Painesaostimelta hioke kulkee lajitteluun. (VTT, 2013)

5 HIONTAPROSESSIN MUUTTUJAT

Hiontaprosessin muuttujien avulla voidaan säätää painehiokkeen ominaisuuksia, kuten suotautuvuutta ja lujuusominaisuuksia. Yleisesti tunnetaan, että hiontapaineen kasvattaminen kasvattaa massan CSF-lukua ja heikentää lujuusominaisuuksia. Hiomakiven pyörimisnopeuden kasvattaminen taas pienentää massan CSF-lukua ja kuitujen pituutta. Lisäksi hionnan EOK vaikuttaa merkittävästi hiokkeen lujuusominaisuuksiin (Kuva 26). (Blechsmidt, Heinemann, 2006)



Kuva 26. Hiomakoneen lujusominaisuuksien kehitys EOK:n funktiona (Blechsmidt, Heinemann, 2006).

Hionnan ominaisenergiankulutuksen kasvaessa hiokkeen freeness kasvaa, jolloin myös lujusominaisuudet kasvavat (Kuva 26). Hionnan EOK on pääroolissa hiokkeen laatua säädettäessä. (Blechsmidt, Heinemann, 2006)

Hionnan muuttujille ja hiokkeen laadulle on luotu matemaattisia malleja. Yksi malli on esitetty yhtälössä (7). Laatuominaisuudet, freeness ja lujusominaisuudet riippuvat hionnan ominaisenergiankulutuksesta. (Karojärvi et al., 2009)

$$m = SP^\alpha \quad (7)$$

Jossa,	m	Hiokkeen tuotantonopeus	[t/h]
	S	Hiomakiven terävyys	[-]
	P	Hiontateho	[MW]
	α	Kivikohtainen vakio 1,4–1,6	[-]

Hiokkeen tavallisimmille laatuominaisuuksille on myös määritelty kokeellisesti empiirinen malli (8), jonka mukaan hiomakiven terävyys ja hiontateho vaikuttavat laatuominaisuuksiin.

$$Q = KS^{\alpha}P^c \quad (8)$$

Jossa,	Q	Hiokkeen laatua kuvaava parametri	[-]
	K	Vakio	[-]
	S	Hiomakiven terävyys	[-]
	P	Hiontateho	[MW]
	a	Vakio	[-]
	c	Vakio	[-]

Hiontaprosessin muuttujat jakautuvat puun laatuun, hiomakiven ominaisuuksiin, suihkuvesien ominaisuuksiin, kiven käsittelyyn sekä käytön aikaisiin muuttujiin. Muuttujat ovat esitelty tarkemmin taulukossa V. (Smook, Kocurek, 2016).

Taulukko V Hiontaprosessiin vaikuttavat muuttujat (Smook, Kocurek, 2016).

Muuttuja	Ominaisuudet
Puun ominaisuudet	Laji, ikä, kosteuspitoisuus, lahon määrä ja halkaisija
Hiomakiven tekniset tiedot	Gritin tyyppi ja koko. Sidosaineen tyyppi ja gritin ja sidosaineen massasuhde.
Suihkuvedet	Virtaus, lämpötila ja paine. Suuttimien lukumäärä, koko ja suuntaus.
Kiven teroitus (keraaminen kivi)	Taajuus, voimakkuus (kuvion syvyys) ja kuvio (teräysrullan tyyppi).
Käytön aikaiset muuttujat	Hiomakiven nopeus, painekammion paine, kiven upotus ja kemialliset lisäaineet.

Kivenalusmassan, suihkuvesien ja hionta-alueen lämpötilojen suhde vaikuttaa hiokkeen laatuun. Kivenalusmassan lämpötilaan voidaan vaikuttaa kivenalusmassan sakeutta säätämällä. Sakeuden nostaminen mahdollistaa korkeamman kivenalusmassan lämpötilan, mutta samalla kivenalusmassa voi päätyä takaisin hionta-alueelle. Samoin tapahtuu, mikäli kiven upotusta altaaseen lisätään. Kun kuidut palautuvat altaasta takaisin kiven pinnalle, kuidut korvaavat suihkuveden hiomakiven pinnalla ja tekevät kivistä tylsemmän, jolloin myös hiokkeen freeness laskee. (Blechsmidt, Heinemann, 2006)

5.1 Puun ominaisuudet ja vuodenaikaisvaihtelu

Puun laatu on merkittävässä roolissa mekaanisen massan ominaisuuksien kannalta. Puun tulee olla terve, mahdollisimman suora ja halkaisijaltaan sopiva. Hartsipitoisuuden tulisi olla mahdollisimman pieni, sillä hartsi aiheuttaa vaahtoutumista hionnan aikana. (Blechsmidt, Heinemann, 2006)

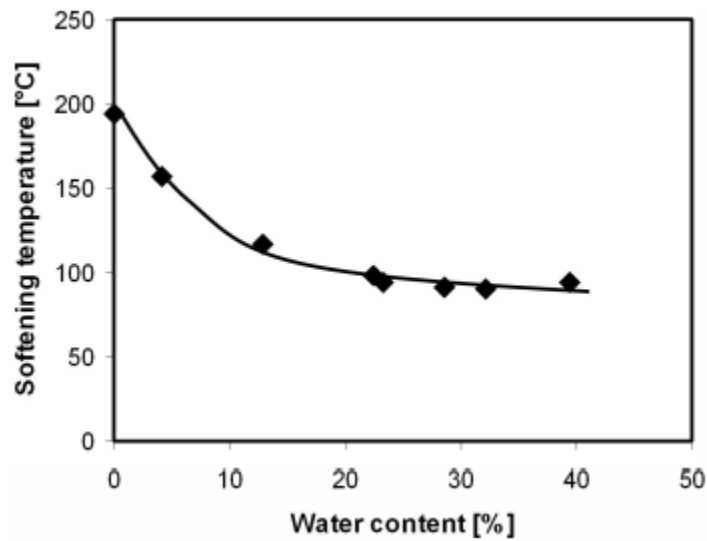
Puu on heterogeeninen ja viskoelastinen materiaali, joten puun lämpötila, kosteus ja hionta-aika vaikuttavat merkittävästi hiontaprosessiin. Siten pelkästään hiontaan käytettävä voima ei vaikuta hionnan lopputulokseen, vaan myös kohdistetun vakiovoiman kesto. (Salmén et al., 2009)

5.1.1 Puun kosteuspitoisuus

Puun kosteuspitoisuus tarkoittaa veden massaosuutta kosteassa puu raaka-aineessa (VTT, 2013). Kosteuspitoisuus riippuu puun perustiheydestä, sydänpuun määrästä, vuodenajasta, hartsin määrästä, varastoinnista, kuljetuksesta ja kostutuksesta hiontaprosessissa (Varhimo, Sirviö & Tuovinen, 2009). Oikea kosteuspitoisuus on erityisen tärkeä mekaanisten massojen valmistuksessa, sillä se vaikuttaa ligniinin pehmentymislämpötilaan hiontaprosessissa (VTT, 2013).

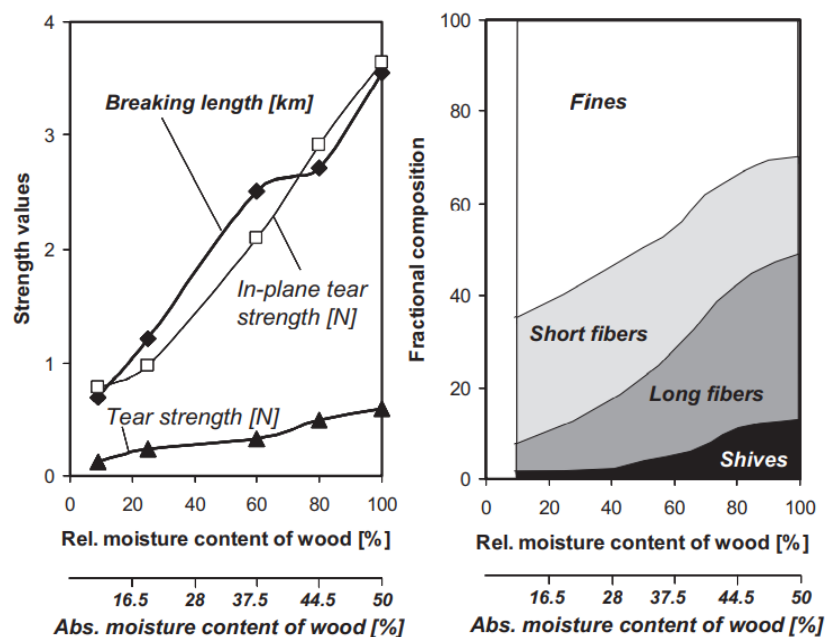
Kosteuspitoisuuden tulee olla yli 35 % tai yli puun saturaatiopisteen. Riittävä kosteuspitoisuus mahdollistaa pienemmän ominaisenergiankulutuksen hiontaprosessissa ja parantaa massan vaaleus- ja lujuusominaisuuksia. (Blechsmidt, Heinemann, 2006).

Kesäisin puun kuivumista voidaan estää kastelemalla. Kastelemisen vaikutus valkaisu- ja kromoforiyhdisteiden kulutukseen on merkittävä, sillä puun kuivussa muodostuu kromoforiyhdisteitä (Blechsmidt, Heinemann, 2006). Puun kokonaiskosteuspitoisuutta ei kuitenkaan voida nostaa kastelemalla. Liiallinen kastelu heikentää puuraaka-aineen laatua, kuten väriä ja siksi liiallista kastelua tulisikin välttää. (VTT, 2013) Kosteuspitoisuuden vaikutus ligniinin pehmenemislämpötilaan on esitetty kuvassa 27.



Kuva 27. Ligniinin pehmenemislämpötila kosteuspitoisuuden funktiona (Blechsmidt, Heinemann, 2006).

Saturoituneelle ligniinille pehmenemislämpötila on 80–90 °C, kun saturaatiopisteen alapuolella ligniinin pehmenemislämpötilasta saadut tulokset vaihtelevat välillä 135–235 °C. Pehmenemislämpötilan lisäksi puun kosteuspitoisuus vaikuttaa merkittävästi valmiin massan lujuusominaisuuksiin, sekä kuitujakaumaan (Kuva 28). (Blechsmidt, Heinemann, 2006)



Kuva 28. Puun kosteuspitoisuuden vaikutus hiokkeen lujuusominaisuuksiin ja kuitujakaumaan. (Blechsmidt, Heinemann, 2006)

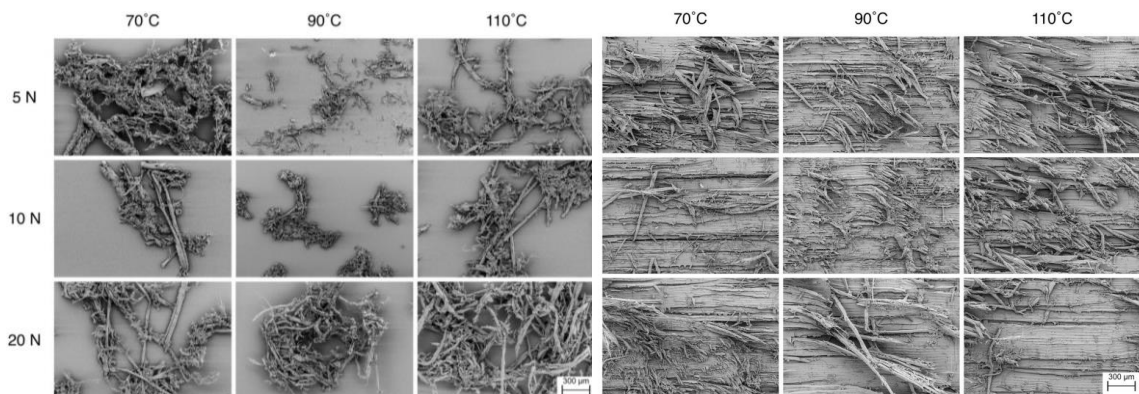
Puun kosteuspitoisuuden kasvaessa, tiedetään massan lujuusominaisuuksien paranevan ja pitkien kuitujen osuuden kasvavan (Kuva 28) (Blechsmidt, Heinemann, 2006).

5.1.2 Vuodenaikavaihtelu

Puun laatuun vaikuttavat vuodenaikojen aiheuttamat muutokset kasvun sekä kuljetuksen ja varastoinnin aikana. Ilmasto vaikuttaa puun kuiva-ainepitoisuuteen, kuoren määrään, uuteaineiden ja epäorgaanisten yhdisteiden määrään, sekä vaaleuteen. Puu hakataan talvisin, jolloin kosteuspitoisuus on korkeimmillaan. Kuljetuksen ja varastoinnin aikana puu kuivuu, jonka seurauksena kesäisin mekaanisen massan vaaleusominaisuudet ovat heikoimmat. Jäisestä puusta valmistetun hiokkeen lujuudet ovat matalammalla tasolla kuin sulan puun. (Varhimo, Sirviö & Tuovinen, 2009)

5.2 Hiontapaine ja lämpötila

Suurempi tangentiaalinen voima ja korkeampi lämpötila pienentävät molemmat ominaisenergiankulutusta hiontaprosessissa. Samalla kuidut irtoavat puun pinnalta pidempinä ja kokonaisempina (Kuva 29). (Heldin, Wiklund, 2019)



Kuva 29. Lämpötilan ja kuorman vaikutus hiottuihin kuituihin (oikealla) ja hiottavan puun pintaan (vasemmalla) laboratoriomittakaavan koeajossa. Kuvat kuiduista ovat otettu elektronimikroskoopilla. (Heldin, Wiklund, 2019)

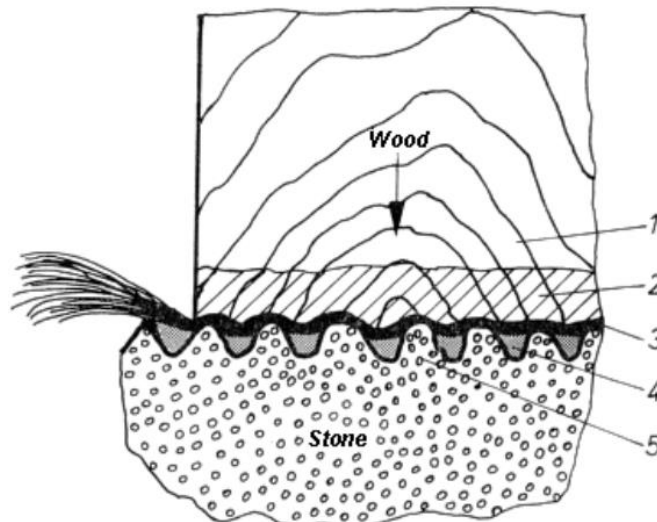
Kuten kuvasta 29 nähdään, hionnan normaalivoiman ja lämpötilan kasvaessa kuidut ovat pidempiä, kun taas matalassa lämpötilassa ja matalalla kuormituksella kuidut ovat pirstaloituneempia. Hiontalämpötilan ja kuormituksen kasvaessa puun pinnasta irtoavien kuitujen määrä pienenee ja samalla ominaisenergiankulutus laskee. (Heldin, Wiklund, 2019)

5.2.1 Lämpötila

Oikea hiontalämpötila on avainasemassa, jotta puun kuidut saadaan irrotettua toisistaan mahdollisimman pitkinä ja joustavina ja kuiduilla on halutut sitoutumisominaisuudet. Liian matalassa lämpötilassa puun kuidut ovat hauraita ja katkeilevat helposti. (Salmén et al., 2009)

Puun hiomislämpötila määräytyy pääasiassa ligniinin pehmenemislämpötilan mukaan. Selluloosa ja hemiselluloosa pehmenyvät jo 20 °C lämpötilassa, mutta ligniini vaatii pehmetäkseen painehiontaprosessissa keskimäärin 70 °C–95 °C lämpötilan. Suihkuveden lämpötilan tulee olla lähellä ligniinin pehmentymislämpötilaa, jotta kuidut erottuvat mahdollisimman hyvin. Liian korkea hiontalämpötila aiheuttaa peruuttamattomia muutoksia kuituihin. (Salmén et al., 2009)

Lämpötilan vaikutukset voidaan jakaa hionnassa kahteen tekijään: puun ja hiomakiven välillä kitkasta aiheutuvaan lämpötilaan, sekä ympäristön ja suihkuveden aiheuttamaan lämpötilaan (Heldin, 2019). Kitka puun ja kiven välillä tuottaa lämpöä, joka muokkaa puun pinnan ja kuitujen visko-elastisia ominaisuuksia (Salmén et al., 2009). Lämpötilakerrokset hiottavan puun pinnalla ja kiven pinnassa on esitelty kuvassa 30.



Kuva 30. Lämpötilat puun pinnassa hiontaprosessin aikana. 1) Viileä puu, 2) voimakkaasti lämmennyt puukerros, 3) hiontakerros, 4) kuitususpensiokerros ja 5) hiomakivi (Blechsmidt, Heinemann, 2006).

Kerroksen 1. (Kuva 30) lämpötila riippuu ympäristön lämpötilasta ja puu lämpenee siirtyessään kerrokseen 2. Voimakkaasti lämmennyt puukerros aiheuttaa ligniinin pehmenemisen ja se sijaitsee noin 0,1 mm hiomakerroksen (3) yläpuolella. Hiomakerroksen lämpötila on painehiontaprosessissa noin 125 °C ja tasapainolämpötilaan vaikuttaa puun kosteuspitoisuus. Kuitususpensiokerroksen (4) lämpötila on lähes sama kuin hiomakerroksen. Hiomakiven pinnan lämpötila (5) on noin 100 °C. Kiven lämpötila riippuu kuitenkin esimerkiksi suihkuveden lämpötilasta. (Blechsmidt, Heinemann, 2006)

Suihkuveden tarkoituksena on poistaa kuidut hiomakiven pinnasta altaaseen, sekä viilentää kiven pintaa (Smook, Kocurek, 2016). Suihkuveden viilentävä vaikutus yltää vain puun pintakerrokseen, joten lämpötilan maksimi on noin 0,05–0,1 mm syvyydessä puun pinnasta (Salmén et al., 2009).

5.3 Hiomakiven pinnan vaikutus painehiokkeen laatuun

Painehiontaprosessissa käytettävät hiomakivet ovat olleet hyvin samantyyppisiä vuosikymmenien ajan. Keraamiset hiomakivet ovat eniten käytettyjä mekaanisessa massanvalmistuksessa. Energiatohokkuuden parantamiseksi on kehitetty erilaisia kivipintoja, joista Galileo-tekniikka on otettu käyttöön teollisuusmittakaavassa viimeisen vuosikymmenen aikana. Hiontamekanismiin vaikuttaakin merkittävästi puun ominaisuuksien ja kuituuntumismekanismien lisäksi hiomakiven pinta (Salmén et al., 2009).

5.3.1 Hionnan amplitudi ja taajuus

Hionnan taajuudella tarkoitetaan sitä, kuinka monta kertaa sekunnissa gritit ylittävät tietyn kohdan puussa. Koska puu on viskoelastinen materiaali, mekaanisen rasituksen taajuus vaikuttaa sen hioutumiseen. Hionnan taajuuden kasvaessa myös puun pehmenemiseen vaadittava lämpötila kasvaa. (Salmén et al., 2009)

Hionnan amplitudilla tarkoitetaan gritin puuhun aiheuttamaa puristuksen amplitudia hionnan aikana. Puristuksen amplitudin kasvattaminen syklistä kuormituksessa vähentää tarvittavien kierrosten määrää, jotta puun kuidut saadaan erotettua toisistaan. Hidas ja kohtisuoraan hiomakivestä puuhun kohdistuva puristus aiheuttaa todennäköisesti viskoelastisia liikkeitä kuidussa, kun taas nopea ja tangentiaalinen jännitys aiheuttaa

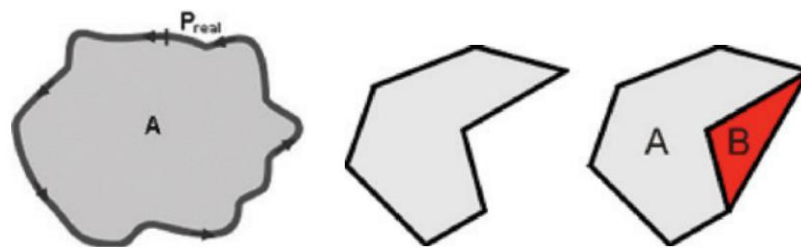
puupinnan ulompien kuitujen katkeilua ja säröjä lämmitetyn puukerroksen sisäosan kuiduissa (Salmén et al., 2009).

5.3.2 Grittien muodon vaikutus hiokkeen laatuun

Hionnan tehostamiseksi on tutkittu erimuotoisia hiomakiven grittejä. Yleisesti on pystytty todistamaan, että terävät hiontagritit aiheuttavat enemmän vaurioita kuituihin, kun pyöreäreunaiset gritit puolestaan tuottavat vähemmän leikkautuneita kuituja. Pyöreämmän gritin aiheuttama puristus jakautuu laajemmalle alueelle puun pinnalle, joka aiheuttaa vähemmän pysyviä muutoksia kuituihin. Pyöreäreunaiset gritit kuluttavat kuitenkin enemmän energiaa, koska tuotantomäärän pitämiseksi vakiona, vaaditaan suurempia hiontavoimia. Grittien tarkan asemoinnin on myös todistettu vähentävän hionnan energiankulutusta. (Heldin, Wiklund, 2019, Heldin, 2019)

Yleisesti tunnetaan, että pienemmät gritit tuottavat massaa, jonka freeness on matalampi (Smook, Kocurek, 2016). Pyöreillä griteillä hiottaessa saavutetaan suurempi ominaispinta-ala massalle, vaikka hienoainepitoisuus on pienempi (Odabas et al., 2016). Kartonginvalmistamiseen käytetään tyypillisesti isoja grittejä. (Smook, Kocurek, 2016)

Grittien muodon määrittelemiseksi voidaan käyttää gritin pallomaisuutta ja kuperuutta.



Kuva 31. Grittien pallomaisuus ja kuperuus (Tuovinen, Fardim, 2015).

Grittien pallomaisuus voidaan määrittellä yhtälöllä (9), kun grittien pinta-ala ja kehä tunnetaan (Kuva 31)

$$S_G = \frac{P_{EQPC}}{P_{real}} = \frac{2\sqrt{\pi * A}}{P_{real}} \quad (9)$$

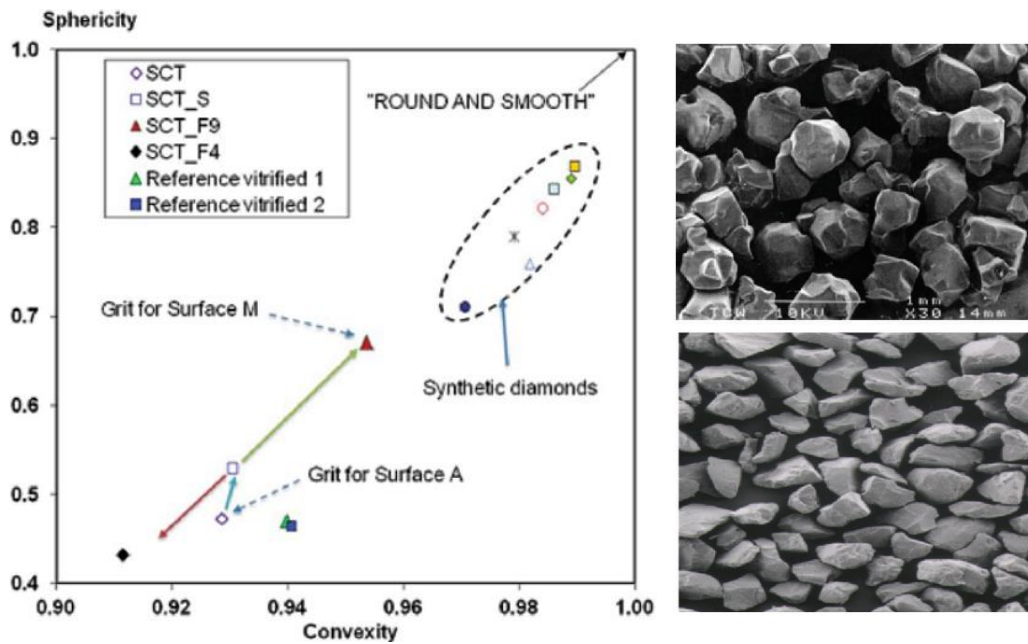
Jossa,	S_G	Gritin pallomaisuus	[-]
	P_{EQPC}	Ekvivalenttisen ympyrän kehä	[m]
	P_{real}	Ympyrän todellinen kehä	[m]
	A	Gritin pinta-ala	[m ²]

Grittien pallomaisuus saa arvoja väliltä 0–1, jolloin pienet arvot kuvaavat epäsäännöllisen mallista grittiä ja suuret arvot pyöreämpää grittiä. Gritin kuperuus voidaan määrittää yhtälöllä (10), kun gritin avoin kupera alue tiedetään (Kuva 31)

$$\Psi_c = \frac{A}{A + B} = 1 - \frac{B}{A + B} \quad (10)$$

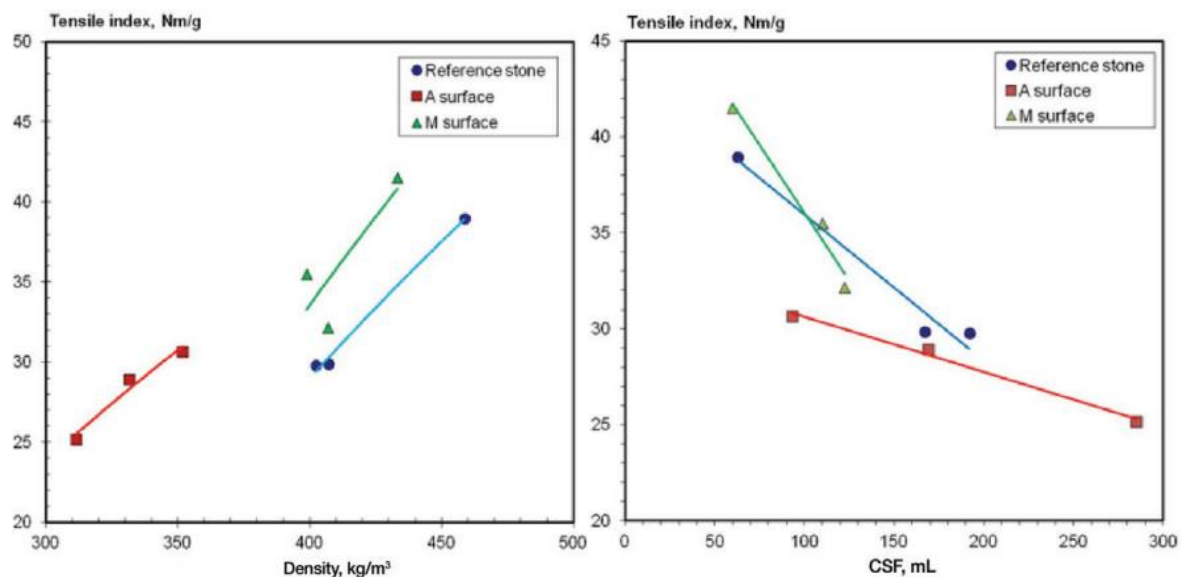
Jossa,	Ψ_c	Gritin kuperuus	[-]
	A	Gritin pinta-ala	[m ²]
	B	Gritin avoin kupera alue	[-]

Kuperuus-pallomaisuus-kuvaajasta voidaan arvioida grittien muoto-ominaisuuksia (Kuva 32).



Kuva 32. Laboratoriokokeissa käytettyjen hiontapintojen grittien kuperuus pallomaisuuden funktiona, sekä elektronimikroskooppikuva SCT-alumiinioksidigriteistä ja perinteisistä alumiinioksidigriteistä. Referenssipinta koostuu perinteisistä griteistä, pinta A SCT-griteistä ja pinta M SCT-grittien fraktiosta. (Tuovinen, Fardim, 2015)

Synteettiset teollisuustimantit ovat pyöreämpiä ja sileämpiä verrattuna alumiinioksidigritteihin. Perinteiset alumiinioksidigrityt ovat taas kuperampia, kuin SCT-grityt. Laboriomittakaavan kokeissa on tutkittu vetoindeksin kehittymistä massan tiheyden ja CSF-luvun funktiona (Kuva 33). (Tuovinen, Fardim, 2015)



Kuva 33. Vetoindeksi massan tiheyden ja freeness-luvun funktiona. Pinta A koostuu SCT-griteistä ja pinta M koostuu SCT-grittien fraktiosta F9. (Tuovinen, Fardim, 2015)

A-pinnalla tuotettu massa on bulkkisempaa verrattuna muihin massoihin, mutta perinteisen pinnan ja M-pinnan tuottama vetolujuus heikkenee massan CSF-luvun kasvaessa samalla tavoin. A-pinta ei taas saavuta yhtä hyviä vetoindeksejä, kuin muut pinnat. (Tuovinen, Fardim, 2015)

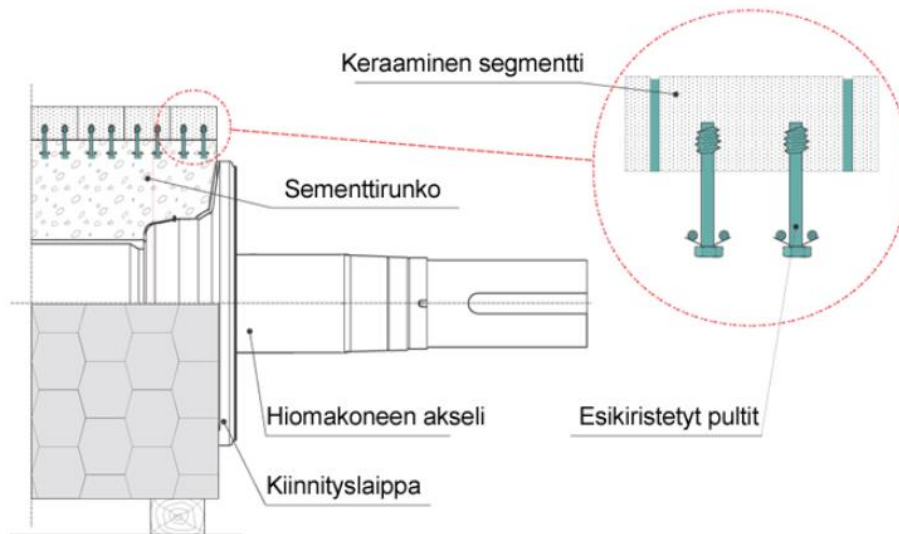
5.3.3 Hiomakiven urien vaikutus hiokkeen laatuun

Rullateräys tekee keraamisen hiomakiven pintaan urat, jotka vähentävät puun kanssa kosketuksissa olevan hiomakiven pinnan pinta-alaa. Hiomakiven harjanteiden kaventuessa nousee hiokkeen freeness, eli hioke on karkeampaa. Leveämmät urat mahdollistavat suihkuveden kulkeutumisen paremmin hionta-alueelle ja hiomakiven pinnan paremman puhdistumisen kuiduista. (Karojärvi et al., 2009)

Teräyksessä käytettäviä teräysrullia on erilaisia ja teräysrullien kulmat vaihtelevat. On havaittu, että mitä suurempi teräysrullan kulma on, sitä pidempiä kuituja saadaan hionnassa. Kuidut pysyvät tällöin pidempään hionta-alueella. (Karojärvi et al., 2009)

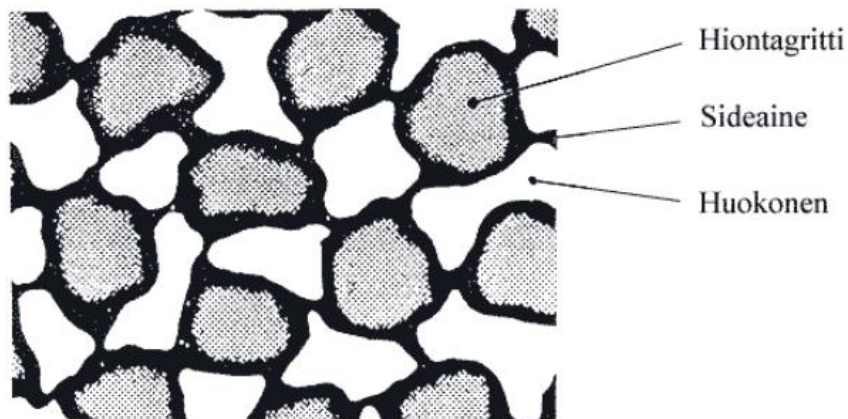
5.3.4 Keraaminen hiomakivi

Keraaminen hiomakivi koostuu keraamisista segmenteistä, jotka on pultattu teräsvahvisteiseen sementtirunkoon (Karojärvi et al., 2009). Segmenttien väleissä käytetään elastista täytemateriaalia (Smook, Kocurek, 2016)



Kuva 34. Perinteisen hiomakiven rakenne (VTT, 2013).

Keraamisen hiomakiven segmenteissä on esikiristetyt pultit, joilla segmentit kiinnitetään runkoon. Segmentit koostuvat hiontagriteistä, jotka on kiinnitetty pintaan sideaineella. (Karojärvi et al., 2009)



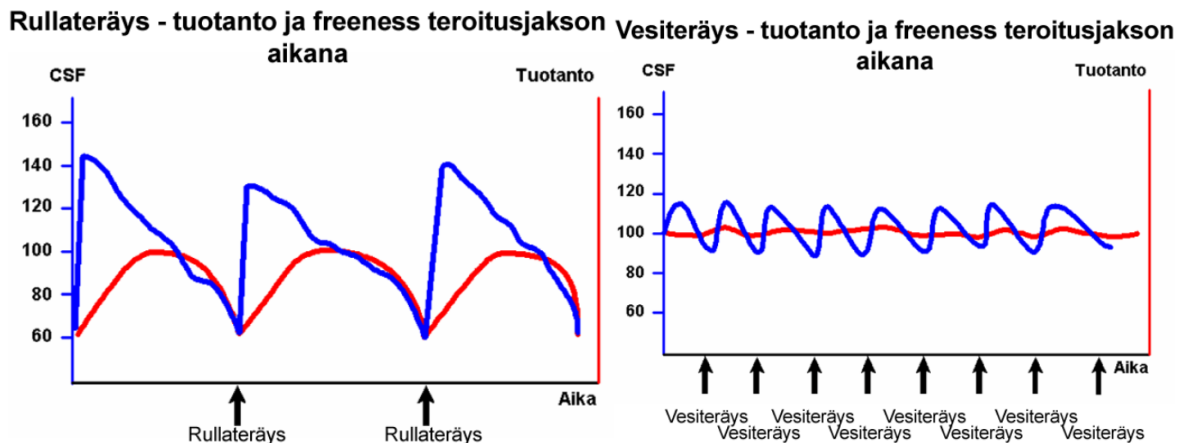
Kuva 35. Hiomakiven segmenttien pinnan rakenne. (VTT, 2013)

Keraamisen kiven hiontagritit ovat orientoituneet satunnaisesti ja eri korkeuksille, jonka vuoksi hiottavaan puuhun kohdistuu vaihtelevia voimapulsseja. Osa griteistä irrottaa kuituja tehokkaasti, mutta osa pulsseista ei riitä irrottamaan kuituja, ja pulssin aiheuttama energia muuttuu lämmöksi. Toisaalta liian voimakkaat pulssit vaurioittavat kuituja. (Tuovinen, Fardim, 2015)

Painehiontaprosessissa hiomakiven pinnalle kertyy pihkaa, sekä muita epäpuhtauksia, jotka tylsyttävät kiven pintaa. Teräämisellä tarkoitetaan kiven käsittelyä siten, että epäpuhtaudet poistetaan kiven pinnalta ja uusia grittejä segmenteistä pyritään saamaan esiin kiven pintaan. Segmentit uusitaan, kun käyttökelpoinen pinta kuluu loppuun. Tasaisessa käytössä pinta uusitaan noin kahden vuoden välein. (VTT, 2013, Smook, Kocurek, 2016)

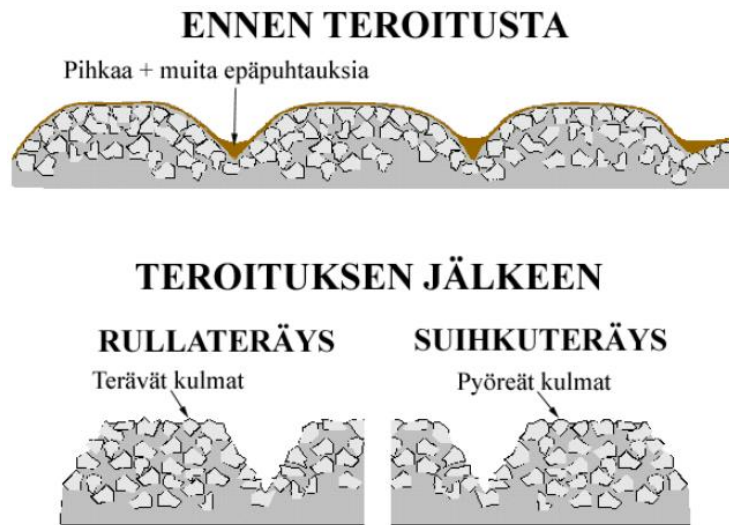
Perinteisiä hiomakiviä käsitellään teräämällä tai tylsyttämällä. Epäpuhtaudet ja hartsit kerääntyvät kiven pinnalle muodostaen kerroksen, joka heikentää kiven ominaisuuksia (Karojärvi et al., 2009). Rullateräyksessä uritettu teräysrulla painetaan pyörivää hiomakiveä vasten. Vesiteräyksessä hiomakiveen kohdistetaan voimakas vesisuihku, joka irrottaa kiven pinnalta epäpuhtauksia, sekä paljastaa hieman uusia grittejä. (Smook, Kocurek, 2016)

Hiomakiven pintaan kertyvät epäpuhtaudet vaikuttavat massan laatuun ja tuotantomäärään. Kiven pintaa teräämällä voidaan kasvattaa etenkin freeness-lukua. Rullateräyksen ja vesiteräyksen aiheuttamia eroja on vertailtu kuvassa 36.



Kuva 36. Perinteisen hiomakiven rullateräyksen ja vesiteräyksen vaikutus hiomakiven freeness-lukuun ja tuotantoon. (VTT, 2013)

Kuten kuvasta 36 voidaan havaita, rullateräyksen ja vesiteräyksen vaikutukset eroavat toisistaan. Rullateräyksellä saavutettava merkittävä muutos niin tuotantomäärään, kuin CSF-lukuun, kun taas vesiteräyksellä saadaan kasvatettua CFS-arvoa, mutta vaikutukset tuotantomäärään ovat pienet. Rullateräyksen ja suihkuteräyksen eroavaisuudet ovat esitetty kuvassa 37.

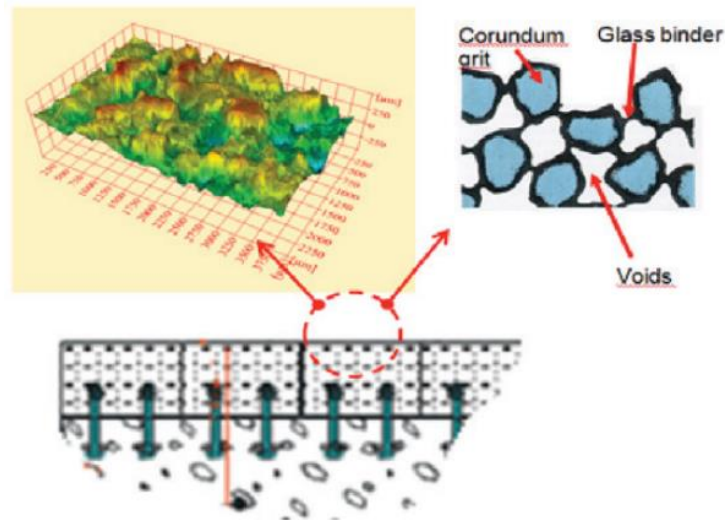


Kuva 37. Keraamisen hiomakiven pinta ennen teräystä, sekä rullateräyksen ja suihkuteräyksen jälkeen. (VTT, 2013)

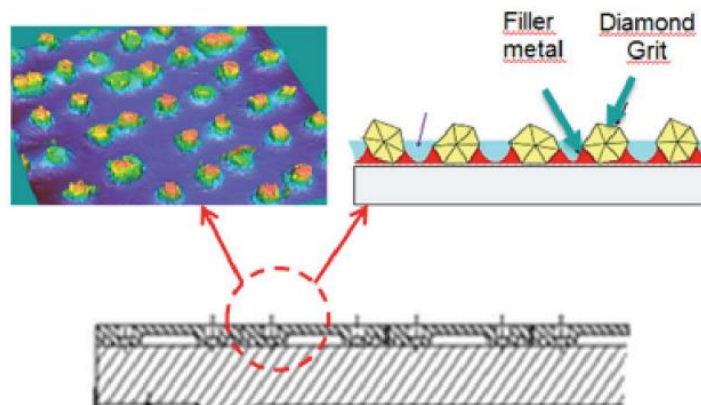
Suihkuteräys on hellävaraisempi menetelmä, jolloin lopputulos on helpommin hallittavissa ja grittien reunat ovat pyöreämpiä kuin rullateräyksessä (Kuva 37).

5.3.5 Galileo-tekniikka

Energiatehokkuuden ja painehiokkeen laadun parantamiseksi hiomakiviä on kehitetty viime vuosikymmenen aikana. Galileo-hiontatekniikassa keraamiset segmentit ovat korvattu teollisuustimanteilla päällystetyillä segmenteillä, jotka on kiinnitetty teräksiseen runkoon. Timantit on kiinnitetty segmenttiin tarkasti ennalta määrättyyn asemaan yhdeksi kerrokseksi. Hiomagrittien tarkan asemoinnin on havaittu parantavan hiontaprosessin energiatehokkuutta. Timanttien lukumäärä ja asento riippuvat prosessiolosuhteista, raaka-aineesta, sekä vaadituista massan laatuominaisuuksista. (Valmet, 2015, Tuovinen, Fardim, 2015)



Kuva 38. Keraamisen hiomakiven pinnan rakenne 2D ja 3D kuvana (Tuovinen, Fardim, 2015).



Kuva 39. Galileo-kiven pinnan rakenne 2D ja 3D kuvana (Tuovinen, Fardim, 2015).

Keraamisen hiomakiven pinnassa (Kuva 38) gritit asettuvat satunnaisesti ja pinnan korkeuserot, sekä muodot vaihtelevat merkittävästi. Galileo-kiven pinnassa (Kuva 39) timanttigritit on asemoitu säännöllisesti verrattuna keraamisen kiven pintaan.

Galileo-kiven pinta on optimoitu kuiduttamaan puu mahdollisimman tehokkaasti. Grittien tarkka asemoiminen vähentää hukkaenergian määrää hionnassa ja puun kuituuntumiseen kuluva energiamäärä maksimoituu (Valmet, 2016). Osa keraamisen kiven griteistä aiheuttaa vain heikkoja pulsseja, jotka muuttuvat suoraan lämpöenergiaksi rikkomatta puun rakennetta ja lisäävät energiankulutusta (Tuovinen, Fardim, 2015).

Riippuen valmistettavan massan halutuista laatuominaisuuksista ja prosessiolosuhteista, Galileo-kivellä voidaan saavuttaa 150–500 kWh/t säästö energiankulutuksessa verrattuna keraamiseen hiomakiveen (Valmet, 2016). Prosessiolosuhteista riippuen Galileo-kiven segmentit uusitaan 6–12 kuukauden välein (Valmet, 2015).

Koska Galileo-pinnan grittijärjestys on hyvin tarkka, pintojen ominaisuudet kerrotaan grittikoon ja tiheyden avulla. Grittikoko esitetään tietyn kokoisen seulan läpi menneiden timanttien kokona mesh-yksiköissä. Grittitiheys esitetään grittien lukumääränä neliösenttimetriä kohden. (Tuovinen, Olli, 2021b)

Galileo-pinnassa ei ole keraamisen kiven tapaan uria, vaan massa kulkeutuu hiomakiven pinnalta pois grittien välistä sekä segmenttien välisiä rakoja pitkin. Segmenttien välillä on rako, jonka lisäksi gritit eivät ole täysin kiinni toisissaan, kuten keraamisessa hiomakivessä. (Tuovinen, Olli, 2021a)

Galileo-kiven käsittelymahdollisuudet ovat rajallisempia verrattuna keraamiseen hiomakiveen. Segmenttien pinta aktivoidaan käyttöänoton yhteydessä, sekä tarvittaessa teräyskoneeseen kiinnitettävällä abrasiivisella hiontapalalla. Aktivointikäsittely muistuttaa keraamisen kiven tylsyttämistä, sillä aktivoinnin tarkoituksena on poistaa kiven pinnassa olevia nyansseja. (Tuovinen, O., 2021)

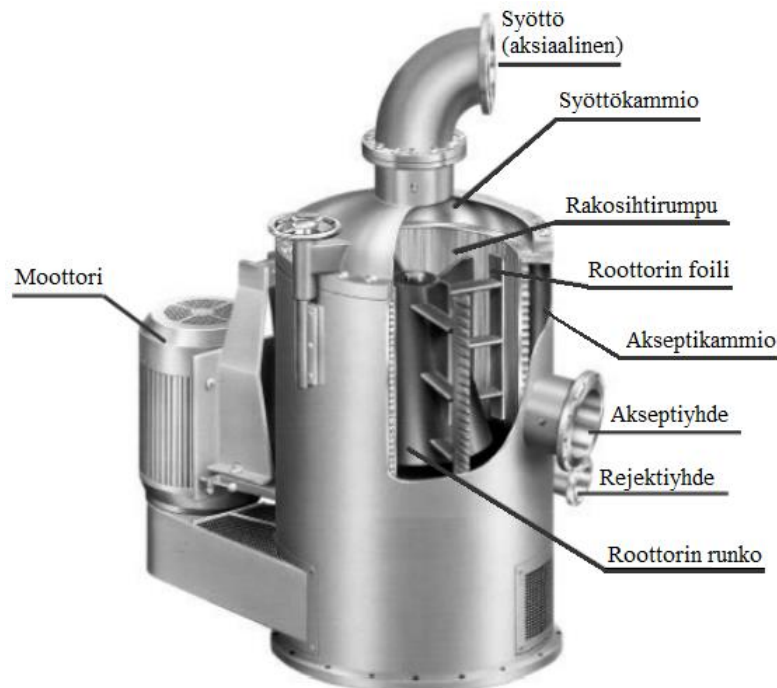
6 LAJITTELU JA REJEKTIN KÄSITTELY

Koska kivenalusmassan kuitujakauma sisältää käyttöön soveltumattomia fraktioita ja epäpuhtauksia, massaa on puhdistettava ennen käyttöä. Epäpuhtauksia ovat mm. tikut, kuitukimput, kuori ja hiekka. Epäpuhtaudet aiheuttavat laatuongelmia ja voivat jopa vaurioittaa prosessilaitteita. (Hautala et al., 2009) Kuitukimppujen ja tikkujen lisäksi rejektiin tulisi ohjata fibrilloitumattomia pitkiä kuituja, joiden sitoutumiskyky ilman jauhatusta olisi heikko (Seppälä, 2005).

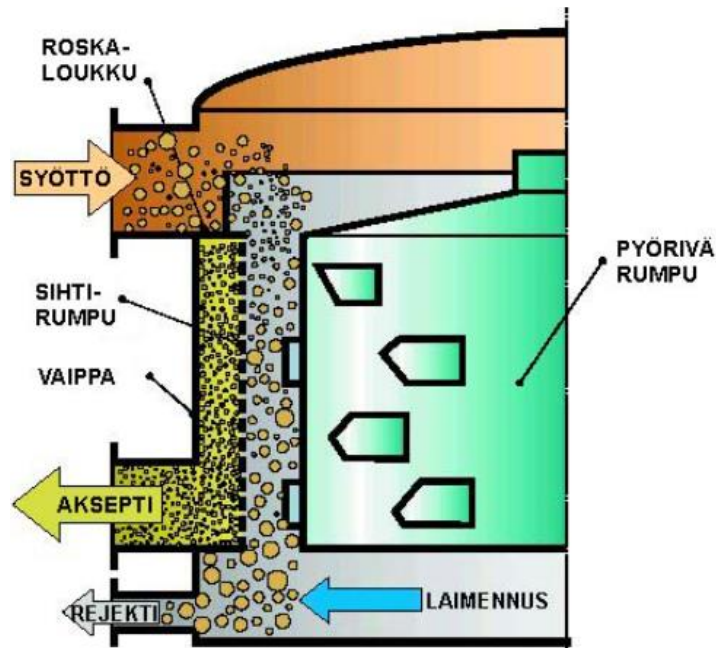
Hioketta valmistaessa massan tikut syntyvät syyspuusta, kun taas termomekaanista massaa valmistaessa tikut muodostuvat yleisemmin kevätpuusta. Syyspuutikkujen poistaminen massasta on erityisen vaikeaa niiden pienen koon vuoksi. (Hautala et al., 2009)

6.1 Painelajitin

Mekaanisten massojen lajittelussa käytetyin laite on painelajitin. Syöttö tapahtuu joko radiaalisesti tai aksiaalisesti, riippuen laitteesta. (Blechsmidt, Heinemann, 2006)



Kuva 40. Yksivaiheisen painelajittimen rakenne (aksiaalinen syöttö) (mukaiillen, Blechsmidt, Heinemann, 2006).



Kuva 41. Painelajittimen toimintaperiaate (VTT, 2013).

Painelajitin jakaa syöttövirran jatkuvatoimisesti kahteen tai useampaan virtaan kuidujen koon ja taipuisuuden perusteella. Pienet ja ohuet kuidut kulkeutuvat sihdin läpi, kun suuret ja jäykät partikkelit jäävät sihdin pinnalle. Tyypillisesti käytössä on painelajittimia, joista saadaan kaksi virtaa: akseptivirta, jossa on vähän epäpuhtauksia ja rejektivirta, joka on karkeampi epäpuhtauksia sisältävä virta. Rejektivirta vaatii käsittelyä ennen kuin sitä voidaan hyödyntää kartongin valmistuksessa. (Hautala et al., 2009)

6.1.1 Painelajittimen muuttujat

Painelajittimen erotustapahtumaan vaikuttavat muuttujat voidaan jakaa syötön ominaisuuksiin, suunnitteluparametreihin ja ajoparametreihin. Taulukko VI esittää muuttujat muuttujatyypeittäin. (Smook, Kocurek, 2016)

Taulukko VI Painelajittimen erotustapahtumaan vaikuttavat muuttujat (Smook, Kocurek, 2016).

Syötön ominaisuudet	Suunnitteluparametrit	Ajoparametrit
<ul style="list-style-type: none"> - Kuidut tyyppi - Roskien ominaisuudet - Roskien määrä 	<ul style="list-style-type: none"> - Virtauksen koostumus - Levyn puhdistumismekanismin tyyppi - Rei'ityksen tyyppi - Roottorin pyörimisnopeus 	<ul style="list-style-type: none"> - Syötön virtausnopeus tai painehäviö - painelajittimen yli - Syötön sakeus - Rejektisuhde - Rakosihdin reikien koko - Syötön lämpötila - Laimennusveden määrä sihdille

Rejektisuhde on painelajittelun tärkein ajoparametri. Rejektisuhteen kasvattaminen parantaa lajittelun tehokkuutta ja vähentää sihdin tukkeutumisen riskiä. Toisaalta liiallinen rejektisuhteen nostaminen ei ole kustannustehokasta. (Blechs Schmidt, Heinemann, 2006)

Lajittimen akseptin massavirta voidaan määrittää, kun akseptin tilavuusvirtaus ja sakeus ovat tunnettuja (11) (Hautala et al., 2009)

$$\dot{m}_A = \dot{V}_A c_A \quad (11)$$

Jossa,	\dot{m}_A	Akseptin massavirtaus	[kg/s]
	\dot{V}_A	Akseptin tilavuusvirtaus	[m ³ /s]
	c_A	Akseptin sakeus	[kg/m ³]

Lajittimen rejekti- ja syöttötilavuusvirtauksien avulla voidaan määrittää lajittimen rejektisuhde tilavuuden mukaan (12) (Hautala et al., 2009)

$$RR_V = \frac{\dot{V}_R}{\dot{V}_F} \quad (12)$$

Jossa,	RR_V	Tilavuusrejektisuhde	[%]
	\dot{V}_R	Rejektin tilavuusvirta	[m ³ /s]
	\dot{V}_F	Syötön tilavuusvirta	[m ³ /s]

Rejektisuhde voidaan määrittää myös massaperusteisesti, kun rejektin ja syöttövirtauksen massavirtaukset tunnetaan (yhtälö 13) (Hautala et al., 2009):

$$RR_m = \frac{\dot{m}_R}{\dot{m}_F} \quad (13)$$

Jossa,	RR_m	Massarejektisuhde	[%]
	\dot{m}_R	Rejektin massavirta	[kg/s]
	\dot{m}_F	Syötön massavirta	[kg/s]

Tilavuus- ja massarejektisuhdeiden avulla voidaan määrittellä rejektin sakeutussuhde, jota käytetään lajittimen operointipisteen määrittämiseksi (yhtälö 14) (Hautala et al., 2009):

$$RTF = \frac{RR_m}{RR_V} = \frac{c_R}{c_F} \quad (14)$$

Jossa,	RTF	Rejektin sakeutussuhde	[-]
	c_R	Rejektin sakeus	[kg/m ³]
	c_A	Akseptin sakeus	[kg/m ³]

Läpäisysuhteen (yhtälö 15) määrittämiseksi käytetään massa- ja tilavuusrejektisuhdeita. Läpäisysuhde määrittelee myös lajittimen operointipistettä (Hautala et al., 2009)

$$P_p = \frac{\log RR_m}{\log RR_V}, \quad 0 < P_p < 1 \quad (15)$$

Jossa,	P_p	Läpäisysuhde	[-]
--------	-------	--------------	-----

Rejektin sakeutussuhde voidaan määrittää myös läpäisysuhteen perusteella (yhtälö 16) (Hautala et al., 2009):

$$RTF = RR_V^{P_p - 1} \quad (16)$$

Lajittimen toimintaa kuvaa hyvin freeneksen alenema lajittimen yli (yhtälö 17) (Hautala et al., 2009):

$$CSF_{drop} = 1 - \frac{CSF_A}{CSF_F} \quad (17)$$

Jossa,	CSF_{drop}	Freeness-alenema lajittimen yli	[ml]
	CSF_A	Akseptin freeness	[ml]
	CSF_F	Syötön freeness	[ml]

Lajittimen erotustehokkuus kuvaa myös lajittimen toimintaa (yhtälö 18). Mutta koska erotustehokkuus määritellään massavirtojen avulla, se ei kuvaa hyvin lajittelun selektiivisyyttä. (Hautala et al., 2009)

$$E_R = \frac{\dot{m}_R x_R}{\dot{m}_F x_F} * 100\% = RR_m \left(\frac{x_R}{x_F} \right) * 100\% \quad (18)$$

Jossa,	E_R	Lajittimen erotustehokkuus	[%]
	\dot{m}_R	Rejektin massavirta	[kg/s]
	x_R	Komponentin määrä rejektissä	[kg/m ³]
	\dot{m}_F	Syötön massavirta	[kg/s]
	x_F	Komponentin määrä syötössä	[kg/m ³]
	RR_m	Massarejektisuhde	[%]

Lajittimen selektiivisyys voidaan määrittää yhtälön (19) avulla. Selektiivisyys saa arvoja väliltä 0-1, joista 1 tarkoittaa täydellistä erottumista. Yhtälössä (19) voidaan käyttää komponentin määränä massan ominaisuuksia, jotka kuvaavat jonkin komponentin osuutta (esim. tikkupitoisuus). Yhtälössä x -termit kuvaavat rejektin ja akseptin määriä. Arvoista suurempi on yhtälössä aina jakajana. (Hautala et al., 2009)

$$Q_N = 1 - \frac{x_I}{x_{II}}, 0 < Q_N < 1 \quad (19)$$

Jossa,	Q_N	Lajittimen selektiivisyys	[-]
	x_I	Komponentin määrä rejektissä tai akseptissa	[%]
	x_{II}	Komponentin määrä rejektissä tai akseptissa	[%]

Selektiivisyys voidaan määrittellä myös rejektin ja akseptin laadullisten parametrien, kuten freenessen tai kuidunpituuden avulla (yhtälö 20). Arvojen järjestys on sama, kuin yhtälössä (19). (Hautala et al., 2009)

$$Q_K = 1 - \frac{X_I}{X_{II}}, 0 < Q_K < 1 \quad (20)$$

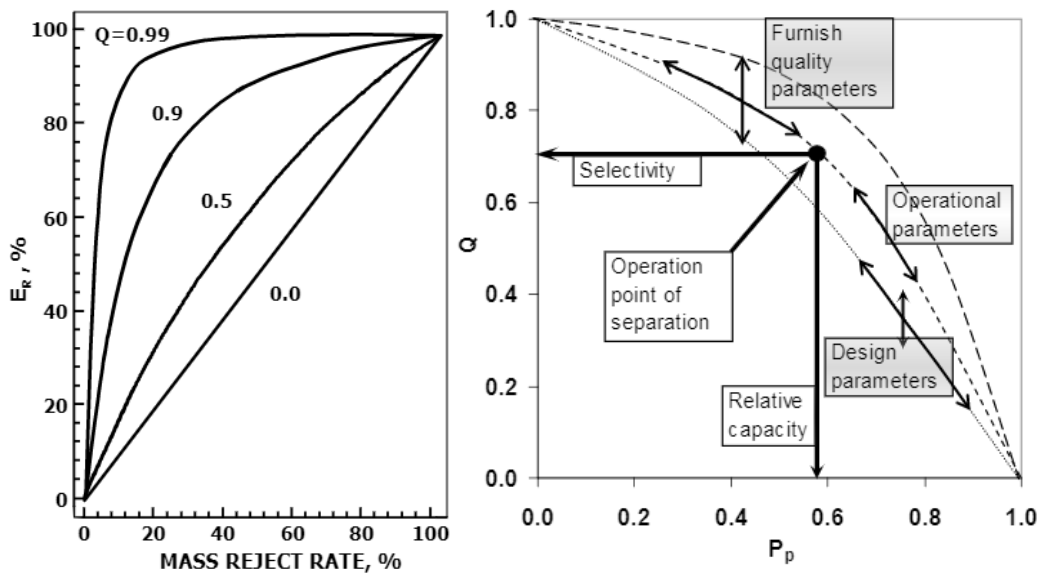
Jossa,	Q_K	Lajittimen selektiivisyys	[-]
	X_I	Laadullinen parametri rejektissä tai akseptissa	[-]
	X_{II}	Laadullinen parametri rejektissä tai akseptissa	[-]

Erotustehokkuus voidaan määrittellä myös selektiivisyyden ja rejektisuhteen perusteella (yhtälö 21) (Hautala et al., 2009):

$$E_R = \frac{RR_m}{1 - Q_N + Q_N * RR_m} \quad (21)$$

Jossa,	E_R	Lajittimen erotustehokkuus	[%]
	RR_m	Massarejektisuhte	[%]
	Q_N	Lajittimen selektiivisyys	[-]

(E_R, RR_m) -kuvaajasta voidaan tarkastella lajittelun tehokkuutta eri rejektisuhteilla ja $(P_p$ vs. Q) -kuvaajan avulla voidaan arvioida lajittimen toimintaa (Kuva 42).



Kuva 42. Erotustehokkuus massarejektisuhteen funktiona, sekä selektiivisyys kapasiteetin funktiona (Hautala et al., 2009).

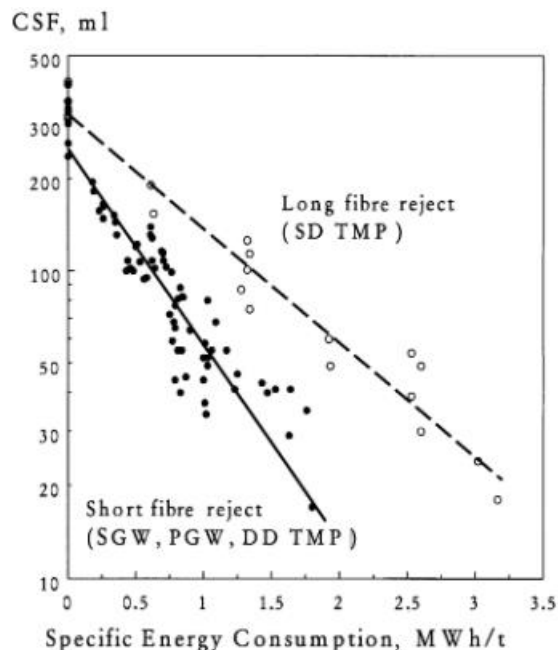
Operointipisteeseen vaikuttavat selektiivisyyden ja kapasiteetin (Kuva 42) lisäksi merkittävästi jo aiemmin mainitut suunnitteluparametrit, ajoparametrit ja syöttövirran koostumus. Ajoparametrien vaikutukset lajittimen toimintaan on esitetty taulukossa VII.

Taulukko VII Ajoparametrien vaikutus lajittimen toimintaan (Hautala et al., 2009)

Kasvatettava parametri	Massan läpäisevyys	Selektiivisyys
Nopeus raoissa	Kasvaa	Laskee
Foilin kärjen nopeus	Kasvaa	Laskee
Laimennusvesi (suhteellinen tilavuus)	Laskee	Kasvaa
RR_V	Kasvaa	Laskee
Massan sakeus	Laskee	Kasvaa

6.2 Rejektin jauhatus

Rejektin jauhatuksen tarkoituksena on palauttaa kuituuntumaton fraktio kuiduksi ja akseptivirtaan käyttökelpoisena jakeena (Blechsmidt, Heinemann, 2006). H4-osahiomalinjalla rejekti käsitellään ensin esisaostamalla, jonka jälkeen se saostetaan ruuvipuristimella ja jauhetaan kiekkojauhimilla. Kuten aiemmin todettiin, rejektin jauhatuksessa muodostuu sekundäärisiä hienoaineita, jotka lisäävät hyvin hiokkeen lujuusominaisuuksia (Odabas et al., 2016).



Kuva 43. Rejektin freeness jauhatuksen ominaisenergiankulutuksen (EOK) funktiona (Huusari, Lundin & Vuorio, 2009).

Jauhatuksella voidaan parantaa etenkin lujuusominaisuuksia, kuten vetolujuutta, mutta se vaikuttaa negatiivisesti opasiteettiin (VTT, 2013). Erityisesti mekaanisen massan jauhatusta aiheuttaa kuidun komponenttien muuttumisen liuenneiksi ja kolloidisiksi aineiksi eli jauhatuksessa liukenee ligniiniä, hemiselluloosaa ja uuteaineita. Erityisesti korkea pH jauhatuksessa lisää näiden kartonginvalmistusta häiritsevien aineiden liukenemistä. (Hägglom-Ahnger, Komulainen & Seppälä, 2001)

6.2.1 Jauhatuksen muuttujat

Jauhatuksen intensiteettiin vaikuttavia tekijöitä ovat jauhatuksen EOK, prosessiolosuhteet (paine, lämpötila ja sakeus) ja jauhinterien kuvio sekä kunto (Huusari, Lundin & Vuorio, 2009). Rejektijauhatuksen hallintasuureet ovat esitetty taulukossa VIII.

Taulukko VIII Jauhatuksen hallintasuureet ja hallintasuureisiin vaikuttavat tekijät (VTT, 2013).

Hallintasuure	Vaikuttavat tekijät
EOK	Jauhatuksen määrä
Intensiteetti	- Jauhatussakeus - Jauhatuspaine - Terätyyppi - Syöttömassan laatu ja määrä

Jauhimen ominaisenergiankulutus voidaan määrittää yhtälön (22) mukaisesti (Hägglom-Ahnger, Komulainen & Seppälä, 2001):

$$EOK = \frac{P_t - P_w}{m} \quad (22)$$

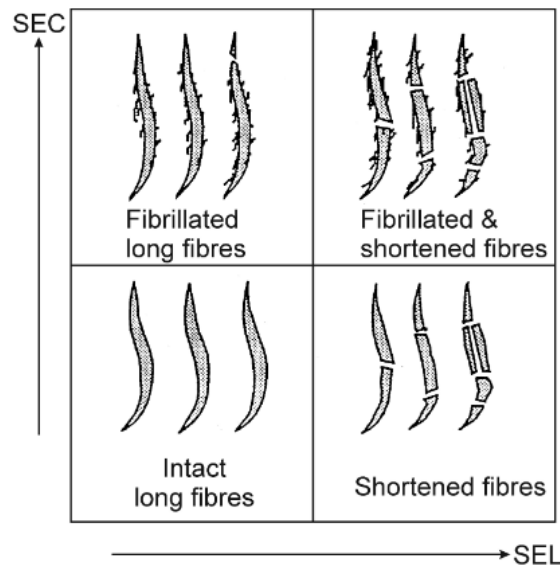
Jossa,	EOK	Ominaisenergiankulutus	[kWh/t]
	P_t	Jauhimen kokonaisteho	[kW]
	P_w	Jauhimen häviöteho	[kW]
	m_F	Jauhimen läpi virtaavan kuivan massan määrä	[t/h]

Jauhimen jauhatustapaa kuvaa ominaissärmäkuorma, joka voidaan määrittää yhtälön (23) mukaisesti (Hägglom-Ahnger, Komulainen & Seppälä, 2001):

$$OSK = \frac{P_t - P_w}{L_J * n_J} \quad (23)$$

Jossa,	OSK	Ominaisrämmäkuorma	[J/m]
	P_t	Jauhimen kokonaisteho	[kW]
	P_w	Jauhimen häviöteho	[kW]
	L_J	Jauhimen teräsärmien kokonaispituus	[km]
	n_J	Jauhimen kierrosluku	[r/s]

EOK- ja OSK-vaikutukset kuituihin jauhatuksessa on esitetty kuvassa 44.



Kuva 44. Jauhimen ominaisenergiankulutuksen (SEC) ja ominaisrämmäkuorman (SEL) vaikutukset kuidun rakenteeseen jauhatuksessa (Huusari, Lundin & Vuorio, 2009).

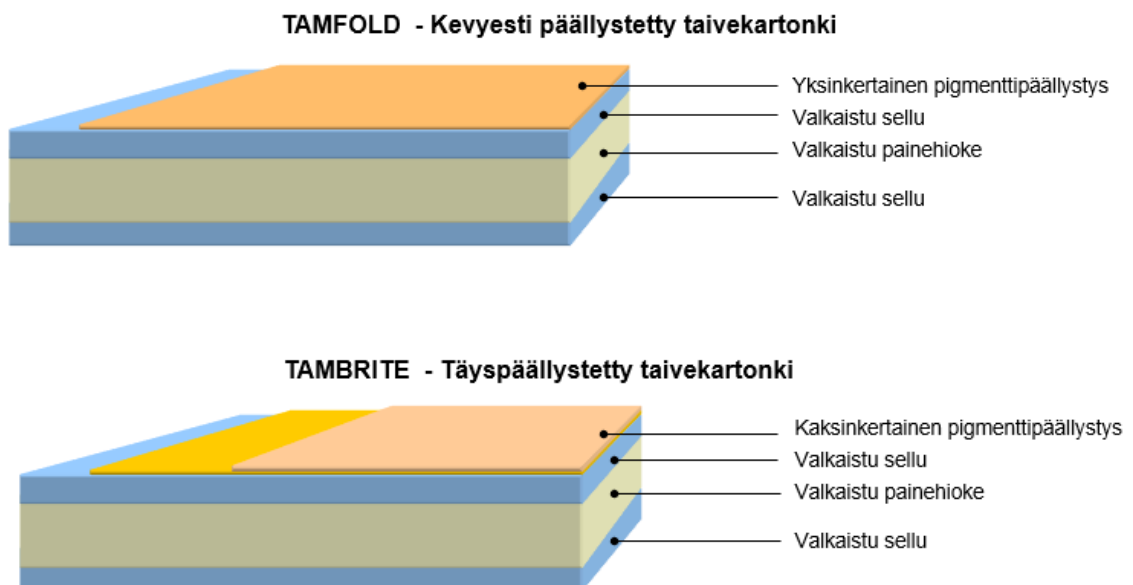
Pitkien kuitujen sitoutumiskyky paranee lineaarisesti jauhatuksen ominaisenergiankulutuksen kasvaessa. Hyvä jauhatustulos saadaan, kun intensiteetti on matala ja EOK korkea. Tällöin kuidut fibrilloituvat, mutta eivät katkeile. Intensiteetin kasvatus aiheuttaa kuitujen katkeilua. (Huusari, Lundin & Vuorio, 2009)

Jauhimen kokonaistehoa voidaan säätää jauhinlevyjen välistä rakoja muuttamalla. Raon pienentäminen kasvattaa jauhimen kokonaistehoa ja samalla ominaisrämmäkuormaa. Jauhimen teräsärmäpituutta voidaan kasvattaa kaventamalla. (Hägglom-Ahnger, Komulainen & Seppälä, 2001)

7 TAIVEKARTONKI

Taivekartonki (FBB) kuuluu sisäpakkauskartonkeihin. Taivekartonki koostuu tyypillisesti kolmesta kerroksesta: pinta-, runko- ja selkäkerroksesta, joista pinta- ja selkäkerros ovat valkaistua havu- tai lehtipuusellua ja runkokerros mekaanista massaa. Sellukerrokset pinnassa ja selässä ovat ohuet, joka minimoi kustannukset, kun mekaaninen massa runkokerroksessa puolestaan antaa taivekartongille erinomaisen bulkin. Käyttötarkoituksen mukaan taivekartonki voidaan olla päällystämättä, päällystää vain toiselta puolelta tai päällystää sekä pinta-, että selkäpuolelta. Päällystekerrosten lukumäärä vaihtelee tavallisesti yhdestä kahteen. Taivekartonkia käytetään tyypillisesti pakkausmateriaalina ruoalle, kosmetiikalle ja lääkkeille. (Kiviranta, 2000)

Stora Enson Inkeröisten Kartonkitehtaalla valmistetaan kahta taivekartonkilajia, jotka ovat Tamfold (TF) ja Tambrite (TB). Tamfold on kevyesti päällystetty taivekartonki, jonka runkokerros on valkaistua painehioketta. Selkäkerros ja pintakerros ovat valkaistua sellua. Pintakerros on pigmenttipäällystetty kertaalleen. Tambrite on täyspäällystetty taivekartonki, jossa on kaksinkertainen pigmenttipäällystys. Tamfoldin neliömassa vaihtelee välillä 190–325 g/m² ja Tambriten välillä 200–335 g/m². Tuotteiden rakenteet on esitetty kuvassa 45. (Stora Enso, 2020b.)



Kuva 45. Tamfold- ja Tambrite-taivekartonkien rakenne (Stora Enso, 2020).

Tambrite soveltuu hyvin lääkepakkauksiin, ruokapakkauksiin ja suklaa- ja makeispakkauksiin. Tamfold sopii taas pikaruokapakkauksiin sekä suklaa- ja makeispakkauksiin. (Stora Enso, 2020.)

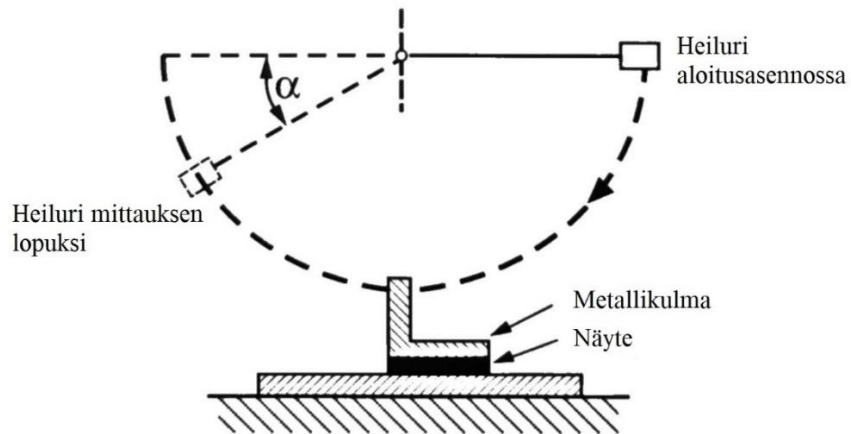
7.1 Taivekartongin ominaisuudet

Taivekartongin tärkeimmät ominaisuudet ovat sileys, painettavuus, pinnan lujuus, z-suuntainen lujuus ja taivutusjäykkyys. Z-suuntaisella lujuudella tarkoitetaan kartongin kykyä vastustaa vetoa pinnan normaalin suuntaisesti. Taivutusjäykkyys kuvaa kartongin kykyä vastustaa taivutusvoimaa. Tässä työssä keskitytään tarkemmin kartongin lujuusominaisuuksiin. Kartongin lujuusominaisuuksien määrittelemiseen on useita eri menetelmiä. Tavallisesti kartongin z-suuntainen lujuus määritellään Scott Bond -menetelmällä, taivutusjäykkyys Taber tai L&W taivutusjäykkyytenä ja pinnan lujuus IGT-pintalujuutena. (Kiviranta, 2000)

Inkeröisten kartonkitehtaalla taivekartongin speksattuja lujuusominaisuuksia ovat konesuunnassa ja poikkisuunnassa mitattu jäykkyys, Scott Bond ja pinnan irrotusluku.

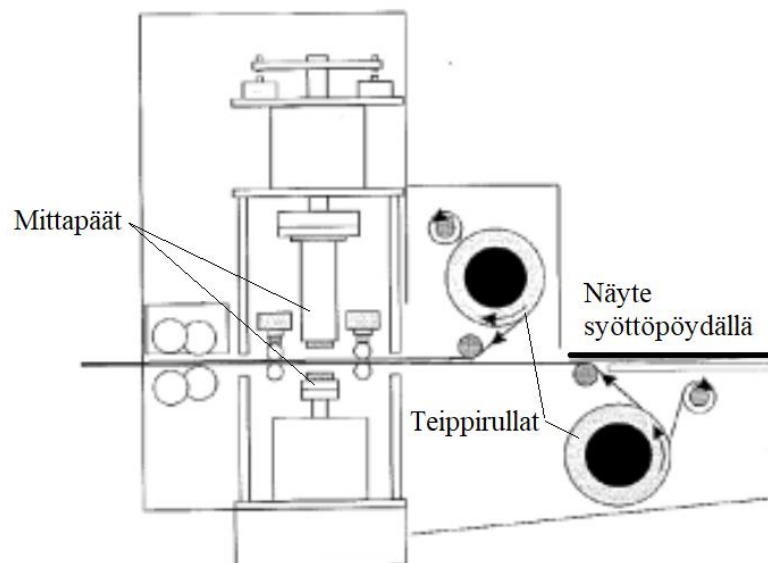
7.1.1 Z-suuntainen lujuus

Z-suuntainen lujuus kuvaa kartongin kykyä vastustaa vetoa kohtisuoraan kartongin pinnan suhteen. Painatuksen onnistumisen kannalta z-lujuus on hyvin tärkeä ominaisuus, jotta kartonki ei palstaudu painatuksen aikana. Menetelmiä z-suuntaisen lujuuden määrittelemiseksi on useita erilaisia, joista tunnetuin on Scott Bond. Siinä näytepala teipataan kaksipuoleisella teipillä alumiinisen alasimen ja 90 asteen kulman väliin. Mittauksessa heiluri lyö alumiinikulman irti näytteestä, samalla repäisten näytekappaleen halki paksuussuunnassa. Kartongin lujuutta kuvaa palstautumisen aiheuttama energiahäviö, joka voidaan lukea heilahduskulmasta α . Heilahduskulmasta voidaan laskea palstautumiseen vaadittava työ. Tulos ilmaistaan yksikössä J/m^2 . Tarkempi kuva Scott Bond -mittauksen periaatteesta on esitetty kuvassa 46. Punnitsemalla palstautunut pinta- ja selkäpuolen pala, voidaan massan perusteella määritellä halkeamiskohdan sijainti näytteessä. Scott Bond -mittaus suoritetaan standardin TAPPI 569 mukaisesti. (Stora Enso, 1998., Levlin, 1999)



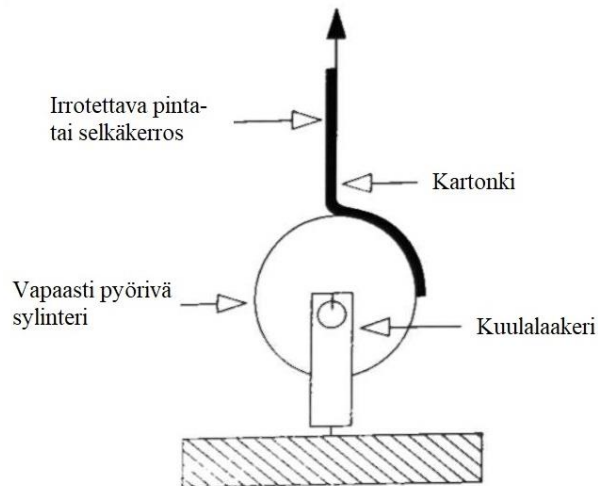
Kuva 46. Scott Bond -mittauksen periaate. Kuvassa heilahduskulma (α) tarkoittaa palstautumiseen vaadittavaa energiamäärää, josta voidaan laskea palstautumiseen vaadittava työ. (mukaillen, Levlin, 1999)

Inkeröisten Kartonkitehtaalla käytetään Scott Bond- menetelmän lisäksi Lorentzen & Wettre ZD -vetolujuusmittaria ja pinnanirrotustestiä z-suuntaisen lujuuden määrittämiseksi. Lorentzen & Wettre ZD -vetolujuusmittarissa näytepala asetetaan näytepöydälle, josta se automaattisesti teippautuu molemmilta puolilta kaksipuolisella teipillä ja mittapäät puristuvat kiinni teipattuun näytteeseen molemmilta puolilta valitulla voimalla. Tämän jälkeen mittapäät vetäytyvät erilleen, siten, että näyte halkeaa kahtia. Mittaus määrittelee voiman, joka tarvitaan kartonkinäytteen halkaisemiseen. Lopullinen tulos ilmoitetaan kilopascalina. Z-lujuus määrittäminen tehdään standardin SCAN-P 80 mukaisesti. (ABB, 2017b)



Kuva 47. Lorentzen & Wettre ZD -vetolujuusmittarin toimintaperiaate. (Stora Enso, 2011b)

Pinnan irrotusluvun määrittämiseen käytetään vetolujuusmittaria, jossa on näytteen kiinnittämiseen tarkoitettu vapaasti pyörivä sylinteri. Mittaus voidaan tehdä sekä pinta-, että selkäpuolelta. 10 cm leveästä kartonkinäytteestä irrotetaan haluttua kerrosta aluksi pieni matka käsin, jonka jälkeen näyte teipataan sylinteriin kiinni. Irrotettava kerros tulee sylinterin suhteen ulospäin ja se kiinnitetään vetolujuusmittarin yläkiinnikkeeseen. Muu osa kartongista teipataan kiinni sylinteriin. Mittaus suoritetaan vakionopeudella ja tulos luetaan mittarin asteikolta. Mittaus suoritetaan aina kahdesta eri näytteestä, joista toinen mitataan ajosuuntaa vastaan ja toinen ajosuunnan suuntaisesti. Tuloksista pienempi kertoo näytteen irrotusluvun. Irrotuslukumittauksen periaate on esitetty kuvassa 48. (Stora Enso, 2011a.)



Kuva 48. Irrotuslukumittauksen periaate (mukaillen, Kajanto, 2008).

Vetolujuusmittarin tuloksesta voidaan ratkaista irrotusvoima yhtälön (24) avulla:

$$T = \frac{G}{b} \quad (24)$$

Jossa,	T	Irrotusvoima	[g/cm]
	G	Vetolujuuslaitteen lukema	[g]
	b	Näytekalteen leveys	[cm]

Z-lujuuden parantamiseen vaikuttaa se, missä kerroksessa palstautuminen tapahtuu. Yleisesti tiedetään, että alhainen hylkymäärä tuottaa heikompa z-suuntaista lujuutta.

Hiokkeen korkea freeness-luku aiheuttaa myös lujuusongelmia. Inkeröisten kartonkitehtaalla on havaittu, että hiokkeen lujuusominaisuudet korreloivat valmiin kartongin irrotusluvun kanssa. Mikäli hiokkeen lujuusominaisuudet ovat halutuissa rajoissa, irrotusluku on todennäköisesti myös hyvä.

7.1.2 IGT-pintalujuus

IGT-pintalujuus kuvaa kartongin pinnan nukkaantumista. Mittaus suoritetaan IGT-koepainatuskoneella, jossa 55 mm x 340 mm kokoista poikkisuuntaan leikattua näyteliuskaa painetaan alumiinikiekolla tietyllä nopeudella ja puristusaineella. Valittu painatusnopeus riippuu näytteen pintalujuudesta. Öljymäärä alumiinikiekolla on vakio. Testijäljestä luetaan alkupainatuskohdan ja ensimmäisen nukkautuvan tai palstautuvan kohdan välinen etäisyys. Etäisyyden perusteella voidaan määrittää pintalujuus yksikössä m/s. (Stora Enso, 2017, ISO 3783:2006, 2006)

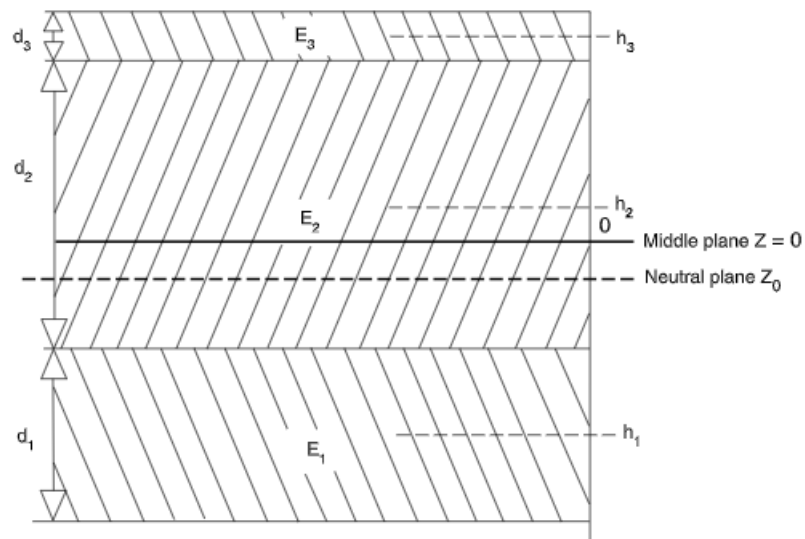
7.1.3 Taivutusjäykkyys

Taivutusjäykkyydellä tarkoitetaan kartongin rakenteen kykyä vastustaa siihen kohdistuvaa taivutusvoimaa. Taivutusjäykkyys on kappaleen rakenteellinen ominaisuus ja se riippuu materiaalin sijaan kappaleen makroskooppisesta rakenteesta, kuten eri kerroksista ja paksuudesta. Taivutusjäykkyys eroaa kone- ja poikkisuunnassa, jolloin tyypillisesti konesuunnan jäykkyys on 2–4 kertaa parempi, kuin poikkisuunnan taivutusjäykkyys. Hyvä taivutusjäykkyys on edellytys sille, että lopputuote kestää painatusta ja jatkojalostusta. Kartongin huono taivutusjäykkyys aiheuttaa myös ongelmia ajettavuuteen kartonkikoneella. Taivekartongin runkokerroksen päätehtävä on tuoda paksuutta ja pinta- ja selkäkerroksen tehtävänä on antaa hyvä taivutusjäykkyys tuotteelle. Taivutusjäykkyys monikerroksiselle kartongille voidaan ratkaista laskemalle jokaiselle kerrokselle erikseen taivutusjäykkyys yhtälön (25) avulla. (Kajanto, 2008)

$$S_{b,i} = E_i \left[\frac{d_i^3}{12} + d_i(h_i - z_0)^2 \right] \quad (25)$$

Jossa,	$S_{b,i}$	Kerroksen i taivutusjäykkyys	[mNm]
	E_i	Kerroksen i kimmomoduuli	[Pa]
	d_i	Kerroksen i paksuus	[m]
	z_0	Arkin neutraalitason etäisyys arkin keskikohdasta	[m]
	h_i	Kerroksen i etäisyys arkin keskikohdasta	[m]

Yhtälön (25) suureiden selitykset ovat esitetty kuvassa alla.



Kuva 49. Monikerroksisen taivekartongin taivutusjäykkyyden määrittämiseen käytettävät suureet. Kuvassa d_i on kerroksen i paksuus, h_i on kerroksen i keskikohdan etäisyys arkin keskikohdasta ja z_0 on arkin neutraalitason etäisyys arkin keskikohdasta. (Kajanto, 2008)

Hooken laki (26) osoittaa riippuvuuden jännityksen σ , venymän ε ja kimmomoduulin E välillä. (Kajanto, 2008)

$$\sigma = E\varepsilon \quad (26)$$

Jossa,	ε	Venymä	[-]
	E	Kimmomoduuli	[Pa]

Kimmomoduuli voidaan ratkaista vetolujuuden ja kappaleen paksuuden avulla yhtälön (27) mukaisesti (Levlin, 1999):

$$E = \frac{TS}{d} \quad (27)$$

Jossa,	E	Kimmomoduuli	[Pa]
	TS	Vetolujuus	[kN/m ²]
	d	Kappaleen paksuus	[m]

Summaamalla eri kerrosten taivutusjäykkyydet, voidaan määrittellä monikerroksisen rakenteen kokonaistaivutusjäykkyys. Kokonaisjäykkyys voidaan laskea yhtälöllä (28). (Kajanto, 2008)

$$S_b = \sum_{i=0}^N S_{b,i} \quad (28)$$

Jossa,	S_b	Taivutusjäykkyys	[mNm]
	$S_{b,i}$	Kerroksen i taivutusjäykkyys	[mNm]
	N	Kerrosten lukumäärä	[-]

Merkittävin kartongin taivutusjäykkyyteen vaikuttava tekijä on paksuus. Taivutusjäykkyys on verrannollinen neliömassan kuutioon (yhtälö 29). Taivutusjäykkyyden kontrolloiminen paksuuden avulla ei ole kuitenkaan haluttua. (VTT, 2013, Kajanto, 2008)

$$S_b \approx Ed^3 \quad (29)$$

Jossa,	S_b	Taivutusjäykkyys	[mNm]
	E	Kimmomoduuli	[mPa]
	d	Paksuus	[m]

Kartongin ohentuessa jäykkyys pienenee kartongin ominaisuuksista voimakkaimmin. Taivekartongin jäykkyyden kehittäminen perustuu kimmokertoimen kasvattamiseen ja siihen, että kimmokerroin on suurempi etenkin kartongin pinta- ja selkäkerroksissa, kuin runkokerroksessa. Koska kartongin taivutusjäykkyys on voimakkaasti verrannollinen kartongin neliömassaan, taivutusjäykkyyden optimoiminen vaikuttaa myös kartongin

muihin ominaisuuksiin. Perinteisiä tapoja kehittää taivutusjäykkyyttä, ovat pintaliimaus, päällystys ja gradienttikalanterointi. (VTT, 2013)

Massan ominaisuuksilla on olennainen mutta rajallinen vaikutus kartongin jäykkyyteen. Paksut ja jäykät kuidut tuottavat paremman taivutusjäykkyyden kuin ohuet ja taipuisat kuidut. Myös kuitujen hyvä sitoutumiskyky kasvattaa taivutusjäykkyyttä. Jokaisella massalla on kuitenkin massakohtainen jäykkyyspotentiaali, joka määrittää kyseisellä massalla saavutettavan maksimijäykkyyden. (VTT, 2013)

Taivutusjäykkyyden mittaamiseen Inkeröisten kartonkitehtaalla käytetään Lorentzen & Wettren jäykkyydsmittaria. Mittauksessa näyteliuskan toinen pää on kiinnityslaitteessa, joka taivuttaa näytekappaletta. Näytteen vapaa pää osuu kuormasoluun ja näyte taipuu sitä vasten haluttuun kulmaan asti. Vaadittu voima talletetaan mittauksen ajalta. L&W jäykkyydsmittarilla on mahdollista määrittää näytteen taivutusjäykkyys useilla eri taivutuskulmilla, sekä laskennallinen Taber-jäykkyys. Mittari määrittelee DIN-jäykkyyden yhtälön (30) mukaisesti (ABB, 2017a):

$$S_{b,DIN} = \frac{60 * F * l^2}{\pi * \Phi * b} \quad (30)$$

Jossa,	$S_{b,DIN}$	DIN-jäykkyys	[mNm]
	F	Voima	[mN]
	l	Pituus	[m]
	b	Leveys	[m]
	Φ	Taivutuskulma	[°]

L&W mittari käyttää 15° taivutuskulmalla standardeja APPITA/AS 1301.453s, ISO 2493-1, NF Q 03048, SCAN P 29 ja TAPPI T 556. 5° taivutuskulmalla mittari käyttää standardeja DIN 53121 ja ISO 5628. Oletuskulmana käytetään tavallisesti 5° taivutuskulmaa. (ABB, 2017)

Konesuuntaisista ja poikkisuuntaisista jäykkyydsmittauksista voidaan määrittää laskennallisesti geometrinen keskiarvo yhtälöllä (31) (Kajanto, 2008).

$$S_{b,g} = \sqrt{S_{b,KS} * S_{b,PS}} \quad (31)$$

Jossa,	$S_{b,KS}$	Konesuunnan taivutusjäykkyys	[mNm]
	$S_{b,PS}$	Poikkisuunnan taivutusjäykkyys	[mNm]

8 YHTEENVETO KIRJALLISUUSOSASTA

Kirjallisuusosassa käsiteltiin taivekartongin lujuusominaisuuksiin vaikuttavia tekijöitä, sekä menetelmiä lujuusominaisuuksien määrittämiseksi. Painehiokkeen valmistusprosessissa keskityttiin erityisesti kuitujen irtoamiseen vaikuttaviin tekijöihin, sekä lajittelun ja rejektijauhatuksen merkitykseen lujuusominaisuuksien kehityksessä.

Kuitupituusjakauman havaittiin olevan merkittävin tekijä lujuusominaisuuksien kannalta. Painehiontaprosessissa kiven pinnalla sekä hionnan lämpötilalla on merkittävä vaikutus kuitujen irtoamiseen puusta. Lämpötilan ja normaalivoiman kasvaessa kuidut irtoavat puusta eheämpinä. Pyöreämpi hiomakiven grittien muoto aiheuttaa myös vähemmän vaurioita kuituihin, kuin teräväsärmäisemmät gritit. Hionnan taajuuden kasvaessa myös puun pehmenemislämpötila kasvaa

Etenkin kuitumaiset hienoaineet parantavat kuitujen välisten sidosten muodostumista ja kasvattavat samalla hiokkeen lujuusominaisuuksia. Painehiontaprosessin hienoaineet voidaan jakaa primäärisiin ja sekundäärisiin hienoaineisiin, joista jauhatuksessa syntyvät sekundääriset hienoaineet ovat pääasiassa kuitumaisia. Siten rejektinkäsittelystä saatava jauhettu rejekti sisältää paljon kuitumaisia hienoaineita, joilla voidaan parantaa hiokkeen lujuusominaisuuksia. Kuitumaisilla hienoaineilla voidaan lisätä suurinta osaa hiokkeen ja taivekartongin lujuusominaisuuksista. Yleensä kuitenkin hienoinemäärän kasvaessa kartongin taivutusjäykkyys heikkenee, koska hienoaineet aiheuttavat runkokerroksen tiivistymistä.

KOKEELLINEN OSA

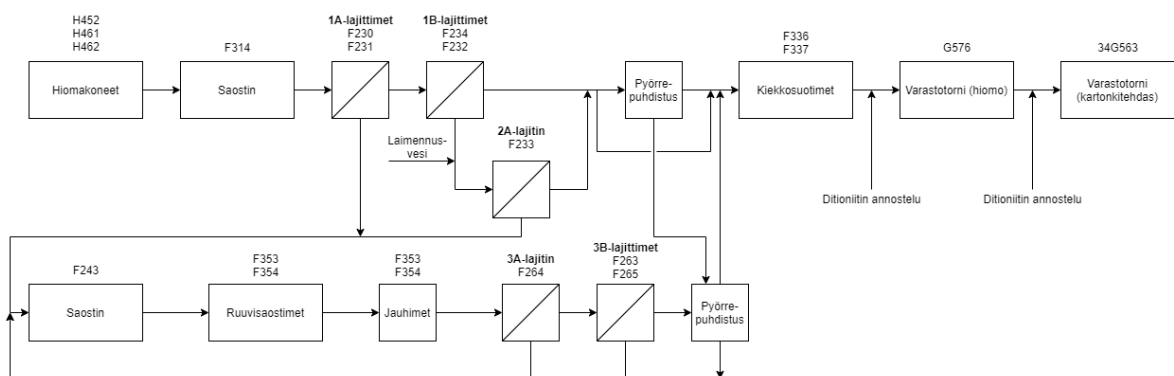
9 KOKELISEN OSAN TAVOITE

Kokeellisen osan tarkoituksena oli selvittää Anjalankosken tehtaiden hiomon H4-osahiomalinjalle asennettujen Galileo C-pintojen tuottamat laatumuutokset, sekä valita uuden tyyppinen Galileo D-pinta vastaamaan paremmin Inkeröisten kartonkitehtaan vaatimuksia hiokkeen laatuominaisuuksille. Tavoitteena oli myös optimoida Anjalankosken hiomon H4-linjan hiomakoneiden ajotapa siten, että hiokkeelle saavutetaan mahdollisimman hyvät lujuusominaisuudet. Lisäksi lajittelun ajotavan optimoimisen potentiaalia tarkasteltiin massataseen avulla.

Kokeellinen osa jakautuu kahteen eri osaan. Ensimmäisessä osassa käsitellään erilaisten hiomakivien pintojen vaikutusta hiokkeen ja taivekartongin laatuun, käsitellään uuden tyyppisen Galileo D-pinnan valintaa, sekä suoritetaan koeajo puhtaalla Galileo C-pinnoilla tuotetulla hiokkeella. Lisäksi tarkastellaan tuotantopyynnin, pinnan kulumisen, vuodenaikaisvaihtelun ja suihkuvesien lämpötilan vaikutusta hiokkeen laatuun. Toisessa osassa käsitellään lajittelun ja rejektijauhauksen vaikutusta hiokkeen laatuun massataseen avulla.

10 PAINEHIONTAPROSESSIN KUVAUS

H4 osahiomalinja valmistaa hioketta Inkeröisten kartonkitehtaan käyttöön. H4 osahiomalinja sisältää kolme Tampellan valmistamaa T 1815 p - hiomokonetta, jotka ovat kaksiuunisia. Hiomakoneita on mahdollista ajaa myös vuorouunimenetelmällä. Yksinkertaistettu kaaviokuva H4-osahiomalinjasta on esitetty kuvassa 50.



Kuva 50. Yksinkertaistettu lohkokaaviokuvaaja hiomon H4-osahiomalinjasta.

Suurimmat tikut ja kuitukimput poistetaan heti hiomakoneiden jälkeen sälemurskaimella, jonka jälkeen hioke saostetaan painesaostimella (Kuva 50). Saostettu hioke kulkee kolmiportaiseen lajitteluun, jossa hiokkeesta poistetaan epäpuhtauksia ja ei-haluttuja fraktioita. Rejeki käsitellään jauhamalla. Lajittimien 1B, 2A ja 3B akseptit yhdistetään ennen kiekkosuotimia. Hiokkeeseen annostellaan ditoniitti sekä kiekkosuotimen, että hiomon varastotornin jälkeen. Hioke pumpataan lopulta kartonkikone 4:n käyttöön kartonkitehtaan hioketorniin.

10.1 Hiontaprosessin muuttujat

Anjalankosken tehtaiden H4-osahiomalinjalla kaikkia kolmea hiomakonetta ajetaan tuotantonopeussäädön mukaisesti. Hiomakoneiden normaali tuotantopyynti on 4 t/h, joka asetetaan uunikohtaisesti. Hiomakoneen tuotantopyynti vaikuttaa hionnan ominaisenergiankulutukseen, joka teoriaosan mukaisesti vaikuttaa hiokkeen laatuominaisuuksiin merkittävästi. Hiomakoneen tuotantomäärää säättää anturan nopeus, eikä hiomakiven pyörimisnopeutta ei ole mahdollista säätää.

Keraamisilla hiomakivillä hiokkeen freeness-tasoa voidaan säätää hiomakiven pinnan käsittelytoimenpiteillä. Koska Galileo-hiomakivien pinnan käsitteleminen ei ole samalla tavoin mahdollista, freeneksen säätö tapahtuu tarvittaessa tuotantopyyntejä muuttamalla. Hiomakoneen tuotantopyynnin laskeminen pienentää hiokkeen freenestä ja nostaa samalla vetolujuutta. Hiokkeen kokonaistuotantomäärä muuttuu kuitenkin tässä tapauksessa, jolloin hiokkeen tuotanto ei välttämättä vastaa hiokkeen kulutusta kartonkitehtaalla.

H4-osahiomalinjalla suihkuveden lämpötilan ja virtauksen säätäminen korkeammaksi ei ole nykyisin mahdollista ilman teknisiä muutoksia. Suihkuveden lämpötila on keskimäärin 95 °C, joka on maksimi ottaen huomioon hiomon putkilinjojen koot ja höyryn määrän. Lisäksi on havaittu kavitointiongelmia kun suihkuvesipumppujen pyörimisnopeus on lähellä maksimipyörimisnopeutta.

Lajittelussa on mahdollista säätää lajittimien rejektimääriä sekä sakeuksia. Lajittimien lisäksi rejektin jauhinten säädöt vaikuttavat merkittävästi valmiin rejektin ominaisuuksiin. Tässä työssä keskitytään optimoimaan Galileo-hiomakiven pinta, hiomakoneiden tuotantopyynnit, sekä lajittelun toiminta. Lisäksi arvioidaan suihkuvesien lämpötilan säätämisen potentiaalia.

11 MASSAN JA KARTONGIN LAADUN TARKKAILU

Hiokkeen ja kartongin laatua seurataan online-mittauksilla, sekä säännöllisesti laboratoriossa. Hiomolla, sekä kartonkitehtaalla on käytössä Pulp Expert -laitteet, jotka suorittavat automaattisesti massamittauksia. Kartonkitehtaalla kartongin laaduntarkkailua varten on L&W autoline, jonka mittalaitteet suorittavat konerullasta otetusta poikkiradasta mittauksia.

11.1 Pulp Expert hiomolla ja kartonkitehtaalla

Hiomolla ja kartonkitehtaalla on käytössä Valmetin Pulp Expert -analysointilaitteet. Pulp Expert suorittaa automaattisesti massamittauksia ja arkkimittauksia valituista massoista. Analysointilaitteet ottaa automaattisesti massanäytteen, laimentaa sen sopivaan sakeuteen ja muodostaa lopulta laimennetusta massasta arkin, josta analysointilaitteet tekee myös mittauksia.

Kartonkitehtaalla Pulp Expert mittaa näytteistä seuraavat ominaisuudet: pH, sakeus ja SR. Lisäksi analysointilaitteet mittaa massasta muodostetusta arkista vaaleuden ja vetoindeksin. Hiomon Pulp Expert mittaa massasta keskikuiduinpituuden, freneksen, sakeuden, tikkupitoisuuden ja muodostetusta arkista vetoindeksin.

11.2 L&W Autoline

L&W Autoline mittaa konerullasta otetusta poikkiradanäytteestä erilaisia kartongin fysikaalisia ominaisuuksia. Kartonkitehtaalla Autolinella mitattavia ominaisuuksia ovat vaaleus- ja sävyominaisuudet, neliömassa, paksuus, jäykkyys, PPS, bendtsen, TSI (Tensile Stiffness Index) ja TSO (Tensile Stiffness Orientation). Autoline-mittaukset suoritetaan jokaisesta valmistuvasta konerullasta.

11.3 Massalaboratorion laatumittaukset

Massalaboratorio suorittaa tarvittaessa mittauksia massoista, sekä laboratorioarkeista. Mittaukset hiomolta otettavista kivenalusmassoista määritetään massalaboratoriossa. Massalaboratorio palvelee useita hionta- ja hierrelinjoja, joten kivenalusmassoista otetaan näytteitä vain tarpeen mukaan, eikä seuranta ole kovin tiivistä.

11.3.1 Sakeus

Massanäytteen sakeus määritetään näytteistä, jotta laboratorioarkkeja valmistaessa ja freeness ja tikkupitoisuusmäärityksissä käytetään oikea määrä absoluuttisen kuivaa massaa. Sakeusmääritystä varten massanäytteen sakeuden tulee olla n. 1 %. Tarvittaessa massa tulee laimentaa sopivalle sakeusalueelle.

Laimennettua massaa punnitaan 200 g, joka imusuodatetaan kaksinkertaisen suodatinkankaan läpi. Imukartonkien välissä olevasta suodatetusta massakakusta puristetaan ylimääräinen vesi pois puristimella. Massakakkua kuivataan lämpölevyjen välissä ensin n. 2–5 min suojapapereiden välissä, jonka jälkeen ilman suojapaperia n. 10–20 min. Kuivattua massakakkua jäähdytetään eksikaattorissa n. 10–15 min, jonka jälkeen kuivan, jäähdytetyn kakun massa punnitaan. Massanäytteen sakeus lasketaan yhtälöllä (32). (Stora Enso, 2020a)

$$\text{Massanäytteen sakeus (\%)} = \frac{\text{Kuivatun massakakun paino (g)}}{\text{Massanäytteen paino (g)}} * 100\% \quad (32)$$

Sakeudesta voidaan ratkaista mittauksiin tarvittavan massan määrä grammoina yhtälöllä (33).

$$\text{Tarvittava massan määrä (g)} = \frac{\text{Absoluuttisesti kuivan massan paino (g)}}{\text{Massanäytteen sakeus (\%)}} \quad (33)$$

11.3.2 Laboratorioarkkien valmistaminen

Laboratorioarkeista voidaan määrittää massan ljuusominaisuuksia. Niiden valmistamiseen tarvitaan 1,9 g absoluuttisen kuivaa massaa, jolloin tarvittava näytemäärä ratkaistaan yhtälön (33) avulla. Arkkimuotti täytetään vedellä, jonka jälkeen punnittu massanäyte kaadetaan muottiin. Massalietettä sekoitetaan paineilmalla muotissa, jonka jälkeen vesi lasketaan muotista pois. Viiralla muodostuvan arkin päälle asetetaan kaksi imukarttonkia ja arkista kaulitaan ylimääräinen vesi. Kuvassa 51 on esitetty arkkimuotti. (Stora Enso, 2010b)



Kuva 51. Arkkimuotti.

Arkit pinotaan ja jokaisen arkin väliin asetetaan kaksi imukarttonkia. Arkkipinoa puristetaan puristimella ensin neljän minuutin ajan, jonka jälkeen osa imukartongeista vaihdetaan ja arkinippua kuivataan uudelleen puristimella minuutin ajan. Arkit kuivuvat kuivaussylinterissä kahden tunnin ajan, jonka jälkeen arkkeja tulee ilmastoida vakioolosuhteissa puolen tunnin ajan ennen fysikaalisten ominaisuuksien testaamista. (Stora Enso, 2010)

Massalaboratoriossa käytettävissä oleva laite ei mahdollista kiertovesiarkkien tekemistä sujuvasti. Kiertovesiarkeissa valmistetaan niin sanottu nollavesi valmistamalla useita arkkeja arkkimuotilla siten, että arkin valmistuksessa muodostuva suodos otetaan talteen ja käytetään seuraavan arkin valmistamiseen. Hienoaineet kertyvät nollaveteen, jota käytetään lopullisten testiarkkien valmistamiseen. Nollaveden käyttö kuvaa paremmin kartonkikoneen prosessiolosuhteista, kuin kuiduttoman veden käyttö laboratorioarkkeja valmistaessa. Nollaveden käytöllä laboratorioarkkien valmistuksessa onkin havaittu olevan vaikutusta suurimpaan osaan arkin ominaisuuksista. (Sohlin, 1997)

11.3.3 Vetolujuus

Vetolujuus määritetään kuivatuista ja ilmastoiduista laboratorioarkeista. Kahdesta arkista leikataan viisi standardikokoista suikaletta, joiden vetolujuus määritetään vetolujuusmittarin avulla. Mittari laskee automaattisesti näytesuikaleiden vetolujuuden keskiarvosta vetoindeksin. (Stora Enso, 2010a)

11.3.4 Freeness

Freeness määritetään kolmesta grammasta absoluuttisen kuivaa massaa. Massan tilavuus ratkaistaan sakeusmäärityksen mukaan yhtälön (33) mukaisesti. Hyvin sekoitetusta massasta mitataan tarkka tilavuus massaa, joka laimennetaan yhdeksi litraksi. Freeness-mittauslaite on esitetty kuvassa 52. (Stora Enso, 2008a)



Kuva 52. Freeness-laite.

Freeness-laitteen suppilon sivuaukon alle vaa'alle asetetaan astia ja vaaka taarataan. Vedenpoistokammion alakansi laitetaan kiinni, jonka jälkeen näyte kaadetaan kammioon. Yläkansi ja ilmahana laitetaan kiinni. Alakansi avataan ja ilmahana avataan, jolloin vesi valuu vedenpoistokammioista. Sivuaukosta valuneen veden määrä luetaan vaa'an lukemasta.

Massan lämpötila mitataan vedenpoistokammiosta ja lämpötilakorjaus tehdään taulukon mukaisesti. CSF-luku määritellään kahden mittauksen keskiarvona, joiden keskinäinen ero saa olla enintään 4 %. (Stora Enso, 2008)

11.3.5 Pulmac-tikkupitoisuus

Pulmac-tikkupitoisuus määritellään viidestä grammasta absoluuttisen kuivaa kuitua. Mittaukseen käytettävän massan tilavuus lasketaan yhtälöllä (33), kun näytteen sakeus on ensin määritetty. Mittaus aloitetaan painamalla Pulmac-laitteen start-nappia, jonka jälkeen asetetaan paikoilleen sihti, johon tikut kerääntyvät. Kun näytekammiossa on vettä merkkiin saakka, tarkka näytemäärä kaadetaan näytekämmioon. Pulmac-laite on esitetty kuvassa 53. (Stora Enso, 2008b)



Kuva 53. Pulmac-tikkupitoisuusmittari.

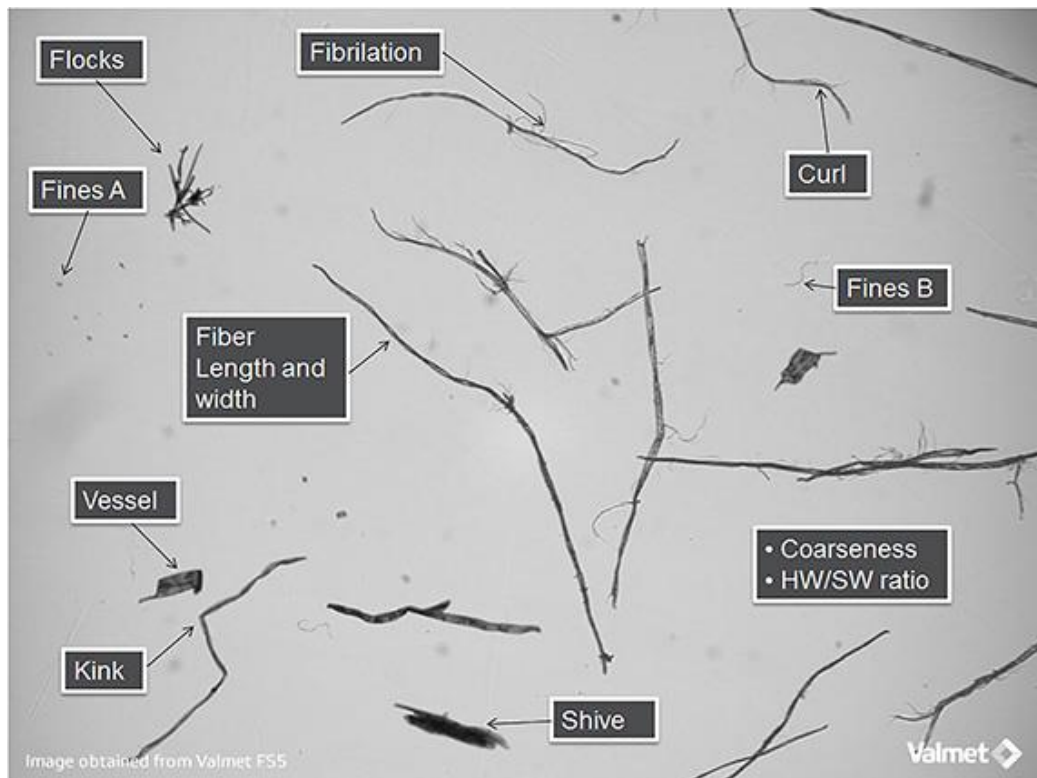
Kun laite lopettaa lajittelun, suoritetaan kolminkertainen pesu painamalla wash-näppäintä. Pesujen jälkeen sihtiin keräytyneet tikut huuhdotaan näyteastiaan. Vesi-tikkuseos imusuodatetaan punnitun suodatinpaperin läpi Büchner-suppilolla. Suodatettuja tikkuja ja suodatinpaperia kuivataan lämpökaapissa kahden tunnin ajan. Tämän jälkeen kuivattuja

tikkuja ja suodatinpaperia jäähdytetään eksikaattorissa n. 15 minuuttia. Tikut ja suodatinpaperi punnitaan ja tikkuluku lasketaan yhtälön (34) mukaisesti. (Stora Enso, 2008)

$$\text{Tikkuluku, \%} = \left(\frac{\text{tikkujen massa, g}}{5 \text{ g}} \right) * 100\% \quad (34)$$

11.3.6 Kuitupituusjakaumamittaus

Kuitupituusjakaumamittaus suoritetaan pienestä määrästä massaa Valmetin FS5 -analysointilaitteella. Massa laimennetaan vedellä ja asetetaan näyteastiasse analysointilaitteeseen. Mittaus käynnistetään ja analysointilaitteisto laimentaa näytteen lopulliseen sakeuteensa. Näytteen ollessa sopivassa sakeudessa analysointilaitteisto suorittaa mittauksen ja antaa tulokset taulukkomuodossa. Visuaalinen esitys FS5-analysointilaitteiston mittaamista ominaisuuksista on esitetty kuvassa 54.



Kuva 54. FS5-kuituanalysointilaitteiston mittaamat kuituominaisuudet visualisoituna (Valmet, 2021).

12 HIOMAKIVEN PINNAN VAIKUTUS HIOKKEEN LAATUUN

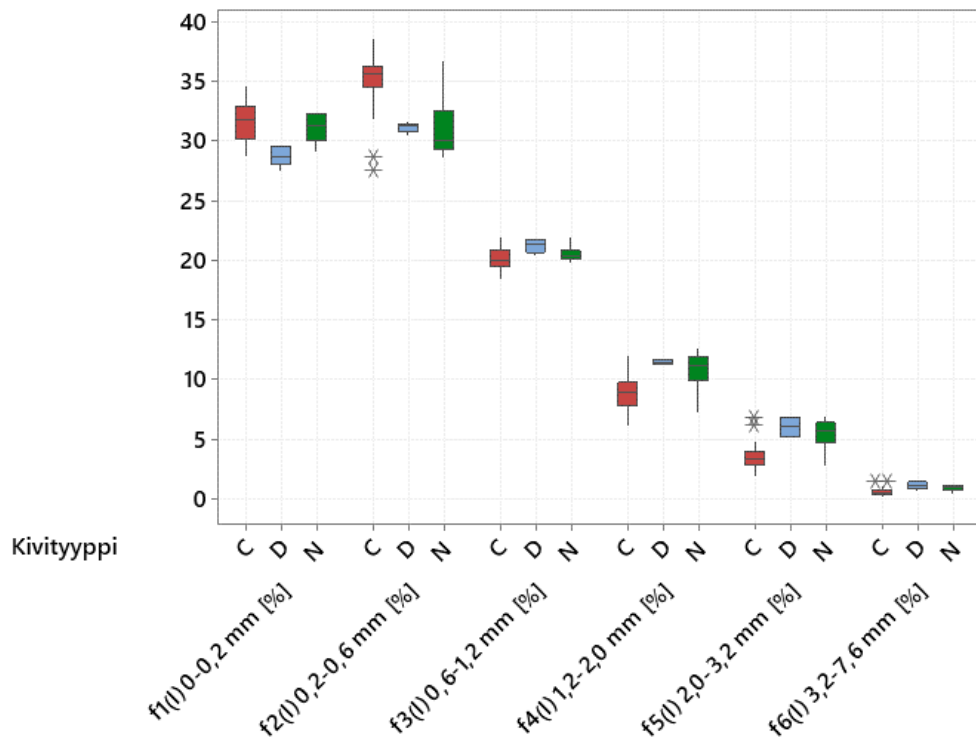
H4-osahiomalinjalla on ollut käytössä diplomityön aikana kolme eri hiomakivikombinaatiota. Tässä kappaleessa vertaillaan hiokkeen ja kartongin laadullisia ominaisuuksia eri kivikombinaatioilla, sekä eri hiomakivien kivenalusmassoja. Taulukossa alla on esitetty ajankohdat, jolloin kivikombinaatioita on muutettu.

Taulukko IX H4 linjalla tehdyt hiomakivien muutokset hiomakoneilla H452, H461 ja H462.

Muutos	H452	H461	H462
9/2018	Galileo C-pinta	Norton	Norton
11/2020	Galileo C-pinta	Galileo C-pinta	Norton
5/2021	Galileo D-pinta	Galileo C-pinta	Norton

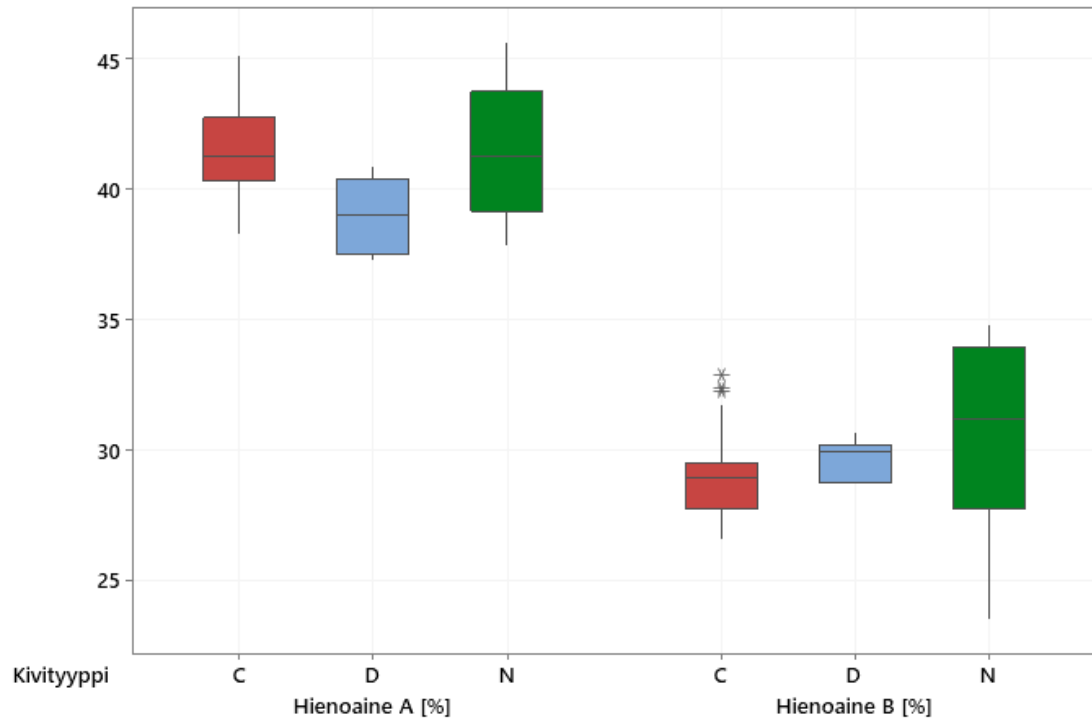
H4-osahiomalinjalle asennettiin toukokuussa 2021 uuden tyyppinen Galileo D-pinta perustuen havaittuihin laatumuutoksiin hiokkeessa ja taivekartongissa toisen C-pinnan asennuksen jälkeen. Valinnassa hyödynnettiin tuloksia Stora Enson ja Valmetin yhteistyönä suoritetuista laboratoriokokeista. Laboratoriokokeissa on testattu erilaisia Galileo-pintoja.

Hiomon kivenalusmassoista tehdään satunnaista seurantaa, jolloin kivenalusmassasta määritetään massalaboratoriossa freeness, kuitupituusjakauma, pulmac-tikkupitoisuus, sekä laboratorioarkeista vetoindeksi, repäisyindeksi ja bulkki. Hiomakoneen EOK ja tuotantotavoite otetaan talteen näytteenottohetkeltä. FS5-kuituanalyysaattorilla määritettyjen kuitupituusjakaumatulosten perusteella piirretystä boxplot-kuvaajasta voidaan arvioida hiomakiven pinnan vaikutusta kuitupituusjakaumaan (Kuva 55).



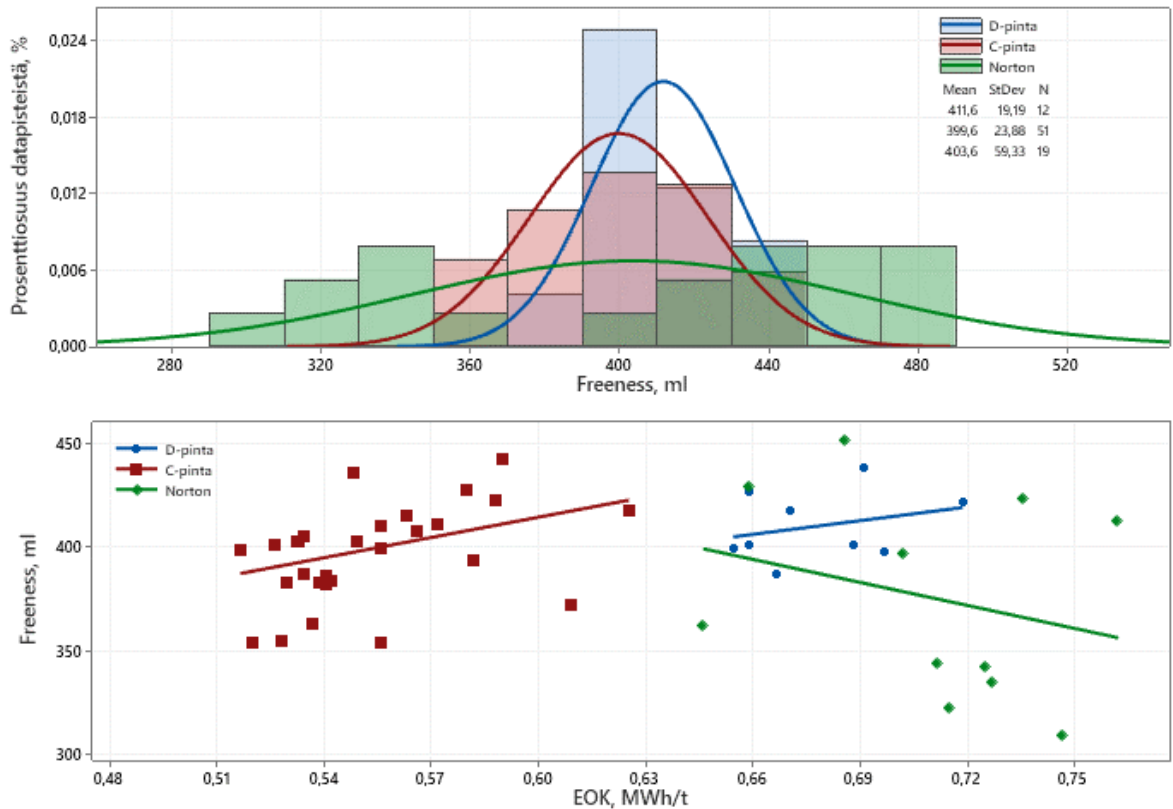
Kuva 55. Nortonin, sekä Galileo C- ja D-pintojen kivenalusmassojen kuitupituusjakaumamäärityksien tuloksista piirretty boxplot. Hiomakivityyppien lyhennykset kuvassa: Galileo C-pinta (C), Galileo D-pinta (D) ja Norton (N).

Tuloksista voidaan havaita, että Galileo C-pinta tuottaa selkeästi vähemmän kuitufraktioita välillä 0,6–7,6 mm kuin Galileo D-pinta ja Nortonin keraaminen hiomakivi (Kuva 55). Hienimpien fraktioiden 0–0,6 mm määrä on C-kivellä korkeammalla kuin D-kivellä ja keraamisella hiomakivellä. Koska C-pinnan kivenalusmassassa on D-pintaan ja keraamiseen kiveen verrattuna paljon hienoaineita ja vähän pitkiä kuitufraktioita, C-pinta aiheuttaa todennäköisesti enemmän vaurioita kuituihin ja aiheuttaa jopa kuitujen tarpeetonta katkeilua hionnassa. D-pinnan grittimuoto katkoo taas vähemmän kuituja.



Kuva 56. Hienoaineiden A (hiutalemaiset) ja hienoaineiden B (kuitumaiset) osuus kivenalusmassassa eri hiomakivillä. Hiomakivityyppien lyhennykset kuvassa: Galileo C-pinta (C), Galileo D-pinta (D) ja Norton (N).

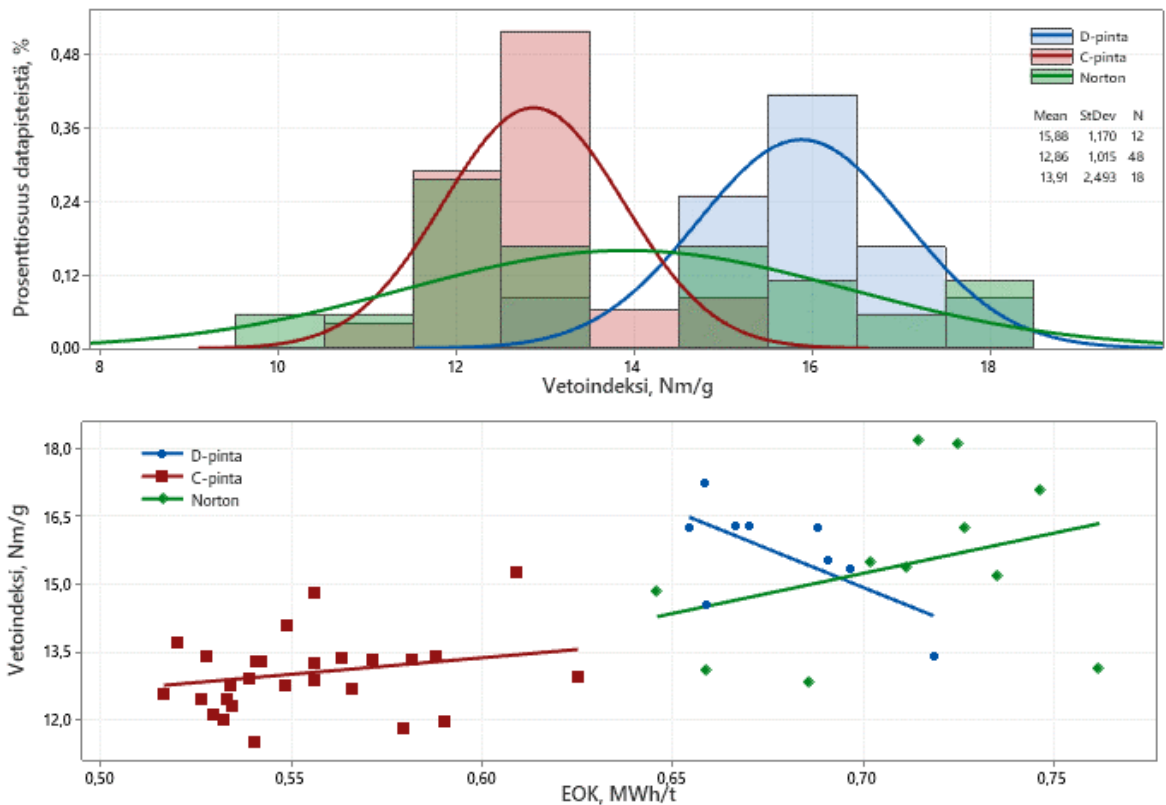
FS5-kuituanalysointilaitteella tehtyjen määritysten perusteella voidaan havaita Galileo D-pinnan kivenalusmassassa olevan keskimäärin vähiten hiutalemaisia hienoaineita (hienoaine A) (Kuva 56). Kuitumaisten hienoaineiden (hienoaine B) osuuden vaihteluväli on merkittävästi suurin keraamisella hiomakivellä. Galileo-hiomakivistä D-pinta tuottaa C-pintaan verrattuna enemmän kuitumaisia hienoaineita. Teoriaosan mukaisesti kuitumaiset hienoaineet parantavat hiokkeen lujuusominaisuuksia ja hiutalemaiset hienoaineet hiokkeen vaaleusominaisuuksia.



Kuva 57. Kivenalusmassojen freenessin histogrammi, sekä freeness hiomakoneen ominaisenergiakulutuksen funktiona.

Histogrammista voidaan havaita Galileo-hiomakivien kivenalusmassojen freenessin vaihtelun olevan merkittävästi pienempää kuin keraamisella hiomakivellä (Kuva 57). Keraamisen kiven kunto vaihtelee voimakkaasti riippuen suoritetuista käsittelyistä, sekä esimerkiksi talvisin keraaminen kivi voi teräytyä jäistä puuta vasten hiomakiven sideaineen murentuessa ja uusien grittien noustessa hiomakiven pintaan. Galileo-kivillä kyseistä vaihtelua ei ole, vaan Galileo-pinta muuttuu vain ajan funktiona. Muutokset Galileo-hiomakivissä ovat kuitenkin huomattavasti pienempiä kuin keraamisissa kivissä.

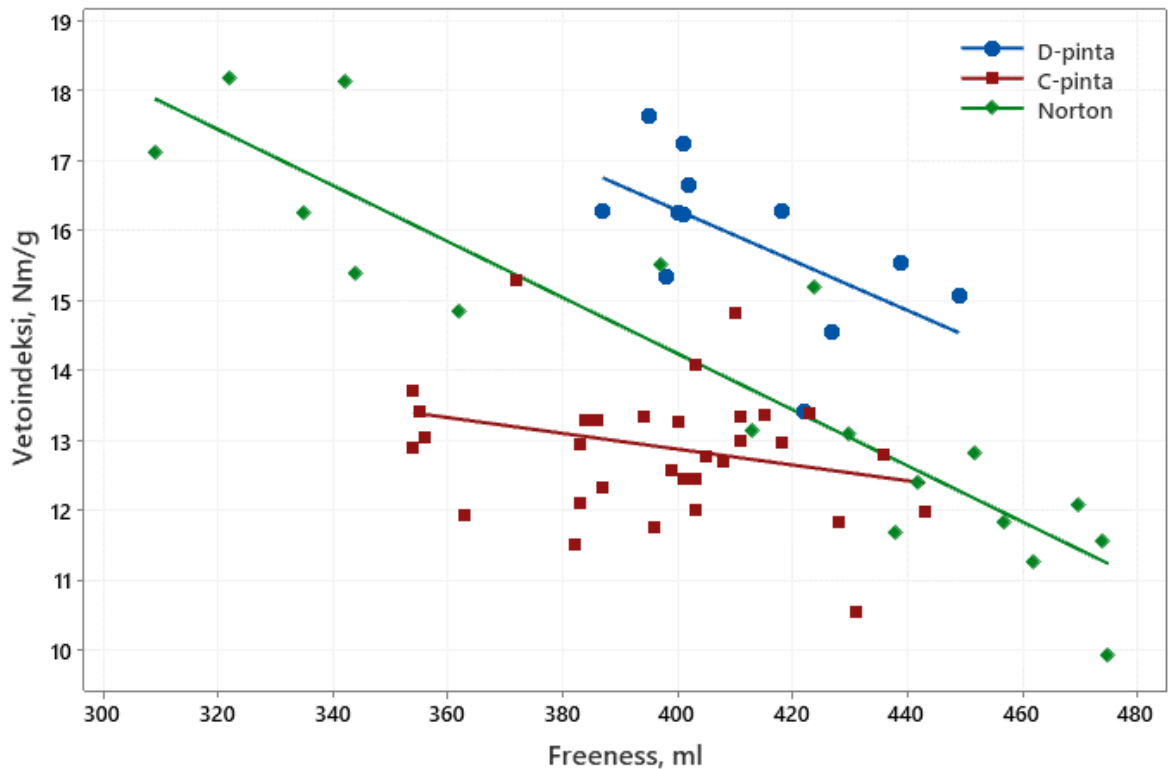
Norton-kiven CSF-luvun kehitys hiomakoneen ominaisenergiakulutuksen funktiona on päinvastainen kuin Galileo-hiomakivillä (Kuva 57). Teoriassa ominaisenergiakulutuksen kasvaessa hiokkeen freenessin tulisi laskea. Galileo-pinnoilla hiomakoneen freeness kasvaa ominaisenergiakulutuksen kasvaessa. C-pinnalla voidaan saavuttaa sama freeness-taso matalammalla ominaisenergiakulutuksella kuin D-pinnalla tai keraamisella kivellä. Eri hiomakivien kivenalusmassan vetoindeksiä tarkastellaan kuvassa 58.



Kuva 58. Kivenalusmassoista valmistettujen laboratorioarkkien vetoindeksin histogrammi, sekä vetoindeksi hiomakoneen ominaisenergiankulutuksen funktiona.

Histogrammista (Kuva 58) voidaan nähdä keraamisen hiomakiven kivenalusmassan vaihtelun olevan huomattavasti suurempaa kuin Galileo-kivillä. Suuri vaihteluväli keraamisella hiomakivellä selittyy samoilla asioilla, kuin freneksen suuri vaihtelu. Galileo C- ja D-pinnoilla on havaittavissa selkeä tasoero. C-pinnalla vetoindeksi on keskimäärin 12,9 Nm/g ja D-pinnalla 15,9 Nm/g.

Vetoindeksin kehitys on samansuuntainen hiomakoneen ominaisenergian funktiona Galileo C-pinnalla ja Nortonin keraamisella kivellä (Kuva 58). Galileo D-pinnalla datapisteitä on niin vähän, ettei sovitus ole selkeä. Suurempi EOK tuottaa korkeamman vetoindeksin. Ominaisenergiankulutuksen vaikutus on selkein keraamisella hiomakivellä. Vetoindeksin kehitystä freneksen funktiona on tarkasteltu kuvassa 59.

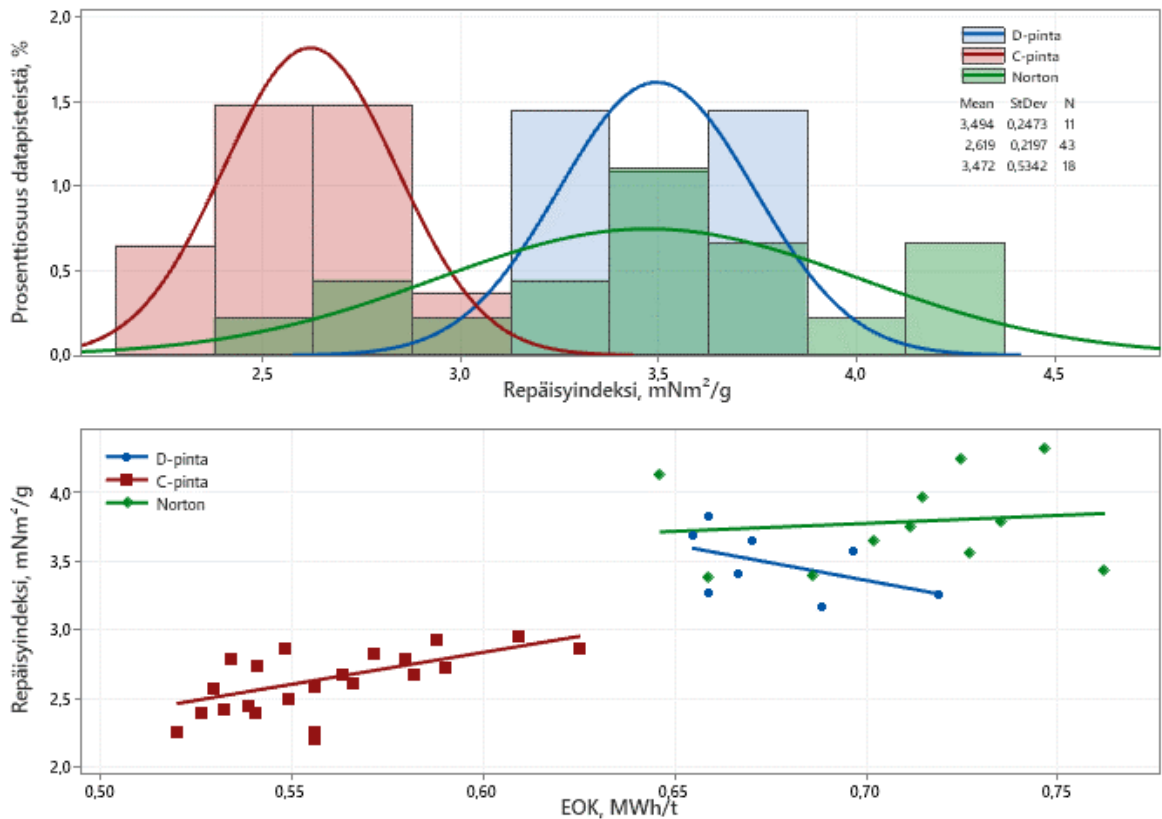


Kuva 59. Laboratorioarkeista määritetyn vetoindeksin kehitys kivenalusmassan freenessin funktiona.

Kivenalusmassojen vetoindeksin kehitys freenessin funktiona on samansuuntainen kaikilla hiomakivillä (Kuva 59). Freenessin pienentyessä hiokkeen vetoindeksi kasvaa. Tasoerot eri hiomakivien välillä ovat kuitenkin selkeät. Galileo C-pinnalla saavutetaan matalampi vetolujuus, kuin keraamisella kivellä tai Galileo D-pinnalla. Galileo C-pinnalla vetoindeksi ei myöskään muutu yhtä voimakkaasti freenessin funktiona kuin muilla hiomakivillä. Galileo D-pinnan vetoindeksitaso on selkeästi korkeimmalla tasolla. Tasoeroja selittävät kivenalusmassojen erilaiset kuitupituusjakaumat (Kuva 55), koska vetolujuuteen vaikuttavat myös yksittäisten kuitujen ominaisuudet. D-pinnan gritit irrottavat kuidut kokonaisempina, kuin C-pinnan gritit. Pidemmät ja hionnassa vähemmän vaurioituneet kuidut tuottavat paremman vetolujuuden.

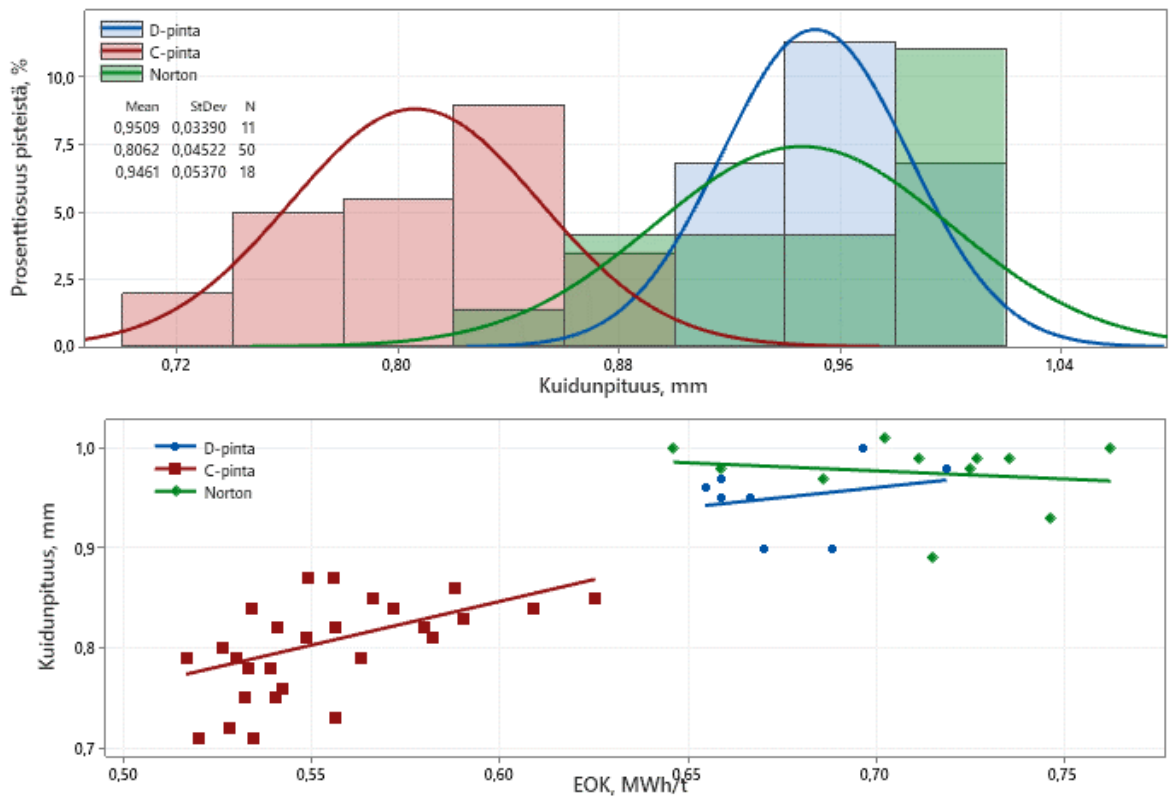
Kivenalusmassan freenessistä laskemalla voidaan parantaa kivenalusmassan lujuutta. Eri kivien välisiä vetolujuuden tasoeroja voisi olla mahdollista tasoittaa asettamalla jokaiselle hiomakivelle eri freeness-tavoite. Galileo C-pinnan kivenalusmassan vetolujuustason kasvattamiseksi kyseisen hiomakiven kivenalusmassan freenessin tulisi olla n. 20–40 ml

matalammalla tasolla, kuin keraamisella kivellä ja Galileo D-pinnalla. Repäisyindeksi hiomakoneen ominaisenergiankulutuksen funktiona on esitetty kuvassa 60.



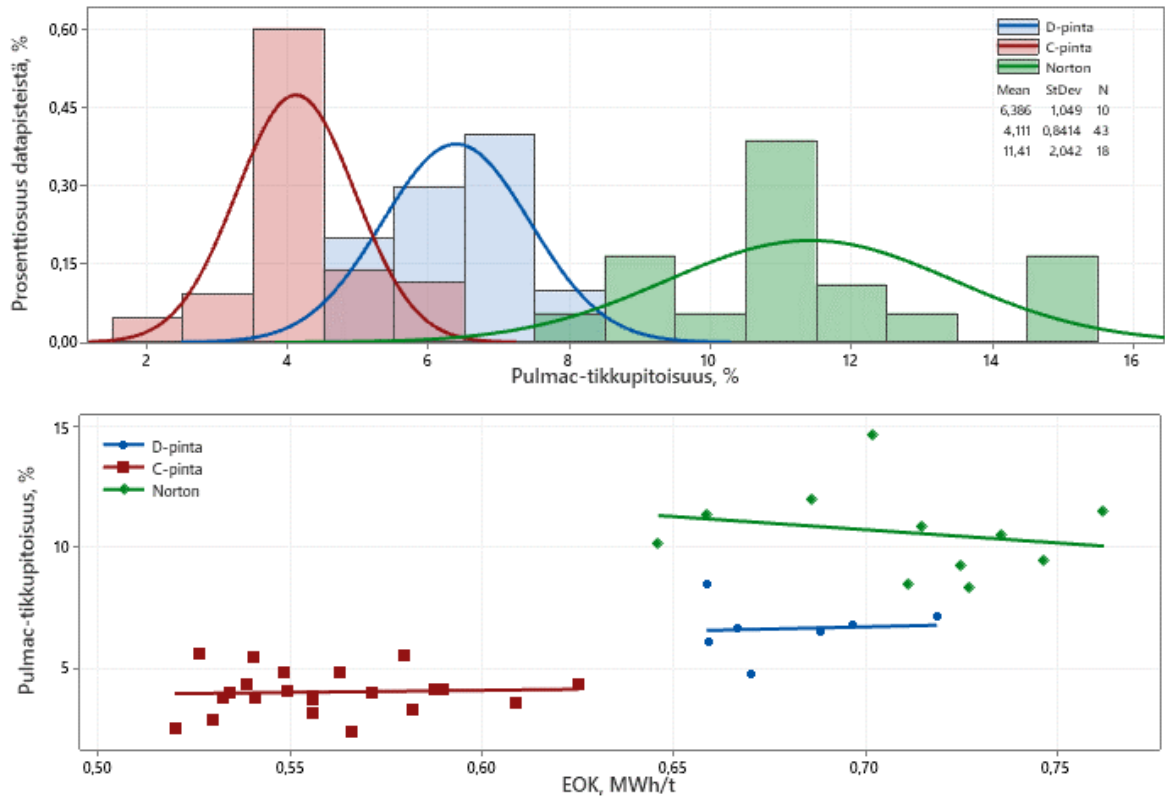
Kuva 60. Kivenalusmassoista valmistettujen laboratorioarkkien repäisyindeksin histogrammi, sekä repäisyindeksi hiomakoneen ominaisenergiankulutuksen funktiona.

Hiomakivien repäisyindeksin eroavaisuudet ovat samankaltaisia vetoindeksin kanssa (Kuva 60). Nortonin keraamisen kiven repäisyindeksin hajonta on suurinta ja Galileo-hiomakivien välillä on selkeä tasoero. Galileo D-pinnan ja Nortonin keraamisen hiomakiven vetoindeksit ovat keskimäärin samalla tasolla, kun Galileo C-pinnan repäisyindeksi puolestaan on matalammalla tasolla. Repäisyindeksi ei kuitenkaan korreloi yhtä selkeästi yksittäisten kuitujen ominaisuuksien kanssa kuin vetoindeksi. Pidempi kuitupituus parantaa kuitenkin vetoindeksin tavoin repäisyindeksiä. Kivenalusmassan keskimääräisen kuitupituuden kehittymistä tarkastellaan kuvassa 61.



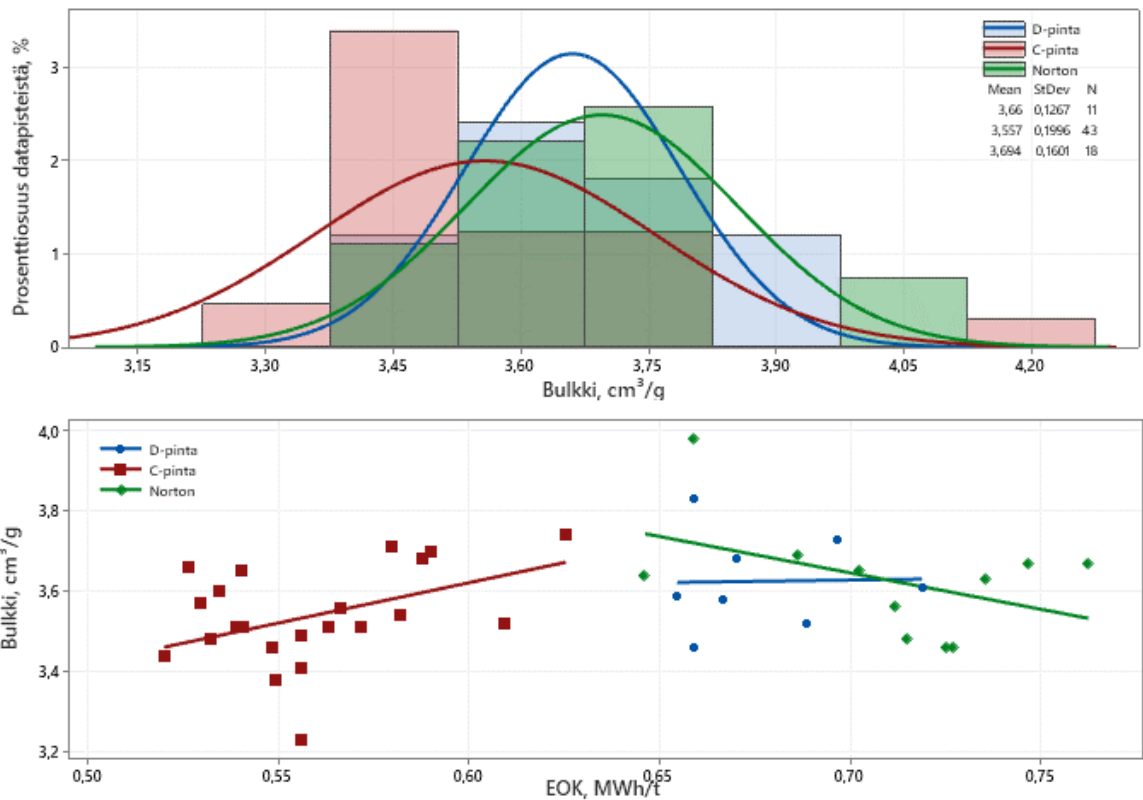
Kuva 61. Kivenalusmassojen keskikuidunpituuden histogrammi sekä keskikuidunpituus hiomakoneen ominaisenergiankulutuksen funktiona.

Galileo C-pinnan kivenalusmassan keskikuidunpituus on selkeästi lyhyempi, kuin Galileo D-pinnalla tai keraamisella hiomakivellä (Kuva 61). Galileo D-pinnan ja Nortonin keraamisen hiomakiven kivenalusmassan keskikuidunpituudet ovat samalla tasolla, n. 0,95 mm, kun Galileo C-pinnalla keskikuidunpituuden keskiarvo on 0,81 mm. Keskikuidunpituus kasvaa ominaisenergiankulutuksen kasvaessa. Kivenalusmassojen tikkupitoisuus freneksen funktiona on esitetty kuvassa 62.



Kuva 62. Kivenalusmassojen pulmac-tikkupitoisuuden histogrammi sekä keskikuidunpituus freeneksen funktiona.

Nortonin keraamisen hiomakiven kivenalusmassan tikkupitoisuus on selkeästi korkeammalla tasolla, kuin Galileo-kivillä (Kuva 62). Myös tikkupitoisuuden hajonta on suurempaa keraamisella kivellä ja CSF-luvun kasvaessa kivenalusmassan tikkupitoisuus kasvaa. Galileo-kivillä tikkupitoisuus ei kasva kuitenkaan yhtä voimakkaasti freeneksen kasvaessa, kuin keraamisella hiomakivellä. Kivenalusmassan bulkki hiomakoneen ominaisenergiankulutuksen funktiona on esitetty kuvassa 63.

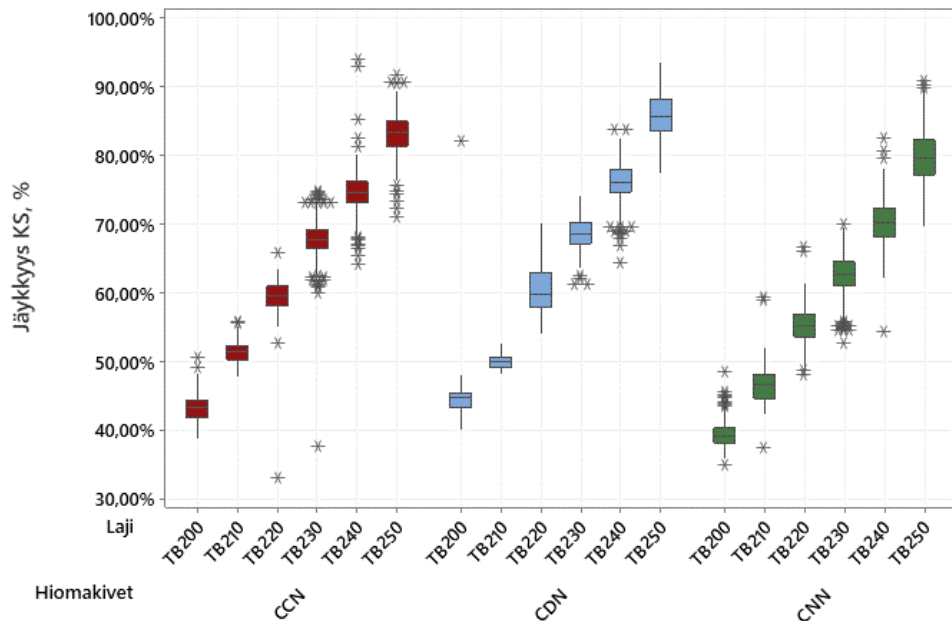


Kuva 63. Kivenalusmassojen bulkin histogrammi sekä bulkki hiomakoneen ominaisenergiakulutuksen funktiona.

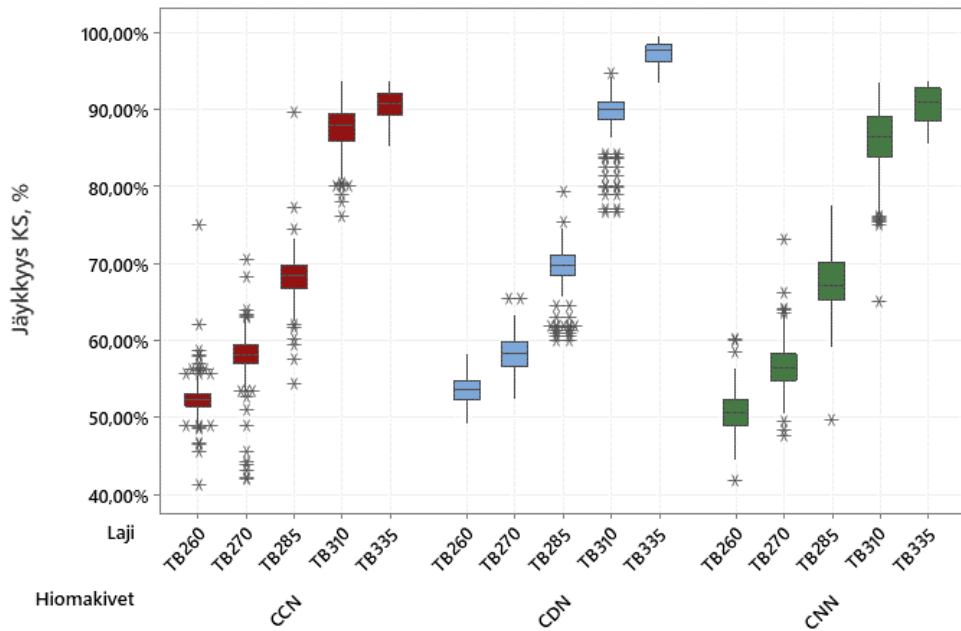
Bulkki on keraamisella ja Galileo D-hiomakivellä samalla tasolla ja Galileo C-pinnalla matalammalla tasolla (Kuva 63). Bulkin kehitys hiomakoneen ominaisenergiakulutuksen funktiona ei ole yhdensuuntainen kaikilla hiomakoneilla. Galileo C-pinnan kivenalusmassan bulkkitaso on matalammalla tasolla, kuin D-pinnalla ja keraamisella hiomakivellä.

13 HIOMAKIVEN PINNAN VAIKUTUS TAIVEKARTONGIN LAATUUN

Inkeröisten kartonkitehtaalla on havaittu muutoksia taivekartongin laatuominaisuuksissa hiomakivimuutoksien seurauksena. Kartongin laatumuutoksia eri hiomakivikombinaatioilla on tarkasteltu Tambrite-lajin kaikilla neliömassoilla. Neliömassan kasvaessa myös taivekartongin runkokerroksen osuus kartongissa kasvaa, jolloin hiokkeen aiheuttamien laatumuutosten havaitseminen on helpompaa. Data on kerätty aikaväliltä 7.4.2020-2.7.2021. Koska hiomakivikombinaatiota CCN on ajettu pääasiassa vain jäisen puun aikana (Taulukko IX), joidenkin laatuominaisuuksien hajonta on suurta ja laatuominaisuudet voivat olla kyseisellä kivikombinaatiolla matalammalla tasolla kuin todellisuudessa. Kartongin konesuunnan suhteellista taivutusjäykkyyttä eri hiomakivikombinaatioilla on tarkasteltu kuvissa 64.

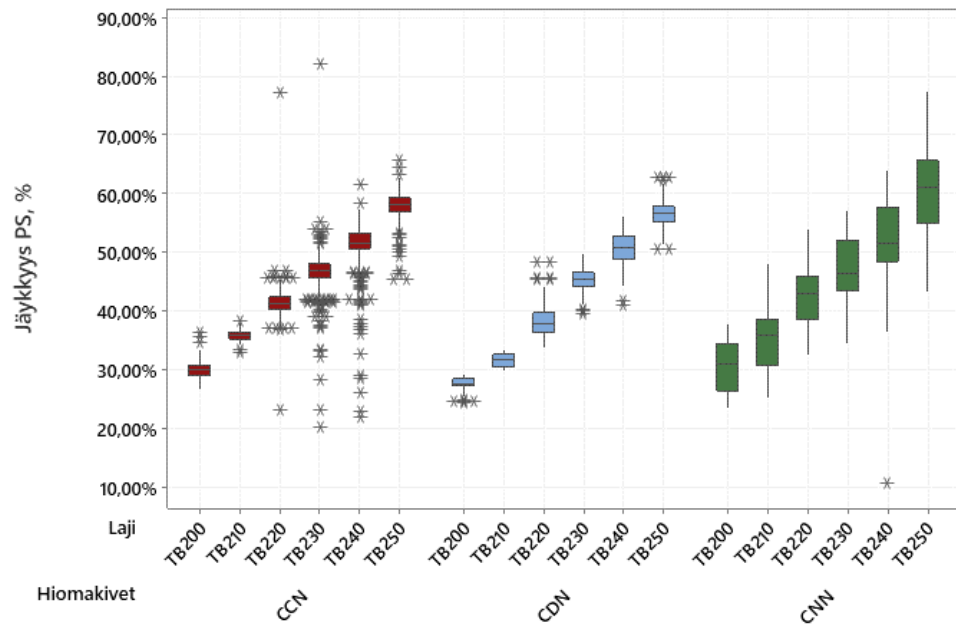


Kuva 64. Kartongin L&W Autolinella mitattu konesuunnan suhteellinen taivutusjäykkyys boxplot-kuvaajana Tambrite-lajin neliömassoilla 200–250 g/m². Hiomakivikombinaatioiden lyhennykset kuvassa: Galileo C-pinta (C), Galileo D-pinta (D) ja Norton (N).

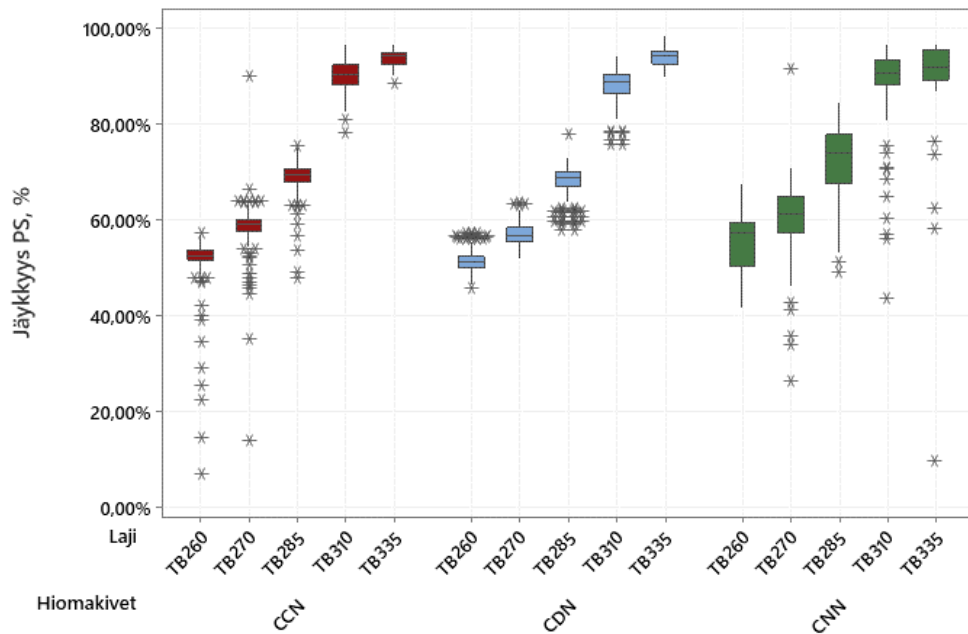


Kuva 65. Kartongin L&W Autolinella mitattu konesuunnan suhteellinen taivutusjäykkyys boxplot-kuvaajana Tambrite-lajin neliömassoilla 260–335 g/m². Hiomakivikombinaatioiden lyhennykset kuvassa: Galileo C-pinta (C), Galileo D-pinta (D) ja Norton (N).

Kartongin konesuunnan suhteellisessa taivutusjäykkyudessa on havaittavissa tasoeroja eri hiomakivikombinaatioilla (Kuva 64 ja Kuva 65). Kuvaajista nähdään, kuinka kartongin neliömassan kasvaessa kasvaa myös kartongin taivutusjäykkyys. Kartongin paksuus kasvaa neliömassan kasvaessa. Konesuunnan taivutusjäykkyys on kaikilla eri neliömassoilla parempi kivikombinaatiolla CDN eli Galileo D-pinnan asennuksen jälkeen. D-pinnan asennuksen jälkeen hiokkeen keskimääräinen kuitupituus, sekä kuitumaisten hienoaineiden osuus kasvoivat, joka paransi myös kartongin taivutusjäykkyyttä. Kartongin poikkisuunnan suhteellista taivutusjäykkyyttä eri hiomakivikombinaatioilla on tarkasteltu kuvissa 66 ja 67.

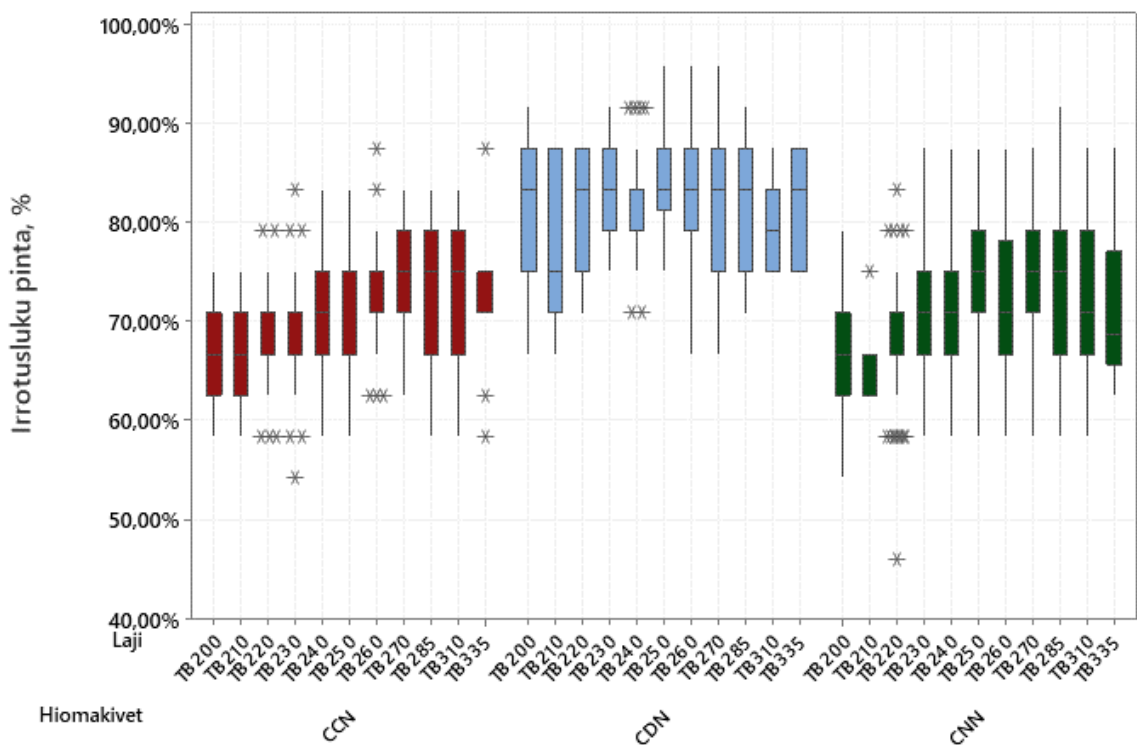


Kuva 66. Kartongin L&W Autolinella mitattu poikkisuunnan suhteellinen taivutusjäykkyys boxplot-kuvaajana Tambrite-lajin neliömassoilla 200–250 g/m². Hiomakivikombinaatioiden lyhennykset kuvassa: Galileo C-pinta (C), Galileo D-pinta (D) ja Norton (N).



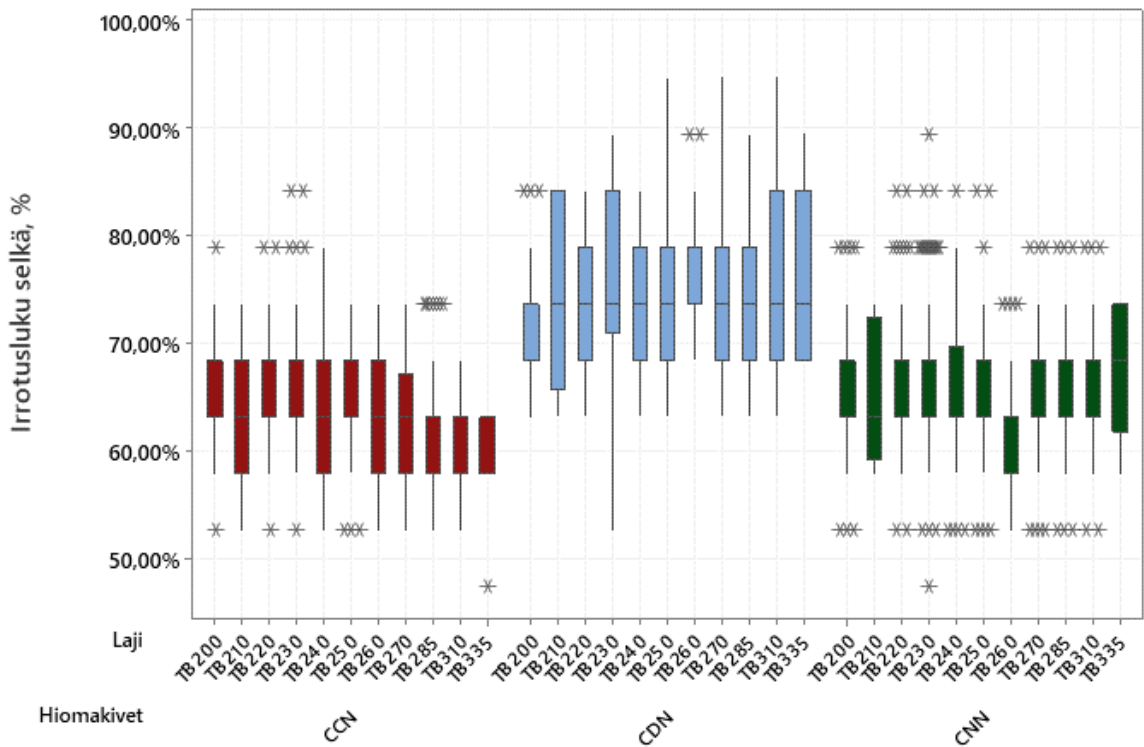
Kuva 67. Kartongin L&W Autolinella mitattu poikkisuunnan suhteellinen taivutusjäykkyys boxplot-kuvaajana Tambrite-lajin neliömassoilla 260–335 g/m². Hiomakivikombinaatioiden lyhennykset kuvassa: Galileo C-pinta (C), Galileo D-pinta (D) ja Norton (N).

Kartongin poikkisuunnan suhteellinen taivutusjäykkyys on korkeimmalla tasolla CNN-kivikombinaatiolla (Kuva 66 ja Kuva 67). CDN-kivikombinaation tuottamien pidempien kuitujen pitäisi nostaa myös poikkisuunnan jäykkyyttä, mutta CCN- ja CDN-kombinaatioiden välillä ei vaikuta olevan merkittävää eroavaisuutta. Tämä voi aiheutua kartonkikoneen säädöistä, sillä esimerkiksi märkäpuristus ja päällystys vaikuttavat myös poikkisuunnan taivutusjäykkyyteen. Kartongin pinnan suhteellista irrotuslukua eri hiomakivikombinaatioilla on tarkasteltu kuvassa 68.



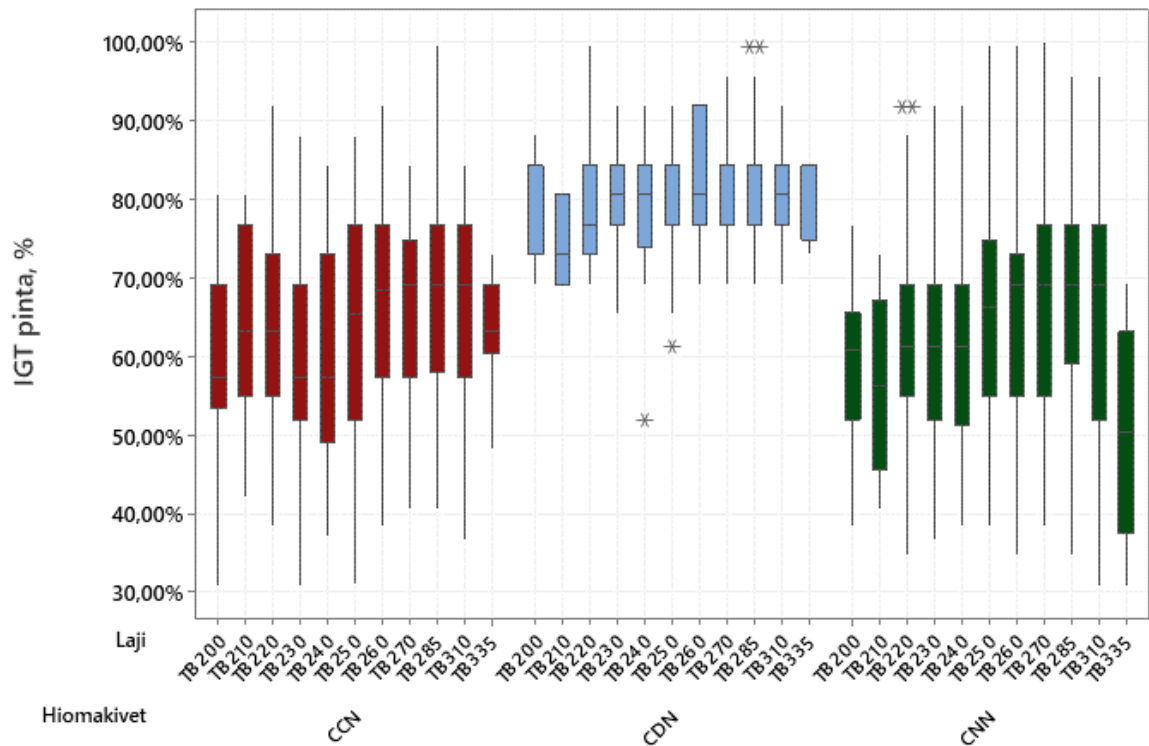
Kuva 68. Kartongin pinnan suhteellinen irrotusluku boxplot-kuvaajana kaikilla Tambrite neliömassoilla. Hiomakivikombinaatioiden lyhennykset kuvassa: Galileo C-pinta (C), Galileo D-pinta (D) ja Norton (N).

Taivekartongin pinnan irrotuslukutaso on noussut D-pinnan asennuksen jälkeen (hiomakivikombinaatio CDN) (Kuva 68). CCN-hiomakivikombinaatiolla on saavutettu selkeästi vähiten erityisen korkeita tuloksia verrattuna muihin kivikombinaatioihin. Lyhyempi keskikuidunpituus ja kuitumaisten hienoaineiden matala osuus Galileo C-pinnan vaikuttavat myös irrotuslukutasoon. Kartongin selän suhteellista irrotuslukua eri hiomakivikombinaatioilla on tarkasteltu kuvassa 69.



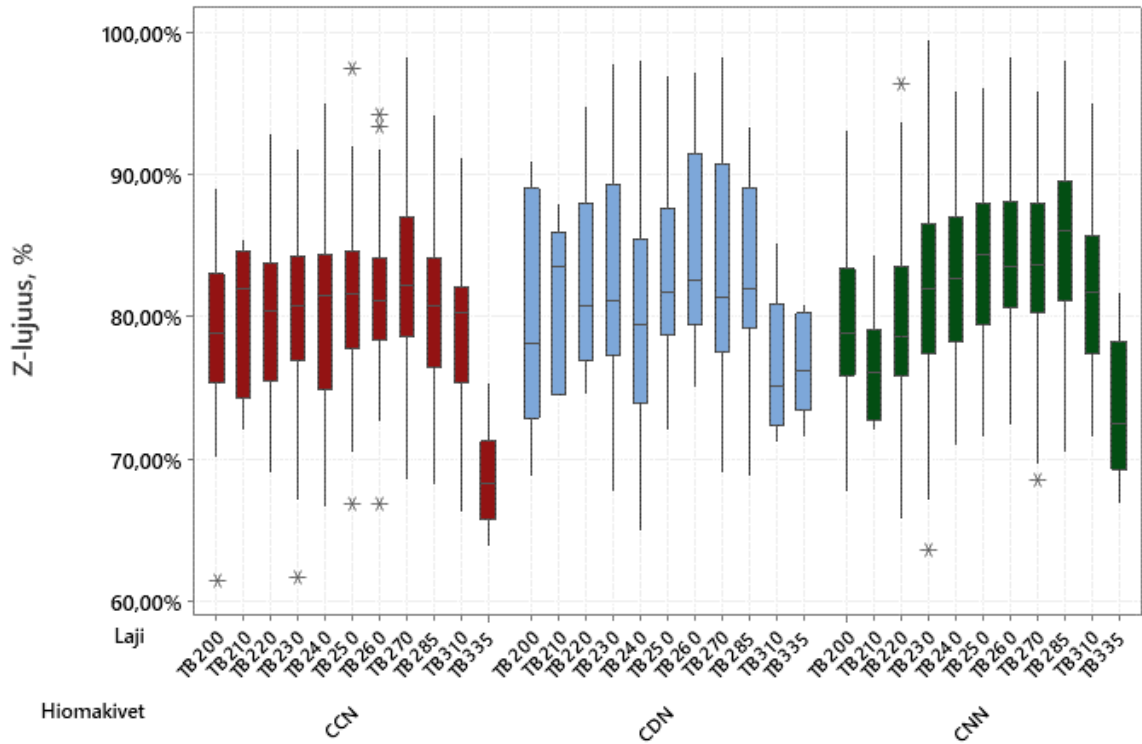
Kuva 69. Kartongin selän suhteellinen irrotusluku boxplot-kuvaajana kaikilla Tambrite neliömassoilla. Hiomakivikombinaatioiden lyhennykset kuvassa: Galileo C-pinta (C), Galileo D-pinta (D) ja Norton (N).

Kartongin selkäkerroksen suhteellinen irrotusluku on pintakerroksen irrotusluvun tavoin korkeimmalla tasolla CDN-hiomakivikombinaatiolla (Kuva 69). Hiokkeen ominaisuudet kehittävät pinnan irrotusluvun tavoin myös selän irrotuslukua. Kartongin pinnan suhteellista IGT-palstautumislujuutta eri hiomakivikombinaatioilla on tarkasteltu kuvassa 70.



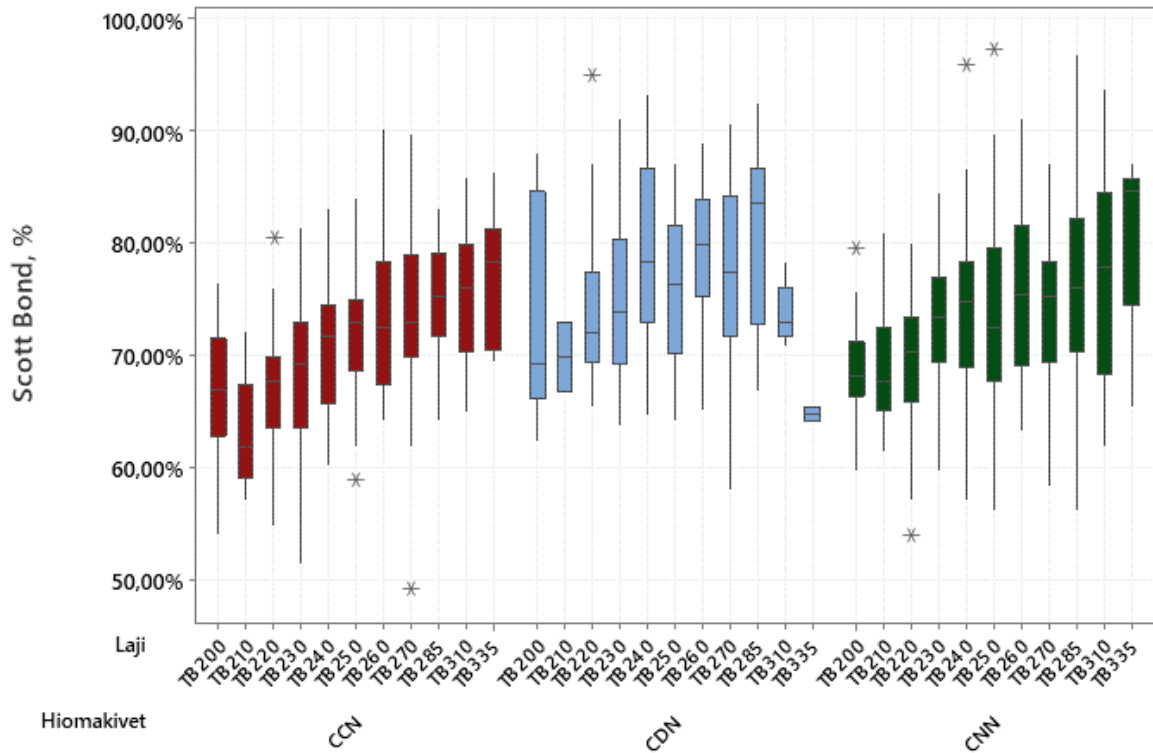
Kuva 70. Kartongin suhteellinen IGT-pintalujuus boxplot-kuvaajana kaikilla Tambrite neliömassoilla. Hiomakivikombinaatioiden lyhennykset kuvassa: Galileo C-pinta (C), Galileo D-pinta (D) ja Norton (N).

Suhteellisessa IGT-pintalujuudessa on saavutettu keskimäärin korkeampia arvoja CDN-kivikombinaatiolla kuin muilla kivikombinaatioilla (Kuva 70). IGT-pintalujuus kuvaa erityisesti kuitujen sitoutuvuutta. Koska mittaus suoritetaan kartongin pintapuolelta, se ei kuvaa suoraan pelkän hiokkeen lujuutta. Kartongin z-suuntaista palstautumislujuutta eri hiomakivikombinaatioilla on tarkasteltu kuvassa 71.



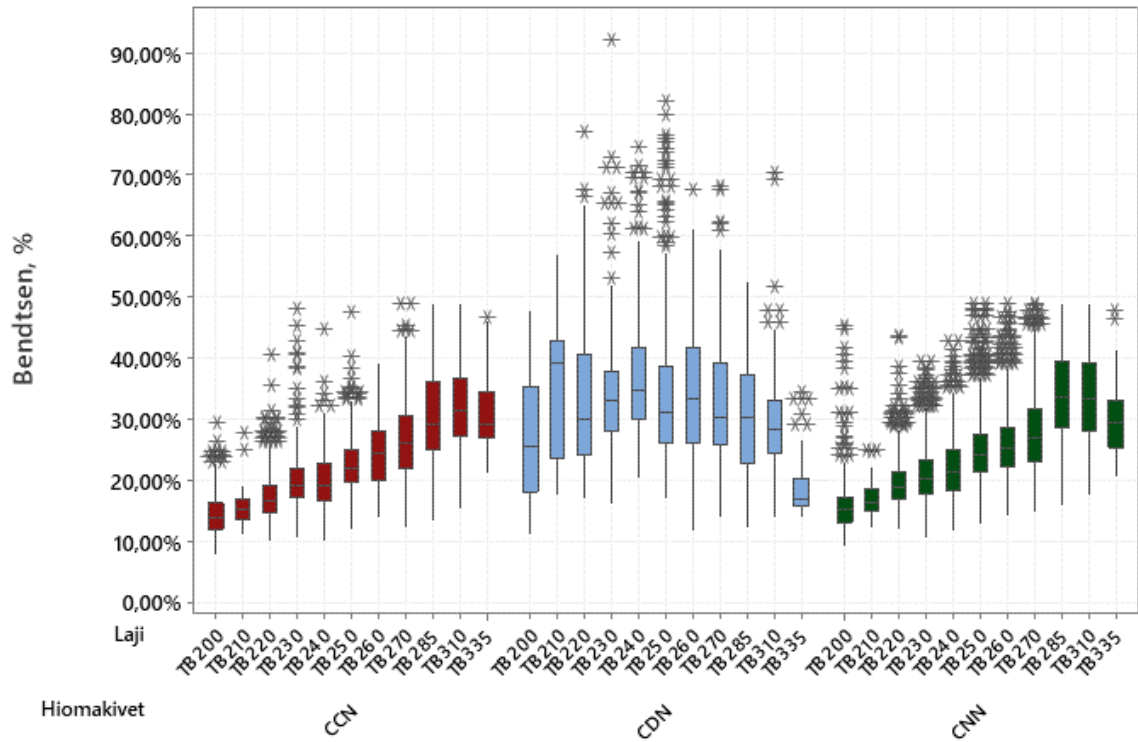
Kuva 71. Kartongin suhteellinen z-lujuus boxplot-kuvaajana kaikilla Tambrite neliömassoilla. Hiomakivikombinaatioiden lyhennykset kuvassa: Galileo C-pinta (C), Galileo D-pinta (D) ja Norton (N).

Kartongin suhteellinen z-lujuustaso on ollut irrotuslukutulosten tavoin korkeimmalla tasolla CDN-kivikombinaatiolla (Kuva 71). Tambrite 335 g/m² z-lujuustulokset ovat selkeästi matalammalla tasolla, kuin muilla neliömassoilla. Kartongin Scott Bond -palstautumislujuutta eri hiomakivikombinaatioilla on tarkasteltu kuvassa 72.



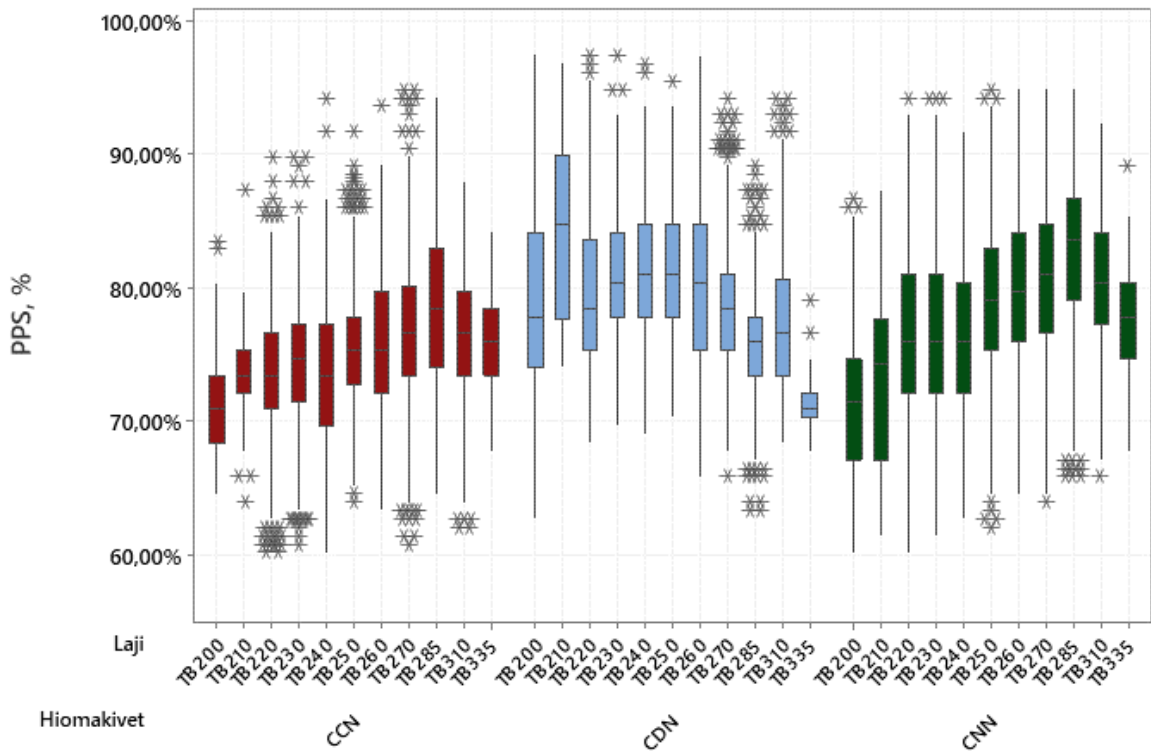
Kuva 72. Kartongin suhteellinen Scott Bond -palstautumislujuus boxplot-kuvaajana kaikilla Tambrite neliömassoilla. Hiomakivikombinaatioiden lyhennykset kuvassa: Galileo C-pinta (C), Galileo D-pinta (D) ja Norton (N).

Kartongin suhteellinen Scott Bond -palstautumislujuus mukailee kartongin muita lujuusominaisuuksia ja parhaat tulokset on tuottanut CDN-hiomakivikombinaatio (Kuva 72). Scott Bond -palstautumislujuus on irrotusluvun ja z-lujuuden tavoin riippuvainen hiokkeen kuitupituudesta ja kuitujen sitoutumisominaisuuksista. Kartongin pinnan Bendtsen-sileyttä eri hiomakivikombinaatioilla on tarkasteltu kuvassa 73.



Kuva 73. Kartongin suhteellinen Bendtsen boxplot-kuvaajana kaikilla Tambrite neliömassoilla. Hiomakivikombinaatioiden D lyhennykset kuvassa: Galileo C-pinta (C), Galileo D-pinta (D) ja Norton (N).

Bendtsen-sileyys kuvaa kartongin makrosileyttä. Suhteellinen Bendtsen-sileyys vaikuttaisi heikentyneen keskimäärin kaikilla Tambrite neliömassoilla CDN-kivikombinaatiolla (Kuva 73). Pidemmät kuidut heikentävät kartongin formaatiota ja samalla myös sileyttä. D-pinnan asennuksen jälkeen pidentynyt hiokkeen keskikuidunpituus on vaikuttanut mahdollisesti kartongin sileyssominaisuuksiin heikentävästi. Kartongin pinnan PPS-sileyttä eri hiomakivikombinaatioilla on tarkasteltu kuvassa 74.



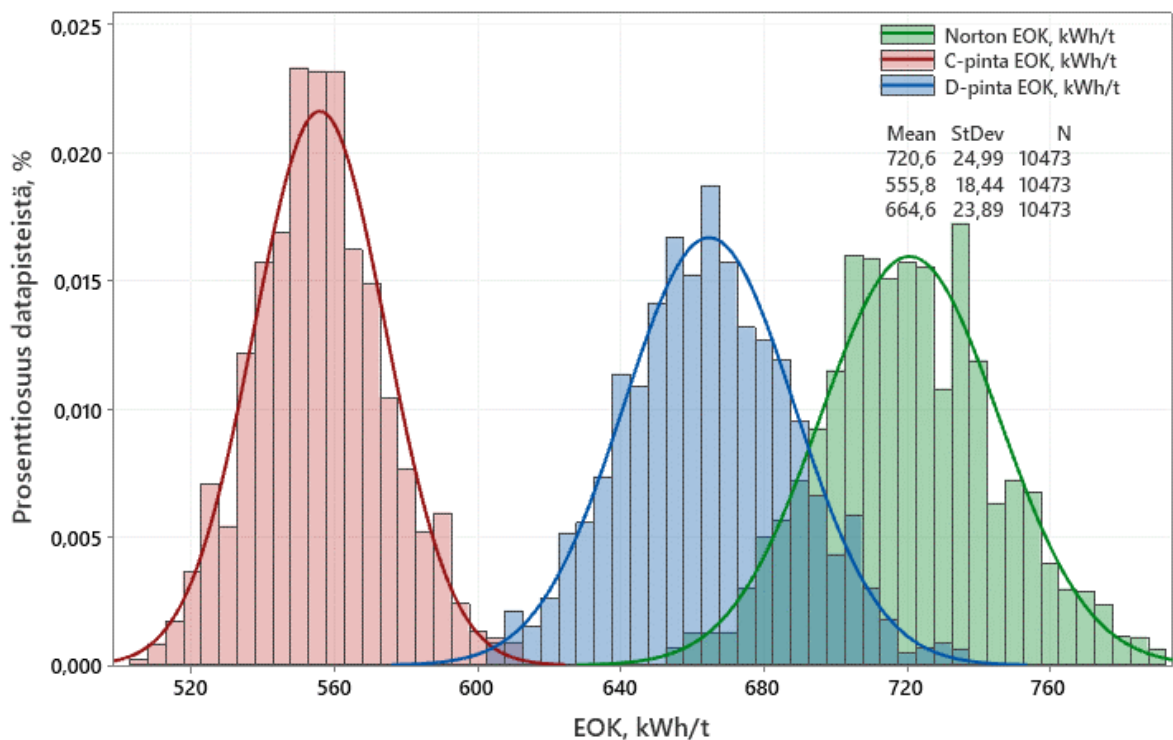
Kuva 74. Kartongin suhteellinen PPS boxplot-kuvaajana kaikilla Tambrite neliömassoilla. Hiomakivikombinaatioiden lyhennykset kuvassa: Galileo C-pinta (C), Galileo D-pinta (D) ja Norton (N).

PPS-sileyys kuvaa kartongin mikrosileyttä. Bendtsen-sileyden tavoin myös suhteellinen PPS-sileyys on heikentynyt D-pinnan asennuksen jälkeen (Kuva 74). Taso ei poikkea merkittävästi kivikombinaatiosta CNN. Kivikombinaatiolla CCN, joka tuottaa lyhimmän keskimääräisen kuitupituuden hiokkeelle, PPS-sileyys on ollut parhaalla tasolla.

Lujuusominaisuuksien positiivinen kehitys Galileo D-pinnan asennuksen jälkeen johtuu todennäköisimmin hiokkeen kasvaneesta kuitupituudesta, sekä kuitumaisten hienoaineiden osuuden kasvusta. Kokonaisuudessaan voidaan todeta, että toisen Galileo C-pinnan korvaaminen Galileo D-pinnalla on kehittänyt kartongin lujuusominaisuuksia positiiviseen suuntaan.

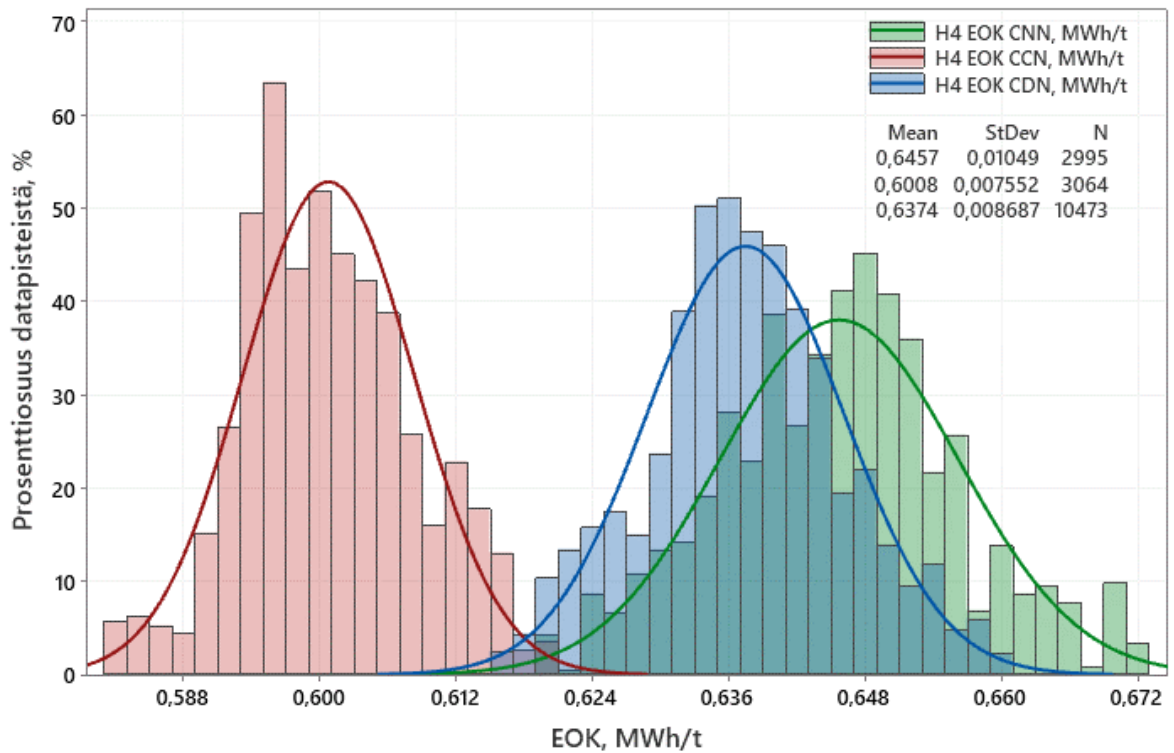
14 HIOMAKONEEN AJOALUE

Hiomakoneen ajoaluetta voidaan tarkastella hiomakoneen ominaisenergiakulutuksen avulla. Kuten kivenalusmassojen tarkastelusta havaittiin, hiomakoneen EOK vaikuttaa merkittävästi hiokkeen laatuominaisuuksiin. Käytössä olevien erilaisten hiomakivien EOK-tasot ovat esitetty kuvassa 75.



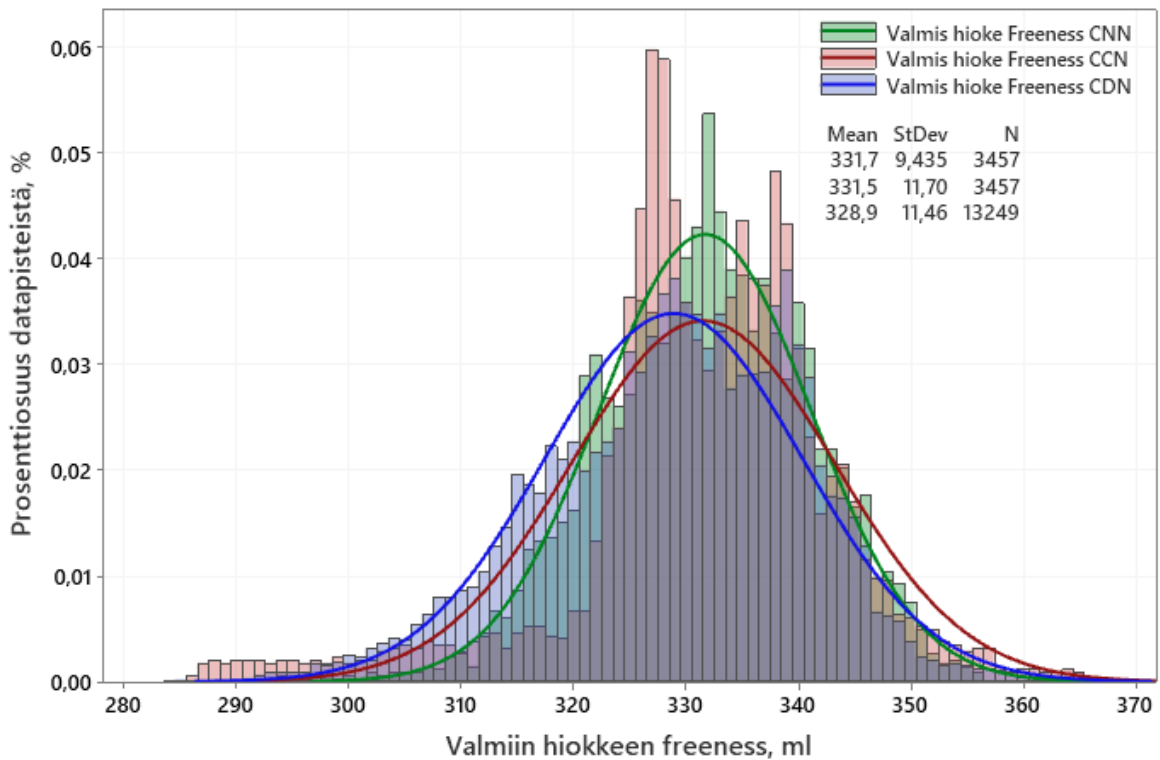
Kuva 75. Nortonin ja Galileo C- ja D-pintojen EOK:t histogrammeina aikaväliltä 8.5.-23.6.2021.

Jokaisella erilaisella hiomakivellä on eri EOK-taso (Kuva 75). Histogrammeista voidaan havaita Galileo C-pinnan tuottavan pienimmän EOK-hajonnan, sekä matalimman EOK-tason. Norton sekä Galileo D-pinta ovat selkeästi korkeammalla EOK-tasolla.



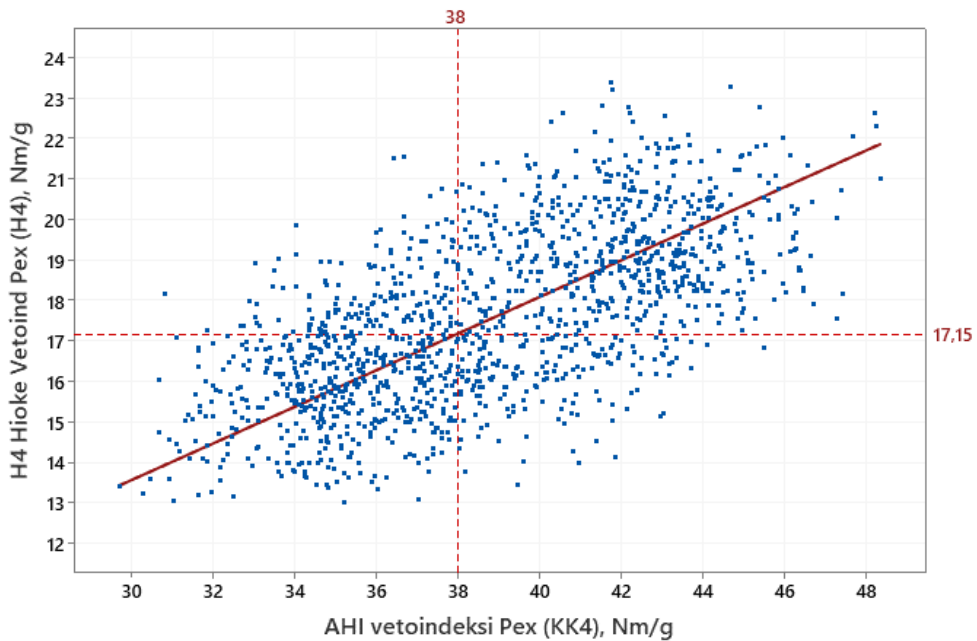
Kuva 76. Hiomakoneiden yhteenlaskettu EOK eri kivikombinaatioilla. Hiomakivityyppien lyhennykset kuvassa: Galileo C-pinta (C), Galileo D-pinta (D) ja Norton (N).

Hiomakivikombinaatiolla CCN on saavutettu selkeästi matalin kokonaisominaisenergiankulutus (Kuva 76). Galileo-hiontatekniikan yksi eduista onkin pienempi energiankulutus. Koska Galileo D-pinnan EOK-taso on Nortonin kanssa lähes samalla tasolla, EOK on kivikombinaatioilla CNN ja CDN lähes samalla tasolla. Hionnan EOK vaikuttaa hiokkeen frenekseen, jota on tarkasteltu kuvassa 77.



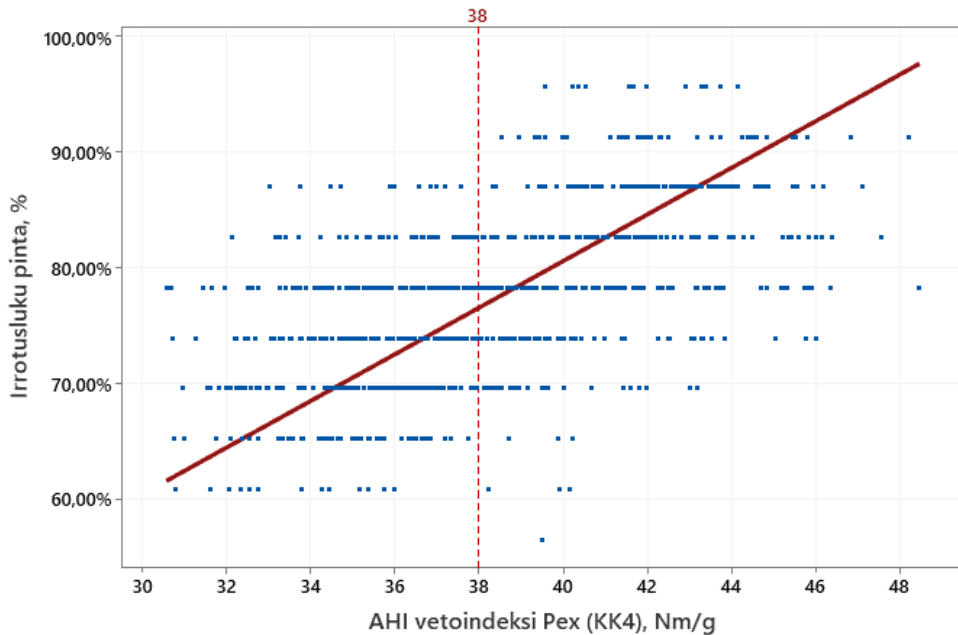
Kuva 77. Valmiin hiokkeen freeness kaikilla kolmella eri hiomakivikombinaatiolla. Hiomakivityyppien lyhennykset kuvassa: Galileo C-pinta (C), Galileo D-pinta (D) ja Norton (N). Data on kerätty sulan puun ajalta aikaväleiltä 8.5.-23.6.2021 (CDN); 9.4.-21.4.2021 (CCN) ja 18.4.-30.4.2020 (CNN).

Hiomakivimuutoksista huolimatta valmiin hiokkeen freenessin vaihtelu on pysynyt keskimäärin välillä 300–360 ml tarkastelujakson aikana kaikilla eri hiomakivikombinaatioilla (Kuva 77). Valmiin hiokkeen freenessin tavoite on sulan puun aikana 330 ± 30 ml. Hiomon PulpExpert -laitteen mittaama vetoindeksi kartonkikoneen vastaavan laitteen vetoindeksin funktiona on esitetty kuvassa 78.



Kuva 78. Hiomon PulpExpertin mittaama vetolujuus kartonkikoneen PulpExpertin vetolujuuden funktiona. Kuvassa merkittynä kartonkitehtaan annosteluhiokkeen vetolujuutta 38 Nm/g vastaava vetolujuus hiomon PulpExpert-laitteella. Data on kerätty aikaväliltä 7.12.2020 – 5.8.2021.

Hiomon ja kartonkikoneen PulpExpert -laitteiden mitaamat vetolujuudet korreloivat keskenään, mutta tasoero laitteiden välillä on merkittävä (Kuva 78). Vetoindeksille on asetettu hiomolla 15 Nm/g alaraja. Hiomon PulpExpert-laitteen mittaama 15 Nm/g vetoindeksi vastaa kartonkitehtaan PulpExpert-laitteen mitaamana n. 33 Nm/g vetoindeksiä. Kartonkikoneella on kuitenkin havaittu, että alle 38 Nm/g vetoindeksi aiheuttaa haasteista halutun kartongin laadun saavuttamisessa. Piirretyn korrelaation perusteella hiomolle tulisi asettaa hiokkeen vetoindeksin alarajaksi 17 Nm/g, jotta kartonkitehtaalla saavutettaisiin n. 38 Nm/g vetoindeksi annosteluhiokkeelle. Kuvassa 79 on esitetty kartongin pinnan irrotusluku annosteluhiokkeen vetolujuuden funktiona, sekä referenssiiviiva, kun hiokkeen vetolujuus on 38 Nm/g.

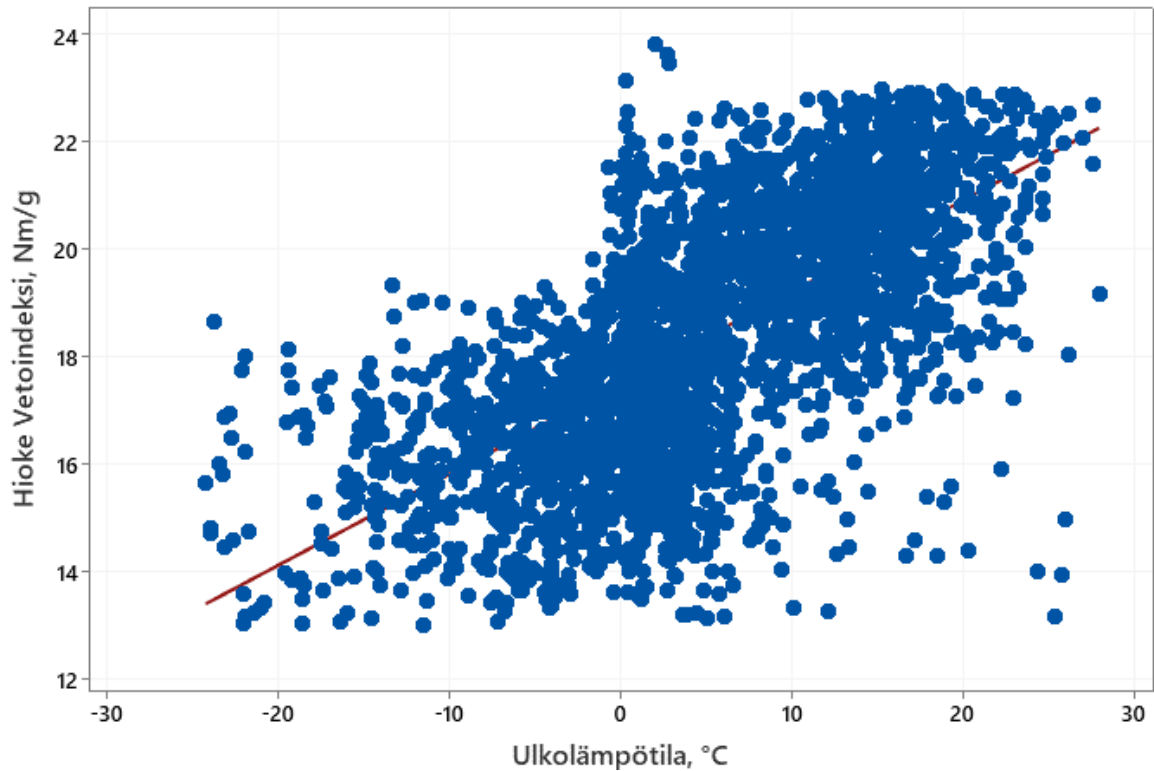


Kuva 79. Kartongin pinnan suhteellinen irrotusluku prosentteina annosteluhiokkeen vetoindeksin funktiona. Haluttu pinnan irrotuslukutaso 70,00% saavutetaan todennäköisesti, kun annosteluhiokkeen vetolujuus on vähintään 38 Nm/g.

Annosteluhiokkeen toivottu vetolujuustason alaraja 38 Nm/g voidaan perustella irrotuslukutuloksilla. Hiokkeen vetolujuus korreloi kartongin irrotuslukutuloksien kanssa siten, että annosteluhiokkeen vetolujuuden ollessa vähintään 38 Nm/g, kartongin pinnan irrotusluku saavuttaa vähintään halutun tason (Kuva 79). Pinnan irrotusluvun laskiessa alle valitun tason, voidaan olettaa myös muiden kartongin lujuusominaisuuksien heikentyvän kriittisesti.

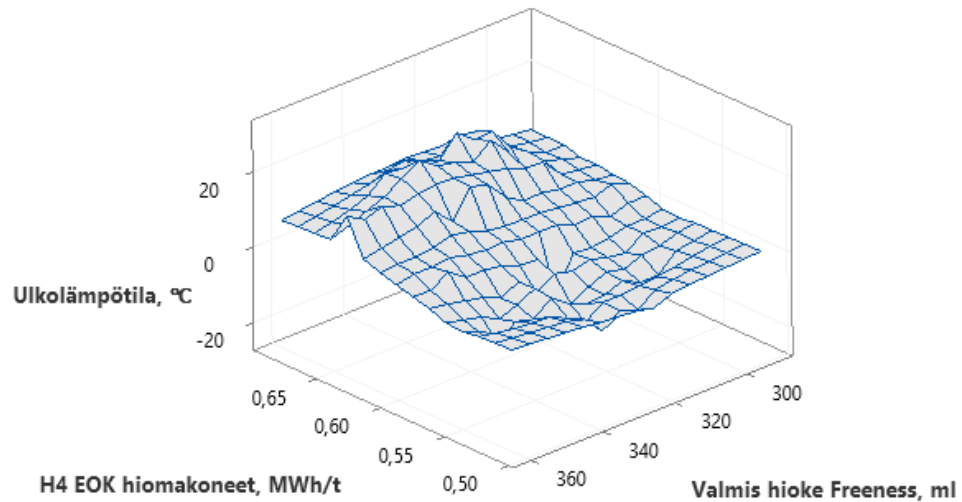
14.1 Vuodenaikojen aiheuttama vaihtelu hiokkeen ominaisuuksiin

Ulkoilman lämpötila vaikuttaa hiokkeen lujuusominaisuuksiin. Kuten teoriaosassa käsiteltiin, talvisin puu jäätyy ja kesäisin kuivuminen aiheuttaa muutoksia puun laatuun. Etenkin jäätyneen puun sulattaminen hiontaprosessissa on haastavaa, jonka takia talvisin hiokkeen lujuusominaisuudet laskevat. Hiokkeen vetoindeksi ulkoilman lämpötilan funktiona on esitetty kuvassa 80.



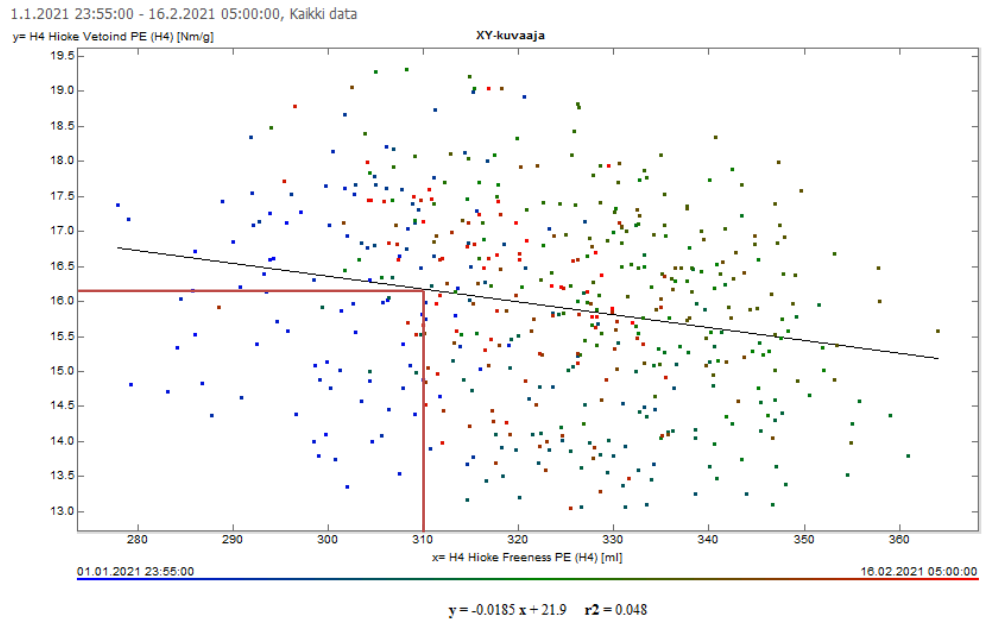
Kuva 80. Hiokkeen vetoindeksi ulkoilman lämpötilan funktiona aikavälillä 4.7.2020-1.5.2021.

Ulkoilman lämpötilan laskiessa hiokkeen vetoindeksi laskee lähes lineaarisesti (Kuva 80). Ulkolämpötilan ollessa pakkasella ja puun jäätyessä, vetoindeksitaso laskee merkittävästi ja saavutetut maksimivetolujuudet ovat n. 2 Nm/g alemmalla tasolla kuin ulkolämpötilan ollessa yli 0 °C. Lujuusominaisuuksia vertailtaessa onkin tärkeä vertailla erikseen talvikauden ja kesäkauden tuloksia. Yli 20 °C lämpötilassa vetoindeksi vaihtelee pääsääntöisesti välillä 19–23 Nm/g, kun taas -10 °C lämpötilassa vaihteluväli on tavallisesti 14–19 Nm/g.



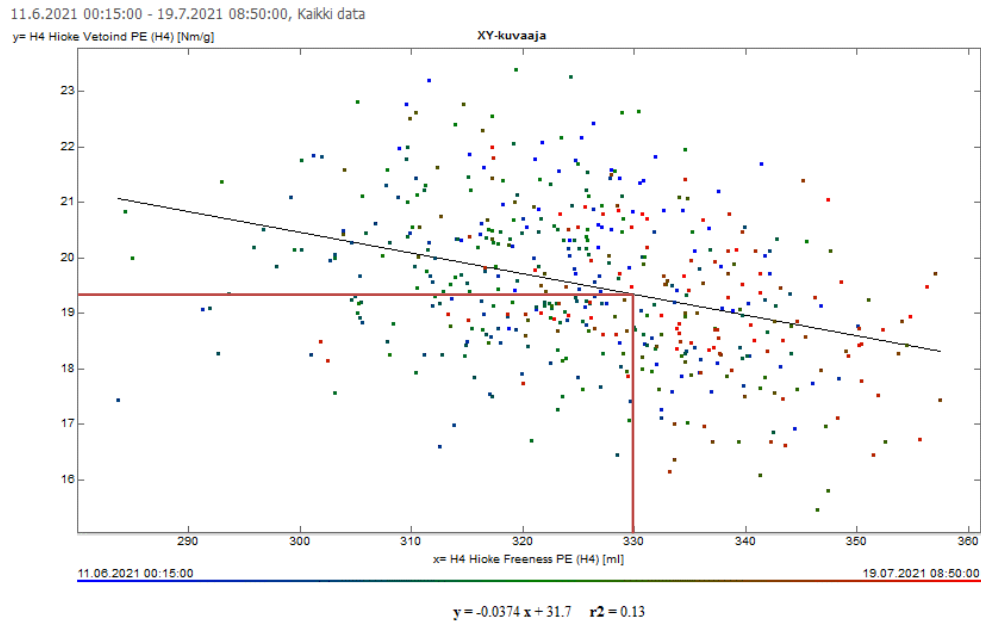
Kuva 81. Kolmiulotteinen havainnekuva ulkolämpötilan vaikutuksista valmiin hiokkeen freenekseen, sekä hiomakoneiden ominaisenergiankulutukseen. Data kuvaajaan on kerätty aikaväliltä 4.11.2020-30.4.2021, jolloin käytössä on ollut kaksi Galileo C-pintaa, sekä Nortonin keraaminen hiomakivi (CCN).

Ulkolämpötilan laskiessa, hiomakoneiden EOK laskee ja valmiin hiokkeen freeness kasvaa (Kuva 81). Kuten aiemmin on todettu, hiokkeen vetolujuus ja siten myös taivekartongin lujuusominaisuudet ovat riippuvaisia hiokkeen freeneksistä. Freenksen noustessa, hiokkeen lujuusominaisuudet laskevat. Hiokkeelle on asetettu eri laatutavoitteet freenekselle sulan ja jäisen puun ajoille, jotta puun jäätyminen aiheuttamia laatumuutoksia voidaan kompensoida. Kesäaikaan tavoite freenekselle on 330 ± 30 ml ja talviaikaan 310 ± 30 ml. Jäisen puun ajan freeness-tavoitetta on verrattu saavutettavaan vetolujuuteen kuvassa 82.



Kuva 82. Hiokkeen vetoindeksi freeness-luvun funktiona hiomon PulpExpertillä mitattuna jäisen puun aikana, kun freeness-tavoite on 310 ± 30 ml.

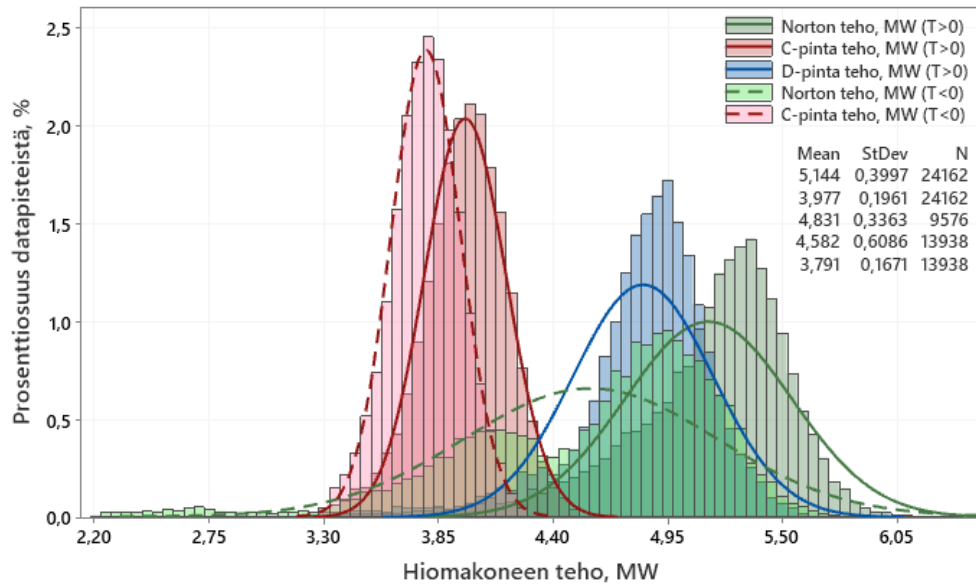
Talviaikaan freenessellä 310 ml saavutetaan keskimäärin noin 16 Nm/g vetoindeksi (Kuva 82). Hioke saavuttaa yli 15 Nm/g vetolujuuden myös silloin, kuin freenessen sallittu 30 ml vaihtelu otetaan huomioon. Freenessellä 340 ml hiokkeen vetoindeksi on keskimäärin 15,5 Nm/g. Sulan puun ajan freeness-tavoitetta verrataan saavutettavaan vetolujuuteen kuvassa 83.



Kuva 83. Hiokkeen vetoindeksi freeness-luvun funktiona hiomon PulpExpertillä mitattuna sulan puun aikana, kun freeness-tavoite on 330 ± 30 ml.

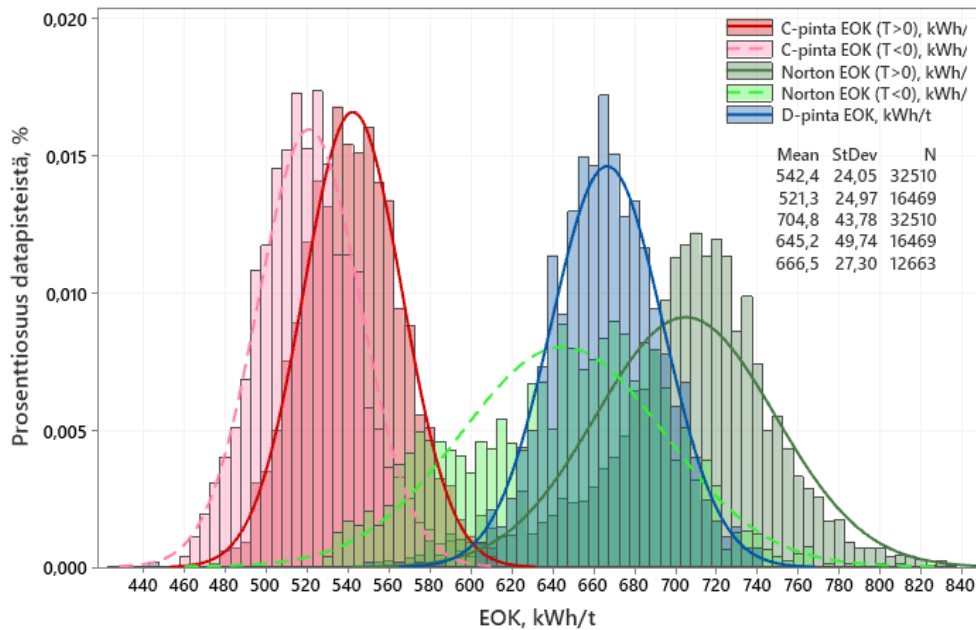
Kesäaikaan hiokkeen vetoindeksi on freeness-tavoitteen toteutuessa keskimäärin välillä 18,5–20,5 Nm/g (Kuva 83). Sulan puun aikana hioke saavuttaa laatutavoitteet yleisesti hyvin. Freeneksen nouseminen tai laskeminen asetetuille ääriarajoille aiheuttaa kuitenkin tyypillisesti ongelmia kartonkikoneella.

Jäisen puun aiheuttamia muutoksia voitaisiin hallita myös tasaamalla hiomakonekohtaiset EOK-vaihtelut vuodenaikojen välillä. Hiomakoeiden EOK-taso on riippuvainen tuotantopyynnistä. Kuva 81 osoittaa, että vakioimalla hiomakoneiden EOK ja teho, voitaisiin saavuttaa hiokkeelle samat ominaisuudet ympäri vuoden. Eri hiomakivien tehot sulan ja jäisen puun aikana ovat histogrammeina kuvassa 84.



Kuva 84. Hiomakoneiden 461 (C-pinta) ja 462 (Norton) tehon otto histogrammeina, kun ulkolämpötila (T) on yli 0 °C tai alle 0 °C. Lisäksi kuvassa on histogrammi hiomakoneen 452 (D-pinta) ominaisenergiankulutuksesta sulan puun aikana 4.11.2020-29.6.2021 väliseltä ajalta.

Hiomakoneiden tehojen voidaan havaita laskevan, kun puu jäätyy (Kuva 84). Nortonin keraamisella hiomakivellä tehon lasku on noin 0,53 MW ja Galileo C-pinnalla 0,186 MW. Eri hiomakivien EOK-tasot sulan ja jäisen puun aikana ovat histogrammeina kuvassa 85.



Kuva 85. Hiomakoneiden 461 (C-pinta) ja 462 (Norton) ominaisenergiankulutukset histogrammeina, kun ulkolämpötila (T) on yli 0 °C tai alle 0 °C. Lisäksi kuvassa on histogrammi hiomakoneen 452 (D-pinta) ominaisenergiankulutuksesta sulan puun aikana 4.11.2020-29.6.2021 väliseltä ajalta.

Hiomakoneiden ominaisenergiankulutuksen havaitaan laskevan selkeästi, kun ulkolämpötila on alle 0 °C (Kuva 85). Histogrammeista nähdään, että Galileo C-pinnalla EOK-lasku on n. 21 kWh/t ja Nortonilla n. 60 kWh/t. Nortonin suurempi vaihtelu aiheutuu todennäköisesti kiven kulumisesta ja käsittelemisestä aiheutuneista tekijöistä. Keraamista hiomakiveä on tylsytetty useita kertoja talven 2020–2021 aikana.

Galileo D-pinta otettiin käyttöön toukokuussa 2021. D-pinnalla ero sulan ja jäätyneen puun välillä voi olla pienempi, koska pinnan gritit vaivaavat kuituja irti havaintojen perusteella enemmän kuin muut käytössä olevat pinnat ja voivat lämmittää puun pintaa enemmän kuin Galileo C-pinta. EOK-muutos on kuitenkin todennäköisesti n. 20 kWh/t, kuten Galileo C-pinnalla. Arvio perustuu pinnan pysymiseen vakiona vuodenaikojen välillä. Taulukossa X on esitetty laskennalliset EOK-arvot kaikille hiomakoneille, kun tuotantopyynti on 3,8 t/h ja 4,0 t/h.

Taulukko X Hiomakoneen uunikohtaisen tuotantopyynnin muutoksen vaikutus hiomakoneen ominaisenergiankulutukseen eri hiomakivillä. Taulukkoon on määritelty laskennalliset EOK-arvot hiomakoneille tuotantopyynneillä 3,8 ja 4,0 t/h. Lisäksi taulukossa on laskettuna EOK-erotus, kun tuotantopyynti muuttuu hiomakoneella 0,2 t/h. Laskennassa on käytetty hyväksi tuloksia tuotantotehokokeesta (kappale 17.1) ja Valmetin kehittämää mallia hiomakoneiden EOK:n laskemiseksi.

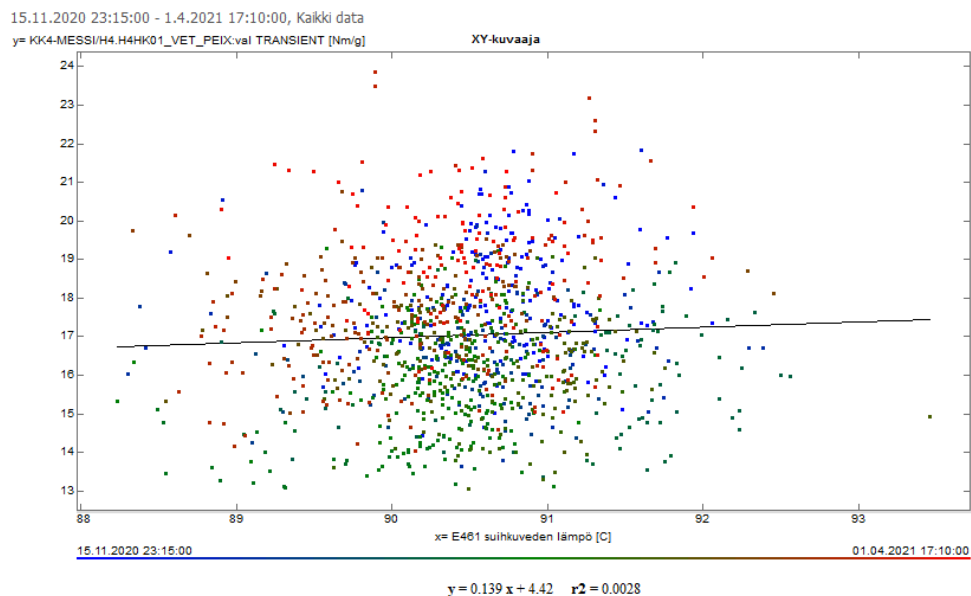
Tuotantopyynti	C-pinta kWh/t	EOK,	D-pinta kWh/t	EOK,	Norton kWh/t	EOK,
3,8 t/h	521,9		653,2		873,3	
4,0 t/h	497,7		636,0		857,6	
Erotus	24,2		17,2		15,7	

Hiomakoneen tuotantopyynnin muuttuessa 0,2 t/h, on EOK muutos keskimäärin n. 20 kWh/t per hiomakone (Taulukko X). Muutos on Galileo C-pinnalla suurempi kuin muilla, joten Galileo D-pinnalla ja Nortonilla vaaditaan todennäköisesti suurempi tuotantopyynnin muutos EOK-tason nostamiseksi. Koska EOK-muutos vuodenaikojen välillä Galileo C-pinnalla oli noin 20 kWh/t, teoreettisesti 0,2 t/h tuotantopyynnin muutoksen pitäisi kompensoida puun jäätymisestä aiheutuva tehon lasku.

Vuodenaikojen aiheuttamaa vaihtelua voitaisiin vähentää asettamalla hiomakonekohtaiset EOK-alarajat. Galileo C-pinnalla raja tulisi olla n. 500 kWh/t ja Nortonilla 620 kWh/t. Galileo D-pinnalla raja asettuu oletettavasti n. 610 kWh/t tasolle. Tarkempi raja tulee kuitenkin määritellä uudelleen, kun kyseisellä pinnalla on ajettu jäisen puun aikana.

15 SUIHKUVEDEN LÄMPÖTILAN VAIKUTUS HIOKKEEN LAATUUN

Suihkuveden lämpötilan vaikutusta arvioitiin Galileo C-pinnan hiomakoneessa H461 aikavälillä 15.11.-1.4.2021 prosessimittausten avulla. Suihkuvesi huuhtelee kuidut hiomakiven pinnalta altaaseen ja kuten teoriaosassa mainittiin, liian vähäinen suihkuveden määrä hiomakiven pinnalla estää kuitujen kulkeutumisen kiven pinnalta ja aiheuttaa kiven käyttäytymisen tylsempänä kuin se todellisuudessa on. Kuvassa 86 on arvioitu hiokkeen vetoindeksin kehitystä suihkuveden lämpötilan funktiona hiomakoneella H461.



Kuva 86. Hiokkeen vetoindeksi hiomakoneen 461 suihkuveden lämpötilan funktiona.

Korrelaatiosta nähdään, että suihkuveden lämpötilan noustessa hiokkeen vetoindeksi nousee (Kuva 86). Koska normaali suihkuvesien lämpötilan prosessivaihtelu on vain muutamia asteita, ei luotettavia johtopäätöksiä voida kuitenkaan tehdä. Kuvaajan perusteella voidaan arvioida, että noin 5 °C:n nousu suihkuveden lämpötilassa vastaisi noin 1 Nm/g nousua hiokkeen vetoindeksissä.

Suihkuveden lämpötilan vaikutuksien kokonaisvaltaiseksi arvioinniksi olisi suositeltavaa tehdä koeajo, jossa suihkuveden lämpötilaa säädettäisiin useiden asteiden verran. Vaikutukset olisivat havaittavissa selkeämmin kivenalusmassasta otettavista näytteistä. Lisäksi suihkuvesimäärien vaikutusta voitaisiin tarkastella koeajon avulla, kun ajossa on

kaksi hiomakonetta. Nykytilassa suihkuvesimäärän lisääminen kolmen hiomakoneen ajossa ei ole mahdollista ilman teknisiä ratkaisuja. Normaaleissa prosessiolosuhteissa suihkuvesimäärien vaihtelu on niin pientä, ettei selkeää korrelaatiota voida muodostaa hiokkeen lujuusominaisuuksien ja suihkuvesivirtauksen välille.

16 GALILEO-HIOKKEEN VAIKUTUS KARTONGIN LAATUUN

Galileo-hiokkeen vaikutusta taivekartongin laatuun ja ajettavuuteen tutkittiin koeajon avulla talvipuun aikaan. Vastaava koeajo oli suoritettu aiemmin toukokuussa 2019, jolloin tuloksien analysointia vaikeutti lajinvaihdos kartonkikoneella ja puhtaan Galileo-hiokkeen lyhyt ajoaika. Lisäksi suoritettu koeajo oli tehty sulan puun aikana.

16.1 Koeajo puhtaalla Galileo-hiokkeella

Koeajon aikana kartonkikoneelle ajettiin hiomolta puhdasta Galileo-hioketta hiomakoneilta H461 ja H452. Koeajon ajaksi valittiin kartonkikoneella pitkä TB285 ajo, jotta lajinvaihdosta aiheutuvat laatumuutokset voitiin minimoida. Kartonkikoneelle ja hiomolle valittiin vakiotuotantonopeus koeajon ajaksi. Kartonkikoneella tuotantonopeutta hidastettiin, jotta hioketta riitti pidempään koeajoon hioketuotannon vähentyessä hiomolla. Hiomakoneiden uunien ja kartonkikoneen tuotantonopeudet koeajon aikana on esitetty taulukossa XI.

Taulukko XI Hiomon ja kartonkikoneen tuotantonopeudet koeajon aikana.

	Tuotantonopeus
Hiomo	4 t/h uunia kohden
Kartonkikone	512 m/min

Riittävän pitkän koeajon ja terävän hiokkeen vaihdon saavuttamiseksi kartonkikoneella päädyttiin ensin nostamaan hiomon hioketornin pintaa ja samalla laskemaan kartonkikoneen hioketornin pintaa. Tämän jälkeen pysäytettiin hiomakone H462.

Alkuperäisen suunnitelman mukaan tarkoituksena oli ajaa 12 h ajan puhdasta Galileo-hioketta kahdella hiomakoneella. Hiokkeen kerryttäminen hiomon torniin osoittautui kuitenkin haastavaksi, koska koeajoon valittiin melko paksu laji kartonkikoneella. Hiomon tornin pinnan nostatusta kartonkikoneen tuotantonopeutta hidastamalla ei myöskään voitu aloittaa riittävän ajoissa. Koeajon aluksi ja lopuksi ajettiin referenssit vakiotuotantonopeuksilla sekahiokkeella. Alkureferenssiajon kestonä oli 2 h ja loppureferenssin kestonä 5 h. Varsinaisen koeajon kesto oli 6 h, jolloin hiomolla ajettiin puhdasta Galileo-hioketta kahdella hiomakoneella.

Koeajon aikana seurattiin hiokkeen ominaisuuksia hiomolla sekä kartonkitehtaalla hiokkeen ja taivekartongin ominaisuuksia. Mittauksien suorittamiseksi hyödynnettiin mahdollisimman paljon online-mittareita, sekä Pulp Expert -analysointilaitteita hiomolla ja kartonkitehtaalla. Koeajon aikana suoritettujen hiokkeen laboratoriomittaukset ja näytteenottopisteet ovat esitetty taulukossa XII.

Taulukko XII Koeajon aikana suoritettujen mittaukset ja mittauspisteet.

Mittauspiste	Näytteenottoaika	Mitattavat suureet
Kivenalusmassat H452, H462 ja H461	Kivenalusmassojen näytteenottoaikoilta. 30 min keräilynäyte.	CSF-luku, pulmac-tikkupitoisuus, vetolujuus, repäisyjuvuus, bulkki ja FS5
Päälinjan rejekti	2A-sihdin rejekti	CSF-luku, pulmac-tikkupitoisuus, vetolujuus, repäisyjuvuus, bulkki ja FS5
Päälinjan aksepti	1B-sihdin aksepti	CSF-luku, pulmac-tikkupitoisuus, vetolujuus, repäisyjuvuus, bulkki ja FS5
Valmis rejekti	Rejekti jauhatuksen jälkeen	CSF-luku, pulmac-tikkupitoisuus, vetolujuus, repäisyjuvuus, bulkki ja FS5
Valmis hioke	Kiekkosuotimen jälkeen	CSF-luku, pulmac-tikkupitoisuus, vetolujuus, repäisyjuvuus, bulkki ja FS5
Hioketorni IK	Hioketornin pumpulta. Pumppu annostelusäiliöön	pH, varaustila ja zeta-potentiaali

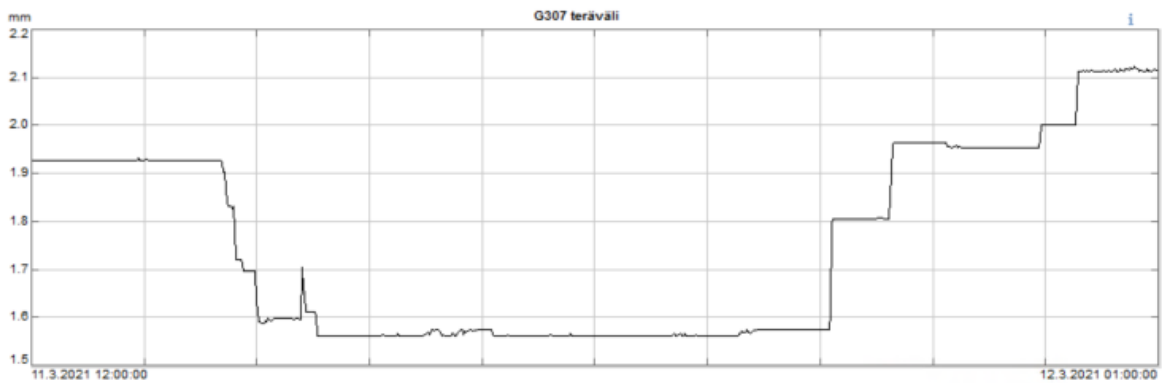
Kivenalusmassanäytteet mahdollistavat yksittäisten hiomakoneiden tilan seuraamisen, sillä hioke kaikilta hiomakoneilta yhdistetään lajitteluun. Toisaalta valmiin hiokkeen laatuun vaikuttaa myös lajittelun rejektin, sekä akseptin laatu, joita seuraamalla voidaan havaita rejektin aiheuttamat muutokset valmiissa hiokkeessa. Ottamalla rejektinäytteet ennen ja jälkeen rejektin jauhatuksen, saatiin selville rejektin jauhatuksen vaikutukset rejektiin.

Lisäksi koeajon ajalta otettiin näytteitä valmiista kartongista. Kaikki näytteet analysoitiin L&W Autoline:n avulla ja lisäksi osasta näytteistä määritettiin laboratoriossa irrotusluku pinnasta, irrotusluku selästä, Scott Bond, z-lujuus ja IGT.

16.2 Koeajon tulokset hiomolla

Koeajo onnistui hiomolla hyvin. Referenssi sekahiokkeella ajettiin 11.3.2021 klo. 12–14. Puhdasta Galileo-hioketta tuotettiin klo. 14–20 ja loppureferenssi sekahiokkeella ajettiin klo. 20–01.

Kahden hiomakoneen ajon aikana lajitteluun kulkeutuvan massan määrä pieneni, koska yksi hiomakone pysäytettiin koeajon ajaksi. Lajittelun muutoksista aiheutuvien virheiden minimoimiseksi lajittelun ajotapa pidettiin hiomolla mahdollisimman vakiona. Koeajon aikana jouduttiin kuitenkin säätämään rejektin jauhimen teräväliä vähentyneen rejektimäärän takia kuten on esitetty kuvassa 87.



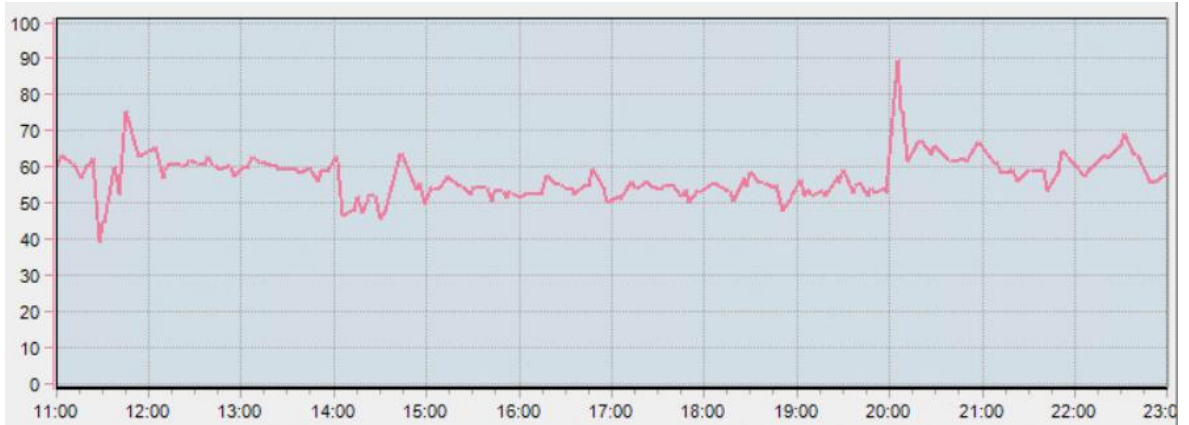
Kuva 87. Jauhimen G307 teräväli koeajon aikana.

Vähentyneen rejektivirtauksen takia rejektijauhimen G307 teräväliä kavennettiin kahden hiomakoneen ajon aikana n. 0,3 mm (Kuva 87). Sihtien rejektisuhteet sekä rejektivirtaukset kolmen hiomakoneen ajolla ja kahden hiomakoneen ajolla on esitetty taulukossa XIII.

Taulukko XIII Lajittelun sihtien rejektisuhteet koeajon aikana.

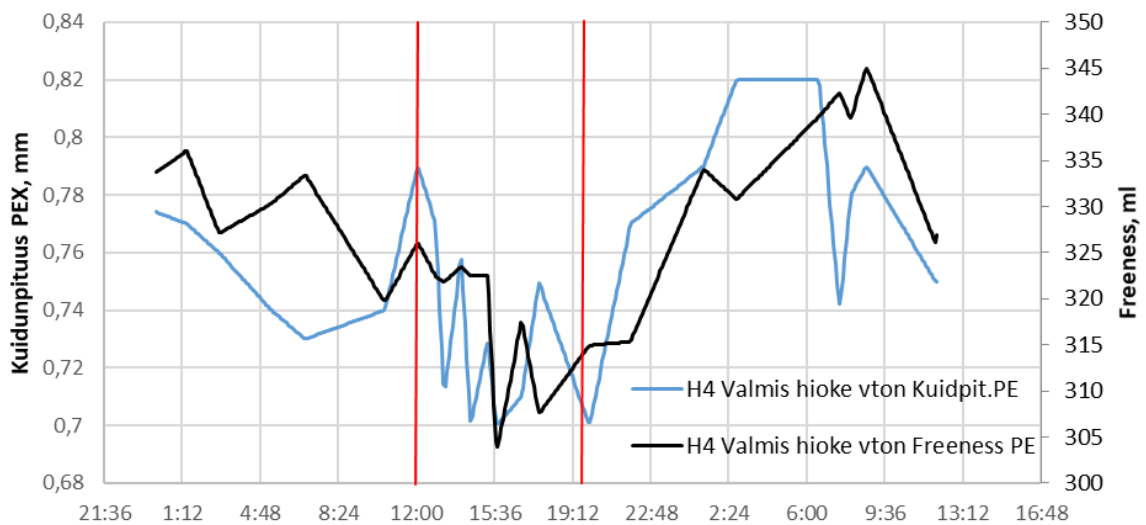
Sihdin nimi	Sihdin positio	Rejektisuhde, %	Rejektivirtaus referenssi ka. l/s	Rejektivirtaus koepiste ka. l/s
1A	F230 ja F231	10	14	11
1B	F234 ja F232	9	13	10
2A	F233	18	20	20

Lajittelussa kahden hiomakoneen ajon aikana rejektivirtaukset pienenevät sihteillä (Taulukko XIII). Rejektisuhteet pidettiin kuitenkin vakioina koeajon ajan.



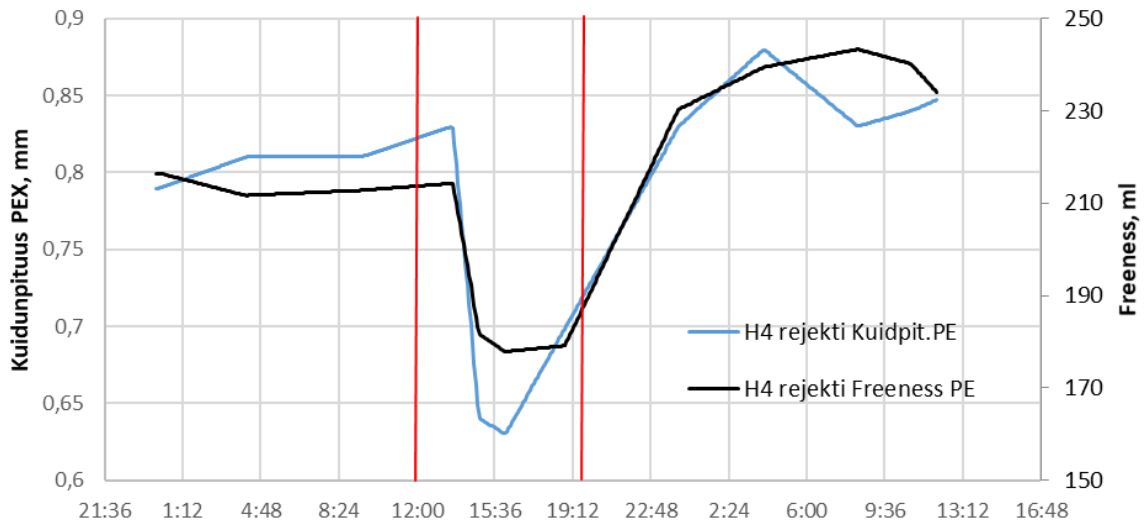
Kuva 88. Akseptin virtaus lajittelusta kahden Galileo-kiven koeajon aikana.

Akseptin virtaus lajittelusta pieneni kahden hiomakoneen ajolle siirryttäessä tasolta 60 l/s tasolle 55 l/s (Kuva 88).



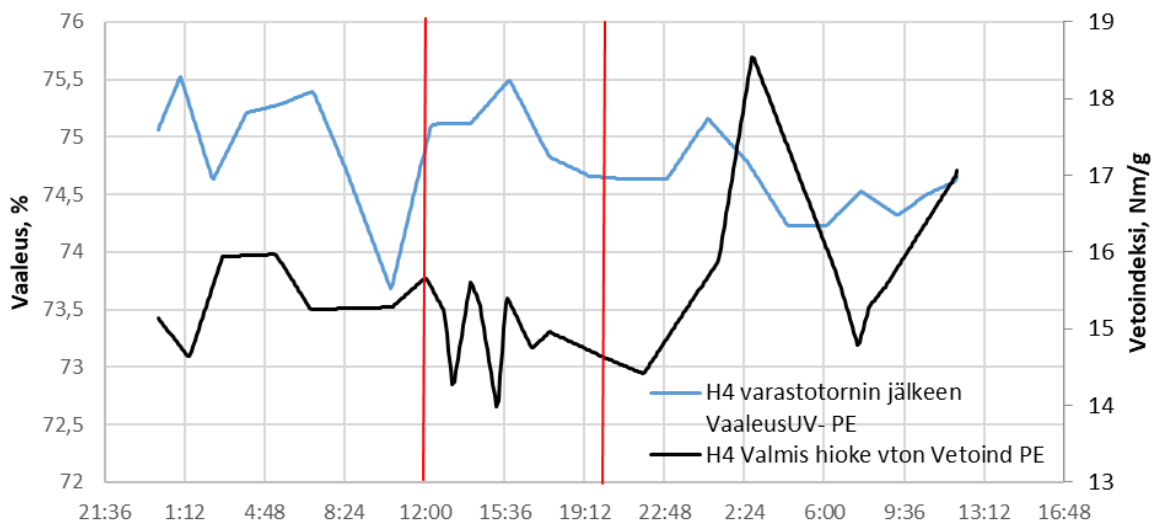
Kuva 89. Hiomon Pulp Expertin mittaama kuidunpituus ja freeness koeajon aikana. Kuvassa punaisella merkittynä kahden hiomakoneen ajoaika.

Puhtaan Galileo-hiokkeen ajon aikana hiomon Pulp Expertin mittaama kuidunpituus laski n. 0,8 mm (Kuva 89). Hiomon Pulp Expertin kuitupituusmittauksia tarkasteltaessa tulee ottaa huomioon, että mittausta ei kalibroida säännöllisesti, joten tuloksia ei tule verrata laboratorion FS5-mittauksiin. Freeness-luku laski n. 20 ml ja alimpien kuitupituusarvojen aikaan freeness oli n. 310 ml. Rejektin kuitupituus- ja freeness-mittauksien tulokset Pulp Expertiltä ovat esitetty kuvassa 90.



Kuva 90. Hiomon Pulp Expertin mittaama rejektin kuidunpituus ja freeness koeajon aikana. Kuvassa punaisella merkittynä kahden hiomakoneen ajoaika.

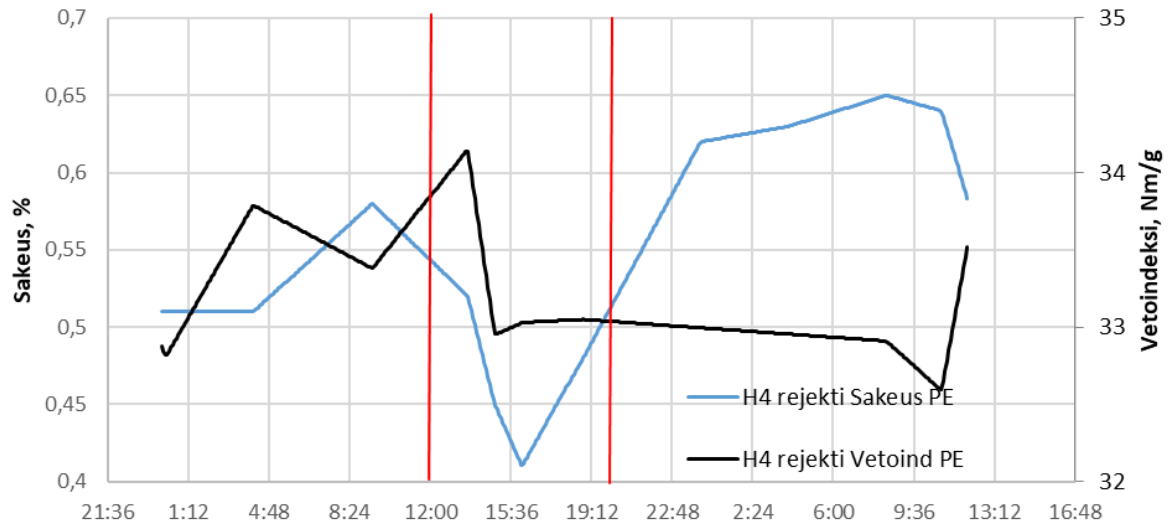
Rejektijauhimen terävälän kaventamisen seurauksena rejektin freeness ja kuitupituus laskivat (Kuva 90). Rejektin kuitupituus laski PulpExpertin mittauksessa 0,15 mm ja freeness laski 35 ml. Hiokkeen vaaleuden ja vetoindeksin muutokset koeajon aikana on esitetty kuvassa 91.



Kuva 91. Hiomon Pulp Expertin mittaama vaaleus ja vetoindeksi koeajon aikana. Kuvassa punaisella merkittynä kahden hiomakoneen ajoaika.

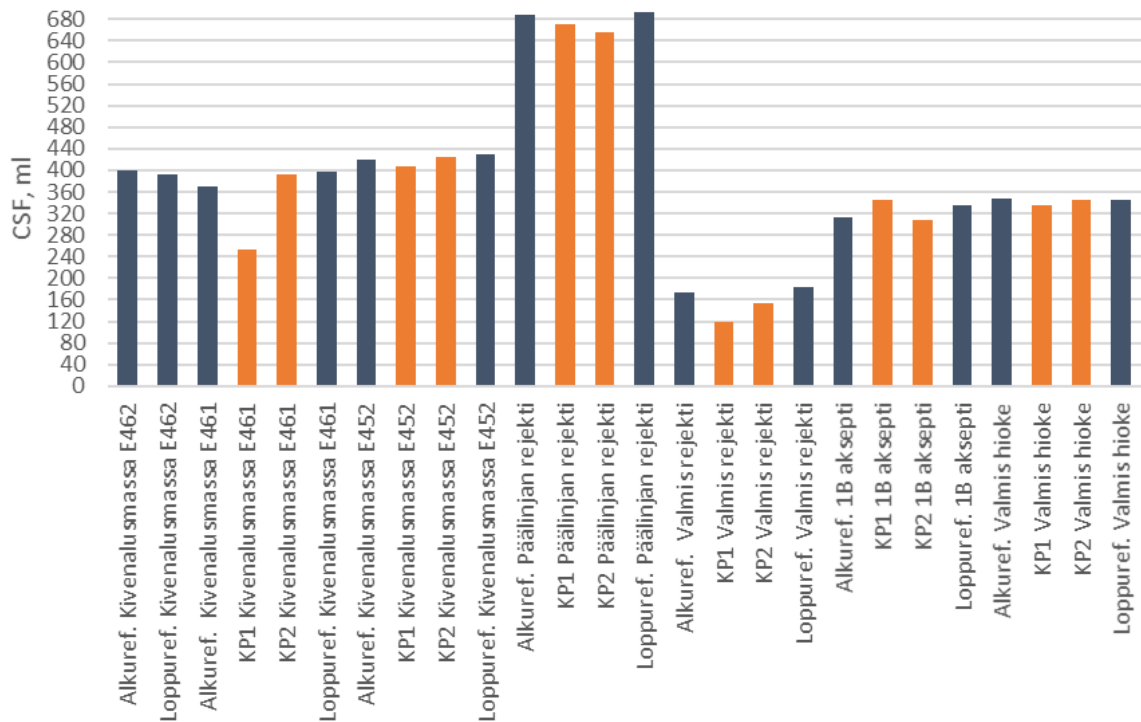
Vaaleudessa ei ollut havaittavissa hiomolla selkeää muutosta koeajon aikana (Kuva 91). Hiokkeen vetoindeksi laski puhtaalla Galileo-hiokkeella tasolle 15 Nm/g. Normaalisti 15

Nm/g on alaraja hiokkeen vetoindeksille. Rejektin sakeus ja vetoindeksi on esitetty kuvassa 92.



Kuva 92. Hiomon PulpExpertin mittaama rejektin sakeus ja vetoindeksi koeajon aikana. Kuvassa punaisella merkittynä kahden hiomakoneen ajoaika.

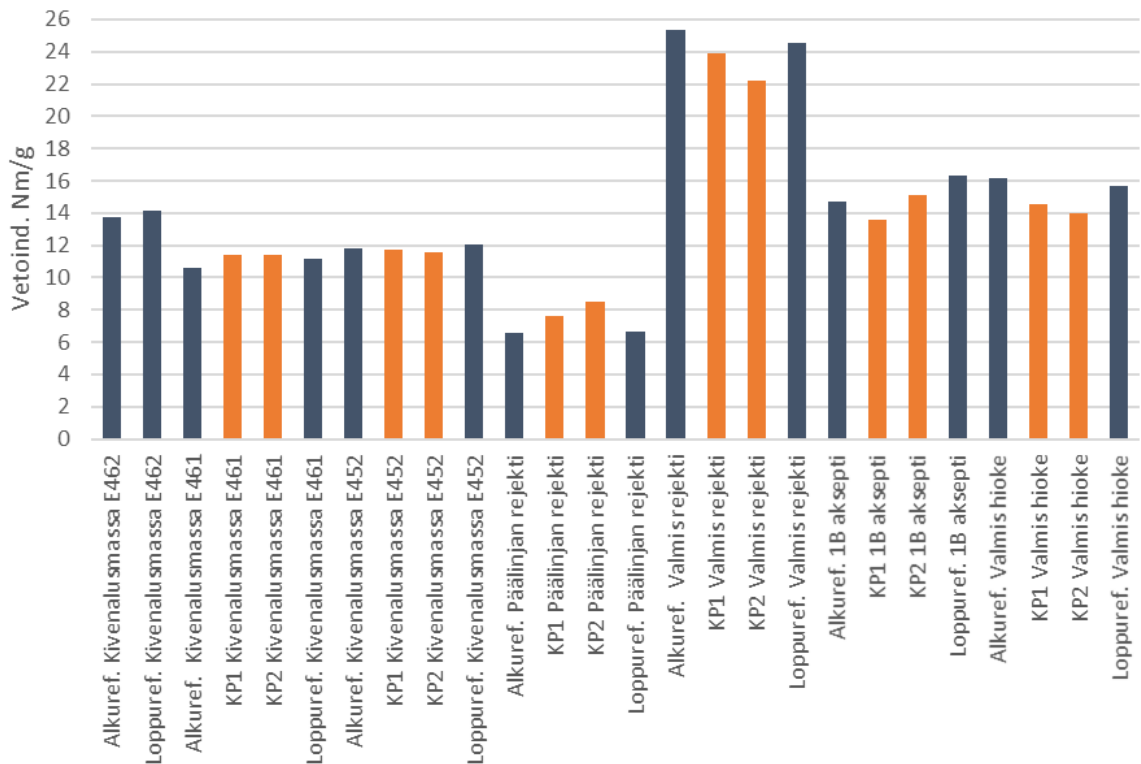
Pulp Expertin mittauksen mukaan rejektin sakeus laski puhtaan Galileo-hiokkeen ajon aikana. Vetoindeksi laski 1 Nm/g kahden kiven ajolle siirryttäessä, mutta ei noussut takaisin ennalleen, kun kolmas hiomakone käynnistettiin ja siirryttiin normaalille ajolle.



Kuva 93. Laboratoriotulokset freeness-mittauksista. Kuvassa sinisellä referenssinäytteet ja oranssilla koepistenäytteet.

Kivenalusmassojen freeness pysyi vakaana koko koeajon ajan lukuun ottamatta ensimmäistä koepistenäytettä hiomakiveltä 461, jossa on tapahtunut todennäköisesti mittausvirhe (Kuva 93). Keraamisen hiomakiven kivenalusmassan CSF oli 395 ml, kun Galileo-kivien CSF olivat tasolla 380 ml (461) ja 420 ml (452). Galileo-hiomakivistä 452 on ollut ajossa 6400 h eli n. 8 kk pidempään, kuin hiomakivi 461. Tasoero keskenään samanlaisten Galileo-hiomakivien välillä selittyy todennäköisesti käytön aiheuttamalla kulumisella.

Päälinjan rejektissä freeness oli kolmen kiven ajon aikana 690 ml, kun kahden kiven ajolla se oli 660 ml (Kuva 93). Freeneksen pudotus valmiissa rejektissä on havaittavissa vielä selkeämmin, jossa referenssin freeness oli 180 ml ja koepisteen freeness keskimäärin 140 ml. Rejektin freeneksen tiputus selittyy osittain rejektijauhimen terävälän säädöllä. Teräväliä kavennettiin operaattoreiden kokemuksen perusteella, mutta koska valmiin rejektin freeness laski koepisteiden aikana, oli terävälän kavennus liian suuri. 1B-sihdin akseptissa tai valmiin hiokeen freeneksessä ei ollut havaittavissa selkeää eroa.

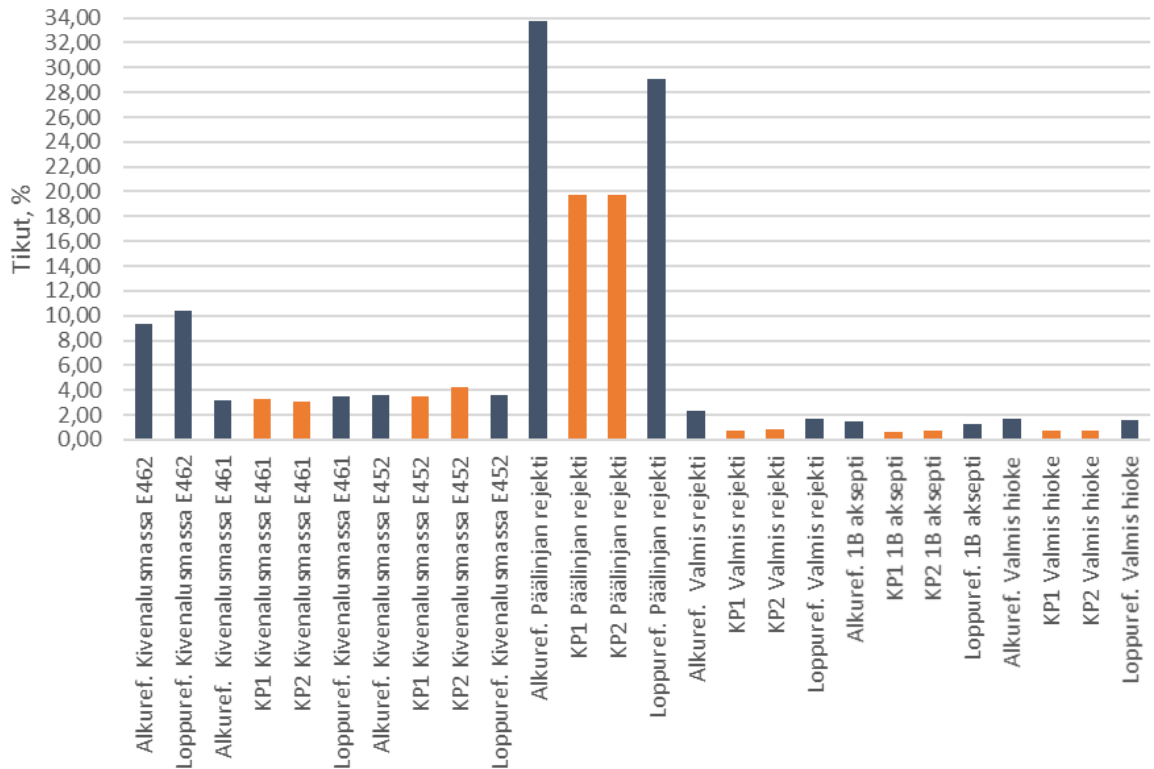


Kuva 94. Laboratoriotulokset vetoindeksimittauksista. Kuvassa sinisellä referenssinäytteet ja oranssilla koepistenäytteet.

Kivenalusmassoista keraamisen hiomakiven vetoindeksitaso oli selkeästi korkein 14,0 Nm/g, kun Galileo-hiomakivistä H461 oli 11,1 Nm/g ja 11,8 Nm/g (Kuva 94). Vetoindeksitasoissa on havaittavissa Galileo-hiomakivien eri kuluneisuusaste.

Lajittelussa päälinjan rejektin vetoindeksitaso nousi Galileo-hiokkeen ajon aikana tasolle 8,1 Nm/g, kun se oli kolmen kiven ajolla 6,6 Nm/g (Kuva 94). Valmiin rejektin vetolujuustulokset puoltavat liian voimakasta kapeaa jauhimen terävää koeajon aikana, sillä valmiin rejektin vetolujuus oli kolmen kiven ajolla 24,9 Nm/g ja laski kahden kiven ajolla tasolle 23,1 Nm/g.

Valmiin hiokkeen vetoindeksi oli kolmen kiven ajolla 15,9 Nm/g, kun puhtaalla Galileo-hiokkeella vetoindeksi oli 14,3 Nm/g (Kuva 94). Vetolujuuden lasku aiheutuu osin kivenalusmassojen matalammasta vetolujuustasosta. Rejektin liian voimakas jauhatus on voinut myös vaikuttaa valmiin hiokkeen vetolujuuteen, sillä kuidun muokkautumisen sijaan rejektin jauhatus on voinut poistaa lähes täysin pisimmät kuitufraktiot rejektistä.

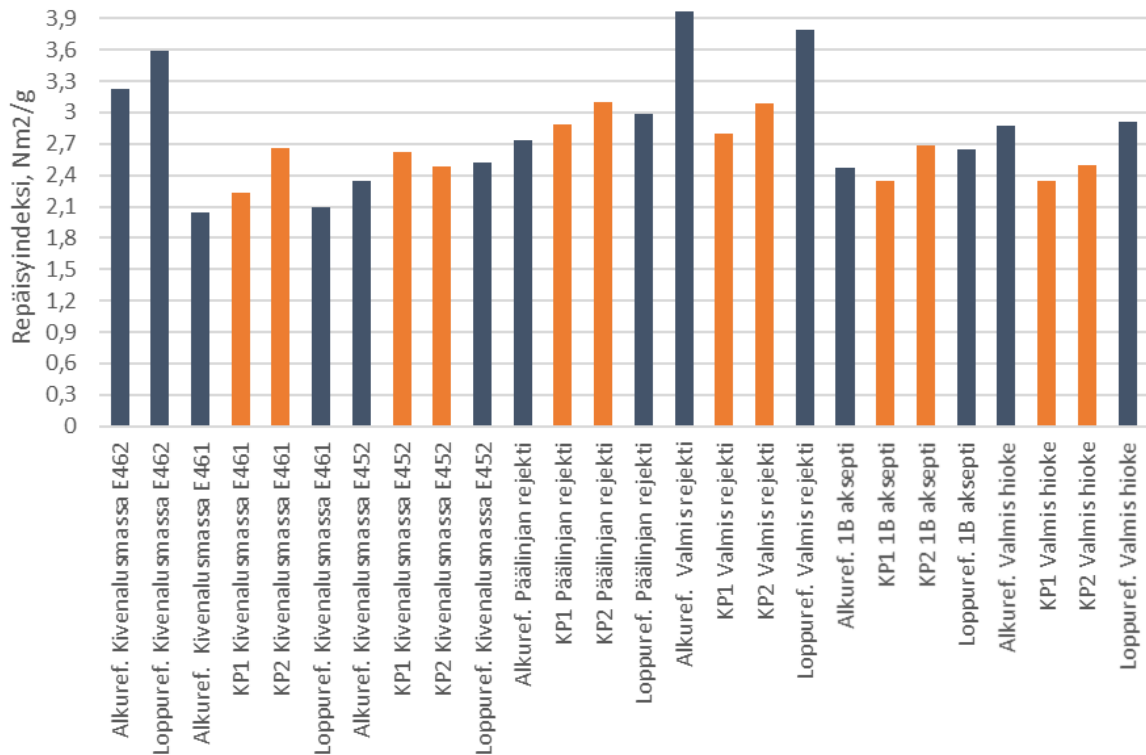


Kuva 95. Laboratoriotulokset Pulmac-tikkupitoisuusmittauksista. Kuvassa sinisellä referenssinäytteet ja oranssilla koepistenäytteet.

Pulmac-tikkupitoisuusmittauksista havaitaan Galileo-hiomakivien kivenalusmassojen tikkupitoisuuksien olevan huomattavasti alemmalla tasolla kuin keraamisen kiven (Kuva 95). Galileo-kivistä pidempään ajossa olleen 452-kiven tikkupitoisuudet ovat 0,5 % korkeammalla tasolla, kuin hiomakoneella461.

Päälinjan rejektin ja valmiin rejektin tikkupitoisuuksista havaitaan selkeästi ero jauhatuksessa kahden ja kolmen hiomakoneen ajolla (Kuva 95). Kapeampi teräväli kahden kiven ajolla pudotti tikkupitoisuutta päälinjan rejektissä 11,7 % ja valmiissa rejektissä 1,2 %.

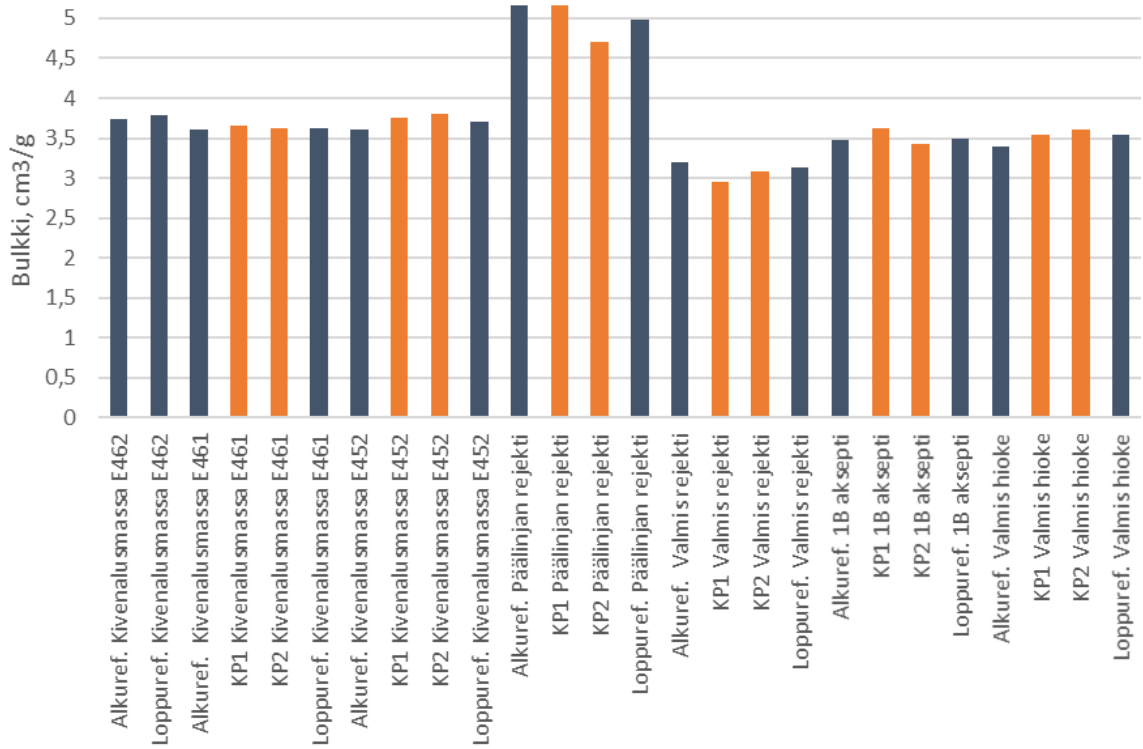
Myös 1B-sihdin akseptin ja valmiin hiokkeen tikkupitoisuudet laskivat puhtaan Galileo-hiokkeen ajon aikana (Kuva 95). Valmiin hiokkeen tikkupitoisuus laski 0,9 %.



Kuva 96. Laboratoriotulokset repäisyindeksimittauksista. Kuvassa sinisellä referenssinäytteet ja oranssilla koepistenäytteet.

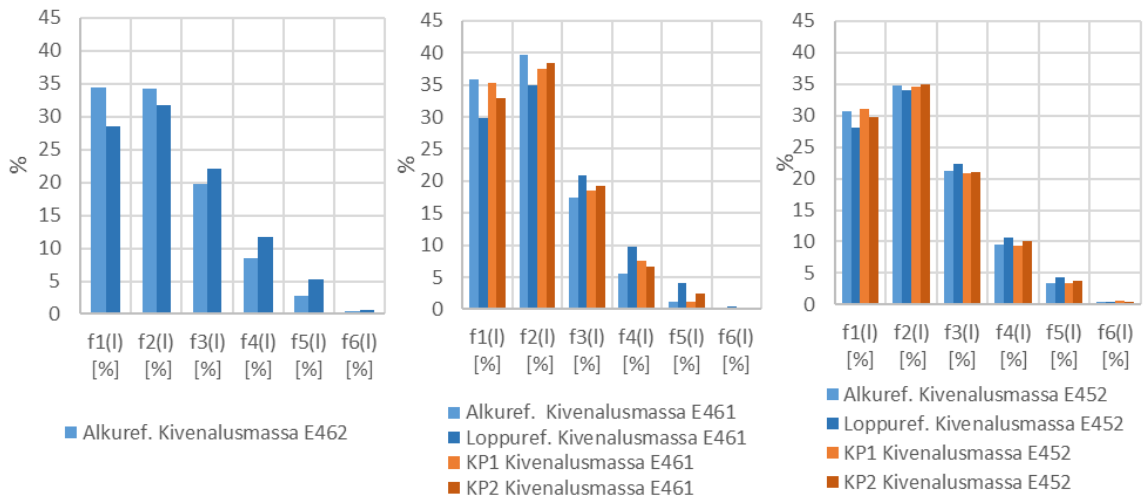
Repäisyindeksimittauksissa (Kuva 96) havaitaan keraamisen hiomakiven repäisyindeksitason olevan korkein kaikista hiomakivistä. 452 Galileo-hiomakiven tulokset ovat korkeammalla tasolla kuin 461 Galileo-hiomakiven. Hiomakoneella 461 repäisyindeksitaso oli kahden kiven ajon aikana korkeammalla tasolla kuin kolmen kiven ajon aikana.

Valmiin rejektin sekä valmiin hiokkeen repäisyindeksit laskivat selvimmin puhtaan Galileo-hiokkeen ajon aikana. Muiden näytteiden mittaustuloksista ei voida tehdä selkeitä johtopäätöksiä suuren vaihtelun takia.



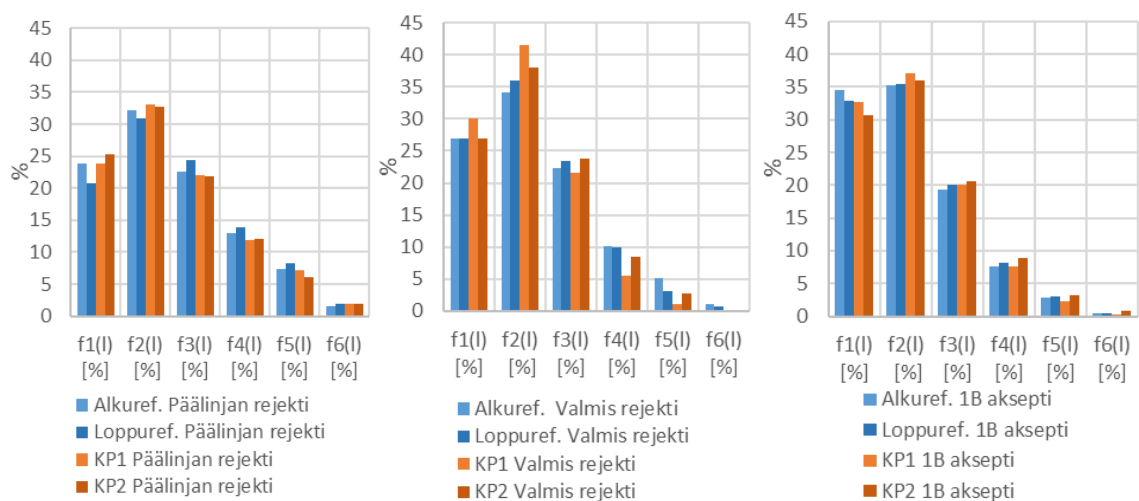
Kuva 97. Laboratoriotulokset bulkista. Kuvassa sinisellä referenssinäytteet ja oranssilla koepistenäytteet.

Laboratorioarkeista määritetystä massojen bulkissa sekahiokkeen ja Galileo-hiokkeen välillä ei ollut selkeästi havaittavaa eroavaisuutta (Kuva 97). Kivenalusmassoista keraamisen hiomakiven 462 tuottama bulkki oli korkein ja Galileo-hiomakiven 461 matalin.



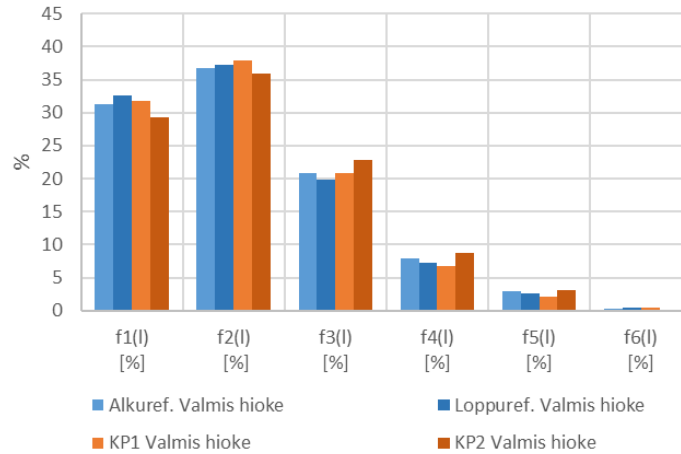
Kuva 98. Laboratoriotulokset hiomakoneiden 462, 461 ja 452 kivenalusmassojen FS5-kuitupituusmittauksista. Fraktioiden pituudet järjestyksessä 0–0,2; 0,2–0,6; 0,6–1,2; 1,2–2,0; 2,0–3,2; 3,2–7,6 mm. Kuvassa sinisellä referenssinäytteet ja oranssilla koepistenäytteet.

Laboratorion FS5-kuituanalysointilaitteella suoritetuista kuitupituusmittauksista (Kuva 98) havaitaan, että keraamisen hiomakiven kivenalusmassa sisältää enemmän pidempiä kuitufraktioita kuin Galileo-hiomakivien kivenalusmassoissa. Lisäksi viimeisimpänä asennettu Galileo-hiomakivi 461 tuottaa vähiten pitkiä kuituja. Koeajotuloksien perusteella Galileo-hiomakivet vaikuttavat tuottavan etenkin fraktiota f2 eli kuitupituutta 0,2–0,6 mm enemmän kuin keraaminen hiomakivi.



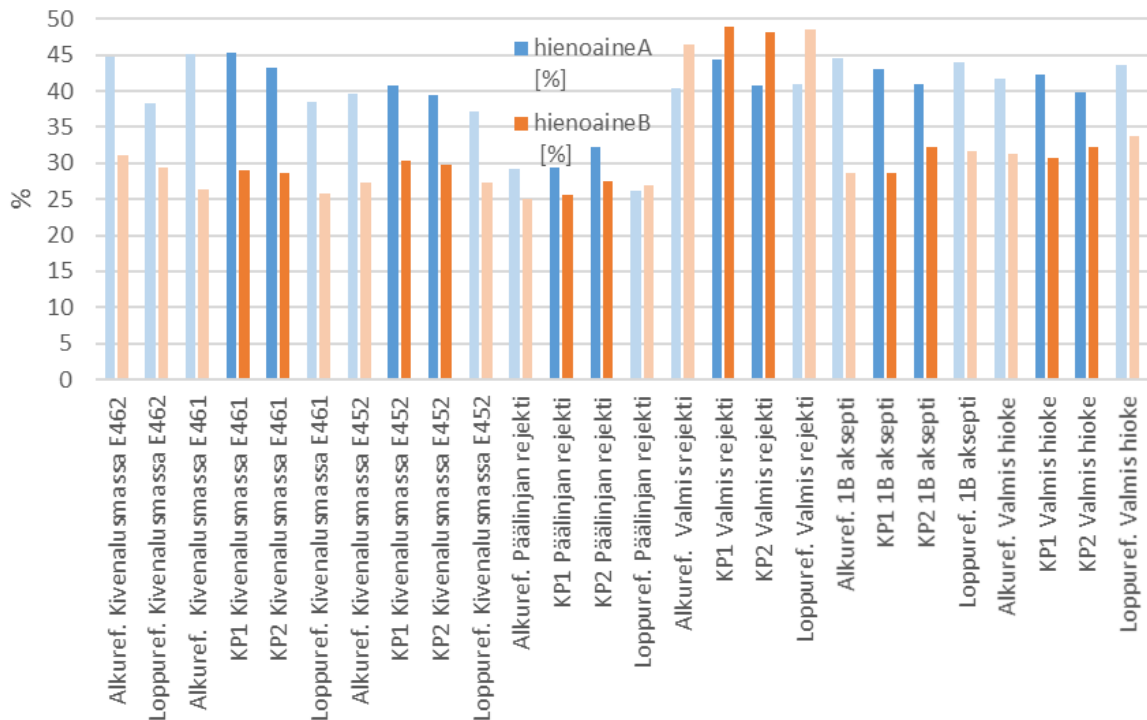
Kuva 99. Laboratoriotulokset päälinjan rejektin, valmiin rejektin ja 1B-sihdin akseptin FS5-kuitupituusmittauksista. Fraktioiden pituudet järjestyksessä 0–0,2; 0,2–0,6; 0,6–1,2; 1,2–2,0; 2,0–3,2; 3,2–7,6 mm. Kuvassa sinisellä referenssinäytteet ja oranssilla koepistenäytteet.

Päälinjan rejektissä pitkien kuitujen osuus laskee ja hienojen kuitujen osuus nousee hieman puhtaan Galileo-hiokkeen ajon aikana (Kuva 99). Valmiin rejektin kuitupituusjakaumatuloksista havaitaan, että puhtaan Galileo-hiokkeen ajon aikana fraktio f6 eli kuitufraktio 3,2–7,6 häviää kokonaan, koska rejektijauhimen teräväli oli liian kapea kahden kiven ajon aikana. 1B-akseptissa ei ole havaittavissa selkeitä eroja.



Kuva 100. Laboratoriotulokset valmiin hiokkeen FS5-kuitupituusmittauksesta. Fraktioiden pituudet järjestyksessä 0–0,2; 0,2–0,6; 0,6–1,2; 1,2–2,0; 2,0–3,2; 3,2–7,6 mm. Kuvassa sinisellä referenssinäytteet ja oranssilla koepistenäytteet.

Valmiin hiokkeen kuitupituusjakaumasta ei ole havaittavissa selkeitä muutoksia puhtaan Galileo-hiokkeen ajon aikana (Kuva 100).

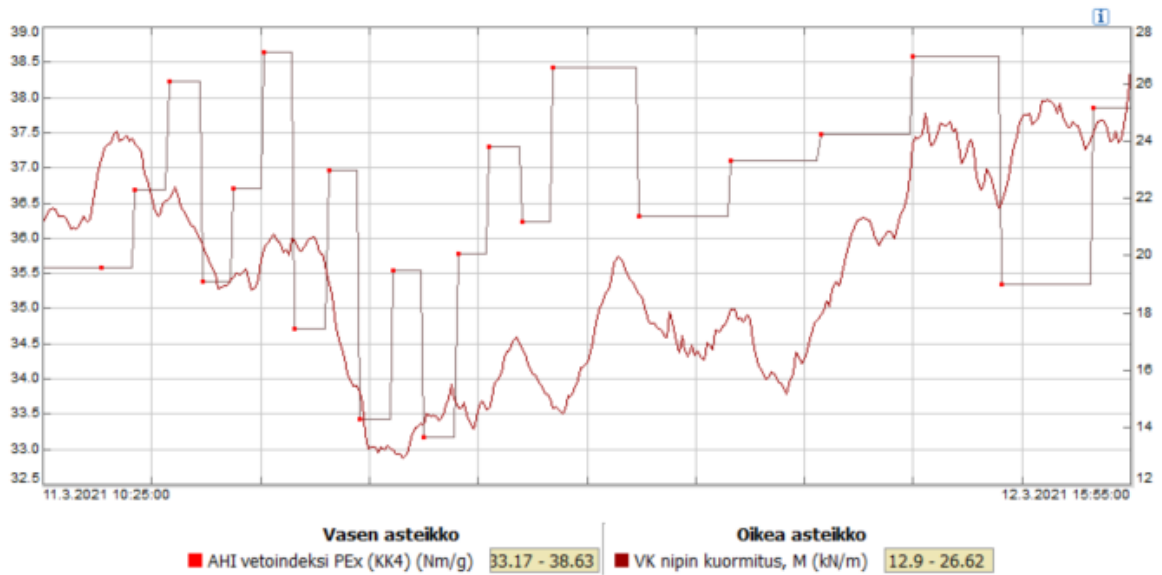


Kuva 101. Laboratoriotulokset näytteiden hienoainekoostumuksista FS5-analysaattorilla määritettynä. Kuvissa haaleat tulokset ovat referenssinäytteitä ja kirkkaammat koepisteen tuloksia. Hienoaine A tarkoittaa hiutalemaisia hienoaineita ja hienoaine B kuitumaisia hienoaineita.

Hienoainekoostumuksessa ei ollut havaittavissa selkää muutosta koeajon aikana (Kuva 101). Tuloksista voidaan kuitenkin havaita selkeästi valmiin rejektin sisältävän näytteistä eniten kuitumaisia hienoaineita. Kuten teoriaosassa todettiin, jauhatuksessa muodostuneet sekundääriset hienoaineet ovat tyypillisesti kuitumaisia.

16.3 Koeajon tulokset kartonkitekhtaalla

Koeajo kulki myös kartonkitekhtaalla vakaasti. Hioke kulkee Inkeröisten kartonkitekhtaalle yli kilometrin mittaista putkea pitkin, joten hiokkeen saapumisajankohtaa kartonkitekhtaalle arvioitiin taselaskennan avulla. Arvio puhtaana Galileo-hiokkeen ajoajasta kartonkitekhtaalla oli n. klo 18–22. Laatumuutokset eivät poikenneet normaaleista taivekartongin laaturajoista. Puhtaasta Galileo-hiokkeesta aiheutuvien laatumuutosten arviointia vaikeuttivat kuitenkin kartonkikoneella tehdyt säädöt välikalanterilla, sekä sekahiokkeen ja Galileo-hiokkeen sekoittuminen kartonkitekhtaan hioketornissa.



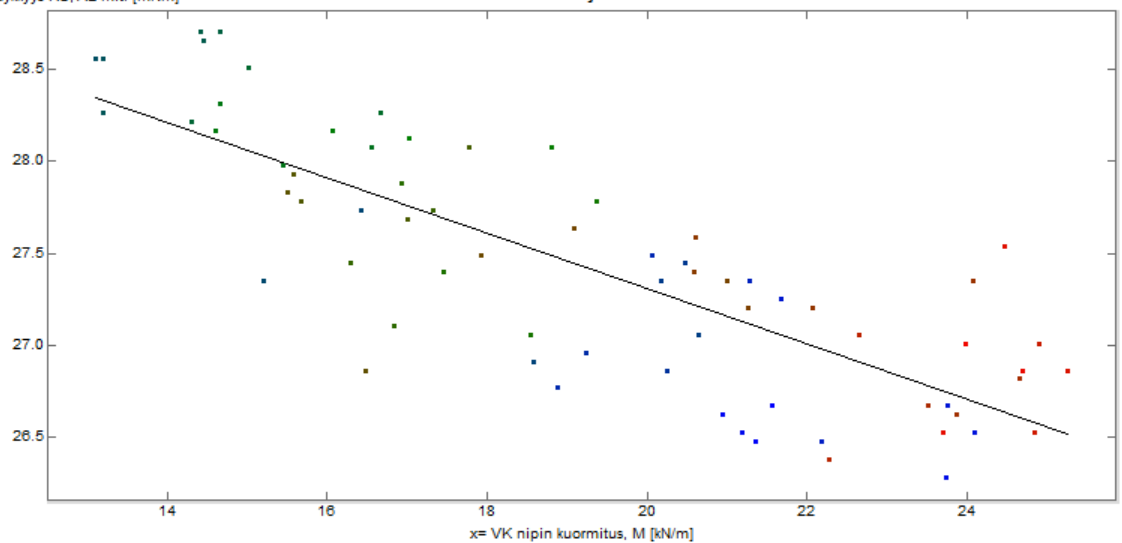
Kuva 102. Pulp Expertin mittaama annosteluhiokkeen vetoindeksi sekä välikalanterin nipin kuormitus koeajon aikana.

Välikalanterin kuormitusta säädettiin samaan aikaan, kun annosteluhiokkeen vetoindeksi lähti laskuun koeajon aikana (Kuva 102). Teoriaosassa taivekartongin paksuuden todettiin vaikuttavan eniten kartongin jäykkyysominaisuuksiin. Välikalanterin nipin kuormitusta käytetään taivekartongin paksuuden säätämiseen, jolla voidaan vaikuttaa kartongin lujuusominaisuuksiin.

11.3.2021 10:25:00 - 12.3.2021 15:55:00, Kaikki data

y= Jäykkyys KS, AL mit. [mNm]

XY-kuvaaja



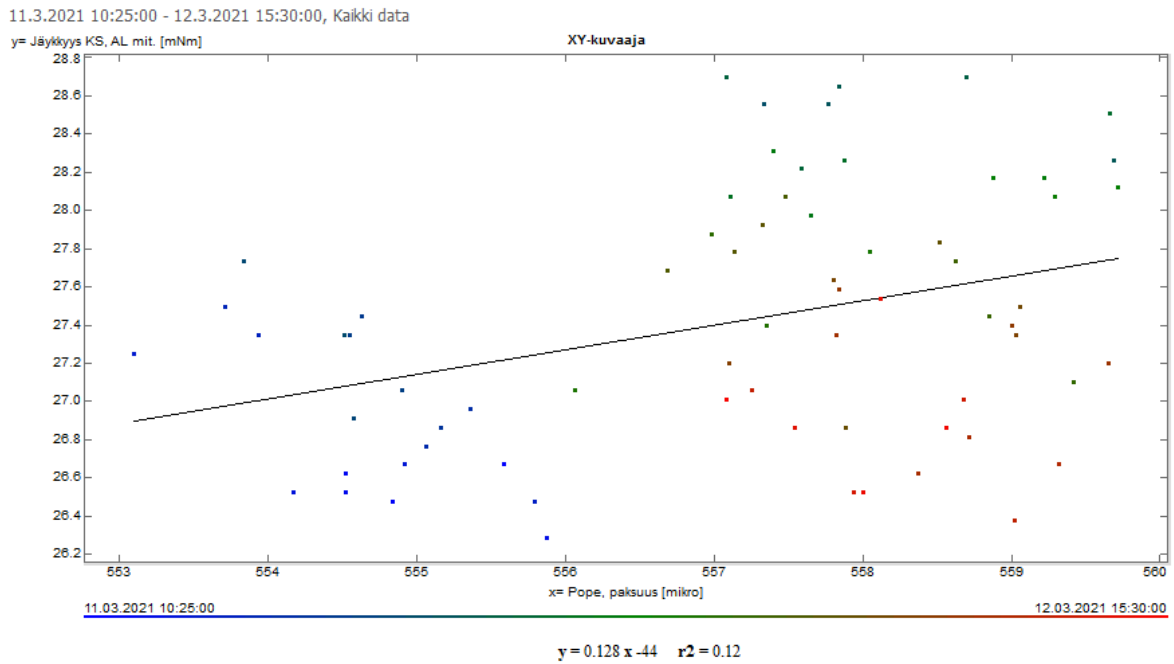
11.03.2021 10:25:00

12.03.2021 15:55:00

$$y = -0.15x + 30.3 \quad r^2 = 0.64$$

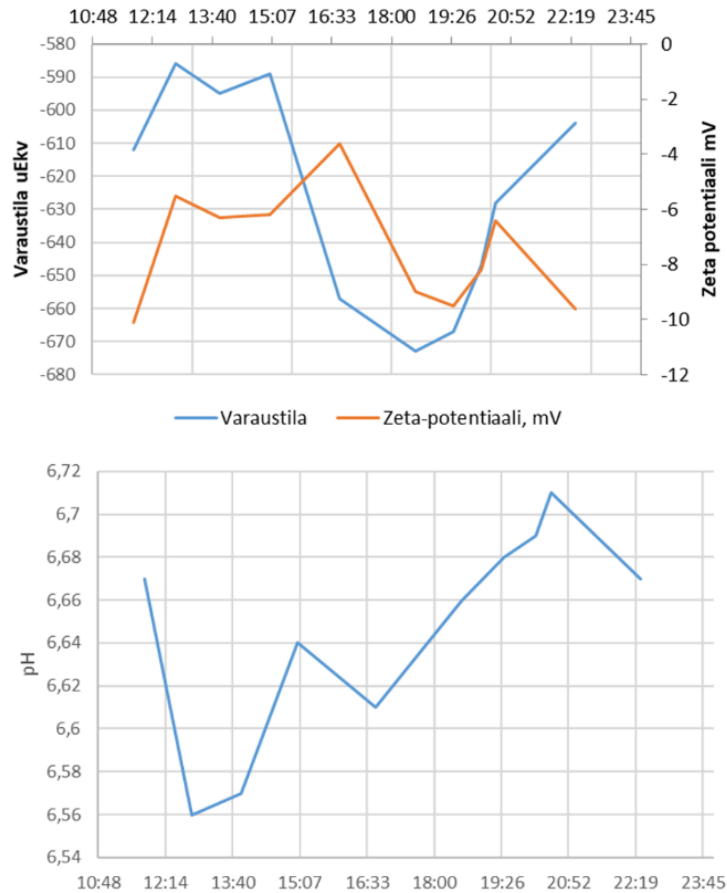
Kuva 103. Konesuunnan jäykkyys välikalanterin nipin kuormituksen funktiona (TB285).

TB285 lajin konesuunnan taivutusjäykkyys riippuu lähes lineaarisesti välikalanterin nipin kuormituksesta (Kuva 103). Välikalanterin nipin kuormitus vaikuttaa kartongin paksuuteen, joten kevyellä kuormalla taivekartongin paksuus on suurempi ja taivutusjäykkyys parempi.



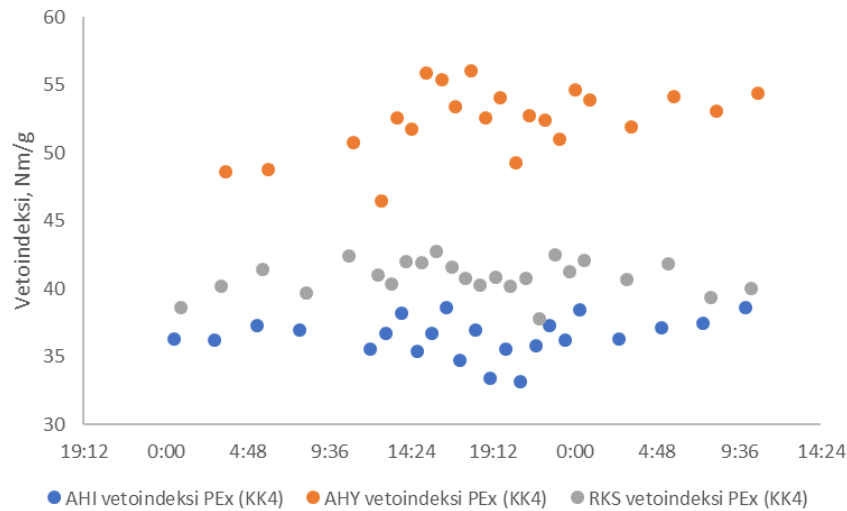
Kuva 104. Kuvassa konesuunnan jäykkyys paksuuden funktiona.

Kartongin paksuuden kasvaessa koeajon aikana taivutusjäykkyys nousi (Kuva 104). Koeajon aikana samanaikaisesti välikalanterin kuorman laskettua kartongin paksuus, konesuunnan jäykkyys ja bulkki nousivat. Voidaankin arvioida kartongin paksuuden muutoksen vaikuttaneen lujuuksien parantumiseen koeajon aikana.



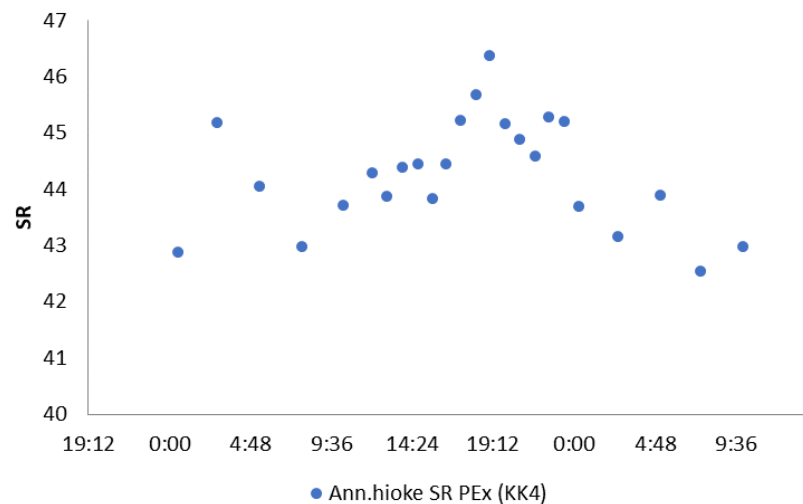
Kuva 105. Laboratoriossa mitattu hioketornista otetun hiokkeen varaustila, zeta-potentiaali ja pH koeajon aikana.

Koeajon aikana hiokkeen varaustila ja zeta-potentiaali laskivat ensin, jonka jälkeen klo. 19 aikaan molemmat nousivat. Hiokkeen pH nousi koeajon aikana tasaisesti. Varaustila mittaa liuenneiden ja kolloidifaasissa olevien komponenttien anionista varausta, kun zeta-potentiaali puolestaan kuvaa kiintoainepartikkeleiden pintavarausta (Hägglom-Ahnger, Komulainen & Seppälä, 2001).



Kuva 106. Pulp Expertin mittaama vetoindeksi annosteluhiokkeelle, annosteluhylylle ja rungon konesäiliölle kartonkitehtaalla.

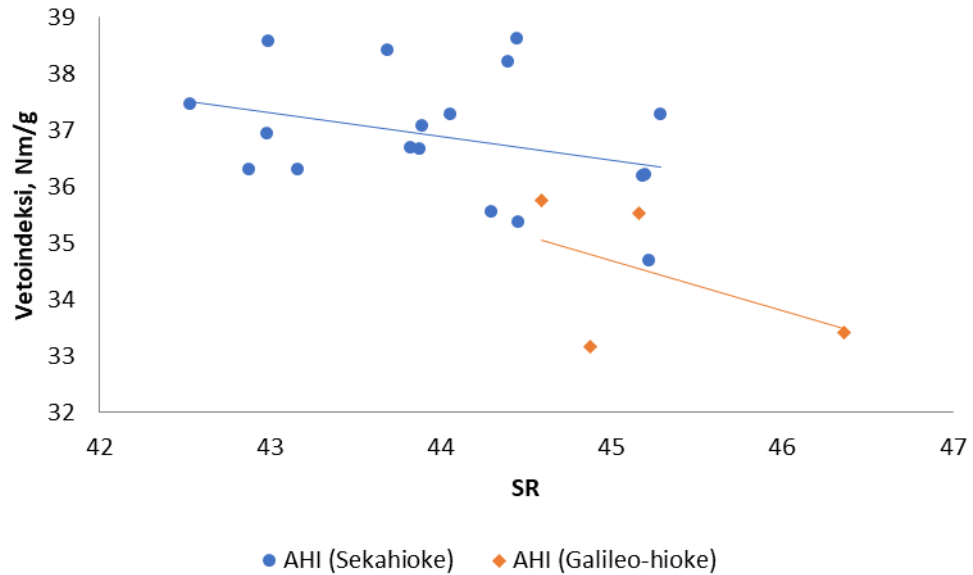
Vetoindeksitaso laski hetkellisesti Pulp Expertin mittauksissa sekä annosteluhiokkeella, annosteluhylyllä, että rungon konesäiliön näytteellä (Kuva 106). Annosteluhiokkeen vetolujuus oli alimmillaan 33,1 Nm/g klo. 20:45.



Kuva 107. Pulp Expertin mittaama annosteluhiokkeen SR kartonkitehtaalla.

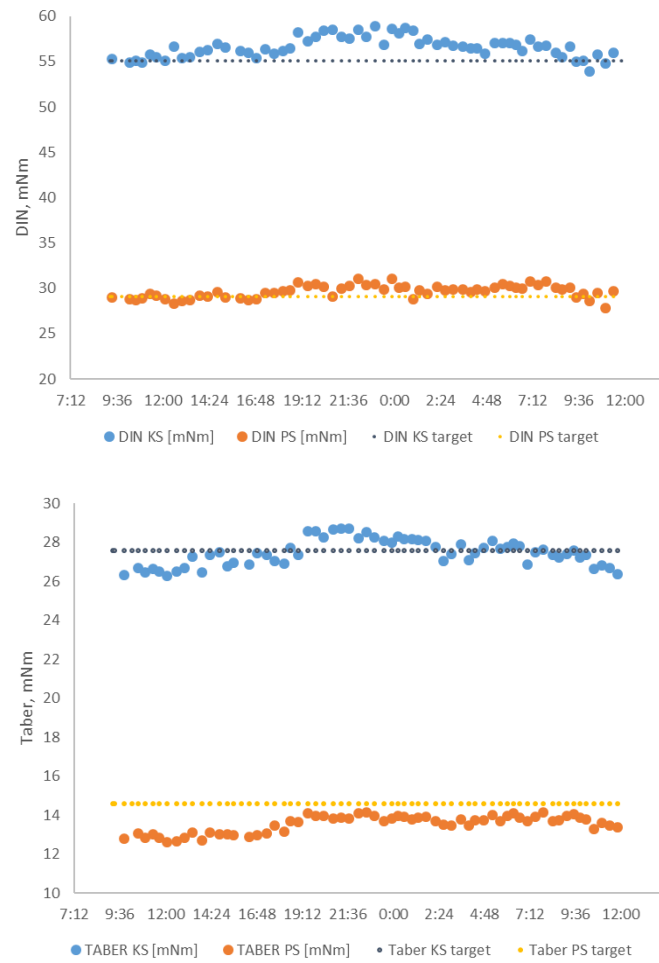
Vetolujuuden laskun kanssa samanaikaisesti klo 19:12 annosteluhiokkeen SR-luku nousi ja oli korkeimmillaan koeajon aikana 46 (Kuva 107). SR-luvun kasvaessa hiokkeen karkeus pienenee. Kartongin taivutusjäykkyys on yksi tärkeimmistä ominaisuuksista, joka riippuu

kartongin paksuuden lisäksi myös kuitujen ominaisuuksista. Hiokkeen vetoindeksituloksia SR-luvun funktiona puhtaalla Galileo-hiokkeella ja sekahiokkeella on vertailtu kuvassa 108.



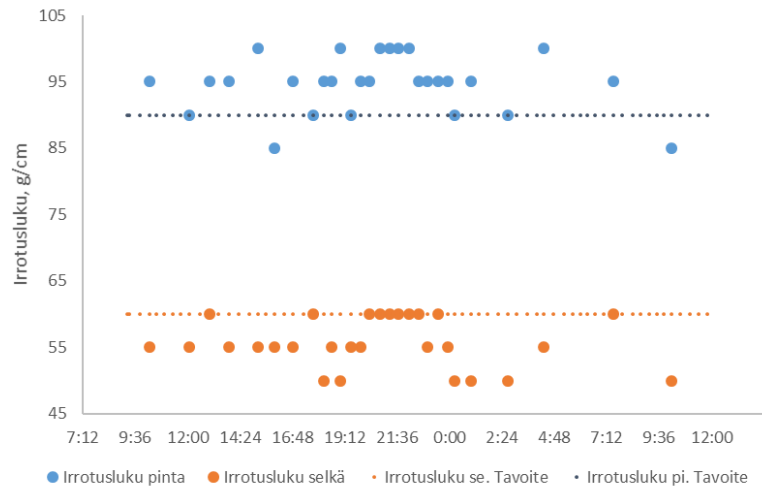
Kuva 108. Annosteluhiokkeen vetoindeksi SR-luvun funktiona.

Hiokkeen vetoindeksi nousi puhtaana Galileo-hiokkeen ajon aikana kartonkikoneella (Kuva 108). Hiokkeen SR-luku oli puhtaana Galileo-hiokkeen ajon aikana korkealla tasolla. Koska koeajossa hiokkeen kuituominaisuudet muuttuivat, on syytä tarkastella myös muutoksia kartongin taivutusjäykkyydessä koeajon aikana.



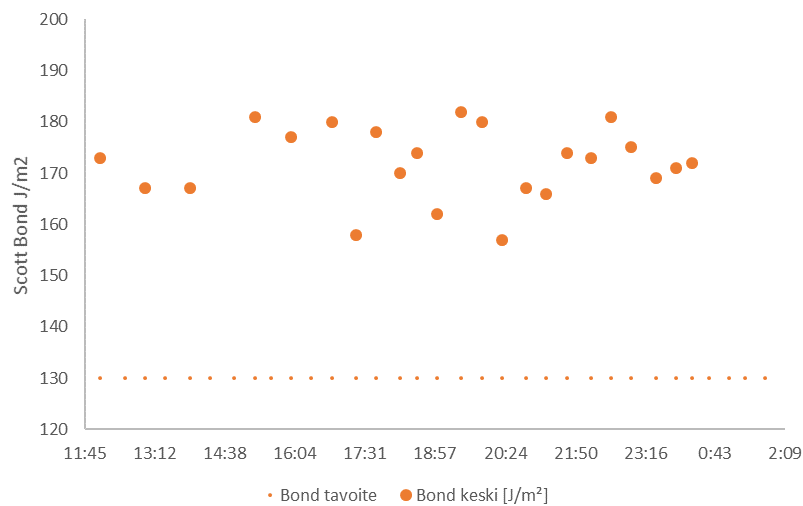
Kuva 109. L&W Autolinella mitatut DIN- ja Taber-jäykkyydet koeajon aikana.

Jäykkyydet nousivat koeajon aikana kartonkikoneella (Kuva 109). Kuten aiemmin todettiin, jäykkyyksominaisuuksiin vaikutti todennäköisesti enemmän koeajon aikana kartonkikoneen välikalanterin nipin kuormitus kuin hiokkeen muutos. Teoreettisesti keskikuidunpituuden laskun olisi pitänyt aiheuttaa kartongin taivutusjäykkyyden alenemista.



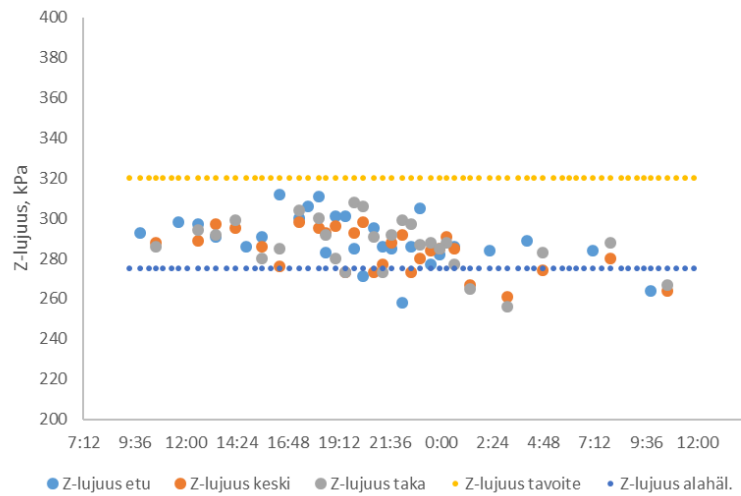
Kuva 110. Laboratoriossa mitattu kartongin pinta- ja selkäkerroksen irrotusluku, sekä tavoitearvot mittauksille.

Kartongin irrotusluku pysyi tasaisena koko koeajon ajan (Kuva 110). Pinnan irrotusluku pysyi tavoitetasolla. Selän alimmat irrotuslukutulokset olivat 50 g/cm. Taso ei kuitenkaan poikennut sekahiokkeella ajetusta kartongista.



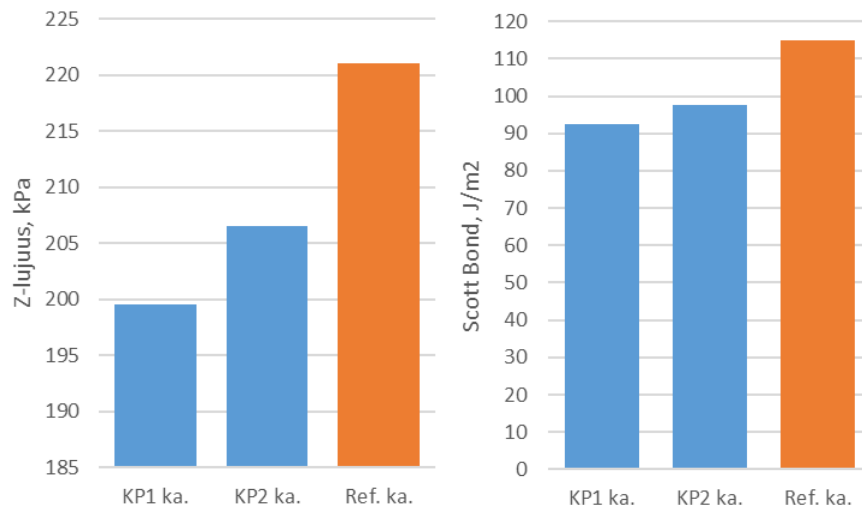
Kuva 111. Laboratoriossa mitattu kartongin Scott Bond -lujuus koeajon ajalta. Kuvassa merkittynä tavoitearvo mittaukselle.

Kartongin Scott Bond -lujuus pysyi vakaalla tasolla koeajon ajan (Kuva 111). Koeajon aikana on havaittavissa yksittäisiä matalampia lujuusarvoja, mutta suuren hajonnan vuoksi yksiselitteisten johtopäätösten tekeminen on haastavaa. Scott Bond -palstautumislujuus riippuu muiden lujuusominaisuuksien tavoin myös kuitujen ominaisuuksista.



Kuva 112. Laboratoriossa mitattu kartongin Z-lujuus koeajon ajalta. Etu-, keski- ja taka-arvot kuvaavat näytteen kohtaa poikkiratanäytteessä. Kuvassa merkittyinä myös tavoite ja alahälytysraja.

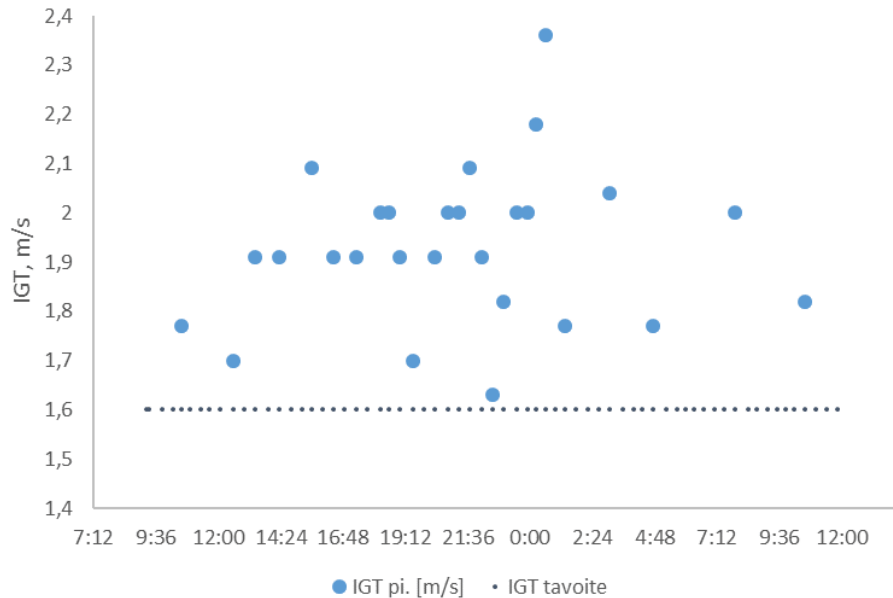
Z-lujuus pysyi koeajon ajan alahälytysrajan yläpuolella. Koeajon jälkeen taso kuitenkin laski jopa alahälytysrajan alapuolelle.



Kuva 113. Hiomolta kerätystä valmiista hiokkeesta valmistetuista laboratorioarkeista mitatut z-lujuus ja Scott Bond. Sinisellä kuvassa puhdas Galileo-hioke ja oranssilla sekahioke.

Hiomolta otetusta valmiista hiokkeesta valmistetuista hiokearkeista suoritettiin myös z-lujuus ja Scott Bond-lujuusmittauksia kartonkitehtaan laboratoriossa. Laboratorioarkeista suoritetuista lujuusmittauksista oli havaittavissa selkeä tasoero sekahiokkeen ja Galileo-

hiokkeen välillä (Kuva 113). Z-lujuus laski laboratorioarkeilla n. 20 kPa ja Scott Bond laski n. 20 J/m². Koska lujuusominaisuuksien muutos ei näkynyt valmiissa taivekartongissa, voidaan olettaa sekahiokkeen ja Galileo-hiokkeen sekoittuneen, jonka takia selkeää muutosta kartonkikoneella ei voitu havaita.



Kuva 114. Kartongin IGT-pintalujuus koeajon aikana. Kuvassa merkittynä mittauksen tavoitearvo.

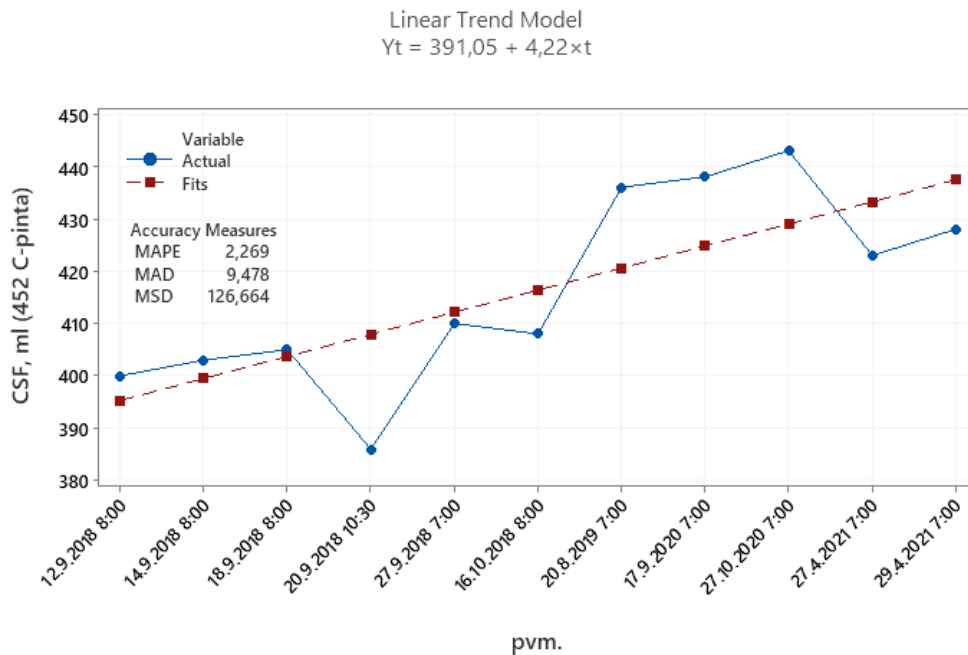
IGT-pintalujuus pysyi muiden lujuusmittausten tavoin tasaisesti tavoitearvoissa koeajon ajan (Kuva 114). Kokonaisuudessaan Galileo-hiokkeella saavutettu muutos kartonkikoneella jäi vähäiseksi suhteessa hiomolla havaittuihin muutoksiin lujuusominaisuuksissa. Muutokset kartonkikoneella, normaaliajoo hitaampi ajonopeus, sekä Galileo-hiokkeen sekoittuminen sekahiokkeeseen vaikeuttivat tulosten luotettavaa analysoimista. Saatujen tulosten perusteella kartongin laatuominaisuudet pysyivät tavoiterajoissa, mutta ilman hiokkeiden sekoittumista olisi oletettavissa ollut selkeämpi lujuusominaisuuksien lasku.

16.4 Kulumisen vaikutus Galileo-hiomakiven pintaan

Koeajossa havaittiin eroavaisuuksia keskenään samanlaisten Galileo-hiomakivien 461 ja 452 välillä. Kulumisen seurauksena hiomakone 452 tuottaa freeness-tasoltaan ja lujuusominaisuuksiltaan korkeammalla tasolla olevaa hioketta. Lisäksi tikkupitoisuus ja pitkien kuitujen osuus on hiomakoneella 452 on korkeampi kuin hiomakoneella 461.

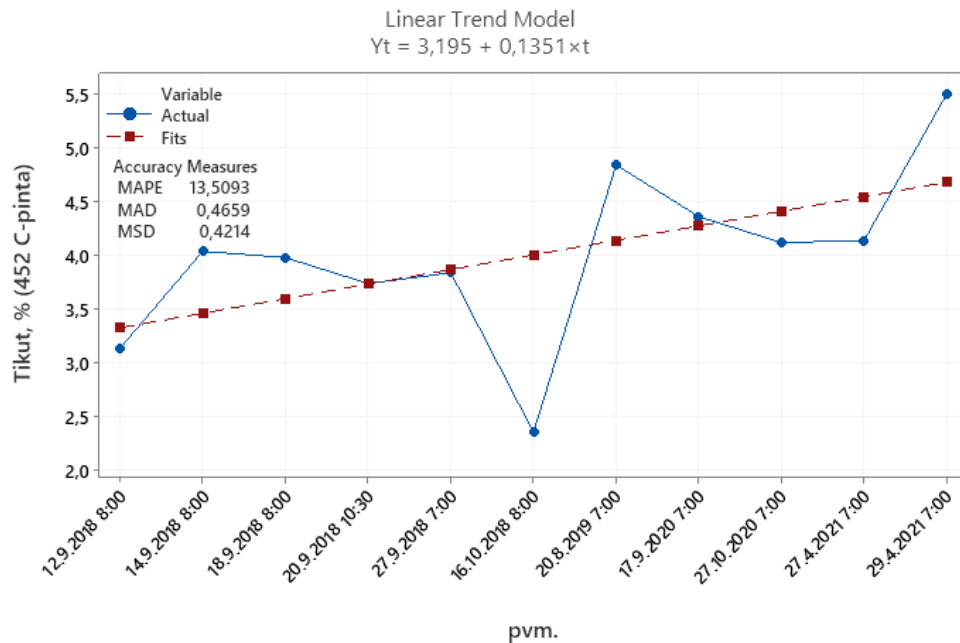
Hiomakiven segmentit vaihdetaan noin vuoden välein mahdollisen segmenttien irtoamisriskin vuoksi. Hiomakoneella 452 ajettiin poikkeuksellisesti yli vuosi Galileo C-pinnalla. Kyseisen Galileo-pinnan ajalta voidaan tarkastella muutoksia kyseisessä Galileo C-pinnassa ajan funktiona.

Tarkastelussa käytettiin massalaboratoriossa määritettyjä kivenalusmassan seurantanäytteiden tuloksia, kun hiomakoneella 452 on ajettu 4 t/h tuotantopyynnillä. Lisäksi vuodenaikaisvaihtelun minimoimiseksi tuloksista on karsittu näytteet, jotka on otettu talviaikaan, sillä hiokkeen freeness- ja vetoindeksitavoitteet poikkeavat kesä- ja talviaikana. Tarkastelussa ei ole otettu huomioon mahdollisia keskeytyksiä hionnassa, sillä kokonaistuloksen kannalta keskeytykset ajossa ovat olleet lyhyitä. Kuvassa 115 on esitetty hiomakoneen 452 kivenalusmassan freeness ajan funktiona.



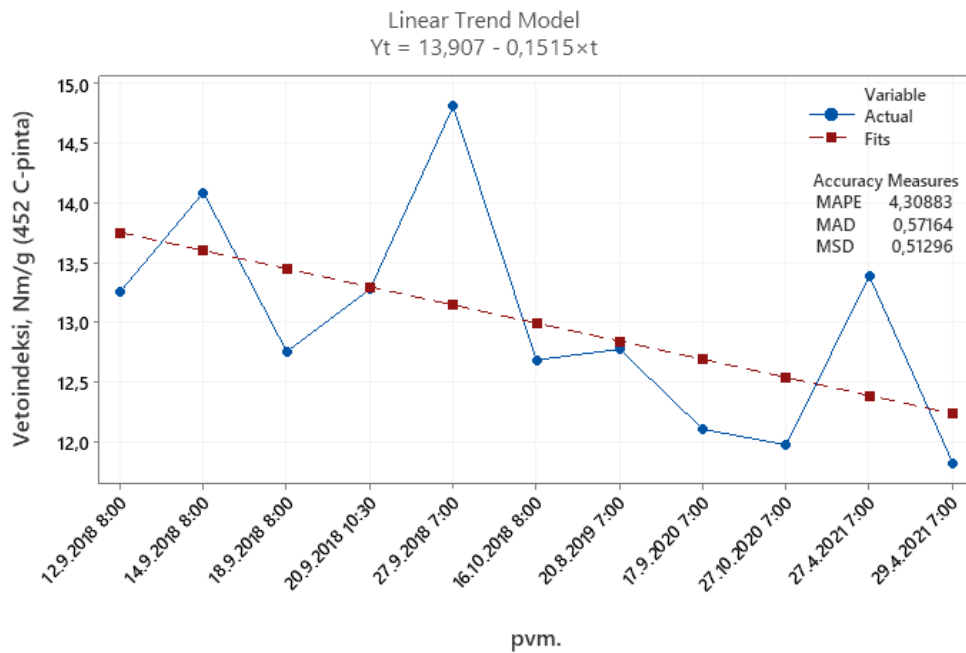
Kuva 115. Kivenalusmassan freeness näytteenottoajan funktiona.

Kivenalusmassan freeness on kasvanut ajan funktiona Galileo C-pinnalla noin 400 ml:sta 430 ml:aan (Kuva 115). Kuten teoriaosassa todettiin, hiomakiven gritin pyöristyessä hioke on karkeampaa ja myös hiokkeen tikkupitoisuus kasvaa. Kivenalusmassan pulmac-tikkupitoisuus on esitetty kuvassa 116 ajan funktiona.



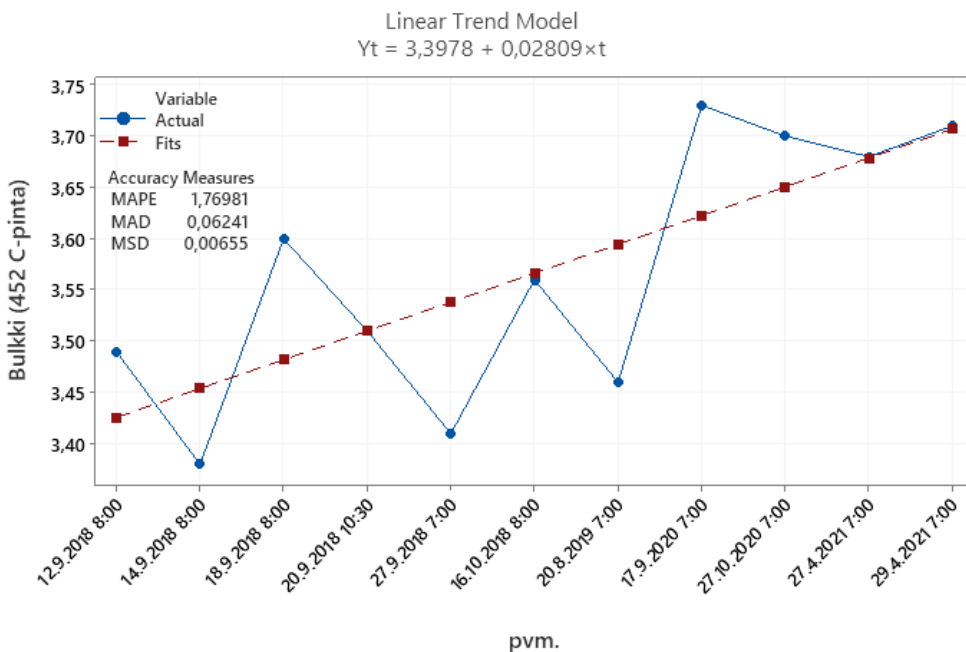
Kuva 116. Kivenalusmassan pulmac-tikkupitoisuus näytteenottoajan funktiona.

Pulmac-tikkupitoisuus kasvaa selkeästi kivenalusmassassa ajan funktiona (Kuva 116). Kivenalusmassan tikkupitoisuuden kasvu voi aiheuttaa freenessin nousun kivenalusmassassa, vaikka todellisuudessa tikuttoman fraktion freeness ei muuttuisi merkittävästi. Tikkupitoisuuden kasvu osoittaa kuitenkin hiomakiven grittien pyörityvän hieman kulutuksen vaikutuksesta, sillä pyöreämpi grittimuoto aiheuttaa hiokkeen tikkupitoisuuden ja freenessin nousun. Kivenalusmassan vetoindeksi näytteenottoajan funktiona on esitetty kuvassa 117.



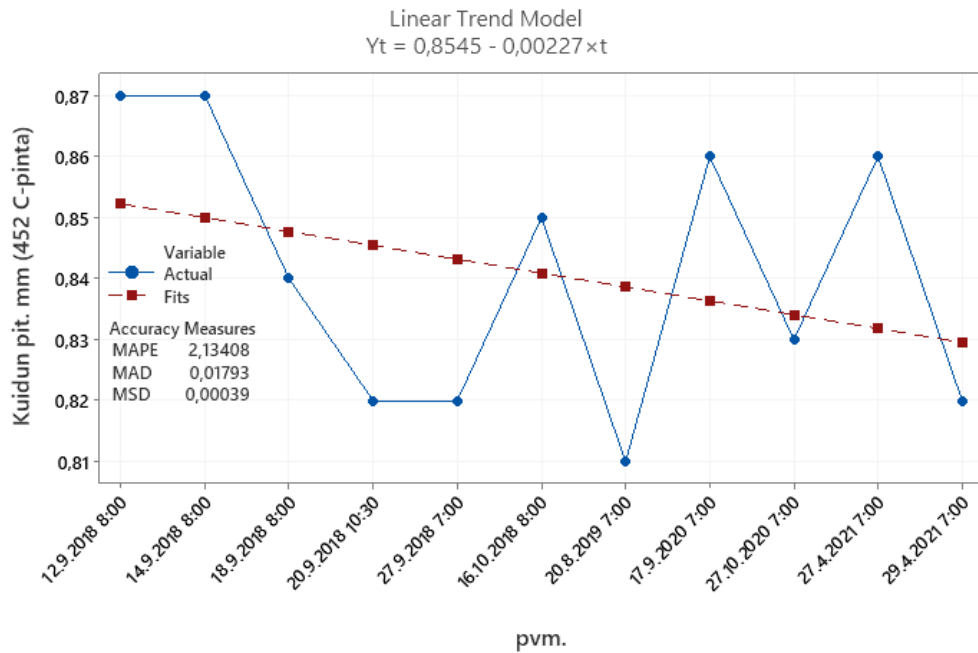
Kuva 117. Kivenalusmassan vetoindeksi näytteenottoajan funktiona.

Päinvastoin kuin koeajotuloksista arvioitiin, kivenalusmassan vetoindeksin nähdään laskevan ajan funktiona (Kuva 117). Muutoksen suunta on looginen, kun otetaan huomioon freneksen nousu hiomakiven käyttöajan kasvaessa. Kivenalusmassan bulkki näytteenottoajan funktiona on kuvaajassa 118.



Kuva 118. Kivenalusmassan bulkki näytteenottoajan funktiona.

Kivenalusmassan bulkki kasvaa myös hiomakiven pinnan kulumisen myötä (Kuva 118). Bulkin muutokset voivat liittyä kuitenkin tikkupitoisuuden kasvuun, sillä massalaboratoriossa valmistettavista laboratorioarkeista ei poisteta tikkuja. Kivenalusmassan keskikuidunpituus näytteenottoajan funktiona on esitetty kuvassa 119.



Kuva 119. Kivenalusmassan keskikuidunpituus näytteenottoajan funktiona.

Kivenalusmassan keskikuidunpituus ei vaikuta muuttuvan merkittävästi hiomakiven pinnan kuluessa (Kuva 119). Tämän takia onkin oletettavaa, että muutokset freneksessä ja bulkissa selittyvät kasvavalla tikkupitoisuudella.

Tarkastelu ei puolla koeajosta saatuja tuloksia. Tarkastelun perusteella Galileo C-pinta tuottaa ajan funktiona karkeampaa hioketta, jonka vetoindeksi laskisi. Tulosten perusteella vaikuttaisi, että hiomakiven segmenttien vuoden vaihtovälin aikana pinnassa tapahtuvat muutokset liittyvät tikkupitoisuuden nousuun. Ottaen huomioon mahdollisen freneksen nousun ajon aikana, olisi kiven pinnan vaihto hyvä ajoittaa syksyyn, mahdollisimman lähelle puun jäätymisajankohtaa. Tällä tavoin Galileo C-pinnan matalampaa freneks-tasoa ja korkeampaa vetoindeksitasoa voitaisiin hyödyntää talviaikana, jolloin jäinen puu aiheuttaa mahdollisesti laatuongelmia.

17 TUOTANTOPYYNNIN VAIKUTUS HIOKKEEN LAATUUN

Hiokkeen laatuominaisuuksia voidaan muokata hiomakoneen tuotantopyyntiä säätämällä. Tuotantopyynnillä tarkoitetaan hiomakoneella uunikohtaisesti asetettavaa tuotannon asetusarvoa. H4-osahiomalinjan hiomakoneilla tuotantopyynnin säätäminen tapahtuu uunikohtaisesti, jolloin paineanturan nopeus muuttuu. Hiomakoneen tuotantopyynti esitetään aina uunikohtaisesti. Tuotantonopeuden vaikutuksia eri hiomakivillä tutkittiin koeajon avulla, jossa jokainen kolmesta hiomakoneesta testattiin erikseen. Tavallisesti hiomolla ajetaan kaikilla hiomakoneilla 4 t/h tuotantopyynnillä kaikilla hiomakoneilla. Talvisin jäinen puu aiheuttaa vetolujuuden laskemista, jota voidaan kompensoida laskemalla hiomakoneiden tuotantopyyntiä. Erityisesti kesäisin hiokkeen laadun ollessa hyvällä tasolla, hiomakoneiden tuotantopyyntiä voidaan nostaa yli 4,0 t/h, mikäli kartonkikoneen hiokkeen kulutus sitä vaatii.

Koeajosta otettiin näytteet hiomakoneiden kivenalusmassoista, sekä valmiista hiokkeesta kiekkosuotimen jälkeen. Tuotantonopeuden aiheuttamien laatumuutosten havaitseminen on selkeintä kivenalusmassoista, sillä valmiin hiokkeen ominaisuuksiin vaikuttavat myös lajittelu ja rejektin jauhatus. Tuotantotehosarjojen perusteella pyrittiin maksimoimaan hiokkeen vetolujuus optimoimalla hiomakoneiden tuotantopyynnit.

17.1 Tuotantotehokoeajon tulokset

Tuotantotehokoe ajettiin hiomolla kahtena eri päivänä siten, että koepisteet 1-8 ja 9-12 ajettiin eri päivinä (Taulukko XIV). Hiomakoneiden referenssituotantopyynniksi valittiin 4 t/h, joka on myös Galileo-hiomakivien mitoituksessa käytetty tuotantotaso. Testattaviksi uunikohtaisiksi tuotantopyynneiksi valittiin 3,7; 4,0; 4,3 ja 4,7 t/h.

Taulukko XIV Tuotantotehotestauksen koepisteet.

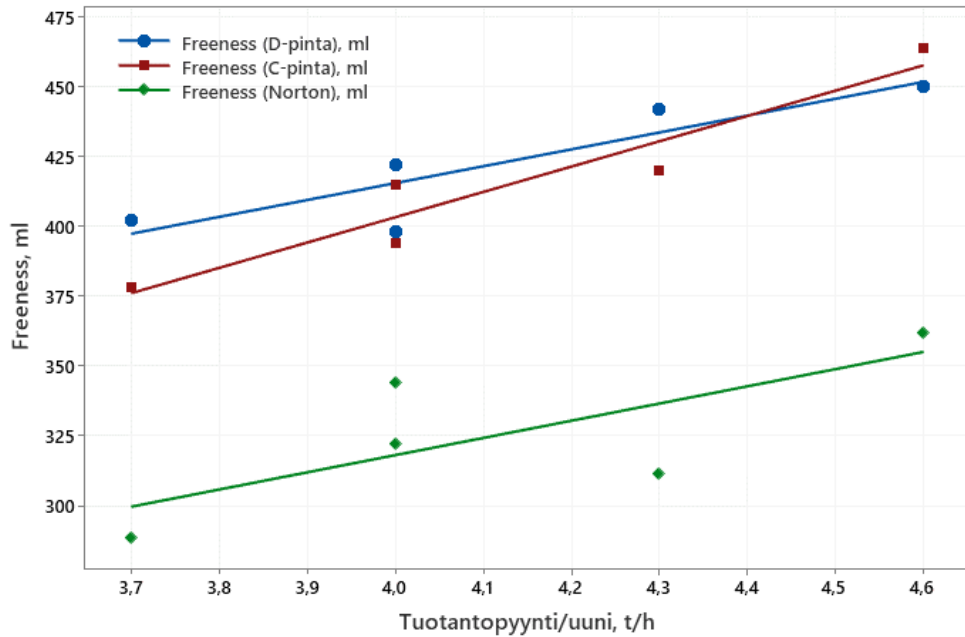
Koepiste	H452 (Galileo C-pinta)	H461 (Galileo D-pinta)	H462 (Norton)
1	3,7	4,0	4,0
2	4,0	4,0	4,0
3	4,3	4,0	4,0
4	4,6	4,0	4,0
5	4,0	3,7	4,0
6	4,0	4,3	4,0
7	4,0	4,6	4,0
8	4,0	4,0	3,7
9	4,0	4,0	4,0
10	4,0	4,0	4,3
11	4,0	4,0	4,6

Laboratoriossa suoritettiin mittaukset kivenalusmassoista, sekä valmiista hiokkeesta taulukon XV miukaisesti. Hiomon PulpExpert -analysointia käytettiin valmiin hiokkeen freeness-tason seuraamiseen koeajon aikana. Valmiin hiokkeen freeness-tavoite on kesäaikaan 310 ± 30 ml ja talviaikaan 330 ± 30 ml. Koeajon aikana käytettiin yhdistettyjä kesä- ja talviajan freeness-tavoitteita.

Taulukko XV Tuotantotehokokeen näytteistä suoritettut mittaukset.

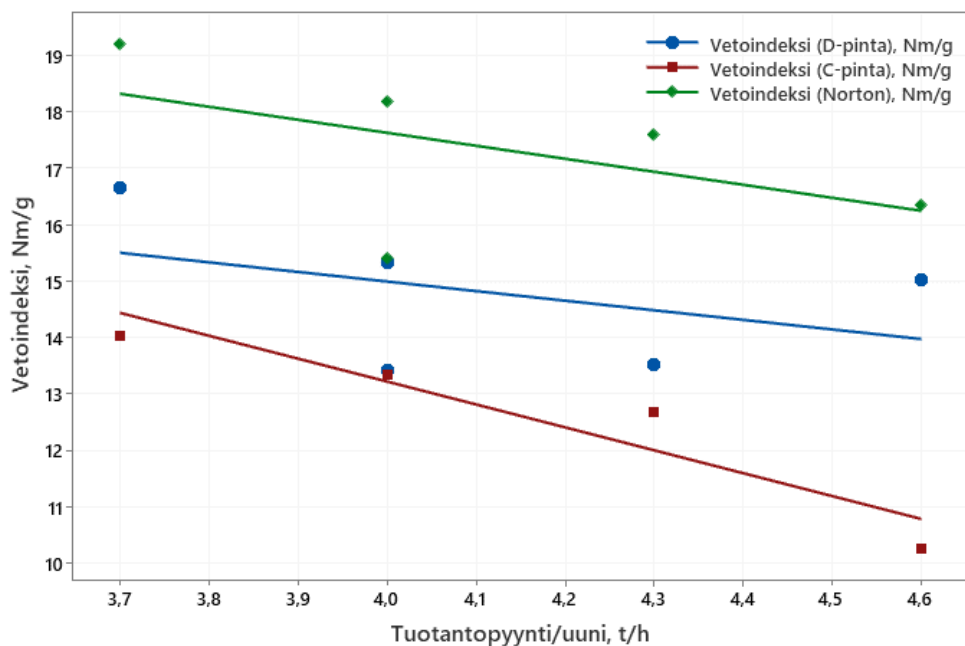
Näyte	Laboratoriomittaukset
Kivenalusmassat ja valmis hioke	Freeness, vetolujuus, repäisyjujuus, keskikuidunpituus, bulkki, pulmac-tikkupitoisuus ja Scott Bond.

Koeajon aikana keraamista kiveä ei oltu terätty pitkään aikaan, jonka vuoksi korkeimilla tuotantopyynnillä koepisteissä 10 ja 11 saavutettu tuotantonopeus ei ollut täysin tuotantopyynnin mukainen, sillä automatiikka rajoittaa paineanturan nopeutta hiontatehon ylittäessä asetetun raja-arvon. Koepisteiden 10 ja 11 aikana paineanturan ollessa lähellä pohja-asentoa automatiikka rajoitti paine-anturan nopeutta, joten toteutunut tuotantonopeus oli alle tavoitteen. Tämä vaikuttaa tulosten luotettavuuteen keraamisen hiomakiven osalta. Kivenalusmassojen freeness eri hiomakivillä tuotantopyynnin funktiona on esitetty kuvassa 120.



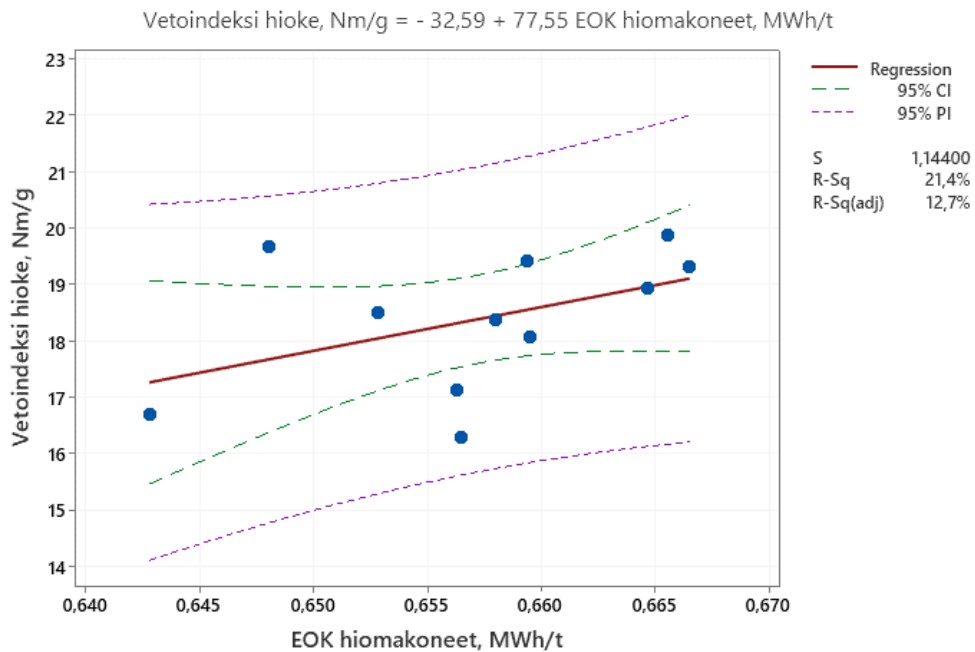
Kuva 120. Kivenalusmassojen freeness tuotantopyynnin funktiona eri hiomakivillä.

Kivenalusmassan freenessin kehitys tuotantopyynnin funktiona on samansuuntainen kaikilla hiomakivillä, mutta Nortonin keraamisen hiomakiven freeness-taso on huomattavasti matalammalla, kuin Galileo-hiomakivillä (Kuva 120). Freenessin muutos tuotantopyyntivälillä 3,7–4,6 t/h on kaikilla hiomakivillä n. 50 ml. Kuvassa 121 on esitetty vetoindeksin kehitys kivenalusmassoissa tuotantopyynnin funktiona.



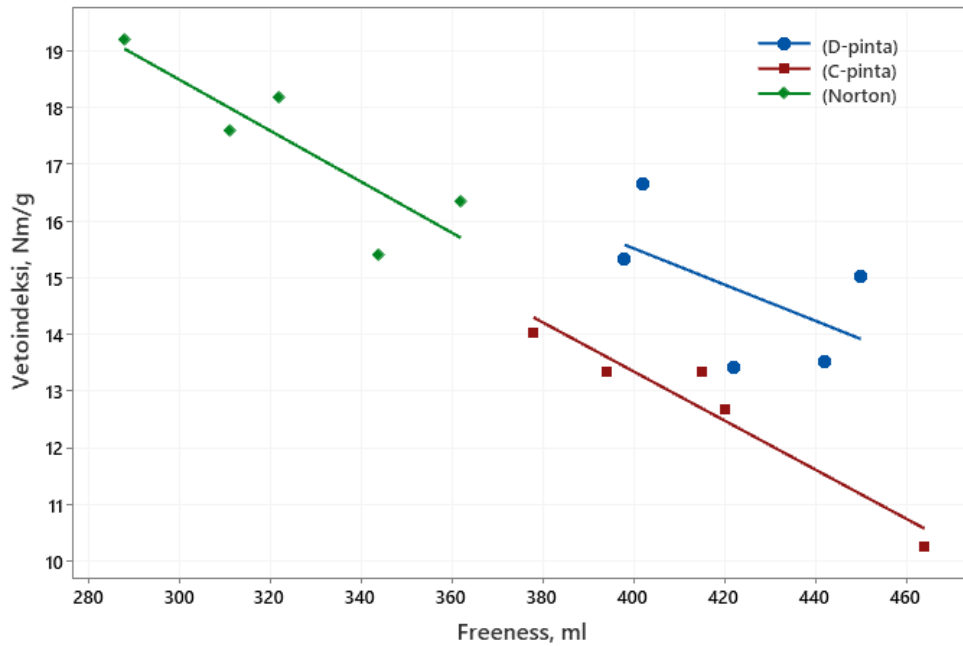
Kuva 121. Kivenalusmassojen vetoindeksi tuotantopyynnin funktiona eri hiomakivillä.

Kivenalusmassojen vetoindeksi laskee kaikilla hiomakivillä tuotantopyynnin kasvaessa (Kuva 121). Nortonin keraamisen hiomakiven vetoindeksitaso on selkeästi korkein, kun Galileo C-pinnan vetoindeksitaso on matalin. Vetoindeksi muuttuu tuotantopyyntivälillä 3,7-4,6 t/h keskimäärin n. 2 Nm/g. Vetoindeksistä suoritettu regressioanalyysi hiomakoneiden ominaisenergiankulutuksen funktiona on esitetty kuvassa 122.



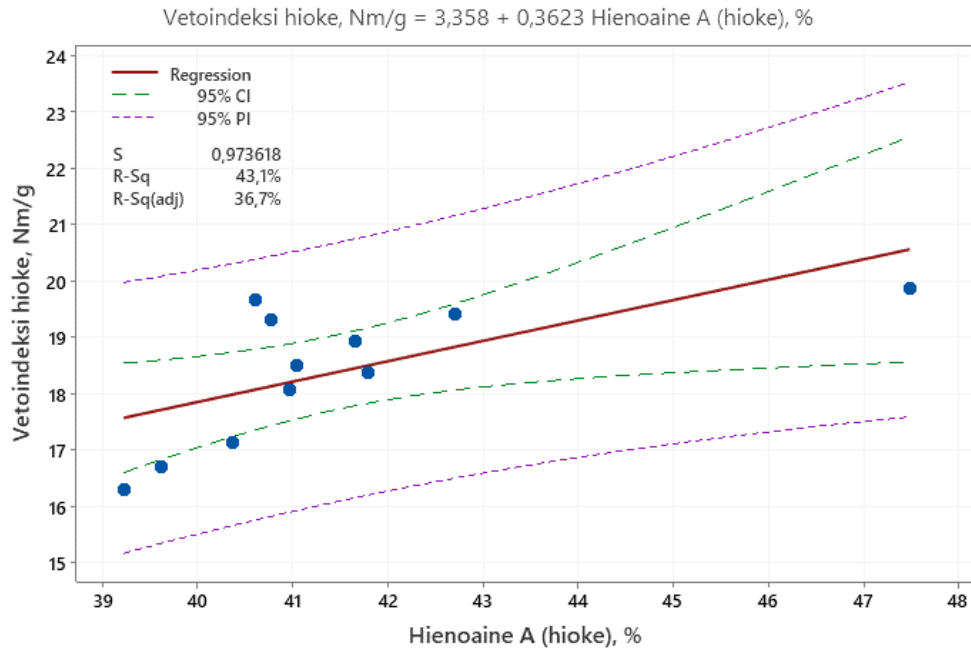
Kuva 122. Valmiin hiokkeen vetoindeksin kehitys hiomakoneiden kokonaisominaisenergiankulutuksen funktiona. $P = 0,152$. P-arvon ollessa pienempi kuin 0,05, voidaan todeta, että tulos on tilastollisesti merkittävä

Koska regressioanalyysin p-arvo on yli 0,05, tulos ei ole tilastotieteellisesti merkittävä (Kuva 122). Regressioanalyysistä voidaan havaita koeajotuloksissa olevan muutamia pisteistä, jotka poikkeavat merkittävästi lineaarisesta sovituksesta. Tarkastelemalla erityisesti lineaarisesta sovituksesta suurempia vetulujuustuloksia tuottavia ajokombinaatioita, voidaan tehdä johtopäätöksiä, tuottaako jokin ajokombinaatioista keskimääräistä paremman vetolujuuden hiokkeelle. Piste (0,6481;19,67) poikkeaa selkeästi sovituksesta. Kyseessä on ajokombinaatio, jossa Galileo C-pinnalla on ajettu 3,7 t/h ja kahdella muulla hiomakoneella referenssitasolla 4 t/h. Vetoindeksin kehitystä kivenalusmassassa on tarkasteltu myös freneksen funktiona kuvassa 123.



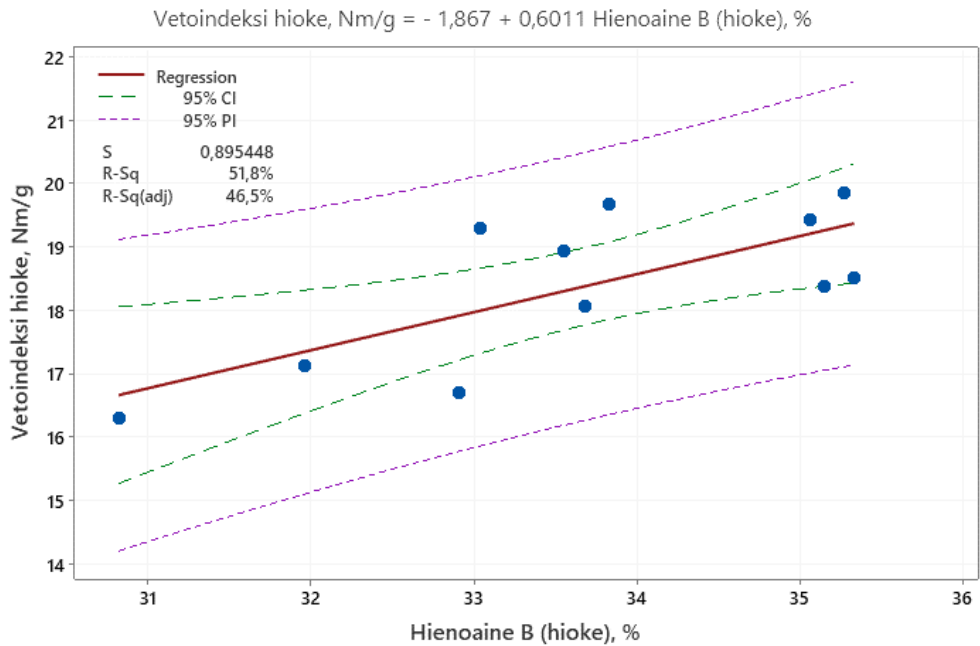
Kuva 123. Kivenalusmassojen vetoindeksi freeneksen funktiona eri hiomakivillä.

Vetoindeksi kehityy freeneksen funktiona hyvin samalla tavoin kaikilla eri hiomakivillä (Kuva 123). Galileo D-pinnan vetolujuustaso on kuitenkin korkeammalla kuin Galileo C-pinnalla tai Nortonin keraamisella hiomakivellä. Koska keraamisen hiomakiven freeness oli koeajon aikana merkittävästi matalalla tasolla, myös vetolujuus on ollut korkeammalla tasolla kuin Galileo-hiomakivillä. Sovituksien kulmakertoimet ovat kuitenkin samansuuntaisia. Vetoindeksistä suoritettu regressioanalyysi hiomakoneiden hiutalemaisten hienoaineiden funktiona on esitetty kuvassa 124.



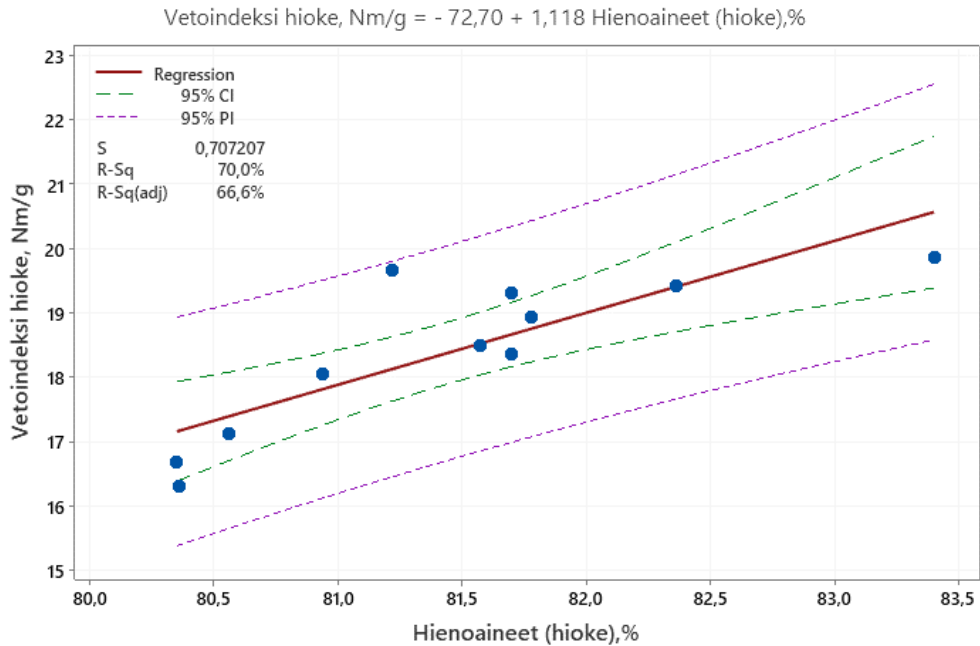
Kuva 124. Valmiin hiokkeen vetoindeksi hiutalemaisten hienoaineiden A prosenttisuuden funktiona. $P = 0,028$. P -arvon ollessa pienempi kuin 0,05, voidaan todeta, että tulos on tilastollisesti merkittävä.

P -arvon ollessa pienempi kuin 0,05, voidaan todeta, että tulos on tilastollisesti merkittävä (Kuva 124). Valmiin hiokkeen vetoindeksi kasvaa hiutalemaisten hienoaineiden määrän kasvaessa. Vetoindeksistä suoritettu regressioanalyysi hiomakoneiden kuitumaisten hienoaineiden funktiona on esitetty kuvassa 125.



Kuva 125. Valmiin hiokkeen vetoindeksi kuitumaisten hienoaineiden B prosenttiosuuden funktiona. $P = 0,012$. P-arvon ollessa pienempi kuin 0,05, voidaan todeta, että tulos on tilastollisesti merkittävä.

Myös kuitumaisten hienoaineiden määrää tarkasteltaessa p-arvo on alle 0,05, joka tarkoittaa tuloksen olevan tilastollisesti merkittävä (Kuva 125). Kuitumaisten hienoaineiden määrän kasvaessa, hiokkeen vetolujuus kasvaa. Hienoaineiden kokonaismäärän vaikutusta valmiin hiokkeen vetolujuuteen on tarkasteltu kuvassa 126.



Kuva 126. Valmiin hiokkeen vetoindeksi hienoaineiden prosenttiosuuden funktiona. $P = 0,001$. P -arvon ollessa pienempi kuin $0,05$, voidaan todeta, että tulos on tilastollisesti merkittävä.

Hienoaineiden kokonaisuutta tarkasteltaessa, p -arvo on $0,001$, joka merkitsee tuloksen olevan tilastollisesti merkittävä (Kuva 126). Teoriaosassa todettiin etenkin kuitumaisten hienoaineiden parantavan hiokkeen lujuusominaisuuksia, mutta koeajotulosten perusteella hienoaineiden määrän kasvu parantaa hiokkeen vetolujuutta riippumatta hienoaineiden tarkasta koostumuksesta. Hienoaineiden määrä on korkeimmillaan ajokombinaatioissa, joissa ajettiin kaikilla hiomakoneilla 4 t/h tuotantopyynnillä. Hienoaineiden kokonaismäärä oli alle 80% , kun Galileo D tai C –pinnan tuotantopyynti oli yli 4 t/h . Tuloksien perusteella vaikuttaa, että hienoaineiden muodostuminen vähenee Galileo-pinnoilla tuotantopyynnin kasvaessa.

Koeajon tulosten perusteella suoritettiin optimointi hiomakoneiden tuotantopyynneille, jonka tarkoituksena oli maksimoida kaikkien kolmen hiomakoneen kivenalusmassojen keskimääräinen vetolujuus, kun kokonaistuotanto pysyy vakiona. Optimointi suoritettiin vetolujuuskuvaajan (Kuva 121) suoran yhtälöiden avulla. Suoran yhtälöiden avulla lasketut arviot hiokkeen vetolujuudella 4 t/h ja optimi tuotantopyynneillä on esitetty taulukossa XVI.

Taulukko XVI Valmiin hiokkeen laskennallinen vetolujuus ja freeness ajettaessa vakiotuotantopyynnillä jokaisella hiomakoneella, sekä tuotantopyyntien optimoinnin jälkeen.

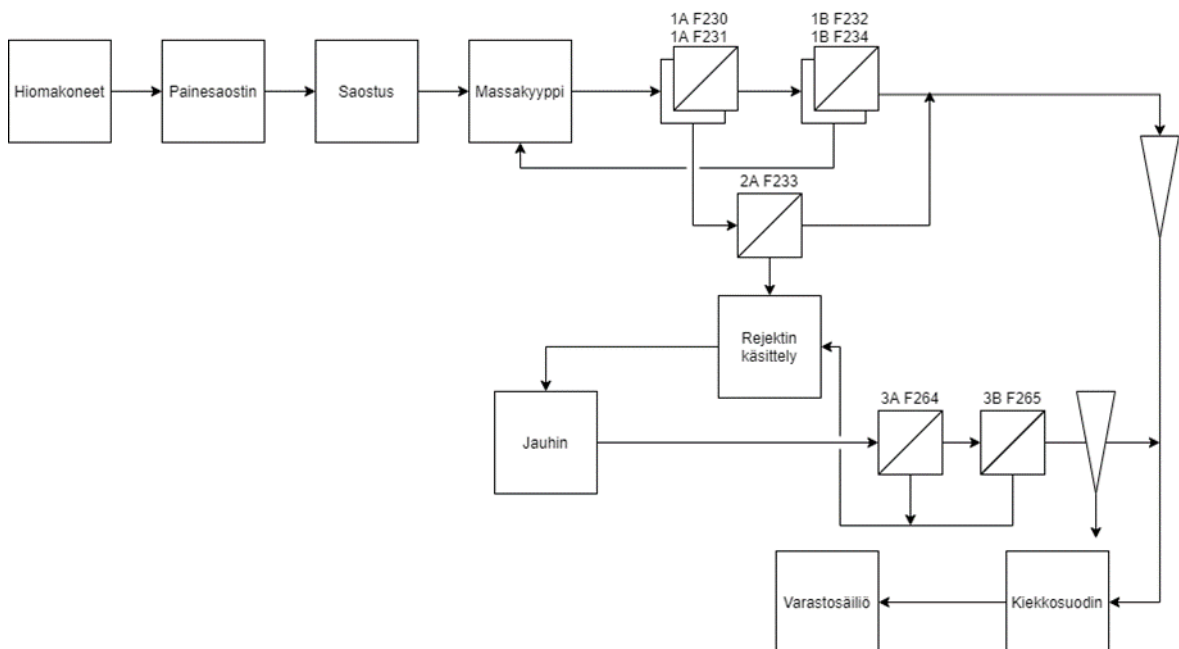
Tuotantopyynti D-pinta, t/h	Tuotantopyynti C-pinta, t/h	Tuotantopyynti Norton, t/h	Hiokkeen vetolujuus, Nm/g	Hiokkeen freeness, ml
4,0	4,0	4,0	19,39	335
4,2	3,7	4,1	19,55	332

Optimoimalla hiomakoneille yksilölliset tuotantopyynnit, voidaan hienosäätää hiokkeen ominaisuuksia (Taulukko XVI). Tuloksista voidaan havaita hiomakiven pinnan optimoinnin merkitys. Galileo C-pinnalla ei voida saavuttaa Galileo D-pinnan ja Nortonin keraamisen hiomakiven vetolujuustasoa siitä huolimatta, että hiomakoneen tuotantopyyntiä laskettaisiin merkittävästi. Valmiin hiokkeen koeajossa mitattuja ominaisuuksia tarkastelemalla, keskimääräistä parempia lujuusominaisuuksia saavutettiin ajamalla normaalilla ajotavalla tai Galileo C-pinnalla pienemmällä tuotantopyynnillä.

Valmiin hiokkeen vetoindeksi korreloi kokonaishienoainemäärän kanssa. Hiomon PulpExpertiltä otetaan säännöllisesti vertailunäytteitä massalaboratorioon. Kyseisistä vertailunäytteistä määritetään keskikuidunpituus FS5-analysaattorilla. Tuloksista olisi mahdollista suorittaa seuranta myös hienoaineiden määrälle.

18 LAJITTELUN JA REJEKTIN KÄSITTELYN TEHOSTAMINEN

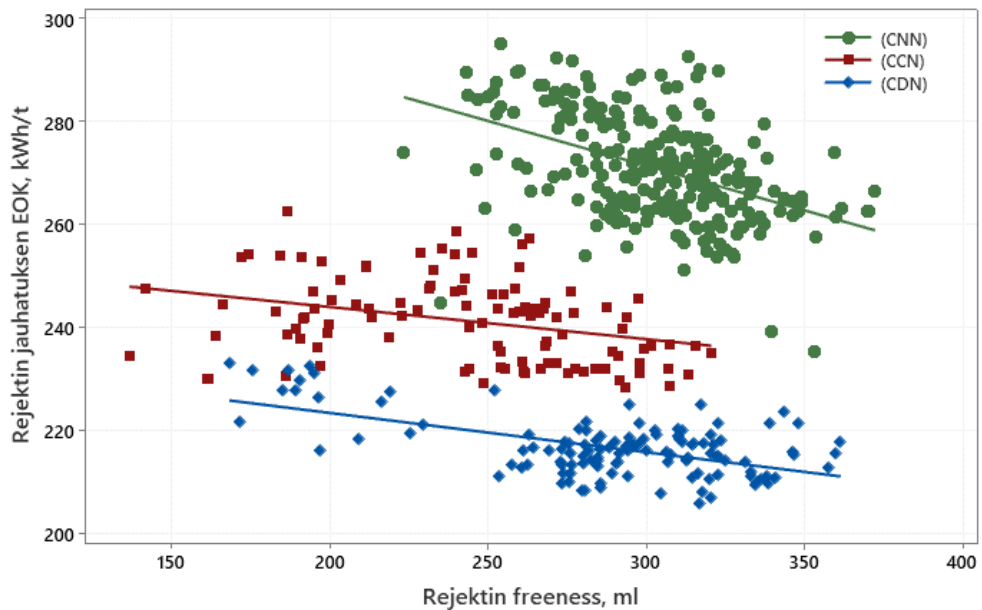
Hioke kulkee hiomakoneilta lajittelun läpi ennen hiokkeen käyttöä taivekartonginvalmistuksessa. Anjalankosken tehtaiden hiomon H4-linjan lajittelu koostuu kolmessa vaiheessa olevista painelajittimista, sekä kahdesta rejektin jauhimesta kuvan 127 mukaisesti. Lajitteluun kuuluu myös pyörrepuhdistus, mutta koska pyörrepuhdistimet eivät ole käytössä nykyisellä ajotavalla, niitä ei käsitellä tarkemmin tässä työssä.



Kuva 127. Lajittelu ja rejektin käsittely H4-osahiomalinjalla.

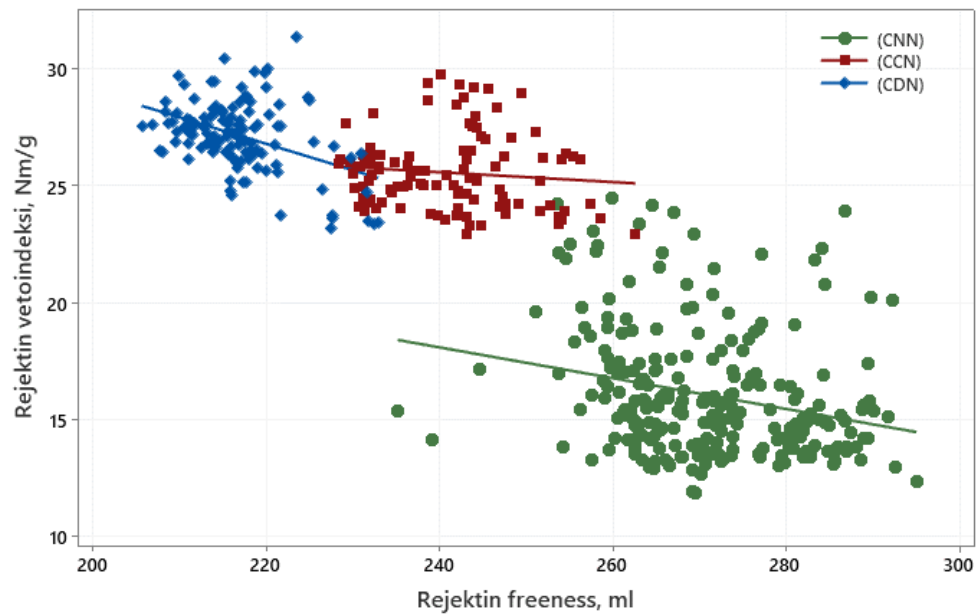
H4-osahiotalinjalla lajittelun syöttövirta tulee rinnakkaisiin 1A-painelajittimiin F230 ja F231, joista akseptivirta etenee rinnakkaisille 1B-lajittimille F232 ja F234. 1A-lajittimien rejekti syötetään jatkolajitteluun sihdille 2A (F233). 1B-lajittimien rejekti kierrätetään takaisin massakyyppiin. Lajittimien 1B ja 2A akseptit muodostavat yhdessä lajittelun akseptin. 2A-lajittimen rejekti jauhetaan, jonka jälkeen jauhettu rejekti kulkee lajittimien 3A (F264) ja 3B (F265 ja F263) läpi. Rejekti lajittimilta 3A ja 3B kierrätetään takaisin rejektinkäsittelyyn. Pyörrepuhdistus voidaan ohittaa tarvittaessa, eikä pyörrepuhdistus ole ollut käytössä diplomityöhän valittuina tarkasteluaikoina.

Toisen Galileo-kiven asennuksen jälkeen marraskuussa 2020 rejektimäärien on havaittu laskeneen. Tämän seurauksena kahdesta rejektijauhimesta vain toinen on ollut käytössä. Rejektin lujuusominaisuuksien kehityksessä freenessin laskiessa on myös havaittu eroavaisuuksia (Kuva 128).



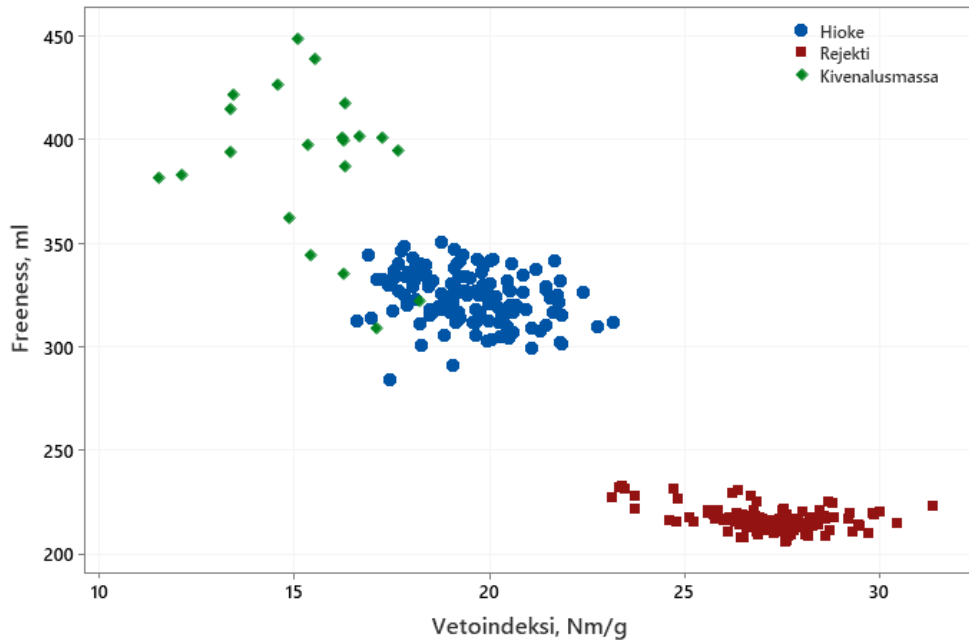
Kuva 128. Rejektin freeness rejektin jauhatuksen EOK:n funktiona eri hiomakivikombinaatioilla. Datan keräily kivikombinaatioille 18.4.-30.4.2020 CNN, 9.4.-21.4.2021 CCN ja 12.6.-23.6.2021 CDN. Hiomakivityyppien lyhennykset kuvassa: Galileo C-pinta (C), Galileo D-pinta (D) ja Norton (N).

Rejektin freenessin kehityksen jauhatuksen ominaisenergiankulutuksen funktiona voidaan havaita eroavan merkittävästi riippuen hiomakivikombinaatiosta (Kuva 128.). Hiomakivikombinaatiolla CDN saavutetaan kuitenkin selkeästi matalin freeness-taso verrattuna muihin käytössä olleisiin hiomakivikombinaatioihin. Rejektin vetoindeksiä rejektin freenessin funktiona on tarkasteltu kuvassa 129.



Kuva 129. Rejektin vetoindexi rejektin freenessin funktiona eri hiomakivikombinaatioilla. Datan keräily kivikombinaatioille 18.4.-30.4.2020 CNN, 9.4.-21.4.2021 CCN ja 12.6.-23.6.2021 CDN. Hiomakivityyppien lyhennykset kuvassa: Galileo C-pinta (C), Galileo D-pinta (D) ja Norton (N).

Kahden Galileo-hiomakiven kombinaatioilla rejektin freeness on selkeästi korkeammalla tasolla kuin hiomakivikombinaatiolla CNN (Kuva 129). Vetoindexi korreloi rejektin freenessin kanssa, jolloin matalammilla freeness-arvoilla saavutetaan korkeampi vetoindexi. Kivikombinaatiolla CCN rejektin vetoindexin kehitys näyttää olevan heikompi rejektin freenessin funktiona kuin muilla hiomakivikombinaatioilla. Tämä voi selittyä Galileo C-pinnan kivenalusmassan lyhyemmällä keskikuidunpituudella verrattuna muihin hiomakiviin. Kivenalusmassojen, rejektin ja hiokkeen freenessit vetoindexin funktiona ovat esitetty kuvassa 130.



Kuva 130. Valmiin hiokkeen, rejektin ja kivenalusmassojen freeness-arvot vetolujuuden funktiona. Tarkastelujaksona hiokkeelle ja rejektille 12.6.- 23.6.2021. Kivenalusmassojen tulokset vuodelta 2021 sulan puun ajalta 4 t/h tuotantopyynnillä.

Kuva 130 osoittaa kuinka kivenalusmassojen lujuustaso on selkeästi matalin ja rejektin korkein. Valmis hiokkeen lujuustaso asettuu näiden kahden välille. Freeness mukaillee vetoindeksin kehitystä.

18.1 Lajittelun kartoitus ja 2A-sihdin syöttösakeuden nostaminen

Vuonna 2009 tehdyn lajittelujen sakeuskoeajon perusteella on havaittu, että sihtien syöttömassan sakeutta nostamalla voidaan kasvattaa rejektin lujuusominaisuuksia. Lajittelua tarkastellessa havaittiin 2A-lajittimen syöttövirran olevan laimea, koska toisen Galileo-kiven asennuksen jälkeen rejektimäärät ovat pienentyneet. Syöttösakeuden vaikutusta testattiin koeajolla, jossa 2A-sihdin syöttösakeutta nostettiin laimennusvesikerrointa pienentämällä. Laimennusvesikerroin oli normaaliajossa 2,5 ja koeajon aikana kerroin laskettiin arvoon 1,6. Samalla keräiltiin näytteet lajittelun tilan selvittämiseksi. Laboratoriossa lajittimien akseptinäytteistä määritettiin sakeus, pulmac-tikkupitoisuus, vetoindexi sekä freeness ja tulokset on esitetty tTaulukko XVII.

Taulukko XVII Laboratoriomääritykset lajittelusta otetuista näytteistä.

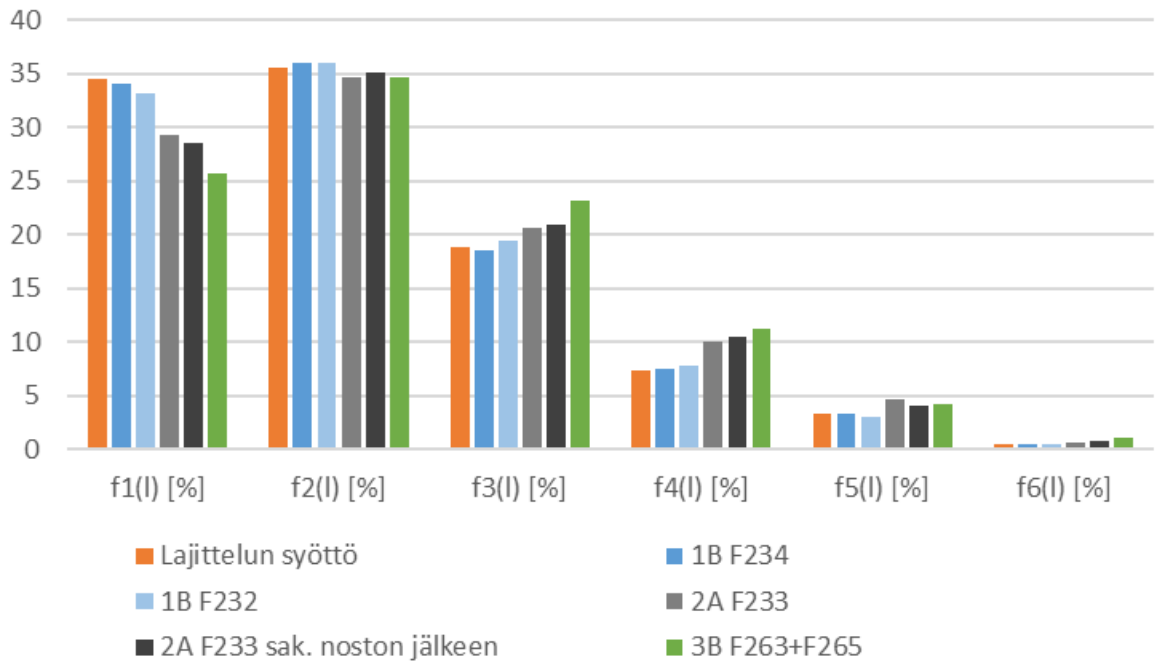
Näyte	Sakeus [%]	Pulmac-tikkupitoisuus [%]	Vetoindeksi [Nm/g]	Freeness [ml]
Lajittelun syöttö	1,46	6,48	13,10	395
1B (F234) aksepti	1,27	2,00	14,50	329
1B (F232) aksepti	1,23	1,54	15,30	321
2A (F233) aksepti	0,67	3,06	14,24	457
3B (F265 ja F263) yhteinen aksepti	1,13	4,00	19,36	293

Ero rinnakkaisten 1B-lajittimien näytteiden akseptitulosten välillä oli pieni, joten voidaan olettaa, ettei lajittimien sihtikoreissa ole merkittäviä kulumisen aiheuttamia keskinäisiä eroja.

Taulukko XVIII Laboratoriomääritykset 2A-lajittimelta otetusta näytteestä sakeusmuutoksen jälkeen.

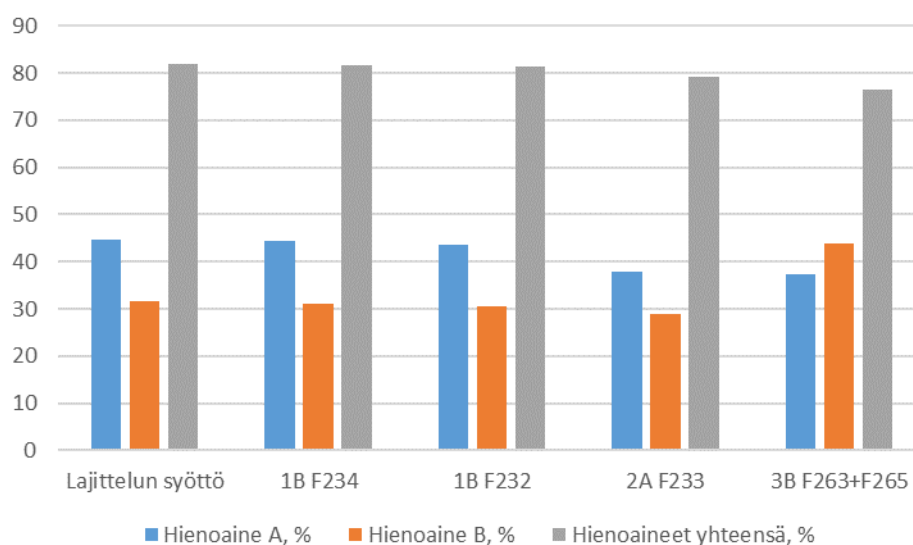
Näyte	Sakeus [%]	Pulmac-tikkupitoisuus [%]	Vetoindeksi [Nm/g]	Freeness [ml]
2A (F233) aksepti sak.muutoksen jälkeen	0,74	4,26	13,84	429

2A-sihdin syöttösakeuden noston jälkeen akseptin sakeus ja tikkupitoisuus nousivat, kun vetoindeksi ja freeness laskivat (Taulukko XVIII). Muutokset olivat kuitenkin oletettua pienempiä.



Kuva 131. Laboratoriossa määritetyt kuitupituusjakaumat FS5-analyssaattorilla. Fraktioiden pituudet järjestyksessä pienimmästä suurimpaan: 0–0,2; 0,2–0,6; 0,6–1,2; 1,2–2,0; 2,0–3,2; 3,2–7,6 mm.

Kuitupituusjakaumasta voidaan havaita lajittelun syötön ja 1B-lajittimien akseptien välillä olevan hyvin pieni ero (Kuva 131). 2A-lajittimen tulokset ennen ja jälkeen syöttösakeuden nostamisen ovat samansuuruisia. Lajittelun edetessä f1-fraktion osuus pienenee ja fraktioiden f3-f5 osuus kasvaa akseptissa. Lajittelusta otettujen näytteiden FS5-hienoainetuloja on tarkasteltu kuvassa 132.



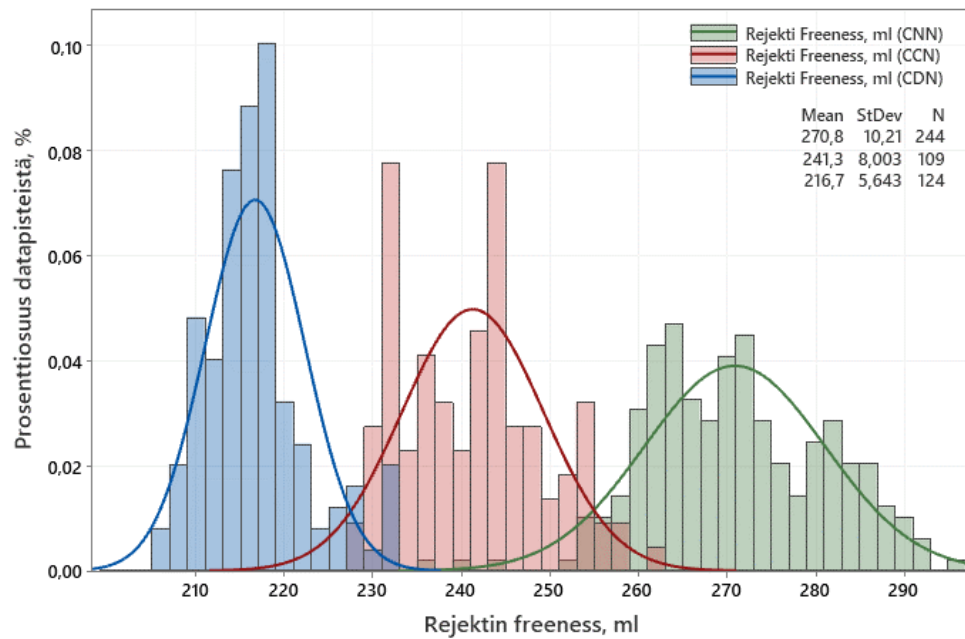
Kuva 132. Laboratoriossa määritetyt hienoainekoostumukset FS5-analysointilinjalla. Hienoaine A tarkoittaa hiutalemaita hienoaineita ja hienoaine B kuitumaita hienoaineita.

FS5-analysointilinjalla annettujen tulosten perusteella (Kuva 132) voidaan nähdä 3B-lajittimen akseptin sisältävän kuitumaita hienoaineita selkeästi enemmän. Rejektijauhituksen jälkeen olevien 3B-lajittimien kuitumaiten hienoaineiden osuus on 44 %, kun muilla lajittimilla pitoisuus on keskimäärin n. 30 %. Lisäksi ennen rejektijauhitusta olevilla lajittimilla hiutalemaisten hienoaineiden osuus on suurempi kuin kuitumaiten hienoaineiden.

Lajittelusta otettujen näytteiden perusteella voitiin todeta, että 2A-lajittimen sihtikori toimii heikosti ja sihtikorin kunto tulisi tarkistaa. Lisäksi freneksen muutos 1B-sihtien ja lajittelun syötön välillä oli pieni, jonka vuoksi myös 1B-sihtikorien kunto voi olla huono. Tulosten perusteella voidaan todeta, että 2A-lajittimen syöttövirran ajaminen sakeampana on mahdollista ja sen ohittamista voidaan yrittää ilman suurta tukkeutumisriskiä.

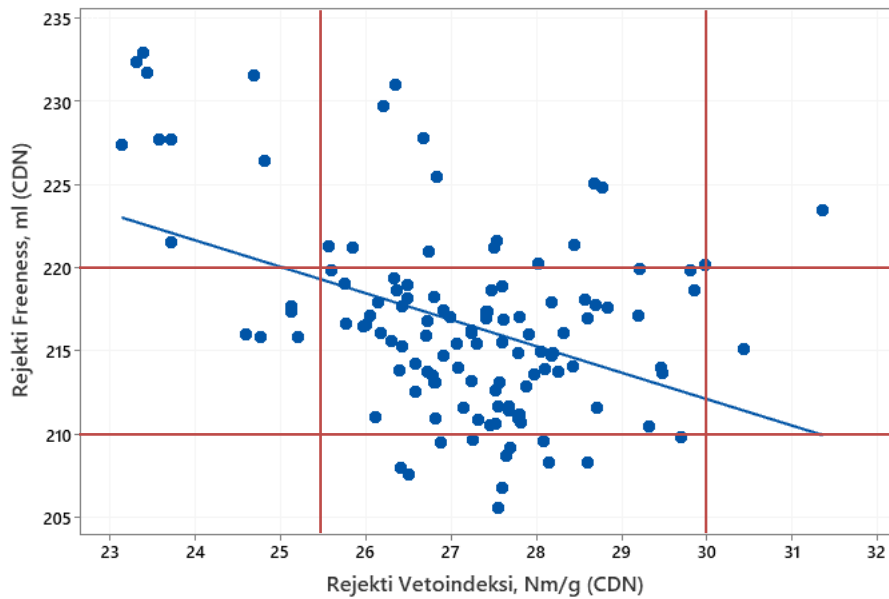
18.2 2A-lajittimen ohituksen ja rejektin jauhatuksen mallintaminen

2A-lajittimen ohitusta ja rejektin jauhatusta päädyttiin tutkimaan matemaattisen taseen avulla. Taseen tavoitteena oli selvittää 2A-lajittimen ohituksen potentiaali hiokkeen lujuusominaisuuksien kehittämiseksi, sekä arvioida tehoalue rejektijauhille. Rejektin freneksen kehitystä eri hiomakonekombinaatioilla on tarkasteltu kuvassa 133.



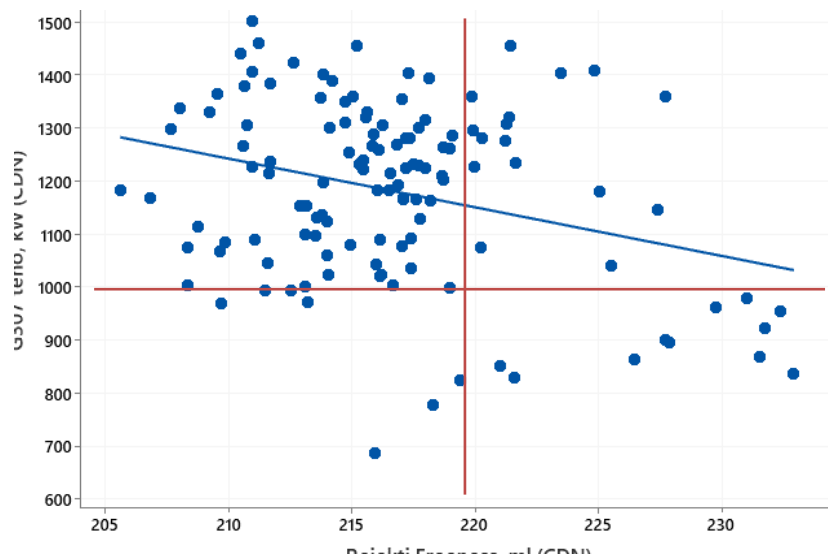
Kuva 133. Rejektin freeness-luvut histogrammina eri kivikombinaatioiden aikana. Datan keräily kivikombinaatioille 18.4.-30.4.2020 CNN, 9.4.-21.4.2021 CCN ja 12.6.-23.6.2021 CDN. Hiomakivityyppien lyhennykset kuvassa: Galileo C-pinta (C), Galileo D-pinta (D) ja Norton (N).

Rejektin freeness-taso on laskenut ja freenessin hajonta pienentynyt Galileo-hiomakivien asentamisen jälkeen (Kuva 133). Galileo-hiomakivien pinnan tasalaatuisuus näkyy hyvin myös rejektin hajonnan pienentymisenä. Rejektin freenessin kehitys rejektin vetoindeksin funktiona on esitetty kuvassa 134.



Kuva 134. Rejektin freeness rejektin vetoindeksin funktiona hiomakivikombinaatiolla CDN. Data on kerätty PulpExpertin suorittamista mittauksista 12.6.-23.6.2021.

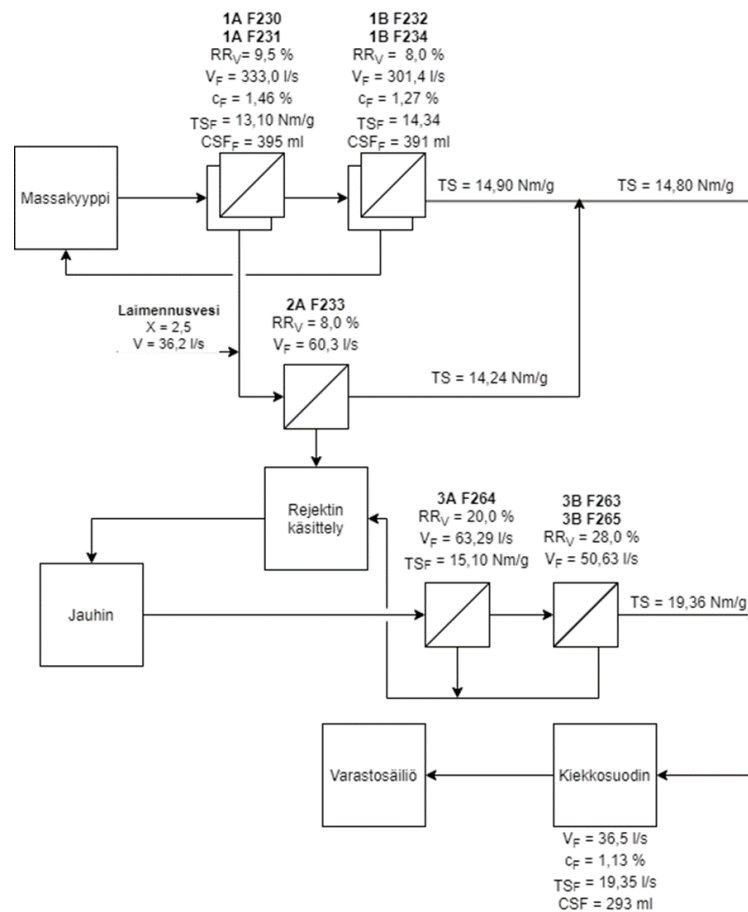
Valtaosa rejektin freeness-tuloksista on välillä 210–220 ml, joten tarkastellaan lujuusarvoja jotka rejekti saa kyseisellä freeness-alueella (Kuva 134). Suurin osa vetoindeksituloksista asettuu välille 25,5–30,0 Nm/g. Rejektijauhimen tehoa rejektin freeneksen funktiona on tarkasteltu kuvassa 135.



Kuva 135. Jauhimen G307 teho rejektin freeneksen funktiona hiomakivikombinaatiolla CDN. Data on kerätty PulpExpertin suorittamista mittauksista 12.6.-23.6.2021.

Jotta rejektin freeness-taso saavuttaa alle 220 ml:n arvoja, tulee rejektijauhimen tehon olla yli 1000 kW (Kuva 135). Ajamalla jauhinta vähintään mainitulla teholla, vältetään todennäköisesti kaikista korkeimmat freeness-tulokset, sekä matalimmat vetoindeksitulokset.

Rejektin lujuusmuutosten mallintamiseksi lajittelussa luotiin nykyisen ajotavan mukainen massatase. Taseessa hyödynnettiin lajittelusta tehdyn kartoituksen laboratoriotuloksia freenessistä ja vetoindeksistä. Kartoituksen tulokset, sekä lujuusmallin alkuarvot ovat esitetty kuvassa 136.



Kuva 136. Lajittelun massatase. Kuvassa ovat merkittyinä lajittimien syöttövirtaukset (V_F), rejektisuhteet (RR_V), syöttövirtausten sakeudet (c_F), syöttövirtausten lujuudet (TS_F), syöttövirtausten freeness (CSF_F) ja 2A-lajittimen laimennuskerroin (X). Lisäksi merkittyinä taselaskennan kannalta tärkeimpien akseptivirtojen vetolujuusarvoja (TS)

2A-lajittimen ohittamisen arvioitiin nostavan hiokkeen vetolujuutta. Lajittimen ohituksen vaikutusta valmiin hiokkeen laatuun arvioitiin massataseen avulla. Massataseessa 2A-

lajittimen syöttövirtauksen laimennusveden virtauksen (X) oletettiin olevan 0 l/s, joka nosti lajittimen syöttövirran sakeutta 1,11 %:sta 2,77 %:iin. Lisäksi kasvattamalla lajittimen 2A rejektisuhdetta, vähenee 2A-lajittimen akseptin määrä lajittelun akseptissa. Koska lajittimien 1B akseptin vetoindeksi on korkeammalla tasolla kuin lajittimen 2A akseptin vetolujuus, akseptin vetolujuus muuttuu 2A-lajittimen rejektisuhdetta muuttaessa. Rejektisuhteen kasvaessa lajittimen akseptin määrä vähenee.

Lajittelun valmiin akseptin lujuus arvioitiin massataseen avulla yhtälön (35) mukaisesti, kun 1B- ja 2A-lajittimien akseptivirran lujuudet tiedetään kartoituksen perusteella.

$$TS_{Aksepti} = \frac{c_{1B \text{ aksepti}}}{c_A * V_A} * TS_{1B \text{ aksepti}} + \frac{c_{2A \text{ aksepti}}}{c_A * V_A} * TS_{2A \text{ aksepti}} \quad (35)$$

Jossa,	$c_{1B \text{ aksepti}}$	Lajittimen 1B akseptin kiintoainepitoisuus	[%]
	c_A	Valmiin akseptin kiintoainepitoisuus	[%]
	V_A	Valmiin akseptin tilavuusvirtaus	[l/s]
	$TS_{1B \text{ aksepti}}$	Lajittimen 1B akseptin vetolujuus	[Nm/g]
	$c_{2A \text{ aksepti}}$	Lajittimen 2A akseptin kiintoainepitoisuus	[%]
	$TS_{2A \text{ aksepti}}$	Lajittimen 2A akseptin vetolujuus	[Nm/g]

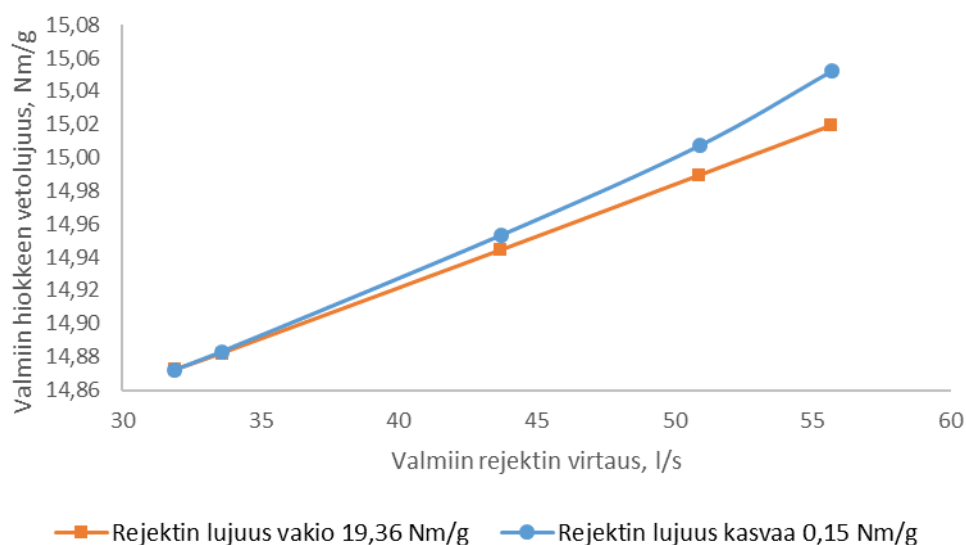
Lajittelun valmiin rejektin lujuus riippuu monista tekijöistä. Teorian perusteella rejektisuhteen kasvattaminen kasvattaa myös rejektin lujuutta. Voidaan kuitenkin olettaa, että tekijöistä merkittävin on rejektin jauhatus. Siitä syystä rejektin lujuuden oletettiin olevan vakio tai muuttuvan lajittimen ohituksen yhteydessä maksimissaan yhtä paljon kuin akseptin lujuuden. Rejektin lujuuden arvioitiin muuttuvan 2A-lajittimen ohituksen yhteydessä 0,15 Nm/g, kun rejektisuhde muutetaan välillä 1–100 %

Valmiin hiokkeen lujuusarvot arvioitiin yhtälöllä (36) samalla tavoin kuin akseptin lujuusarvot.

$$TS_{Hioke} = \frac{C_{Aksepti}}{C_{Hioke} * V_{Hioke}} * TS_{Aksepti} + \frac{C_{Rejkti}}{C_{Hioke} * V_{Hioke}} * TS_{Rejkti} \quad (36)$$

Jossa,	$C_{Aksepti}$	Valmiin akseptin kiintoainepitoisuus	[%]
	C_{Hioke}	Hiokkeen kiintoainepitoisuus	[%]
	V_{Hioke}	Hiokkeen tilavuusvirtaus	[l/s]
	$TS_{Aksepti}$	Valmiin akseptin vetolujuus	[Nm/g]
	C_{Rejkti}	Valmiin rejektin kiintoainepitoisuus	[%]
	TS_{Rejkti}	Valmiin rejektin vetolujuus	[Nm/g]

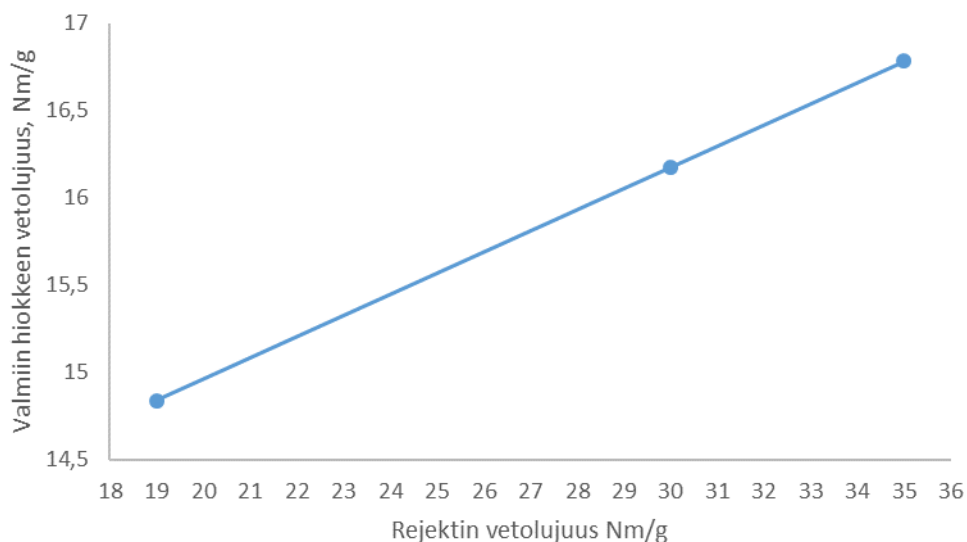
Taseen avulla tarkasteltiin tilannetta, jossa 2A-lajittimen laimennusveden määrä oli 0 l/s ja lajittimen rejektisuhdetta kasvatettiin välillä 1–100%. Rejktivirtauksen kasvun vaikutukset valmiin hiokkeen vetolujuuteen ovat esitetty kuvassa 137.



Kuva 137. Valmiin hiokkeen vetolujuuden muutos rejektimäärän virtauksen funktiona taselaskennallisesti. Kuvaajassa on esitetty oletus jossa rejektin lujuus pysyy vakiona ja oletus jossa rejektin lujuus kasvaa 0,15 Nm/g, kun lajittimen 2A rejektisuhdetta muutetaan 1 %:sta 100 %:iin.

Valmiin hiokkeen vetoindeksi kasvaa taseen mukaan 0,14 Nm/g mikäli rejektin lujuuden oletetaan olevan vakio, tai 0,17 Nm/g, mikäli rejektin lujuuden oletetaan nousevan vakiojauhauksesta huolimatta (Kuva 137). Tuloksien perusteella 2A-lajittimen ohituksella ja laimennusveden poistamisella voidaan parantaa hiokkeen vetolujuutta, mutta muutos on oletettavasti pieni. Ottaen huomioon kartoituksessa ilmenneen 2A-lajittimen sihtikorin

huonon toiminnan, ohitus voisi olla potentiaalinen keino kasvattaa hiokkeen lujutta pienessä mittakaavassa. Valmiin hiokkeen vetoindeksin kehitys rejektin vetoindeksin funktiona on esitetty kuvassa 138.



Kuva 138. Hiokkeen vetoindeksi rejektin vetoindeksin funktiona taselaskennallisesti. Laskennassa on oletettu aksepti- ja rejektivirtojen olevan vakiot ja 2A-lajitin normaalilla ajotavalla.

Hiokkeen vetoindeksi kasvaa taselaskennallisesti lineaarisesti rejektin vetoindeksin kasvaessa (Kuva 138). Rejektin vetolujuuden noustessa 10 Nm/g, valmiin hiokkeen vetolujuus kasvaa keskimäärin 1,2 Nm/g. Taseen perusteella voidaan todistaa rejektijauhatuksen olevan merkittävä tekijä hiokkeen lujouden kannalta.

19 KOKEELLISEN OSAN YHTEENVETO

Kokeellisen osan tavoitteena oli tarkastella eroavaisuuksia Galileo C-pinnan ja Nortonin keraamisen hiomakiven kivenalusmassojen välillä. Taivekartongin ominaisuuksia vertailtiin erilaisilla hiomakivikombinaatioilla. Galileo D-pinnan valinta tehtiin hiokkeessa ja taivekartongissa havaittujen laatumuutosten perusteella. Hiokkeen vertailutuloksista havaittiin, että Galileo C-pinnan kivenalusmassan keskimääräinen kuitupituus, kuitumaisten hienoaineiden osuus ja vetolujuus ovat huomattavasti keraamista kiveä alemmalla tasolla. Tämän perusteella arvioitiin, että Galileo C-pinta katkoo todennäköisesti kuituja ja ei myöskään muodosta riittävästi kuitumaisia hienoaineita. Galileo D-pinta valittiin Stora Enson ja Valmetin yhteistyönä tekemien laboratoriokokeiden tuloksien perusteella.

Galileo D-pinnan valinnalla saavutettiin merkittävä kehitys kuitupituudessa verrattuna Galileo C-pintaan. Samalla Galileo D-pinnan tuottaman hiokkeen lujuusominaisuudet, sekä bulkkitaso ovat korkeammalla tasolla kuin Galileo C-pinnalla. Positiivinen lujuuskehitys oli havaittavissa myös taivekartongin ominaisuuksissa, kuten irrotusluvussa ja Scott Bond - palstautumislujuudessa. Kuitupituuden kasvattaminen vaikutti kuitenkin taivekartongin sileysominaisuuksiin negatiivisesti.

Diplomityöhön kuului kaksi eri koeajoa liittyen Galileo-hiokkeen laadun kehittämiseen. Ensimmäisen koeajon tarkoituksena oli kartoittaa puhtaan Galileo C-pinnalla tuotetun hiokkeen vaikutukset hiokkeen ja taivekartongin laatuun erityisesti talviaikana. Koeajon kesto rajoitti hiokkeen kokonaistuotannon pienentyminen, sillä vain kahdessa hiomakoneessa oli asennettuna C-pinnat koeajon aikaan. Koeajon tuloksien perusteella havaittiin, että Nortonin keraaminen hiomakivi on merkittävässä roolissa hiokkeen laadun kannalta hiomakivikombinaatiolla CCN. Valmiin hiokkeen vetoindeksi, freeness ja keskimääräinen kuitupituus laskivat puhtaalla C-pinnoilla tuotetulla hiokkeella. Koska koeajon pituus oli suhteellisen lyhyt, selkeiden hiokkeesta aiheutuneiden muutosten arvioiminen kartonkikoneella oli haastavaa.

Toisen koeajon tavoitteena oli selvittää, miten tuotantopyynnit vaikuttavat Nortonin keraamisen hiomakiven, sekä Galileo C- ja D-pintojen tuottamiin kivenalusmassoihin.

Koeajolla pyrittiin löytämään yksilölliset tuotantopyynnit jokaiselle hiomakivelle hiokkeen lujuusominaisuuksien maksimoimiseksi. Tuloksien perusteella jokaiselle hiomakoneelle pystyttiin arvioimaan kivenalusmassan ominaisuuksien kehitys tuotantopyynnin funktiona. Koeajossa selvisi, että Nortonin keraamisen hiomakiven kivenalusmassan freeness-taso oli hyvin matalalla. Vetoindeksille etsittiin optimi suoran sovituksien avulla tuotantopyynnin funktiona. Optimi tuotantopyynnit ovat D-pinnalle 4,2 t/h, C-pinnalle 3,7 t/h ja keraamiselle hiomakivelle 4,1 t/h. Verrattuna 4 t/h tuotantopyyntiin kaikilla hiomakoneilla, hiokkeen vetolujuus nousee kyseisellä ajotavalla n. 1 % freenessin pysyessä samalla tasolla. Optimi perustuu C-pinnan tuottaman hioketuotannon minimoimiseen kokonaishioketuotannosta.

Hiomakoneiden tehon ja hionnan EOK:n havaittiin vaihtelevan selkeästi vuodenaikojen välillä. Hionnan EOK laskee talvisin ja samalla jäinen puu aiheuttaa laatuominaisuuksien laskemisen. Hiokkeelle on asetettu eri freeness-tavoitteet kesä- ja talviajalle. Teoriaosan mukaan hiokkeen lujuusominaisuudet riippuvat voimakkaasti EOK:sta. Minimoimalla EOK:n lasku talvisin, voisi olla mahdollista parantaa hiokkeen laatua. Tämä vaatii kuitenkin hiomakoneiden tuotantopyynnin alentamisen. Myös suihkuveden lämpötilalla havaittiin olevan korrelaatio hiokkeen vetolujuuden kanssa.

Lajittelusta luotiin massatase, jonka avulla arvioitiin 2A-lajittimen ohituksen potentiaalia. Arvion mukaan 2A-lajittimen koko syöttövirran ohjaamisella rejektivirtaan voitaisiin kasvattaa hiokkeen lujuutta. Taseessa hyödynnettiin tietoja lajittelusta tehdystä kartoituksesta. Taseen mukaan lajittimen ohituksella voidaan saavuttaa parannusta hiokkeen lujuusominaisuuksiin, mutta muutoksen suuruusluokka on pieni. Todennäköisesti rejektin jauhatus vaikuttaa enemmän rejektin lujuuteen kuin 2A-lajittimen ohitus.

20 JOHTOPÄÄTÖKSET

Galileo D-pinnalla saavutettiin positiivisia vaikutuksia hiokkeen laatuominaisuuksiin. Seuraavan Galileo-pinnan valinnassa tulee ottaa huomioon erityisesti kuitumaisten hienoaineiden muodostuminen ja kuitujen irtoaminen puusta mahdollisimman kokonaisena. Kuitupituuden kasvattaminen ei ole hiomakiven pinnalta yksin tavoiteltava ominaisuus, sillä liiallinen kuitupituuden kasvattaminen heikentää taivekartongin sileys- ja painatusominaisuuksia. On todennäköistä että hiokkeen laatuominaisuuksien kehittäminen ei ole mahdollista Galileo C-pinnan EOK-tasolla, vaan kuitujen irtoaminen eheämpinä vaatii korkeampaa EOK-tasoa. Koska Galileo-pintojen käsittelymahdollisuudet ovat rajalliset, voi usean erilaisen Galileo-pinnan käyttäminen eri hiomakoneilla antaa hieman säätömahdollisuuksia prosessille. Kuten tuotantotehokokeesta havaittiin, hiokkeen laatua voidaan hienosäätää asettamalla erilaisille hiomakiville yksilölliset tuotantopyynnit.

Kesän 2021 aikana tehtyjen määritysten perusteella Nortonin keraaminen hiomakiven freeness-taso oli hyvin alhaisella tasolla. Mikäli seuraavalla Galileo-pinnalla pyritään korvaamaan Nortonin keraaminen hiomakivi, voisi olla hyvä ratkaisu tavoitella hieman matalampaa freeness-tasoa kuin C- ja D-pinnoilla. Ottaen huomioon D-pinnalla saavutetut positiiviset hiokkeen ominaisuudet, voisi Nortonin korvaavassa pinnassa olla Galileo D-pinnan kaltaiset, mutta pienemmät gritit. Tässä tapauksessa tulisi kuitenkin selvittää että laskeeko pienempi grittikoko freeness-arvoja merkittävästi ja irtoavatko kuidut edelleen kokonaisina. Nykyisessä kunnossa olevan keraamisen hiomakiven korvaaminen korkeampaa freeness-tasoa tuottavalla hiomakivellä nostaa todennäköisesti hiokkeen freenestä ja heikentää lujuusominaisuuksia. Galileo C-pinta voidaan todennäköisesti korvata Galileo D-pinnalla ilman suuria ongelmia hiokkeen laadussa.

Seuraavan talven aikana tulisi kiinnittää huomiota hionnan EOK-tason muutoksiin puun jäätyessä. Vaikka käytössä on talviaikana matalampi freeness-tavoite, hionnan EOK-arvoissa oli havaittavissa selkeä ero talven ja kesän ajalla. EOK:n ja hiokkeen laatuominaisuuksien välillä havaittiin työn aikana selkeä korrelaatio. Hionnan EOK:n nostaminen tapahtuu käytännössä laskemalla hiomakoneilla uunikohtaisia tuotantopyyntejä. Tuotantopyyntien pienentäminen laskee kuitenkin hiokkeen kokonaistuotantoa. Tästä syystä

suihkuvesien lämpötilan nostamisen testaaminen olisi suositeltavaa. Lisäksi tulee tarkastella pieneneekö EOK-vaihtelu vuodenaikojen välillä hionnassa D-pinnalla arvion mukaisesti. Galileo-pintojen vaihdon ajoittaminen mahdollisimman lähelle puun jäätymistä voisi myös auttaa matalamman freeneksen saavuttamisessa talviaikaan.

Tulevaisuudessa olisi hyvä tehdä koeajo liittyen rejektin jauhatukseen. Rejektin jauhatuksessa muodostuu sekundäärisiä hienoaineita, joiden koostumus on teoreettisesti lujuusominaisuuksia parantava. Teoriaosassa todettiin, että lajittimien ajotavan sijaan rejektijauhatus on merkittävämmässä roolissa valmiin hiokkeen lujuusominaisuuksien kannalta. Rejektin laadun vaihtelu oli kuitenkin pientä kesän 2021 tarkastelujakson aikana.

Työn tuloksena parannettiin hiokkeen lujuusominaisuuksia optimoimalla Galileo-hiomakiven pinta, sekä arvioitiin kohteita, joilla hiokkeen laadun kehittäminen olisi edelleen mahdollista.

LÄHDELUETTELO

ABB 2017a, *L&W Bending Tester*.

ABB 2017b, *L&W ZD Tensile Tester*.

Alén, R. 2000, "Structure and chemical composition of wood" in *Forest Products Chemistry, Papermaking Science and Technology, Book 3*, ed. P. Stenius, Fapet Oy, Helsinki, Finland, pp. 12-57.

Blechsmidt, J. & Heinemann, S. 2006a, "Introduction" in *Handbook of Pulp*, ed. H. Sixta, WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim, pp. 1071-1152.

Blechsmidt, J. & Heinemann, S. 2006b, "Mechanical Pulping Processes" in *Handbook of Pulp*, ed. H. Sixta, WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim, pp. 1079-1112.

Blechsmidt, J. & Heinemann, S. 2006c, "Processing of Mechanical Pulp and Reject Handling: Screening and Cleaning" in *Handbook of Pulp*, ed. H. Sixta, WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim, pp. 1113-1122.

Blechsmidt, J. & Heinemann, S. 2006d, "Raw Materials for Mechanical Pulp" in *Handbook of Pulp*, ed. H. Sixta, WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim, pp. 1075-1078.

Gharehkhani, S., Sadeghinezhad, E., Kazi, S.N., Yarmand, H., Badarudin, A., Safaei, M.R. & Zubir, M.N.M. 2015, "Basic effects of pulp refining on fiber properties—A review", *Carbohydrate Polymers; Carbohydr Polym*, vol. 115, pp. 785-803.

Gorres, J., Amiri, R., Wood, J.R. & Karnis, A. 1996, "Mechanical pulp fines and sheet structure", vol. 22, pp. J491-J496.

Hafrén, J., Fernando, D., Daniel, G., Moberg, A., Goldszer, K., Ljungqvist, C. & Sandström, P. 2013, *CRUW Mechanical Pulping: High-yield pulp fines: Morphology, ultrastructure and effects on paper properties*, .

Hägglblom-Ahnger, U., Komulainen, P. & Seppälä, M.J. 2001, *Paperin ja kartongin valmistus*, 2nd edn, Opetushallitus, Helsinki.

Hautala, J., Hourula, I., Jussila, T., Pitkänen, M., Niinimäki, J., Jokinen, H., Leppinen, J., Pitkänen, M. & Ämmälä, A. 2009, "Screening and cleaning" in *Mechanical Pulping, Papermaking Science and Technology, Book 5*, ed. B. Lönnberg, Gummerus Oy, Jyväskylä, Finland, pp. 284-326.

- Heikkurinen, A. 1999, "Single fiber properties" in *Pulp and Paper Testing, Papermaking Science and Technology, Book 17*, eds. J. Levlin & L. Söderhjelm, Fapet Oy, Helsinki, pp. 18-37.
- Heikkurinen, A., Leskelä, L., Heinemann, S. & Vehniäinen, A. 2009, "The character and properties of mechanical pulps" in *Mechanical Pulping, Papermaking Science and Technology, Book 5*, ed. B. Lönnberg, Gummerus Oy, Jyväskylä, Finland, pp. 458-514.
- Heldin, M. 2019, *Designing grinding tools to control and understand fibre release in groundwood pulping*.
- Heldin, M. & Wiklund, U. 2019, "Influences of load and temperature on groundwood pulping with well-defined tools", *Wear*, vol. 438-439, pp. 203051.
- Hiltunen, E. 1999, "Papermaking properties of pulp" in *Pulp and Paper Testing, Papermaking Science and Technology, Book 17*, eds. J. Levlin & L. Söderhjelm, Fapet Oy, Helsinki, pp. 38-63.
- Höglund, H. 2009, "Mechanical pulping" in *Pulp and Paper Chemistry and Technology. Volume 2, Pulping Chemistry and Technology*, eds. M. Ek, G. Gellerstedt & G. Henriksson, Hubert & Co. GmbH & Co. KG, Germany, pp. 57-90.
- Huusari, E., Lundin, T. & Vuorio, P. 2009, "Reject refining" in *Mechanical Pulping, Papermaking Science and Technology, Book 5*, ed. B. Lönnberg, Gummerus Oy, Jyväskylä, Finland, pp. 328-359.
- Hyll, K. 2015, "Size and shape characterization of fines and fillers - A review", *Nordic Pulp and Paper Research Journal*, vol. 30.
- ISO 16065-2:2014(E) 2014, *Pulps — Determination of fibre length by automated optical analysis — Part 2: Unpolarized light method*, ISO, SFS Online.
- ISO 1924-2:2008 2008, *Paper and board. Determination of tensile properties. Part 2: Constant rate of elongation method (20 mm/min)*, ISO, SFS Online.
- ISO 1974:2012(E) 2012, *Paper -Determination of tearing resistance -Elmendorf method* , ISO, SFS Online.
- ISO 3783:2006 2006, *Paper and board — Determination of resistance to picking — Accelerated speed method using the IGT-type tester (electric model)*, ISO, SFS Online.
- ISO 5267-1:1999 2000, *Pulps — Determination of drainability — Part 1: Schopper-Riegler method*, ISO, SFS Online.

- ISO 5267-2:2001(E) 2001, *Pulps — Determination of drainability — Part 2: “Canadian Standard” freeness method*, ISO, SFS Online.
- Jääskeläinen, A. & Sundqvist, H. 2007, *Puun rakenne ja kemia*, Otatieto, Helsinki.
- Joutsimo, O., Wathén, R. & Robertsen, L. 2005, "Role Of Fiber Deformations And Damage From Fiber Strength To End User", *Advances in Paper Science and Technology FRC 2005 Cambridge*, vol. 1.
- Joutsimo, O., Wathén, R. & Tamminen, T. 2005, "Effects of fiber deformations on pulp sheet properties and fiber strength", *Paperi ja Puu/Paper and Timber*, vol. 87.
- Kajanto, I. 2008, "Structural mechanics of paper and board" in *Pulp and Paper Testing, Papermaking Science and Technology, Book 17*, ed. K. Niskanen, Gummerus Oy, Jyväskylä, Finland, pp. 230-264.
- Karojärvi, R., Haikkala, P., Liimatainen, H., Lucander, M. & Tuovinen, O. 2009, "Grinding and pressure grinding" in *Mechanical Pulping, Papermaking Science and Technology, Book 5*, ed. B. Lönnberg, Gummerus Oy, Jyväskylä, Finland, pp. 118-173.
- Kiviranta, A. 2000, "Paperboard grades" in *Paper and Board Grades, Papermaking Science and Technology, Book 18*, ed. H. Paulapuro, Gummerus Oy, Jyväskylä, Finland, pp. 54-71.
- Koch, G. 2006, "Raw material for Pulp" in *Handbook of Pulp*, ed. H. Sixte, WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim, pp. 21-68.
- Levlin, J. 1999, "General physical properties of paper and board" in *Pulp and Paper Testing, Papermaking Science and Technology, Book 17*, eds. J. Levlin & L. Söderhjelm, Fapet Oy, Helsinki, pp. 136-161.
- Odabas, N., Henniges, U., Potthast, A. & Rosenau, T. 2016, "Cellulosic fines: Properties and effects", *Progress in materials science*, vol. 83, pp. 574-594.
- Salmén, L., Lucander, M., Härkönen, E. & Sundholm, J. 2009, "Fundamentals of mechanical pulping" in *Mechanical Pulping, Papermaking Science and Technology, Book 5*, ed. B. Lönnberg, Gummerus Oy, Jyväskylä, Finland, pp. 36-67.
- Seppälä, T. 2005, *LWC-syväpainohiokkeen laadun optimointi*, Lappeenrannan teknillinen yliopisto.
- Sirviö, J. 2008, "Fibres and bonds" in *Paper Physics, Papermaking Science and Technology, Book 16*, ed. K. Niskanen, Gummerus Oy, Jyväskylä, Finland, pp. 60-92.
- Smook, G.A. & Kocurek, M. 2016, *Handbook for Pulp & Paper Technologists (4th Edition)*, 4th edn, TAPPI.

- Sohlin, U. 1997, *Influence of grammage and recirculated white water on lab sheet forming of CTMP for board* .
- Stora Enso 2020a, *Sakeudet, Kuitu-, Täyteaine- ja Hienoaineretentiot, Tuhkaprosentti, Työohje*, Sisäinen verkkosivusto, WeShare.
- Stora Enso 2020b, *Tehdasesittely, Inkeröisten Kartonkitehdas*, Sisäinen verkkosivusto, WeShare.
- Stora Enso 2017, *IGT-pintalujuus, Kartongin testaus, Työohje*, Sisäinen verkkosivusto, WeShare.
- Stora Enso 2011a, *Pinnan ja selän irrotusluku, Työohje*, Sisäinen verkkosivusto, WeShare.
- Stora Enso 2011b, *Z-lujuuden määrittäminen, Työohje*, Sisäinen verkkosivusto, WeShare.
- Stora Enso 2010a, *Laboratorioarkkien fysikaalisten ominaisuuksien määrittäminen, Työohje*, Sisäinen verkkosivusto, WeShare.
- Stora Enso 2010b, *Laboratorioarkkien valmistaminen fysikaalisten ominaisuuksien määrittämiseksi, Työohje*, Sisäinen verkkosivusto, WeShare.
- Stora Enso 2008a, *Freeness, Työohje*, Sisäinen verkkosivusto, WeShare.
- Stora Enso 2008b, *Tikkumääritys / Pulmac, Työohje*, Sisäinen verkkosivusto, WeShare.
- Stora Enso 1998, *Palstautumislujuus (Bond), Työohje*, Sisäinen verkkosivusto, WeShare.
- Sundholm, J. & Lönnberg, B. 2009, "Idea of mechanical pulping" in *Mechanical Pulping, Papermaking Science and Technology, Book 5*, ed. B. Lönnberg, Gummerus Oy, Jyväskylä, Finland, pp. 18-22.
- Tuovinen, O. 2021, *Yhteistyökokous Valmetin kanssa*.
- Tuovinen, O. 2021a, *Koeajosuunnittelukokous*.
- Tuovinen, O. 2021b, *Suullinen tiedonanto*.
- Tuovinen, O. & Fardim, P. 2015, "Interrelation between grit morphology and defibration performance in pressurized groundwood process", *O Papel*, vol. 76, pp. 83-89.
- Vainio, A. & Paulapuro, H. 2007, "Interfiber bonding and fiber segment activation in paper", *BioResources*, , pp. 442-458.
- Valmet 2021, , *Valmet Fiber Image Analyzer*. Available: <https://www.valmet.com/automation/analyzers-measurements/analyzers/fiber-image-analyzer-for-external-fibrillation-fiber-length-measurement/>.
- Valmet 2016, *Arne Asplund Mechanical Pulping Award 2016*.

Valmet 2015, 29.12.-last update, *Galileo mullistaa hiokkeen valmistuksen* [2020, 31.12.].

Varhimo, A., Sirviö, J. & Tuovinen, O. 2009, "Wood raw materials" in *Mechanical Pulping, Papermaking Science and Technology, Book 5*, ed. B. Lönnberg, Gummerus Oy, Jyväskylä, Finland, pp. 70-115.

VTT 2013, *Prowledge Oy, KnowPap 15.0 - Paperitekniiikan ja tehtaan automaation oppimisjärjestelmä*, Prowledge Oy, VTT Industrial Systems, Sisäinen verkkosivusto, WeShare.

Walker, J.C.F. 2006, "Pulp and paper manufacture: Principles and Practice" in *Primary wood processing : principles and practice. 2. ed.*, ed. J. Walker, Springer, Dordrecht, pp. 477-534.

Wathén, R. 2006, "Studies on fiber strength and its effect on paper properties", *Advanced materials research*, vol. 214.