

Saimaan ammattikorkeakoulu  
Tekniikka Imatra  
Paperitekniikka  
Prosessi- ja paperiteollisuuden suunnittelu

Juho Mäkelä

## **Varastoinnin vaikutus massan kuituvaurioihin**

Opinnäytetyö 2013

## Tiivistelmä

Juho Mäkelä

Varastoinnin vaikutus massan kuituvaurioihin, 37 sivua, 2 liitettä

Saimaan ammattikorkeakoulu

Tekniikka Imatra

Paperitekniikka

Prosessi- ja paperiteollisuuden suunnittelu

Opinnäytetyö 2013

Ohjaajat: tuntiopettaja Esko Lahdenperä, (tekn.lis.), Saimaan ammattikorkeakoulu, tuotantoinsinööri Joanna Rahko, Stora Enso Oyj, Imatra

Työn tarkoituksena oli selvittää kasvoivatko valkaistun havumassan kuituvauriot varastoinnin aikana Imatran tehtailla. Aikaisemmissa tutkimuksissa muilla tehtailla oli havaittu kuituvaurioiden lisääntyvän massasäiliöiden pinnankorkeuden noustessa ja varastointiajan kasvaessa.

Tutkinta toteutettiin keräämällä aineistoa kahden online-analysaattorin kuituvauriomittauksista ennen varastointia ja sen jälkeen. Lisäksi otettiin sarja näytteitä varastoidusta massasta analysaattoreiden mittausten vertaamiseksi. Kerätyn aineiston avulla selvitettiin, miten viive, säiliöiden pinnankorkeus, valkaisun tuotanto, kulutus säiliöistä ja kuituvaurioiden lähtötaso vaikuttivat kuituvaurioiden muutokseen.

Tuloksien perusteella massan kuituvauriot eivät kasvaneet, vaan kuidut oikenivat hieman. Merkittävin vaikutus massan kiharuuden ja kink-indeksin laskuun oli niiden lähtötasolla. Kiharien kuitujen oikenemiseen vaikutti myös valkaisun tuotantotaso. Viiveellä ja pinnankorkeudella oli vaikutus massan kink-indeksin laskuun.

Asiasanat: kuituvaurio, havusellu, varastointi

## **Abstract**

Juho Mäkelä

Effect of Storage on Fiber Damage, 37 pages, 2 appendices

Saimaa University of Applied Sciences

Technology, Imatra

Degree Programme in Paper Engineering

Final thesis 2013

Tutors: Mr. Esko Lahdenperä, MSc, Senior lecturer, Saimaa UAS and Ms.

Joanna Rahko, MSc, Production engineer, Stora Enso Oyj, Imatra

The objective of the study was to find out if the fiber damages of bleached softwood pulp increase during storage at Imatra mills. Previous studies at other mills show that when storage time and level of storage tanks increase, also fiber damages increase.

The study was carried out by collecting data of fiber curl and kink-index measurements before and after storage from two different online-analyzers. Also samples after storage were taken to compare the fiber damage measurements of the online analyzers. Based on collected data, was studied if the storage time, level of storage tanks, starting level of fiber damage or volume of pulp going into and out from storage tanks effect the fiber damages.

The results of the study show that fiber damages did not increase, but fibers seemed to straighten a little. The starting level of fiber damage had most effect on the change of fiber damage. Storage time and level of tanks had effect on the change of kink-index. Volume of pulp going into storage tanks had effect on the change of fiber curl.

Keywords: fiber damage, softwood pulp, pulp storage

## Sisältö

1	Johdanto.....	5
2	Sellun valmistus.....	5
2.1	Hakkeen pasutus.....	5
2.2	Hakkeen imeytys.....	5
2.3	Jatkuvatoiminen keitto.....	6
2.4	Pesu.....	6
2.5	Lajittelu.....	7
2.6	Valkaisu.....	7
3	Kuitujen ominaisuudet.....	8
3.1	Kuidun pituus.....	8
3.2	Kuidun pituusmassa, jäykkyys ja elastisuus.....	8
3.3	Kuituvauriot.....	9
3.3.1	Kuitunyrjähdykset ja mikrokompressio.....	9
3.3.2	Kiharuus.....	10
3.3.3	Kinkit.....	11
3.4	Varastoinnin vaikutus massaan.....	12
3.5	Kuituvaurioiden vaikutukset massa-arkin ominaisuuksiin.....	14
4	Työn tavoite.....	16
5	Imatran tehtaat.....	16
5.1	Kuitulinja 2.....	16
5.2	Kartonki- ja paperikoneet.....	18
5.3	Valkaistun massan varastointi.....	18
5.4	Online-analysaattorit.....	19
5.5	Käsinäytteen analysointi PulpExpertillä.....	20
6	Varastoinnin vaikutus massan kuituvaurioihin.....	20
6.1	Viive massasäiliöissä.....	21
6.2	Onlineanalysaattoreiden kuituvauriomittausten vertailu.....	21
6.3	Viiveen vaikutus kuituvaurioihin.....	27
6.4	Pinnankorkeuden vaikutus kuituvaurioihin.....	28
6.5	Kuituvaurioiden lähtötason vaikutus vaurioiden muutokseen.....	30
6.6	Tuotannon ja kulutuksen vaikutus kuituvaurioihin.....	31
7	Yhteenveto ja pohdinta.....	34
	Kuvat.....	35
	Kuviot.....	35
	Lähteet.....	36

### Liitteet

- Liite 1 Aineisto prosessimittauksista
- Liite 2 Aineisto käsinäytteistä

# 1 Johdanto

Työn tarkoituksena on selvittää, kasvavatko valkaistun havusellun kuituvauriot varastoinnin aikana. Aikaisemmissa tutkimuksissa on käynyt ilmi, että säiliön pinnankorkeuden ja varastointiajan kasvaessa massan kuituvauriot kasvavat. Kuituvauriot vaikuttavat massan ja lopputuotteen ominaisuuksiin.

Tutkimus tehdään vertaamalla massasta ennen ja jälkeen varastoinnin online-analysaattoreilla mitattuja kuituvaurioita toisiinsa. Lisäksi tarkastellaan, vaikuttavatko varastointiaika, säiliöiden pinnankorkeus, säiliöihin tulevan ja niistä poistuvan massan määrä tai kuituvaurioiden lähtötaso kuituvaurioiden kehitykseen.

## 2 Sellun valmistus

Sellun eli kemiallisen massan valmistuksen tarkoituksena on erottaa kuidut toisistaan ja poistaa niitä sitova ligniini. Ligniini poistetaan keittämällä haketta hyvin alkalisissa olosuhteissa.

Ennen paperin tai kartongin valmistusta massa täytyy vielä pestä ja lajitella. Massa voidaan myös tarvittaessa valkaista.

### 2.1 Hakkeen pasutus

Hakkeen pasutuksen tarkoituksena on poistaa hakkeesta ilma ja lämmittää sitä. Hake syötetään pasutusastiaan matalapaineikiikin kautta.

Matalapaineikiikin tehtävä on estää höyrynpaineen karkaaminen pasutusastiasta. Pasutusastia lämmitetään paisunnasta saatavalla höyryllä, lisäksi voidaan tarpeen mukaan käyttää matalapainetuorehöyryä. (Seppälä, Klemetti, Kortelainen, Lyytikäinen, Siitonen & Sironen 2005, 88.)

### 2.2 Hakkeen imeytys

Pasutettu hake johdetaan romuerottimeen, jonka tarkoituksena on poistaa hakkeen joukosta raskaat partikkelit. Romuloukusta hake siirtyy korkeapaineikiikin kautta imeytystorniin. Imeytystornin korkea paine (12-14 bar)

takaa, että lipeä imeytyy pasutettuun hakkeeseen hyvin ja uppoaa nestepinnan alle.

Viipymä imeytystornissa on 30–45 minuuttia ja lämpötila 110–30 °C. Imeytyksessä voidaan käyttää joko musta- ja valkolipeää tai pelkkää valkolipeää. (Seppälä ym. 2005, 88–89.)

### **2.3 Jatkuvatoiminen keitto**

Vuokeittimet voivat olla joko höyry-nestefaasikeittimiä tai hydraulisia keittimiä. Hake syötetään keittimeen tasaisena virtana sopivan valkolipeä- ja mustalipeämäärän kanssa. Samaan aikaan keittimestä pusketaan ulos syöttöä vastaava määrä sellua ja mustalipeää. Tärkeimmät keittoa säättävät tekijät ovat valkolipeän annostus ja keittolämpötila. Keittoaikaan ei voida vaikuttaa, koska se riippuu tuotannosta. (Seppälä ym. 2005, 87.)

Hake lämmitetään keittimen yläosassa höyryn avulla lähelle keittolämpötilaa. Keittolämpötilan tarkka säätö tapahtuu keittimen tasoituskerrossa. Tasoituskiertopumpulla imetään keittolipeää sihtivyöhykkeestä sen yläpuolelle. Sihtivyöhykkeen jälkeen alkaa keittovyöhyke, jossa viipymä on noin 60 minuuttia tuotannosta riippuen. Keitto loppuu paisuntasihdeillä, ja kuuma keittolipeä syrjäytetään kylmemmällä pesuvyöhykkeen syrjäytyslipesellä, joka syötetään keittimen pohjalle. Syrjäytetty keittolipeä poistuu paisuntasihtien kautta. Keittimen lipeäpintaa säädetään paisuntalipeän määrällä. Lopulta sellu pusketaan ulos keittimen paineen avulla. (Seppälä ym. 2005, 89–90.)

### **2.4 Pesu**

Jotta massa olisi jatkokäsittelyn kannalta mahdollisimman puhdasta, pitää siitä poistaa keitossa liuennut puuaines ja keittokemikaalit pesemällä. Massasta erotetut kemikaalit ja liuennut aines otetaan talteen uudelleenkäyttöä ja polttoa varten. Massan pesu alkaa jo keittimen Hi-Heat-vyöhykkeessä vastavirtapesuna. Keittimen jälkeen pesua jatketaan erilaisilla pesudiffusööreillä ja pesusuotimilla.

Puskua seuraavalla painediffusöörillä saadaan aikaan järjestelmä, joka estää vaahtoamista ja kaasujen karkaamista. Lisäksi ruskean massan pesuun voidaan käyttää vuodiffusööriä. Prosessiin on yleensä sijoitettu myös pesusuotimia. Niissä pesu tapahtuu syrjäytyspesuna ja suodatus paineen tai imun avulla. Pesusuotimista yleisimpiä ovat ns. DD-pesurit. Pesun lisäksi suotimilla massa saostetaan sopivaksi seuraavaa prosessivaihetta varten. (Seppälä ym. 2005, 101–105.)

## **2.5 Lajittelu**

Keiton jälkeen massa sisältää erilaisia epäpuhtauksia kuten kuorta, oksia, hiekkaa ja muovia. Epäpuhtaudet tulee poistaa massasta. Lisäksi lajittelussa tulee pyrkiä mahdollisimman pieniin priimakuituhäviöihin. Lajittelu tehdään yleensä kahdessa prosessivaiheessa: ruskealle massalle ennen valkaisua ja valkaistulle massalle valkaisun jälkeen.

Ruskean massan lajittelu alkaa yleensä karkealla lajittelulla, jossa erotetaan oksat. Oksaerotuksen rejektistä pestään priimakuitu pois oksapesurissa ja rejekti palautetaan keittoon. Hienolajittelussa päälinjan laitteina käytetään painelajittimia. Lajittelu toteutetaan yleensä kolmessa tai neljässä vaiheessa, niin että primäärivaiheen aksepti jatkaa seuraavaan prosessivaiheeseen ja rejekti erotellaan useammassa vaiheessa. (Seppälä ym. 2005, 110–117.)

## **2.6 Valkaisu**

Kemiallisen massan valkaisun tarkoitus on parantaa massan vaaleutta ja puhtautta poistamalla siitä selektiivisesti jäännösligniini. Valkaisutekniikan kehittymisen seurauksena kloorikaasun käytöstä valkaisussa on luovuttu ja se on korvattu klooripohjaisella kemikaalilla (ECF-valkaisu). Myös kokonaan kloorittomia valkaisuja (TCF-valkaisu) on käytössä.

ECF-valkaisussa jäännösligniini poistetaan vuorottelevissa klooridioksi- (D-vaihe) ja alkaliuuttovaiheissa (E-vaihe). Vaiheiden välissä massa pestään huolellisesti pesusuotimilla tai pesupuristimilla. Klooridioksidivaiheessa jäännösligniini liukenee klooridioksidin vaikutuksesta. Alkalivaiheessa massasta uutetaan natriumhydroksidilla pois ne ligniinit, jotka eivät ole poistuneet

pesussa. Alkaliuuttoa voidaan tehostaa hapella ja vetyperoksidilla. (Seppälä ym. 2005, 122–136.)

### **3 Kuitujen ominaisuudet**

Raaka-aineena käytetty puulaji vaikuttaa yksittäisten kuitujen ominaisuuksiin paljon. Sellun valmistusprosessi muokkaa näitä ominaisuuksia, mutta sen vaikutus eri raaka-aineiden välillä on pienempi.

Kuitujen ominaisuudet vaikuttavat myös niistä valmistettavan paperin tai kartongin ominaisuuksiin. Seuraavaksi on esitelty paperiteknisesti tärkeimpiä kuitujen ominaisuuksia. (Sirviö 2008, 61.)

#### **3.1 Kuidun pituus**

Kuidun pituus on yksi merkittävin ominaisuus paperinvalmistuksen kannalta. Sen määrittäminen onnistuu helposti optisilla mittauslaitteilla. Havupuukuidut ovat pitkiä ja niillä on enemmän sitoutumispinta-alaa.

Tämä antaa massalle hyvät lujuusominaisuudet. Tyypillinen havupuun kuidunpituus on noin 2,8–7,2 mm puulajista riippuen, ja lehtipuulla se on 0,8–1,3 mm. (Sirviö 2008, 63–64.)

#### **3.2 Kuidun pituusmassa, jäykkyys ja elastisuus**

Pituusmassalla tarkoitetaan kuitujen keskimääräistä massaa pituusyksikköä kohti. Pituusmassa on suoraan verrannollinen kuituseinämän paksuuteen. Kesäpuulla on kevätpuuta paksumpi kuituseinämä ja suurempi pituusmassa. Paksu kuituseinämä tekee kuidusta jäykän ja siten huonontaa sen sitoutumiskykyä. (Sirviö 2008, 64–65.)

Kuidun pituusmassa ja soluseinämän paksuus vaikuttavat kuidun taipuisuuteen. Jäykällä kuidulla on paksu kuituseinämä, mutta sen ohentuessa kuidusta tulee taipuisampi. Kuidun taipuisuuden kasvaessa myös sitoutumispotentiali kasvaa, jolloin arkin lujuusominaisuudet paranevat. (Paavilainen 1989, 1993, Oksasen 2003, 33 mukaan.)



### **3.3 Kuituvauriot**

Kemiallisessa massanvalmistuksessa kuituvauriot voivat olla peräisin raaka-aineesta tai eri prosessivaiheiden aiheuttamasta kemiallisesta tai mekaanisesta rasituksesta sekä niiden yhteisvaikutuksesta. Ehjä kuitu on suora, ja sen kuituseinämät ovat vaurioitumattomia. Kuidun suoruudessa ja sen seinämän rakenteessa tapahtuu muutoksia kuituvaurion syntyessä. Vaikka kuidut joutuvat alttiiksi lukuisille kemiallisille rasituksille sellun valmistuksessa, pidetään kuituvaurioiden syntyyn pääsyynä kuituihin kohdistuvaa mekaanista käsittelyä. (Page, Seth, Jordan & Barbe 1985.)

Kuituvaurioiden kannalta kriittisiä prosessivaiheita ovat mm. haketus, pusku ja pumppaukset. Valkaisemattoman massan osalta kuituvaurioita lisäävät massan käsittely korkeassa sakeudessa ja lämpötilassa. (Rauvanto 2004, Särkkisen 2007, 13 mukaan.)

Rauvannon (2010) tutkimusten mukaan eri prosessivaiheet vaikuttavat ruskeaan massaan omalla tavallaan. Massan pesu ja radanmuodostus syrjäytysprosesseilla aiheuttavat varsinkin ehjiin kuituihin vaurioita. Massan lajittelu vähensi hieman vaurioita kuiduissa, jotka olivat erittäin vaurioituneita. Ehjiin kuituihin lajittelu aiheutti marginaalisia vaurioita. Massan sekoitus fluidisoivissa sekoittimissa paransi hieman kuitujen laatua, jos sekoitusolot olivat oikeat ja sekoitusaika lyhyt.

Kuituvauriot voidaan jakaa seuraaviin ryhmiin: kiharuus, kinkit, kuitunyrjähdykset eli dislokaatiot ja mikrokompressio. Kinkit ja kiharuus ovat usein seurausta kuituseinämän nyrjähdyksistä. Täten kuiduissa esiintyy samaan aikaan erilaisia vaurioita. (Page ym. 1985.)

#### **3.3.1 Kuitunyrjähdykset ja mikrokompressio**

Kuitunyrjähdyksillä ja mikrokompressiolla tarkoitetaan vaurioita, joissa kuituseinäma on mennyt sijoiltaan. Nyrjähdyksillä tarkoitetaan suurempaa ja mikrokompressiolla pienempää vauriota. Sijoiltaan menneessä kohdassa mikrorofibrillit ovat menneet sijoiltaan, ja vetysidoksia on katkennut. Katkenneet vetysidokset parantavat kuitujen sidospotentiaalia. Kuituihin kohdistuvat

puristus-, taivutus-, kierto- ja leikkausvoimat sekä rasitus synnyttävät nyrjähdys- ja mikrokompressiota. (Page ym. 1985.)

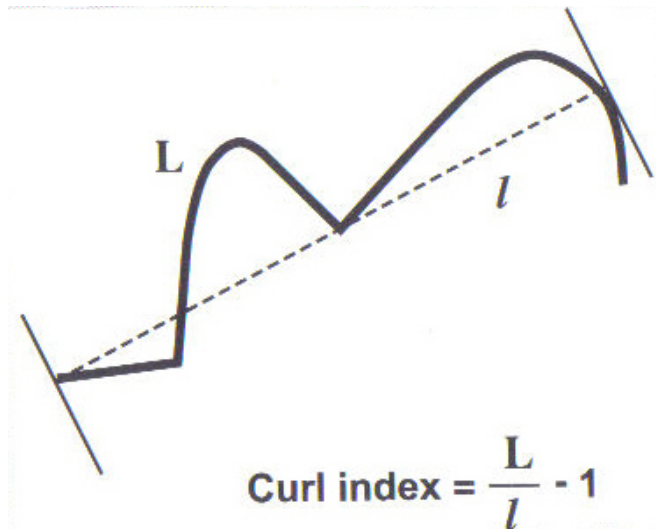
Suominen ja Laamanen (1987) ovat todenneet, että puun haketuksessa, massan pumppauksessa, sekoituksessa, jauhatuksessa ja saostuksessa syntyy kuituvaurioita. Useat tutkijat (Hakanen & Hartler 1995; Tikka & Kovasin 1990 sekä Macleod & Pelletier 1987) ovat todenneet, että keitossa kuituihin kohdistuu suuria fysikaalisia voimia, jotka vaikuttavat kuitujen rakenteeseen. Varsinkin pusku on merkittävä tässä mielessä. Myös lisääntynyt MC-tekniikan käyttö lisää kuituihin kohdistuvia leikkausvoimia, koska kuidut ovat enemmän kontaktissa toisiinsa ja laitteisiin kuin matalasakeustekniikan laitteissa. Tutkijat, kuten Hartler (1995) sekä Seth ja Bennington (1995), ovat huomanneet, että tällöin syntyy enemmän kuituvaurioita.

### **3.3.2 Kiharuus**

Kemiallisen ja varsinkin mekaanisen massan kuitujen tiedetään olevan aina jossain määrin kihartuneita. Kemiallisten sellukuitujen kiharuus on yleensä pysyvää, mutta alhaisessa sakeudessa suoritettu jauhatus voi suoristaa niitä. Jauhatus ei kuitenkaan poista kiharuutta aiheuttavia kuituvaurioita. Kiharuus siis paljastaa niiden olemassaolon. On myös huomattava, että osa kiharuudesta on palautuvaa ja osa pysyvää. (Hartler 1995.)

Samat voimat, jotka aiheuttavat kuitunyrjähdys- ja mikrokompressiota, aiheuttavat myös kiharuutta. Massaa käsiteltäessä korkeassa sakeudessa (20–30 %) syntyy kuitukimppuja. Tällöin kuidut altistuvat peräkkäisille taivutus- ja rasitusvoimille. Selluloosafibrillit pyrkivät suoristumaan taivutuksen jälkeen, mutta hemiselluloosa-ligniinimatriisi vastustaa suoristumista. Kiharuudesta voi tulla pysyvää, jos selluloosafibrilli ei enää pidä kasassa sille ominaista jännitystä, vaan se luhistuu. (Page ym. 1985.)

Kuitujen kiharuuden analysointia varten on kehitetty kiharuusindeksi (Kuva 3.1), jonka laskemisessa käytetään kuidun todellista pituutta (L) ja kuidun lyhintä projisoitua pituutta (l) (Page ym. 1985).

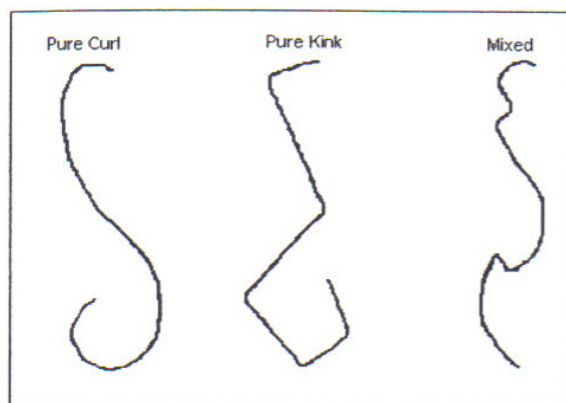


Kuva 3.1 Kiharusindeksi (Page ym. 1985)

Kuten aiemmin todettiin, keskisakeudessa tapahtuva massan prosessointi lisää kuituvaurioita ja kiharuutta. Huomattavaa on, että tällöin kuidunpituudeltaan ja pituusmassaltaan suuret kuidut kihartuvat enemmän kuin muut. (Seth & Bennington 1995.) Massan hidas sekoitus alhaisessa sakeudessa voi suoristaa kuituja (Nurmelin, Jokinen & Laamanen, 1999).

### 3.3.3 Kinkit

Kinkeiksi kutsutaan sellaisia kohtia kuiduissa, jotka ovat taittuneet jyrkässä kulmassa. Kuidut voivat olla kihartuneita tai sisältää kuitunyrjähdymiä, vaikka eivät sisältäisikään kinkkejä. (Hakanen & Hartler 1995). Kuvassa 3.2 on esitetty kuituja, jotka ovat kiharia, kinkkisiä tai molempia.



Kuva 3.2 Vaurioituneita kuituja

Kinkit syntyvät yleensä sellaiseen kohtaan kuitua, joka on jo vioittunut. Kinkit lisäävät massan märkälujuutta, mutta muuten niillä on negatiivisia vaikutuksia massan ominaisuuksiin, koska kuidut katkeilevat herkästi taipumien kohdilta. Valkaisu voi jäykistää kinkit, jolloin massan märkälujuus paranee. (Kibblewhite 1975, 1974, Oksasen 2002, 43–44 mukaan.)

Kibblewhiten kehittämällä kaavalla voidaan laskea kink-indeksi.

$$\text{Kinkindeksi} = \frac{N_{(10^\circ-20^\circ)} + 2N_{(21^\circ-45^\circ)} + 3N_{(46^\circ-90^\circ)} + 4N_{(91^\circ-180^\circ)}}{L} \quad (1)$$

Kaavassa  $N$  tarkoittaa kyseisessä kulmassa taipuneiden kinkkien määrää, koko näytteessä ja  $L$  koko näytteen kuitujen pituutta (Riekkinen 2002, 19).

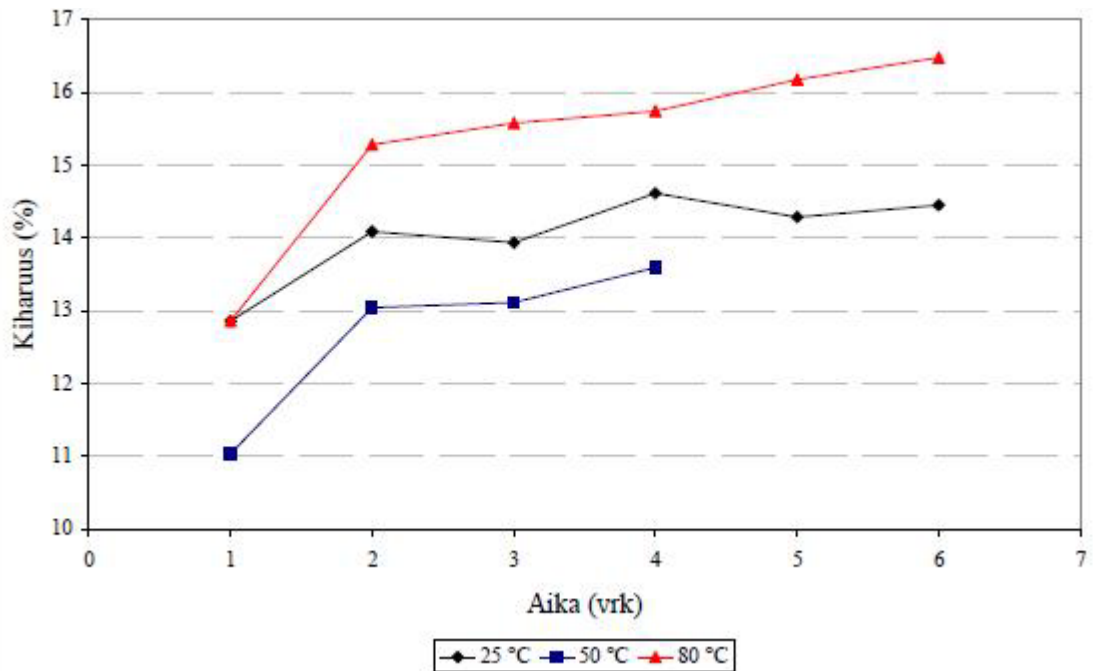
Massaa käsiteltäessä kinkkien määrä voi vähetä ja ne voivat oieta. Vaikka kinkki oikeenisikin, jää kuituun silti vaurio taipumakohtaan (Nurmelin, 1999).

### 3.4 Varastoinnin vaikutus massaan

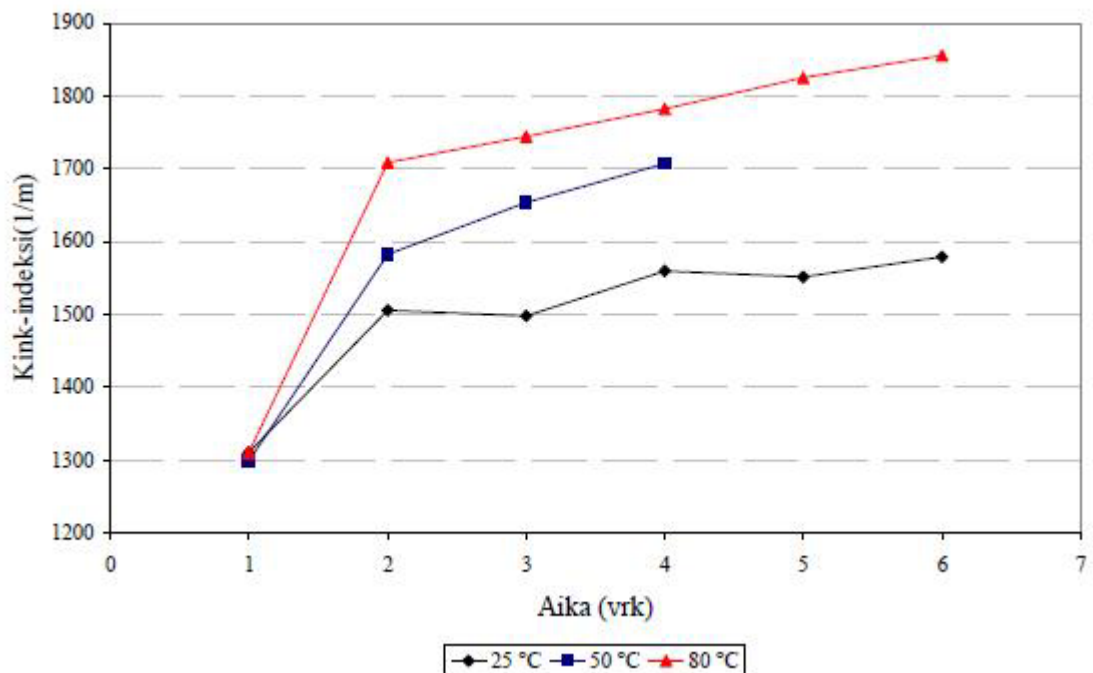
Massan lujuusominaisuuksien muutos märkävarastoinnissa riippuu pitkälti ympäristötekijöistä, kuten pH:sta ja lämpötilasta. Seitsemän vuorokautta varastoidun massan lujuusominaisuudet heikkenevät jonkin verran, jos massan pH on noin 3 ja lämpötila 40 °C. Kun pH nostetaan noin viiteen, säilyvät lujuusominaisuudet paremmin, mutta vaaleuden pysyvyys heikkenee. Vastaavasti pH:n laskeminen alle kolmen parantaa vaaleuden pysyvyyttä ja heikentää lujuusominaisuuksia enemmän. Liian korkea lämpötila vaikuttaa haitallisesti massan ominaisuuksiin. (Jousimaa & Rautonen 1992.)

Vasankari (2006) on tutkinut varastoinnin keston vaikutusta kuitujen kiharuuteen ja kinkkeihin vesihauteen avulla. Kokeissa on käytetty mäntymassaa, jonka ominaisuuksien vaihtelun uskotaan olevan tärkeämpää, koska kuituvauriot vaikuttavat massan lujuusominaisuuksiin. Kokeiden massat olivat otettaessa noin 12 %:n sakeudessa 50 °C:ssa. Ensimmäinen mittaus on tehty aina heti näytteen ottamisen jälkeen, jonka jälkeen kiharuus ja kink-indeksi on mitattu kerran vuorokaudessa. Ensimmäisessä kokeessa on simuloitu varastotornin olosuhteita. Massaa on pidetty 50 °C:ssa kolmen päivän ajan. Varastoinnin vaikutusta on tutkittu myös pitämällä massaa 80 °C:ssa ja 25 °C:ssa viiden

päivän ajan. Kuvioissa 3.1 ja 3.2 on esitetty mäntymassoista mitatut kiharuudet ja kink-indeksit varastointiajan funktiona.



Kuvio 3.1 Kiharusuus ajan funktiona (Vasankari, 2006)



Kuvio 3.2 Kink-indeksi ajan funktiona (Vasankari, 2006)

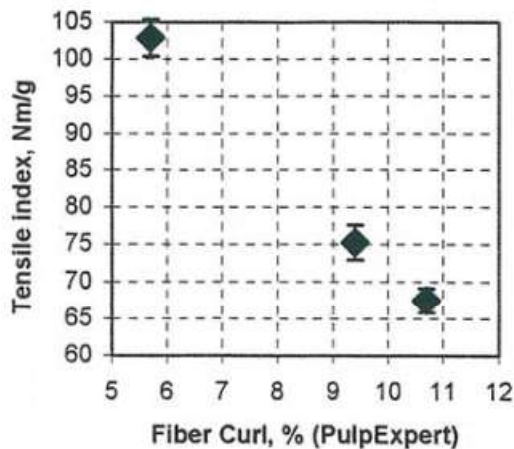
Vasankarin (2006) tuloksista voidaan nähdä, että varastointiaika vaikuttaa massan kiharuuteen ja kink-indeksiin. Suurin muutos kuituvaurioiden määrässä tapahtuu ensimmäisen vuorokauden aikana kaikissa lämpötiloissa. Tämän

jälkeen kasvu jatkuu tasaisena. Tulosten perusteella kiharuuteen ja kink-indeksiin vaikuttaa myös varastoinnin lämpötila. Kink-indeksi on suurin massalla, joka on varastoitu 80 °C:ssa, ja pienin 25 °C:ssa varastoidulla, riippumatta mittauspäivästä. Kiharuuden arvoissa muutokset ovat suurimmat 80 °C:ssa ja pienimmät 25 °C:ssa.

Mohlinin (2010) tutkimusten mukaan massan sekoitus varastoinnin aikana lisää kiharuutta. Muutos on ajasta riippuvainen, ja se vaikutti useimpiin arkin rakenteellisiin ja mekaanisiin ominaisuuksiin. Tunnin aikana vetoindeksi laski 5 % ja 16 tunnin varastoinnin jälkeen se oli laskenut 15 %.

### 3.5 Kuituvaurioiden vaikutukset massa-arkin ominaisuuksiin

Kuituvauriot vaikuttavat massasta valmistetun lopputuotteen laatuominaisuuksiin. Varsinkin kuidun seinämän suuntaa muuttavat kuituvauriot, kuten kiharuus ja kinkit, vaikuttavat arkkien ominaisuuksiin. Sellaiset vauriot, jotka eivät muuta seinämän suuntaa, eivät juurikaan vaikuta arkkien ominaisuuksiin. (Mohlin, Dahlbom, & Hornatowska 1996.)



Kuvio 3.3 Kiharuuden vaikutus vetoindeksiin (Joutsimo ym. 2005).

Kiharuus ja muut kuituvauriot vaikuttavat etenkin arkkien vetolujuuteen ja kuitujen sitoutumiskykyyn. Kiharista kuiduista valmistettujen arkkien vetolujuusindeksi on alhainen, kun taas niiden repäisylujuus on suuri. Kuvassa

3.3 on esitetty kiharuuden vaikutus vetoindeksiin. (Joutsimo, Wathén & Tamminen 2005.)

Page ym. (1985) tutkimusten mukaan kiharuuden kasvu 12 %:sta 24 %:iin alentaa vetolujuutta 30–50 %. Sama kiharuuden muutos paransi repäisylujuutta 70 %. Lisäksi kiharuus alentaa arkin taitto- ja puhkaisulujuutta. Kiharuus kasvattaa arkin bulkkia ja huokoisuutta. Kiharuus laskee massan suotautumisvastusta. Kiharien ja suorien kuitujen välillä voi olla jopa 100 ml:n ero freeneksessä. Tätä on selitetty kasvaneella rainan bulkkisuudella, ja osittain kuidun näennäisen poikkipinta-alan pientymisestä poistuvan veden virtauksen suunnalla. (Page ym. 1985.)

Kiharuus kasvattaa arkin venymää, mutta laskee sen kimmokerrointa. Kiharuus kasvattaa myös valonsirontaa, joka kasvattaa hieman opasiteettia ja vaaleutta sekä antaa arkille mattapinnan. (Joutsimo ym. 2005.)

Kuitujen dislokaatiot laskevat arkin kimmokerrointa. Dislokaatiot heikentävät arkkien lujuusominaisuuksia, koska ne ovat kuitujen heikkoja kohtia. Erityisesti taitto- ja puhkaisulujuus alenevat. Dislokaatiot kasvattavat arkin repäisylujuutta ja venymää. (Joutsimo ym. 2005.)

## **4 Työn tavoite**

Työn tavoitteena oli selvittää, kasvavatko massan kuituvauriot massan ollessa massasäiliöissä. Tällaista kehitystä kuituvaurioissa oli huomattu muilla tehtailla.

Työssä tarkasteltiin, oliko säiliöiden pinnankorkeuksilla ja massan säiliöissä viettämällä ajalla vaikutusta kuituvaurioihin. Lisäksi tutkittiin oliko säiliöihin menevän ja sieltä lähtevän massan määrällä tai kuituvaurioiden lähtötasolla vaikutusta niiden kehitykseen.

## **5 Imatran tehtaat**

Stora Enso Oyj:n Imatran tehtaisiin kuuluu kaksi tehdasyksikköä, Kaukopää ja Tainionkoski. Työntekijöitä Imatran tehtailla on noin 1000. Imatran tehtaiden paperin ja kartongin tuotantokapasiteetti on yli miljoona tonnia vuodessa. Tästä yli 90 % menee vientiin. Pääasiallisia tuotteita ovat nestepakkaus-, elintarvike-, graafiset- ja pakkauskartongit sekä pakkauspaperit. Paperien tuotantokapasiteetti on 110 000 t/a ja kartonkien 970 000 t/a

Kartonkien ja paperien raaka-aineena käytetään valkaistua lehti- ja havupuusellua sekä valkaisematonta havusellua ja CTMP:tä. Kaukopäässä kuitulinja 1 valmistaa valkaistua lehtisellua, ja sen kapasiteetti on 650 000 t/a. Kuitulinja 2 valmistaa valkaistua havusellua, sen kapasiteetti on 250 000 t/a. CTMP-laitoksen tuotantokapasiteetti on 200 000 t/a. Tainionkoskella valkaisemattoman havusellun tuotantokapasiteetti on 200 000 t/a.

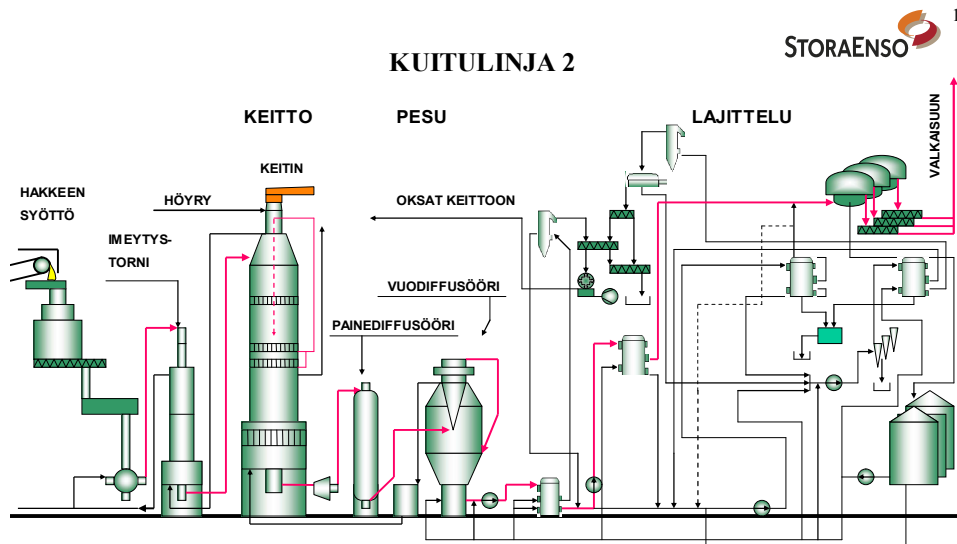
### **5.1 Kuitulinja 2**

Kuitulinja 2 on valmistanut vuonna 1976. Siellä valmistettiin kevääseen 2001 asti valkaistua koivusellua, jonka jälkeen sitä modernisoitiin, ja havusellun tuotanto aloitettiin kesällä. Samaan aikaan uusi kuitulinja 3 käynnistyi, ja siellä alettiin tuottaa koivusellua. Vanha Kuitulinja 1 lopetti toimintansa myös samana vuonna.

Sellun valmistus alkaa hakkeen imeytyksellä imeytystornissa, jonka jälkeen hake keitetään 2-astiaisessa höyry-nestefaasikeittimessä. Käytössä on

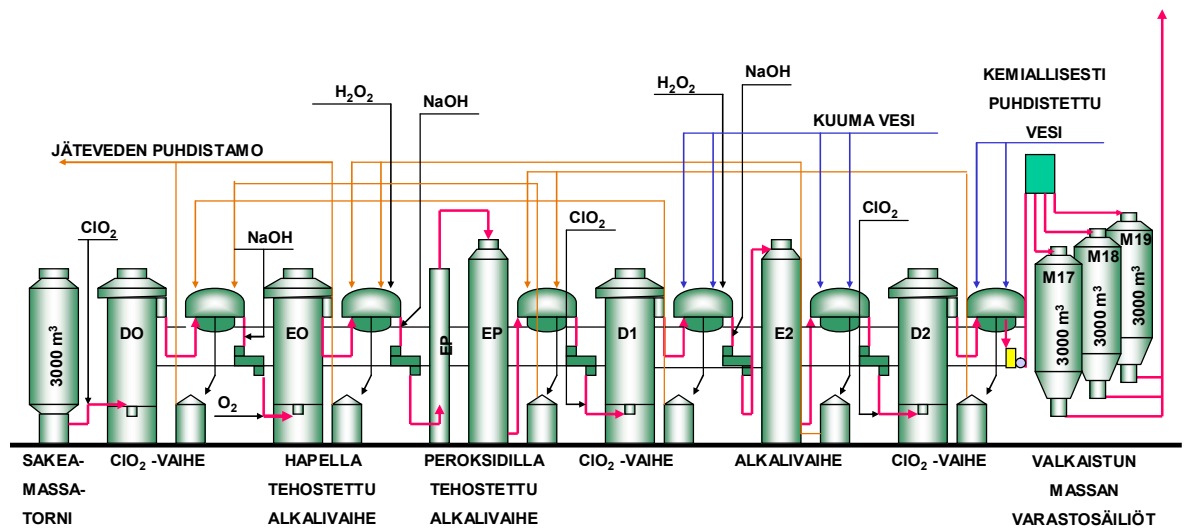


konventionaalinen ajomalli, joka päättyy vastavirtapesuun Hi-Heat-  
 vyöhykkeessä. Keiton jälkeen massa pestään paine- ja vuopesureissa,  
 happidelignifioidaan ja lajitellaan. Kuvassa 5.1 on Kuitulinja 2:n keittämön  
 prosessikuva, josta puuttuu happidelignifiointi.



Kuva 5.1 Kuitulinja 2:n keittämön prosessikuva

#### KUITULINJA 2 / VALKAISU 4



Kuva 5.2 Kuitulinja 2:n valkaisimon prosessikuva

Lajiteltu massa valkaistaan 6-vaiheisella suodinvalkaisulla, jossa on  
 seuraavanlainen sekvenssi: D-EO-EP-D-E-D. . Valkaisussa käytetään  
 klooridioksidia D-vaiheissa ja natriumhydroksidia E-vaiheissa. Lisäksi valkaisun  
 ensimmäinen alkalivaihe on tehostettu hapella, ja toinen alkalivaihe on

tehostettu vetyperoksidilla. Massa pestään jokaisen sekvenssin jälkeen suodinpesureilla. Kuvassa 5.2 on kuitulinja 2:n valkaisimon prosessikuva.

## **5.2 Kartonki- ja paperikoneet**

Kuitulinja 2:lla valmistettua mäntysellua käyttävät kartonkikoneet 4 ja 2 sekä paperikone 6. Kartonkikone 4 on suurin mäntysellun käyttäjä.

Kartonkikone 4 on valmistunut vuonna 1961. Sillä tuotetaan kolmikerroksista nestepakkaus- ja kuppikartonkia. Sen tuotantokapasiteetti on noin 350 000 tonnia vuodessa.

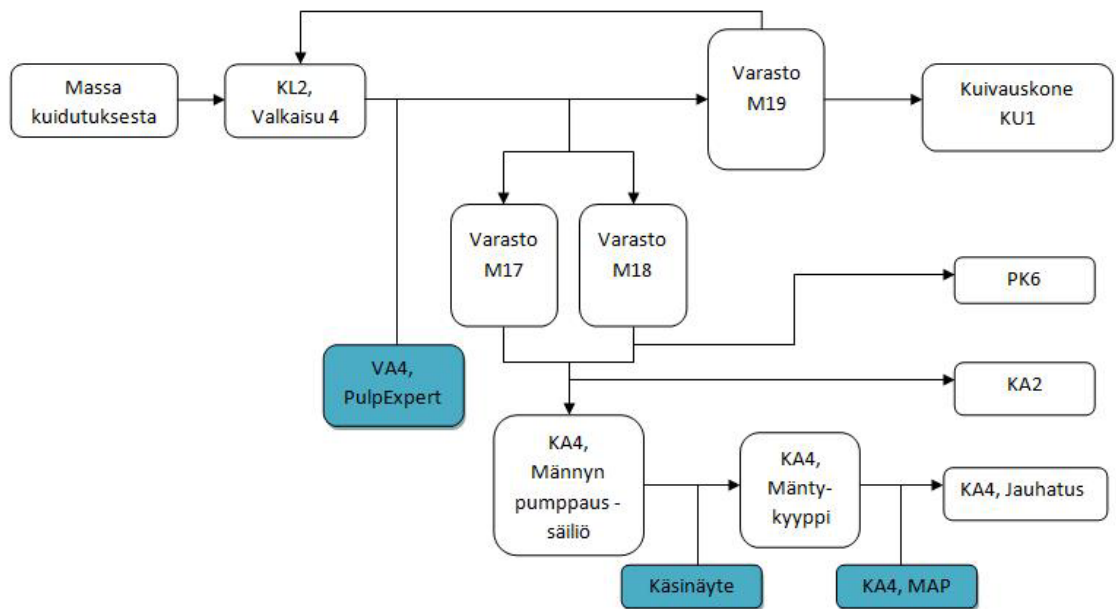
Kartonkikone 2 on otettu käyttöön vuonna 1956. Sen tuotteita ovat graafiset-, pakkaus-, kuppi-, savuke- ja nestepakkauskartongit. Tuotantokapasiteetti on noin 220 000 t/a.

Vuonna 1970 tuotannon aloittanut paperikone 6 valmistaa erilaisia pakkauspapereita. Koneen tuotantokapasiteetti on 85 000 t/a.

## **5.3 Valkaistun massan varastointi**

Valkaisun jälkeen mäntymassa jaetaan varastosäiliöihin M17, M18 ja M19. Säiliöiden M18 ja M17 massa käytetään paperi- ja kartonkikoneilla. Säiliöstä M19 massa voidaan pumpata Kuivauskone 1:lle tai takaisin Kuitulinja 2:n valkaisimon D2-vaiheeseen tai sen jälkeiseen pudotusputkeen, josta massa pumpataan varastosäiliöihin. M17:sta massaa ottavat KA2 ja KA4, M18:sta massaa ottaa edellisten lisäksi myös PK6.

M17 ja M18 ovat tilavuudeltaan 2500 m<sup>3</sup>, ja M19 on tilavuudeltaan 8000 m<sup>3</sup>. Torneihin pumpattavan massan sakeus on säädetty normaalisti noin 8–9 prosenttiseksi. Keskisakeuden takia torneissa ei ole sekoitusta, vaan pohjakaavarit, joilla massa kaavitaan pudotusputkeen tasaisesti. Pudotusputkista massa pumpataan sitä käyttävien koneiden massaosastoille.



Kuvio 5.1 Massan virtaus valkaisuista kartonkikone 4:n jauhatukseen.

Kuviossa 5.1 on esitetty, kuinka massa etenee prosessissa KL2 valkaisuista kartonkikone 4:n jauhatukseen sekä mistä kohtaa prosessia näytteitä otetaan. Ennen jauhatusta massan sakeus säädetään männyn pumppaussäiliössä ja mäntykyyppissä noin 4–5 prosenttiseksi.

#### 5.4 Online-analysaattorit

Massan laadunvalvontaa suoritetaan tehtaalla online-mittauslaitteilla. Kuitulinjalla on käytössä PulpExpert ja Kartonkikone 4:llä KajaaniMAP. PulpExpertillä ja MAP:lla pystytään määrittämään mm. seuraavia massan ominaisuuksia:

- sakeus
- freeness (CSF ja SR°)
- kuitujen pituus, leveys ja paksuus
- kuidun pituuspaino
- kuidunpituusjakauma
- vaaleus
- tikku- ja roskapitoisuus
- veto- ja repäisylujuus
- venymä

- kiharuus ja kink-indeksi

PulpExpert ja MAP ottavat seurantanäytteet automaattisesti prosessista ja määrittävät niistä ennalta määrätyt ominaisuudet. Molemmilla voi myös analysoida näytteitä manuaalisesti

### **5.5 Käsinäytteen analysointi PulpExpertillä**

Käsin otetut näytteet vietiin ottamisen jälkeen heti analysoitavaksi, jotta massan ominaisuudet eivät muuttuisi. Massaa punnittiin näytekannuun jokaista näytettä varten noin 18 g abs. kuivana, jotta se varmasti riittäisi kaikkien ominaisuuksien määrittämiseen. Näytekannuun lisättiin myös vettä noin 2 dl, jotta kaikki näyte tulisi kannusta ulos. Näytettä ei juurikaan sekoitettu ennen analysointia. Näytekohtaiset tiedot (näytteenottoaika, näytteen paino, lisätty vesimäärä, arviosakeus) syötettiin laitteelle ja näytteelle valittiin näytteenottopiste, joka sisälsi esiasetetut mittaussekvenssit. Näytteen hyväksymisen jälkeen laite teki automaattisesti kaikki määritetyt analyysit ja lopuksi tyhjensi ja huuhteli säiliön.

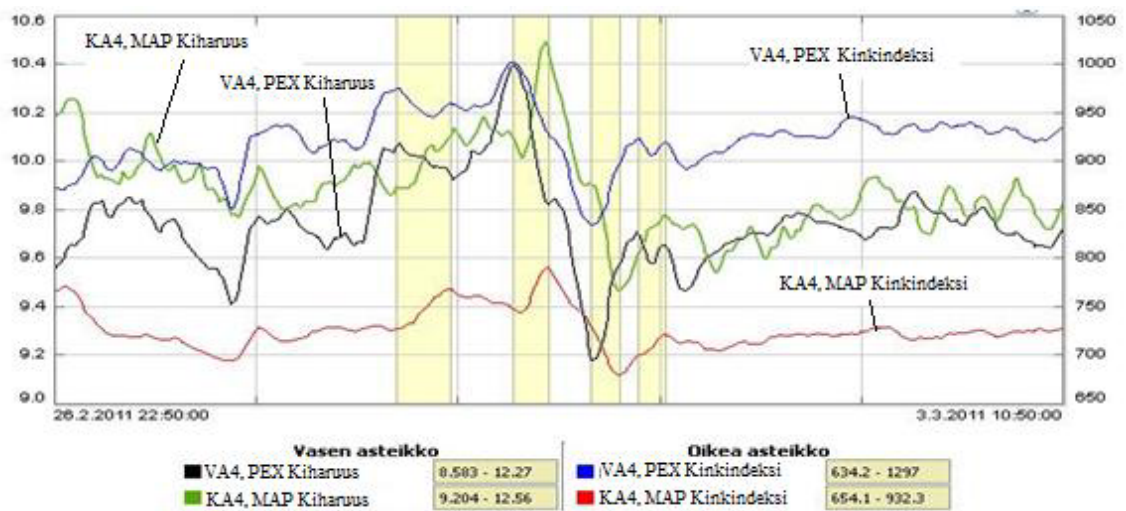
Näytteet analysoitiin esiasetetun mittaussekvenssin mukaan, jossa määritettiin freeness, kuitujen pituuspainotettu pituus, kuitujen pituus ilman hienoainetta, kuitujen leveys, kuitujen pituuspaino, kuitujen hienojae sekä kiharuus ja kink-indeksi.

## **6 Varastoinnin vaikutus massan kuituvaurioihin**

Tutkinta toteutettiin keräämällä aineistoa prosessimittauksista Wedge-ohjelman avulla, johon kerätään dataa tehtaan prosesseista. Aineisto on ajalta 18.10.2010–14.2.2011 (Liite 1). Kiharuudesta pystyttiin keräämään vähemmän aineistoa, koska MAP:in kiharuusmittaus oli liitetty Wedge-ohjelmaan vasta 18.1.2011. Lisäksi otettiin sarja näytteitä 4.–7.4.2011 ja 26.–28.4.2011. Näytteitä otettiin yhteensä 21 kappaletta ja ne analysoitiin PulpExpertillä. Niiden tulokset ovat taulukoituna liitteessä 2. MAP:in mittaukset olivat 27.4 poissa käytöstä kartonkikoneella olleen katkon takia. Kerätyn aineiston ja näytteiden avulla selvitettiin, vaikuttivatko viive, säiliöiden pinnankorkeus, kuituvaurioiden lähtötaso, valkaisu tuotanto tai kulutus säiliöistä kuituvaurioiden kehitykseen.

## 6.1 Viive massasäiliöissä

Aikaisemmissa tutkimuksissa oli huomattu, että massa ei virtaa varastotorneissa tulppavirtauksena, vaan torneissa esiintyy kanavoitumista. Tällöin säiliöiden aiheuttamaa viivettä prosessissa ei voida laskea tarkasti. Massan säiliöissä viettämä aika määritettiin vertailemalla PulpExpertin ja MAP:in mittaamia kuidunpituuksia, kiharuuksia ja kink-indeksiä Wedge-ohjelman avulla. Näistä mittauksista etsittiin samankaltaisuuksia ominaisuuksien vaihteluista. Viive määritettiin siis samankaltaisten vaihteluiden ajallisesta erosta.



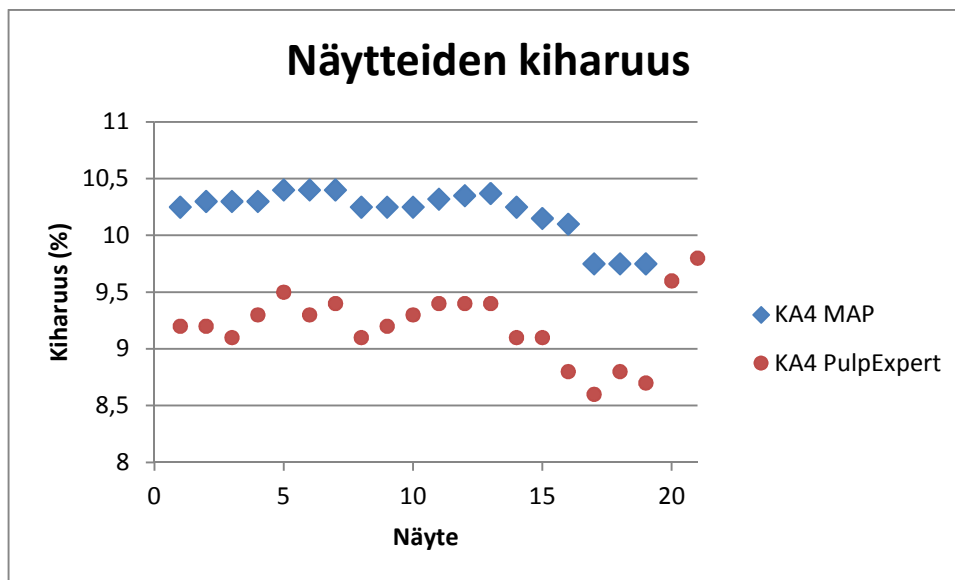
Kuvio 6.1 Viiveen määrittäminen kiharuuden ja kink-indeksin avulla.

Kuviossa 6.1 on esimerkki viiveen määrittämisestä. Kuvioon on merkitty neljä aluetta, joiden aikana ennen säiliöitä havaittu muutos on siirtynyt säiliöiden jälkeiseen mittaukseen. Kyseiset viiveet vasemmalta oikealle ovat 5 h 40 min, 3 h 40 min, 3 h ja 2 h 40 min.

## 6.2 Online-analysaattoreiden kuituvauriomittausten vertailu

Aineistoa kerättyä oli huomiota kiinnittänyt se, että MAP:lla mitattu kink-indeksi oli aina pienempi kuin arvioidun viiveen mukainen PulpExpertillä mitattu, kun taas kiharuus suurempi. Eli massan kinkit vaikuttivat oikeanvarastoinnin aikana, mutta kiharuus kasvavan (Kuviot 6.6 ja 6.7). Tämä oli mielenkiintoista siksi, että kuituvaurioiden pitäisi kehittyä samaan suuntaan. Tästä syystä päätettiin ottaa massanäytteitä käsin putkesta ennen mäntäkyyppeä, jonka jälkeen MAP ottaa näytteensä massasta ennen jauhatusta.

Koska näytteenottopisteet olivat lähekkäin, prosessista aiheutuvat muutokset massaan pysyivät mahdollisimman pieninä. Näytteet analysoitiin PulpExpertillä, ja tuloksia verrattiin MAP:in mittaamiin arvoihin, jotta päästäisiin selville, ovatko mittaukset vertailukelpoisia ja kehittyvätkö vauriot todella eri suuntiin. Käsinäytteitä otettiin 4. –7.4.2011 ja 26.–28.4.2011 yhteensä 21 kappaletta. MAP:in mittaukset olivat 27.4. poissa käytöstä kartonkikoneella olleen katkon takia. Liitteeseen 2 on taulukoitu tulokset käsinäytteistä, niitä vastaavat PulpExpertin ja MAP:in mitaamat kiharuus ja kink-indeksi ennen ja jälkeen varastoinnin sekä arvioitu viive ja säiliöiden pinnankorkeuksien keskiarvo massan torneihin meno hetkellä.



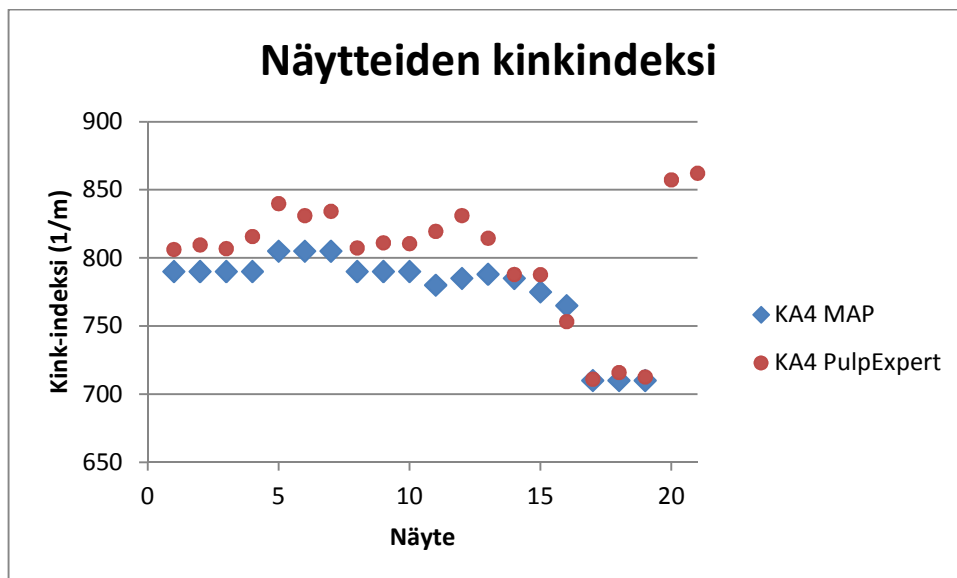
Kuvio 6.2 Näytteiden kiharuus ja MAP:in prosessista mitaama kiharuus

Kuvioissa 6.2 ja 6.3 on esitetty kiharuudet ja kink-indeksit PulpExpertillä analysoiduista KA4:n massaosastolta otetuista näytteistä ja vastaavat arvot MAP:in prosessimittauksista.

Kuviosta 6.2 nähdään, että PulpExpertillä analysoitujen käsinäytteiden ja MAP:in automaattinäytteiden kiharuudet eroavat toisistaan. Ero on 0,9–1,3 yksikköä kiharuutta näissä tapauksissa, joista aiheutuu 9,5–15 % ero analysaattoreiden kiharuusmittausten välille. Keskimäärin kiharuus oli MAP:illa mitattuna 11,5 % suurempi ja erojen keskihajonta oli 1,4 %. Kiharuuksien arvot seuraavat toisiaan hyvin, ja regressioanalyysissä kiharuuksien

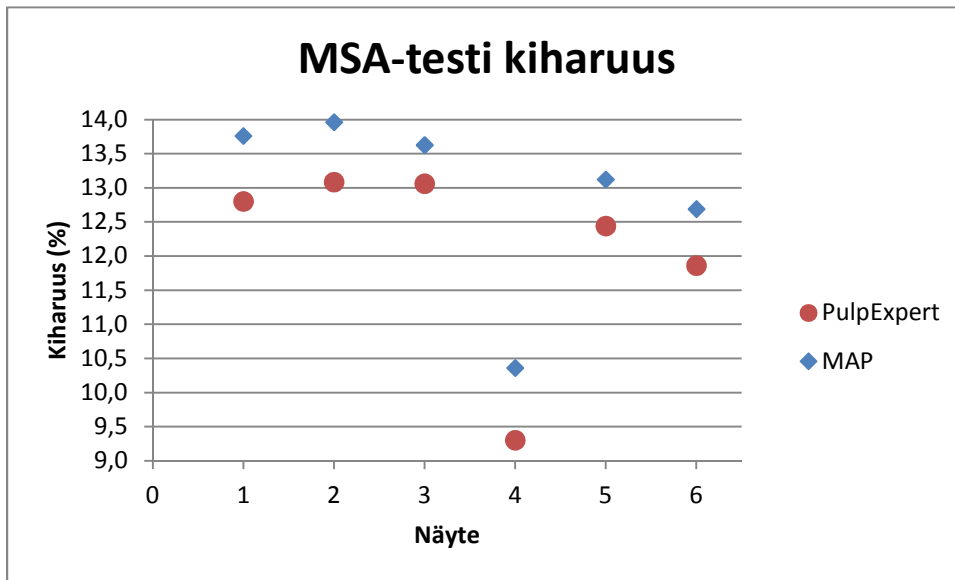
korrelaatiokerroimeksi saadaan 0,84. Kaksi 27.4. PulpExpertillä analysoitua näytettä ovat ilman vertailuparia kartonkikone 4:llä olleen katkon takia.

Kuvion 6.3 perusteella voidaan todeta, että MAP antaa massan kink-indeksille, yhtä tapausta lukuun ottamatta, pienemmän arvon prosessimittauksessa, kuin mitä vastaava käsinäyte saa PulpExpertillä. PulpExpertillä analysoitujen käsinäytteiden ja MAP:in prosessista mittaamien arvojen erot ovat  $-46$  ja  $+12$  välillä, jolloin suhteellinen ero on näissä tapauksissa  $-5,5 \pm 1,6$  %. Keskimäärin kink-indeksi oli MAP:illa mitattuna 2,3 % pienempi, ja erojen keskihajonta oli 1,7 %. Regressioanalyysissä kink-indeksimittausten väliseksi korrelaatiokerroimeksi saadaan 0,92. Kaksi 27.4. PulpExpertillä analysoitua näytettä ovat ilman vertailuparia kartonkikone 4:llä olleen katkon takia.

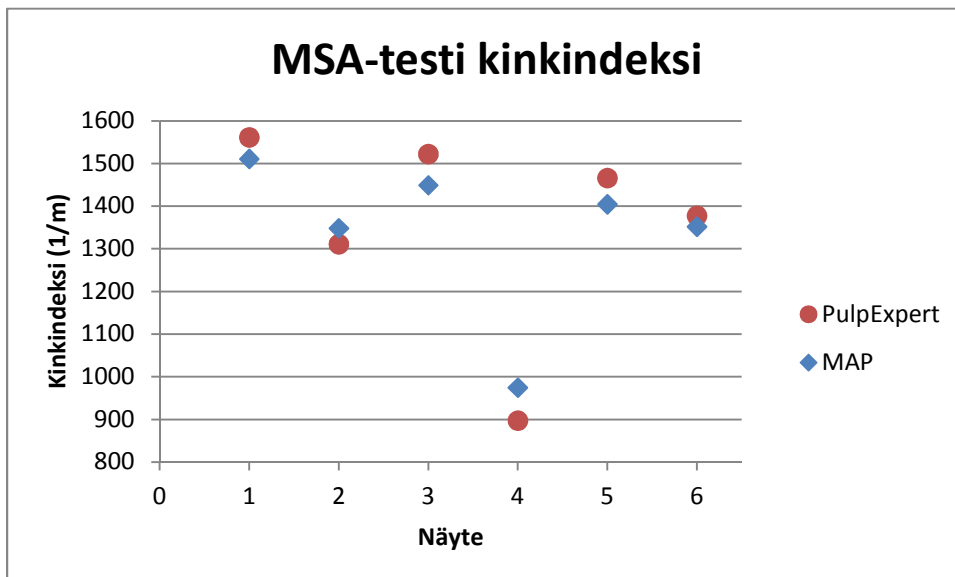


Kuvio 6.3 Näytteiden kinkindeksi ja MAP:in prosessista mittaama kinkindeksi

Eräässä tehtaan omassa selvityksessä (Stora Enso 2010) oli myös vertailtu analysointoreita (MSA-testi). Siinä oli kuusi eri näytettä analysoitu, kukin viisi kertaa, molemmilla analysointoreilla. Sen tulokset (Kuvio 6.4) viittaavat samaan suuntaan kuin omista näytteistäni saadut. Testin perusteella kiharuuus oli MAP:illa mitattuna suurempi, eron ollessa 0,6–1,1 yksikköä kiharuuutta ja suhteellisten erojen ollessa 4,3–11,4 %. Keskimäärin kiharuuus oli MAP:illa mitattuna 7,1 % suurempi, tasoeron keskihajonnan ollessa 2,4 %. Mittausten arvot seuraavat toisiaan erittäin hyvin, ja mittausten välinen korrelaatiokerroin on 0,99.



Kuvio 6.4 PulpExpertin ja MAP:in mitaamat kiharuudet MSA-testissä



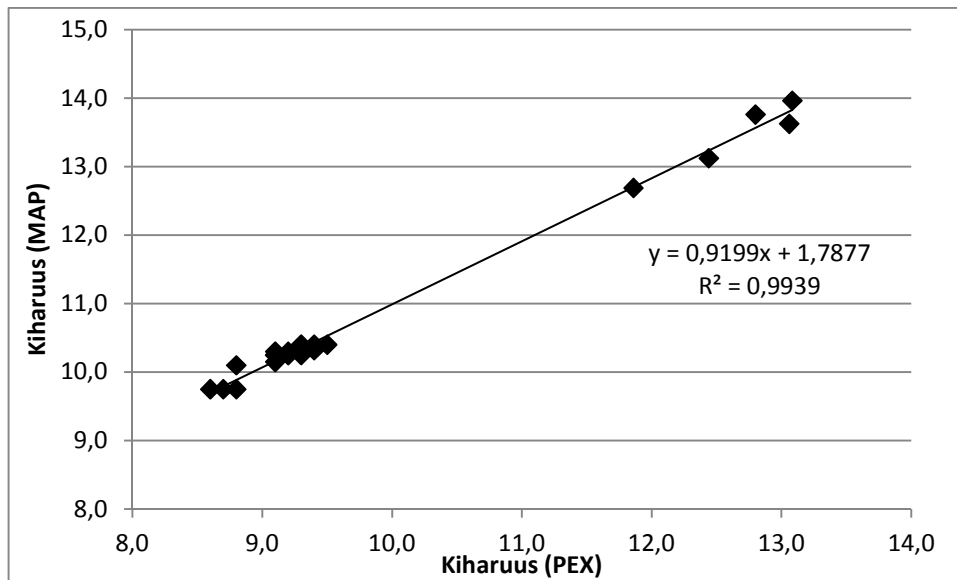
Kuvio 6.5 PulpExpertin ja MAP:in mitaamat kinkindeksit MSA-testissä

Kuvion 6.5 mukaan PulpExpert antoi testissä kink-indeksille suuremman arvon neljässä tapauksessa kuudesta. Mittausten erot ovat  $-73$  ja  $+78$  kink-indeksiyksikön välillä ja niiden suhteelliset erot  $-4,8 \pm 8,6$  %:n välillä. MAP:illa mitattu kink-indeksi oli keskimäärin  $0,4$  % pienempi ja erojen keskihajonta oli  $5,2$  %. Regressioanalyysissä mittausten väliseksi korrelaatiokertoimeksi saadaan  $0,98$ .

Kun yhdistetään tehtaan testin ja omien näytteiden tulokset, saadaan regressioanalyysissä kiharusmittausten väliseksi korrelaatiokertoimeksi  $0,99$



(Kuvio 6.6). Keskimääräinen ero kiharuusmittauksissa on tällöin 10,5 %, ja niiden keskihajonta on 2,5 %. Kink-indeksimittaukset saavat korrelaatiokertoimeksi myös 0,99. Kink-indeksimittausten ero on keskimäärin 1,8 % ja niiden keskihajonta on 2,9 %.



Kuvio 6.6 Kiharuusmittausten regressiosuora (MSA-testi ja omat näytteet).

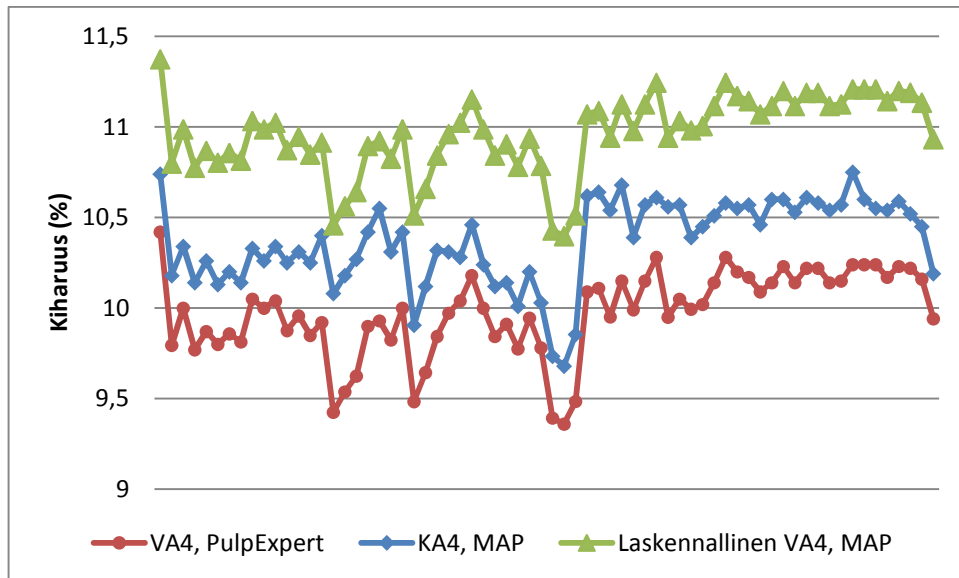
Online-analysaattoreiden kiharuusmittaukset eivät siis ole suoraan verrattavissa toisiinsa tasoerosta johtuen. Mittaukset kuitenkin seuraavat toisiaan hyvin. Kun MAP mittaa kiharuuden aina noin 10 % korkeammaksi kuin PulpExpert, jolloin tämä tasoero vääristää tuloksia, kun tutkitaan kiharuuden kehitystä. Käyttämällä kuvion 6.6 regressiosuoran yhtälöä (2) voidaan laskea, kuinka paljon PulpExpertillä mitattu kiharuus olisi MAP:lla mitattuna, jolloin päästään selville kiharuuden todellisesta kehityksestä.

$$\text{Kiharuus}_{\text{VA4, MAP}} = 0,9199 \cdot \text{Kiharuus}_{\text{VA4, PEX}} + 1,7877 \quad (2)$$

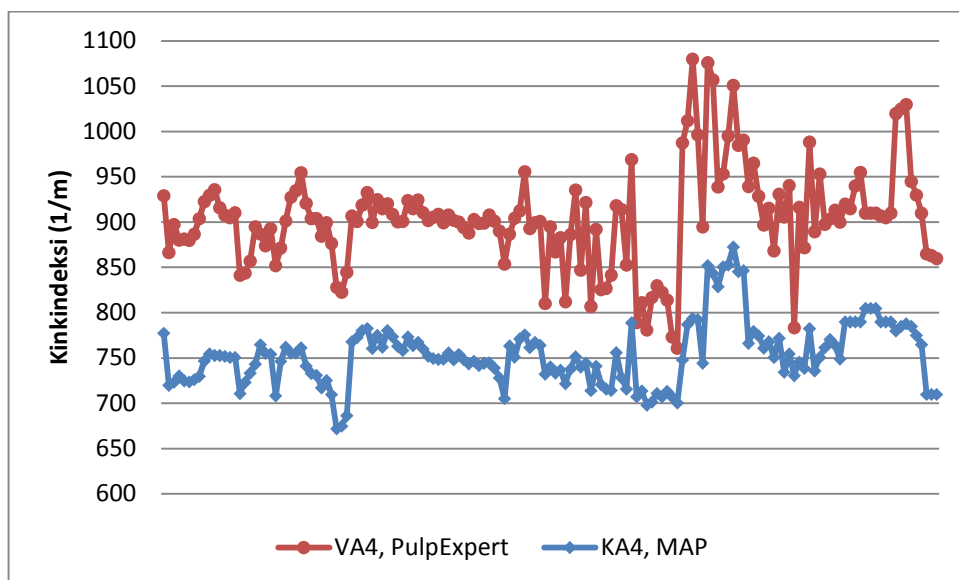
Kink-indeksimittauksetkin seuraavat toisiaan hyvin. Niissäkin on havaittavissa pieni ero. Eron ollessa keskimäärin vain noin 2 %, ei siitä ole haittaa kink-indeksin kehityksen tutkimisessa.

Kuviossa 6.7 on esitetty kerätyn aineiston kiharuudet ennen varastointia (VA4, PulpExpert), saman massan kiharuus varastoinnin jälkeen (KA4, MAP) ja yhtälöllä 2 laskettu kiharuus ennen varastointia, jonka MAP mittaisi (laskennallinen VA4, MAP). Kuten kuviossa nähdään verrattaessa alkuperäisiä

mittauksia kiharuus kasvaa, mutta verrattaessa laskennallista kiharuutta varastoinnin jälkeiseen kiharuuteen, on kiharuus laskenut. Kiharuuden kehityksen tutkimisessa on jatkossa käytetty laskennallista kiharuutta.



Kuvio 6.7 Aineiston kiharuudet



Kuvio 6.8 Aineiston kink-indeksit

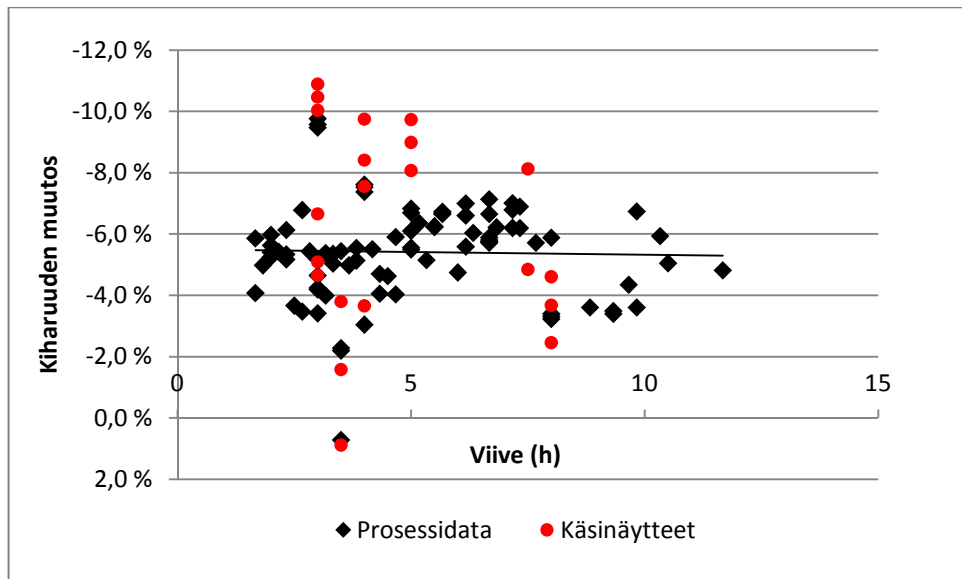
Kuviosta 6.8 nähdään, että massan kink-indeksi on laskenut varastoinnin aikana. Analysaattoreiden kink-indeksimittaukset seuraavat toisiaan hyvin.

### 6.3 Viiveen vaikutus kuituvaurioihin

Viiveen vaikutusta kuituvaurioihin tutkittiin vertaamalla kiharuuden ja kink-indeksin muutosta arvioituun viiveeseen, eli siihen aikaan, jonka massa näytti wedge-ohjelmasta katsottuna viettävän torneissa ja prosessissa mittauspisteiden välillä. Kiharuuden muutos on laskettu kaavalla (3) ja kink-indeksin muutoskaavalla (4). Mitä suurempi negatiivinen muutos kiharuudessa ja kink-indeksissä tapahtuu, sitä enemmän kuidut oikenevat.

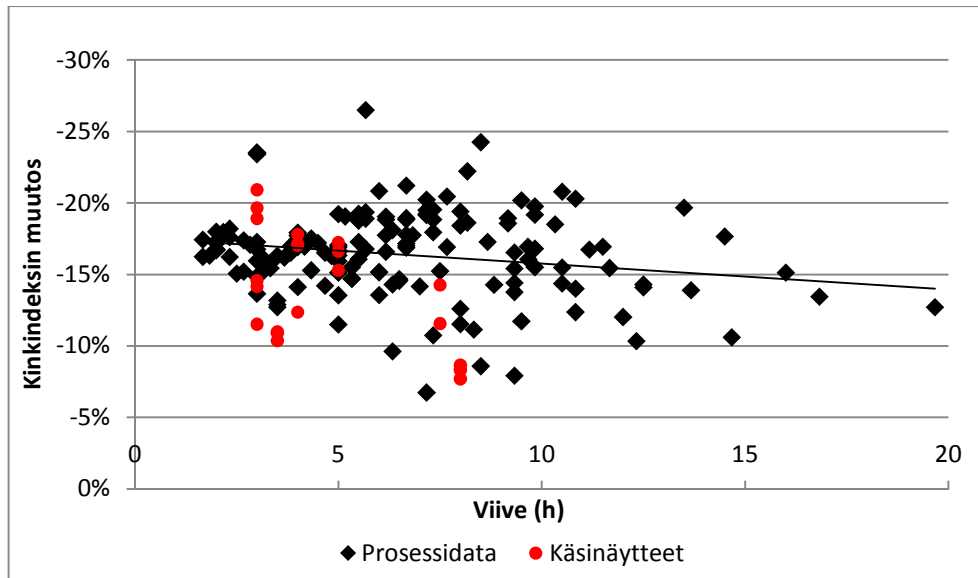
$$\text{Kiharuuden muutos} = \frac{\text{Kiharuus}_{KA4,MAP} - \text{Kiharuus}_{VA4,MAP}}{\text{Kiharuus}_{VA4,MAP}} \quad (3)$$

$$\text{Kinkindeksin muutos} = \frac{\text{Kinkindeksi}_{KA4,MAP} - \text{Kinkindeksi}_{VA4,PEX}}{\text{Kinkindeksi}_{VA4,PEX}} \quad (4)$$



Kuvio 6.9 Viiveen vaikutus kiharuuteen

Kuvion 6.9 mukaan viiveen ja kiharuuden muutoksen välillä ei ole selvää yhteyttä, vaan massan kiharuus muuttuu samoissa määrin viiveen ollessa 1,5–12h.

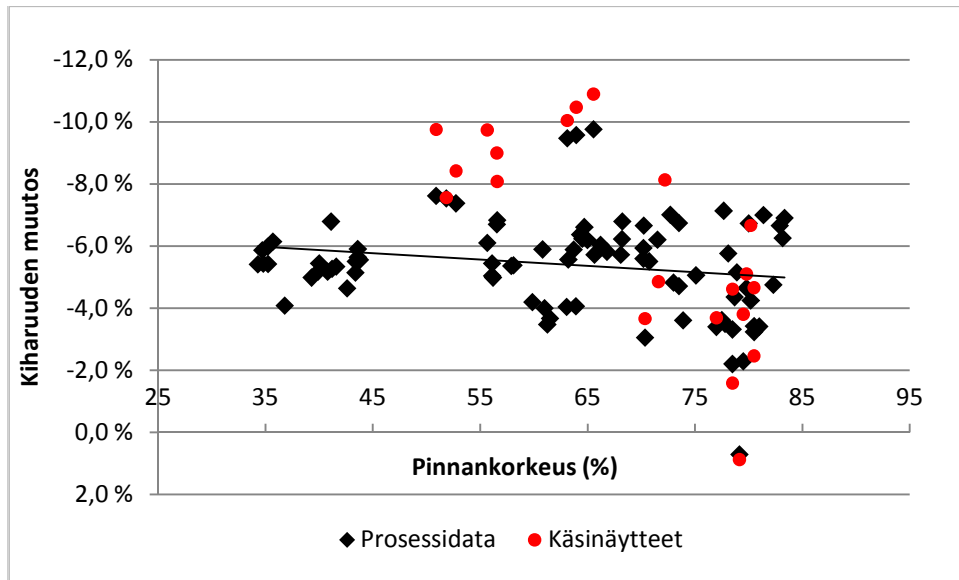


Kuvio 6.10 Viiveen vaikutus kinkindeksiin

Kuvion 6.10 mukaan viiveellä on pieni vaikutus kink-indeksin muutokseen. Lyhemmällä viiveellä kinkit oikenevat enemmän kuin pidemmällä viiveillä. Mitä enemmän kinkit oikenevat, sen paremmaksi massa muuttuu.

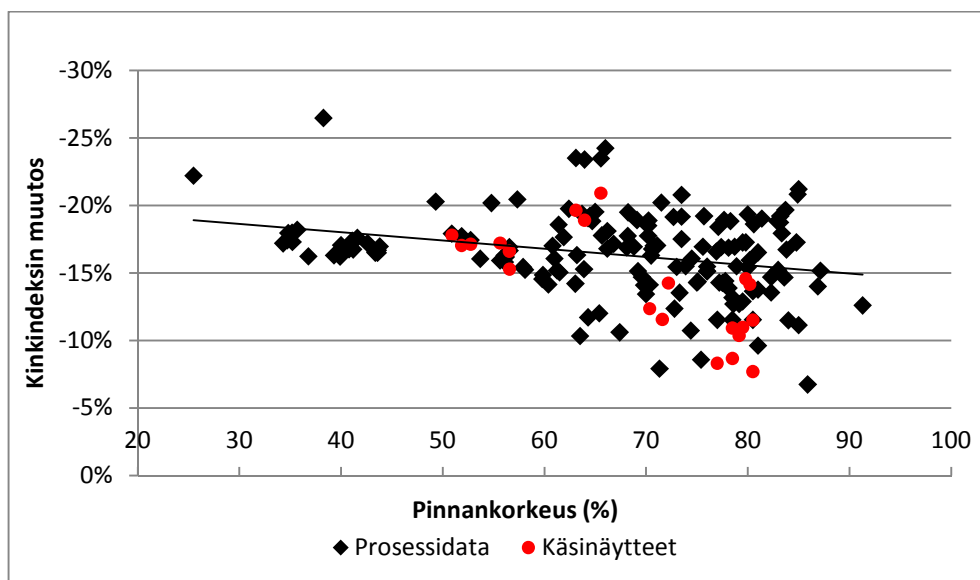
#### 6.4 Pinnankorkeuden vaikutus kuituvaurioihin

Massasäiliöiden pinnankorkeuden vaikutusta kuituvaurioihin tutkittiin vertaamalla, miten M17 ja M18 säiliöiden keskimääräinen pinnankorkeus siinä vaiheessa kun massa meni säiliöihin, vaikutti kuituvaurioihin mittauksen välillä. Koska säiliöiden pinnankorkeudet eivät ole täysin samat, käytettiin pinnankorkeuksien keskiarvoa. Kuviossa 6.11 on esitetty kiharuuden muutos pinnankorkeuden funktiona.



Kuvio 6.11 Pinnankorkeuden vaikutus kiharuuteen

Kuviosta 6.11 havaitaan, että pinnankorkeus ei vaikuta kiharuuden muutokseen, vaan muutoksen suuruus vaihtelee samoilla pinnankorkeuksilla, ja muutos voi olla saman suuruista pinnankorkeudesta riippumatta.

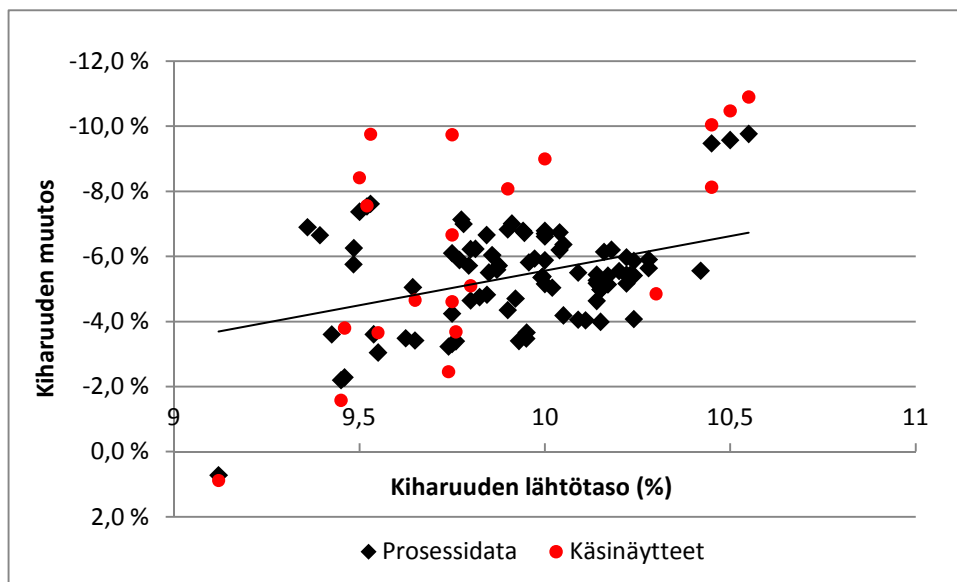


Kuvio 6.12 Pinnankorkeuden vaikutus kinkindeksiin

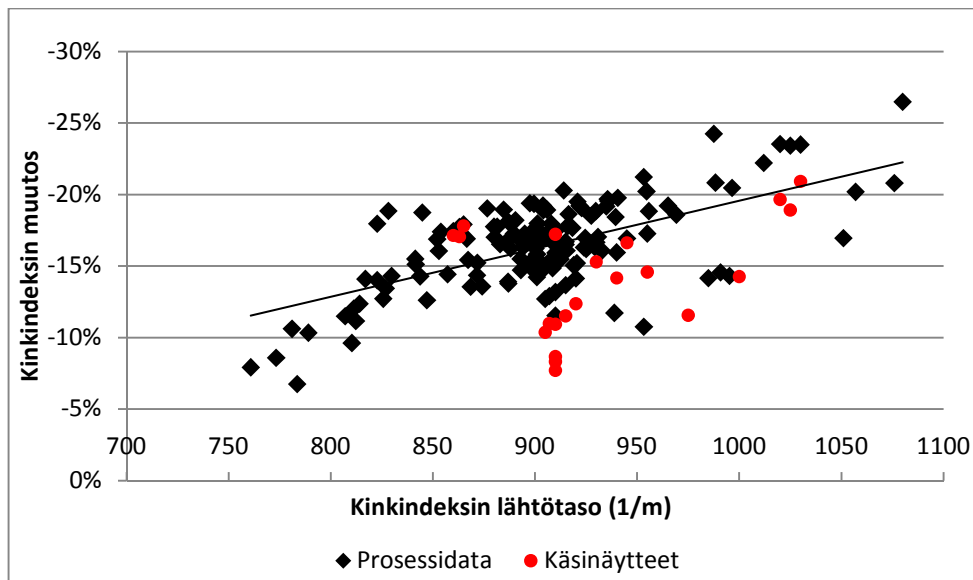
Kuvion 6.12 perusteella pinnankorkeudella on pieni vaikutus kink-indeksin muutokseen. Matalammilla pinnankorkeuksilla kinkit näyttävät oikenevan hieman enemmän kuin korkeammilla. Tosin alhaisilta pinnankorkeuksilta ei ole paljoa aineistoa, joka voi vaikuttaa tuloksiin. Suurempi kink-indeksin lasku parantaa massan laatua enemmän kuin pieni.

## 6.5 Kuituvaurioiden lähtötason vaikutus vaurioiden muutokseen

Kuituvaurioiden lähtötason vaikutusta vaurioiden muutokseen tutkittiin vertaamalla PulpExpertillä mitattua kiharuutta ja kink-indeksiä niiden muutokseen. Kuviossa 6.13 on esitetty kiharuuden lähtötason vaikutus kiharuuden muutokseen.



Kuvio 6.13 Kiharuuden lähtötason vaikutus kiharuuden muutokseen



Kuvio 6.14 Kinkindeksin lähtötason vaikutus kinkindeksin muutokseen

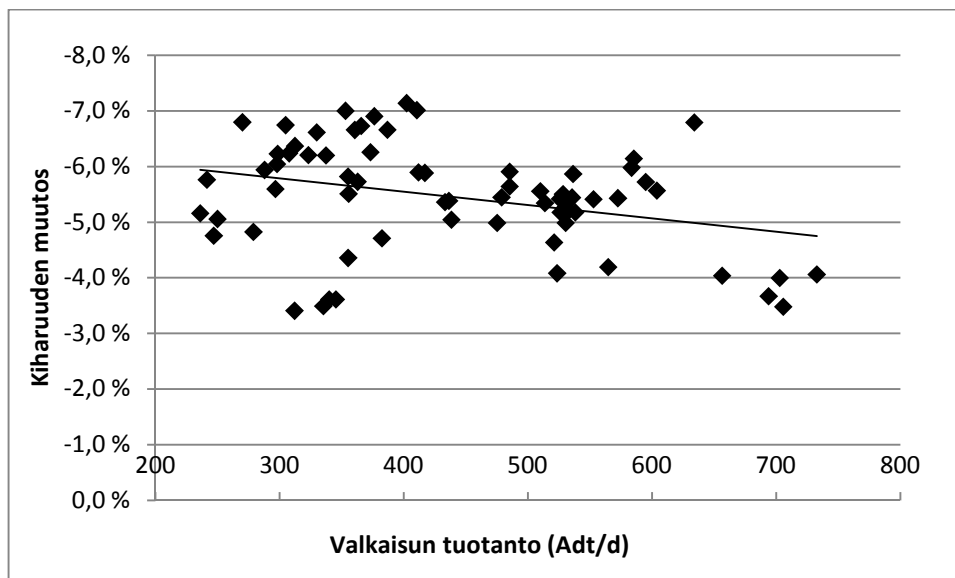
Kuvion 6.13 mukaan kiharuuden lähtötasolla on vaikutus kiharuuden muutokseen. Kuidut oikenevat sitä enemmän, mitä suurempi kiharuus on ennen

varastointia. Mitä enemmän kuidut oikenevat, sitä paremmaksi massan laatu muuttuu.

Kuvion 6.14 perusteella voidaan todeta, että kink-indeksin lähtötasolla on merkittävä vaikutus sen muutokseen. Mitä suurempi valkaisuista tulevan massan kink-indeksi on, sitä enemmän kuidut oikenevat. Mitä enemmän massan kink-indeksi laskee, sen paremmaksi massan laatu muuttuu.

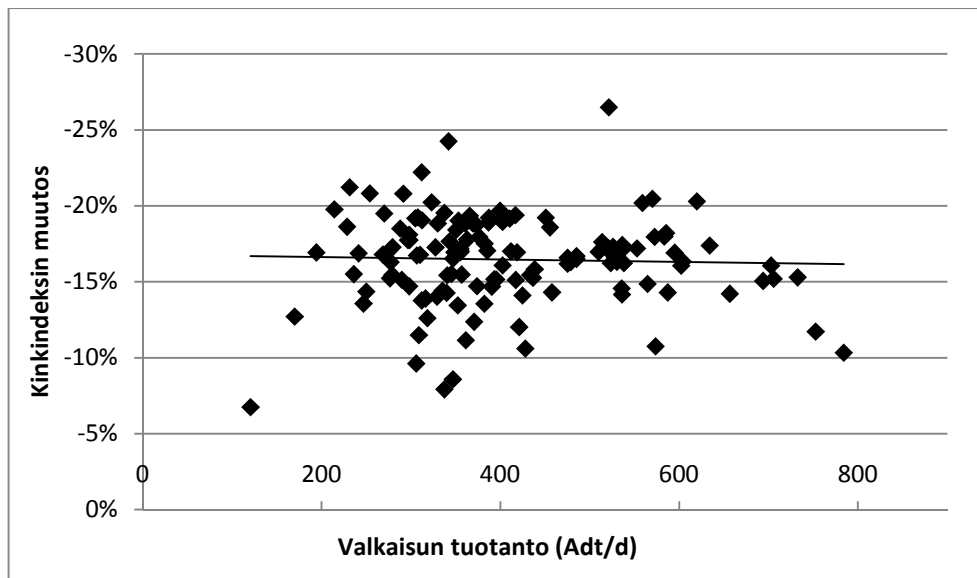
## 6.6 Tuotannon ja kulutuksen vaikutus kuituvaurioihin

Myös valkaisun tuotannon ja kartonki- ja paperikoneiden kulutuksen vaikutusta kuituvaurioihin tutkittiin. Valkaisun tuotannolla tarkoitetaan massan määrää, joka torneihin menee ja kulutuksella sieltä poistuvan massan määrää. Kuvioissa 6.15 ja 6.16 on verrattu valkaisun tuotannon vaikutusta massan kiharuuden ja kinkindeksin muutokseen.



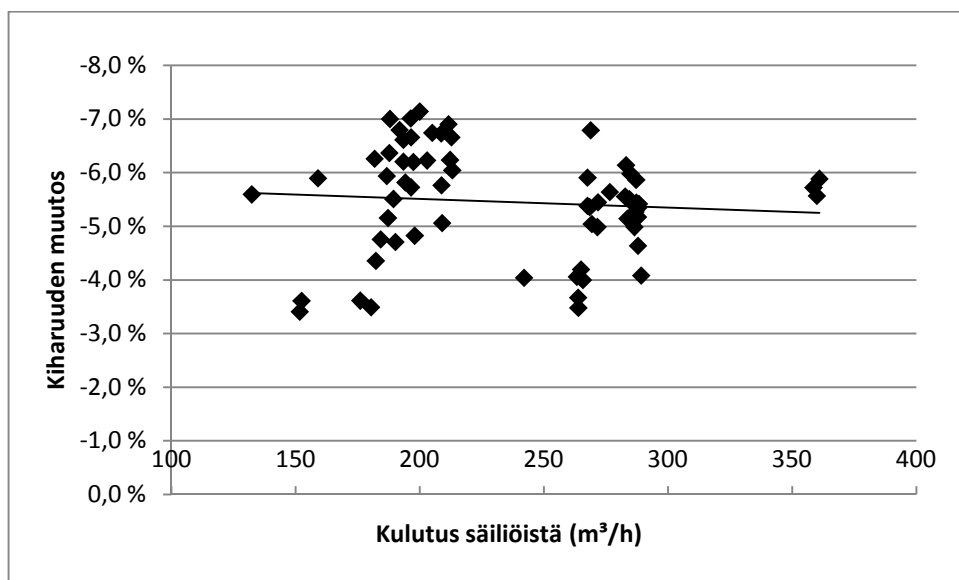
Kuvio 6.15 Valkaisun tuotannon vaikutus kiharuuteen

Kuvion 6.15 mukaan valkaisun tuotantotaso vaikuttaa kiharuuteen. Tuotantotason ollessa matala kuidut oikenevat hieman enemmän kuin korkeammilla tuotantotasoilla.



Kuvio 6.16 Valkaisun tuotannon vaikutus kinkindeksiin.

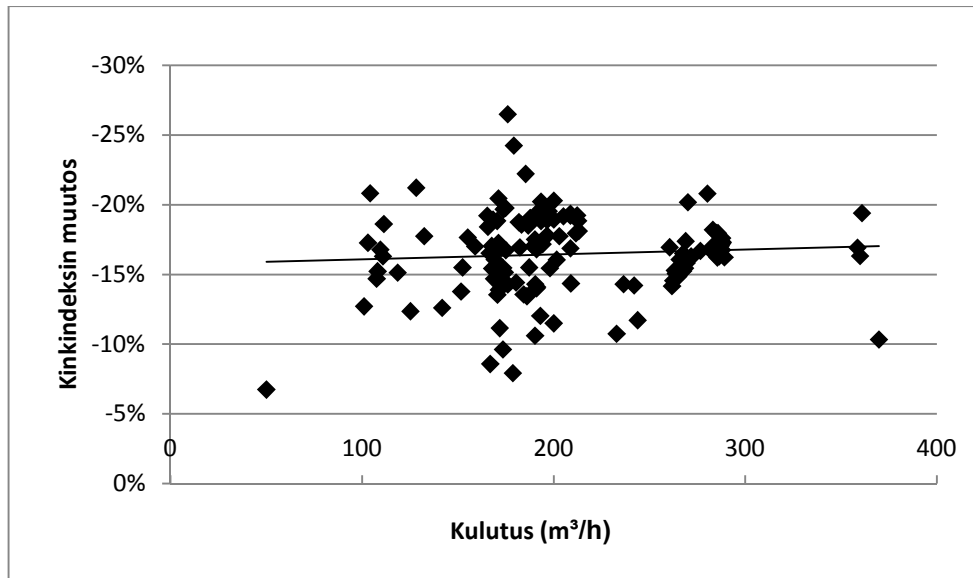
Kuvion 6.16 perusteella voidaan todeta, että valkaisu tuotanto ei vaikuta kinkindeksin muutokseen. Massan kinkindeksin laskussa on saman suuruisia vaihtelua riippumatta tuotantotasosta. Kuvioissa 6.17 ja 6.18 on esitetty, miten kulutus torneista vaikuttaa kiharuuteen ja kinkindeksiin.



Kuvio 6.17 Kulutuksen vaikutus kiharuuteen

Kuvion 6.17 mukaan kiharuuden muutos voi olla yhtä suurta riippumatta kulutustasosta. Tietyllä kulutustasolla kiharuuden muutos voi vaihdella. Näin ollen voidaan todeta, ettei kulutuksella ole vaikutusta kiharuuden muutokseen.





Kuvio 6.18 Kulutuksen vaikutus kinkindeksiin

Kuvion 6.18 mukaan kulutuksella ei ole vaikutusta siihen, kuinka paljon massan kinkindeksi laskee. Muutos voi vaihdella samoilla kulutuksilla, ja sen lasku voi olla samansuuruinen eri kulutustasoilla.

## 7 Yhteenveto ja pohdinta

Työn lähtökohtana oli selvittää, kasvoivatko massan kuituvauriot varastoinnin aikana. Kasvua ei tapahtunut, vaan kuidut vaikuttivat suoristuvan mittauspisteiden välillä. Syy kuitujen suoristumiseen ei ole selvä. Teorian mukaan kinkit voivat oieta massaa käsiteltäessä. Kiharat kuidut voivat suoristua hitaasti sekoitettaessa sakeuden ollessa alhainen. Näin saattaa tapahtua massan sakeuden säädön yhteydessä varastotornien jälkeen. Myös online-analysaattoreiden mittaustapojen erolla voi olla tekemistä kuitujen suoristumisen kanssa.

Syynä sille, että kuituvauriot eivät kasvaneet, voi olla tornien suhteellisen pieni tilavuus ja ettei niissä ole sekoitusta. Tornien tilavuuden ollessa suhteellisen pieni ei massa viivy siellä niin pitkiä aikoja, että kuituvauriot kasvaisivat huomattavasti. Myös varastotornissa tapahtuva sekoitus kasvattaisi kuituvaurioita.

Työssä tutkittiin, oliko viiveellä, pinnankorkeudella, valkaisun tuotannolla, kulutuksella säiliöistä tai kuituvaurioiden lähtötasolla vaikutusta kuituvaurioiden muutokseen. Merkittävin vaikutus on kiharuuden ja kink-indeksin lähtötasoilla. Mitä suurempi lähtötaso on, sitä enemmän kuidut suoristuvat. Kink-indeksin muutokseen vaikuttaa lähtötason lisäksi viive ja pinnankorkeus. Alhaisella viiveellä ja pinnankorkeudella massan kink-indeksi laskee enemmän eli kuidut suoristuvat enemmän. Valkaisun tuotantotasolla on vaikutus kiharuuden muutokseen. Alhaisilla tuotantotasolla kuidut suoristuvat hieman enemmän. Massan laatu paranee sitä enemmän, mitä enemmän kuidut suoristuvat.

Jatkossa voitaisiin tutkia tarkemmin, mittaavatko online-analysaattorit samalla tavalla kuituvauriot. Lisäksi voitaisiin tarkastella, onko massan sakeudella tai pH:lla vaikutus kuituvaurioihin.

## Kuvat

Kuva 3.1 Kiharuusindeksi, s. 11

Kuva 3.2 Vaurioituneita kuituja, s. 11

Kuva 5.1 Kuitulinja 2:n keittämön prosessikuva, s. 17

Kuva 5.2 Kuitulinja 2:n valkaisimon prosessikuva, s. 17

## Kuviot

Kuvio 3.1 Kiharuus ajan funktiona, s. 13

Kuvio 3.2 Kink-indeksi ajan funktiona, s. 13

Kuvio 3.3 Kiharuuden vaikutus vetoindeksiin, s. 14

Kuvio 5.1 Massan virtaus valkaisusta kartonkikone 4:n jauhatukseen, s. 19

Kuvio 6.1 Viiveen määrittäminen kiharuuden ja kink-indeksin avulla, s. 21

Kuvio 6.2 Näytteiden kiharuus ja MAP:in prosessista mitaama kiharuus, s. 22

Kuvio 6.3 Näytteiden kinkindeksi ja MAP:in prosessista mitaama kinkindeksi, s. 23

Kuvio 6.4 PulpExpertin ja MAP:in mitaamat kiharuudet, s. 24

Kuvio 6.5 PulpExpertin ja MAP:in mitaamat kinkindeksit, s. 24

Kuvio 6.6 Kiharuusmittausten regressiosuora (MSA-testi ja omat näytteet), s. 25

Kuvio 6.7 Aineiston kiharuudet, s. 26

Kuvio 6.8 Aineiston kink-indeksit, s. 26

Kuvio 6.9 Viiveen vaikutus kiharuuteen, s. 27

Kuvio 6.10 Viiveen vaikutus kinkindeksiin, s. 28

Kuvio 6.11 Pinnankorkeuden vaikutus kiharuuteen, s. 29

Kuvio 6.12 Pinnankorkeuden vaikutus kinkindeksiin, s. 29

Kuvio 6.13 Kiharuuden lähtötason vaikutus kiharuuden muutokseen, s. 30

Kuvio 6.14 Kinkindeksin lähtötason vaikutus kinkindeksin muutokseen, s. 30

Kuvio 6.15 Valkaisun tuotannon vaikutus kiharuuteen, s. 31

Kuvio 6.16 Valkaisun tuotannon vaikutus kinkindeksiin, s. 32

Kuvio 6.17 Kulutuksen vaikutus kiharuuteen, s. 32

Kuvio 6.18 Kulutuksen vaikutus kinkindeksiin, s. 33

## Lähteet

Hakanen, A. & Hartler, N., 1995. Fiber deformations and strength potential of Kraft pulps. *Paperi ja Puu* 77/5. 339–344.

Hartler, N. 1995. Aspects on curled and microcompressed fibers. *Nordic pulp and paper research journal* 1. 4–7.

Jousimaa, T. & Rautonen, R., 1992. KCL, julkaisematon seloste.

Joutsimo, O., Wathén, R. & Tamminen, T. 2005. Effects of fiber deformations on pulp sheet properties and fiber strength. *Paperi ja Puu* 87/ 6. 392–397.

Macleod, J.M. & Pelletier, L.J. 1987. Basket cases: Kraft pulps inside digesters. *Tappi Journal* 70/11. 47–53.

Mohlin, U.-B., Dahlbom, J. & Hornatowska, J. 1996. Fiber deformations and sheet strength. *Tappi Journal* 79/6. 105–111.

Mohlin, U-B. 2010. Quality loss of refined softwood bleached Kraft pulp during agitated storage. *Nord. Pulp Pap. Res. J.* vol. 25, no. 1, 76-81.

Nurmelin, O., Jokinen, V. & Laamanen, J. 1999. KCL, julkaisematon seloste.

Oksanen, J. 2003. Vuokeiton fysikaalis-kemiallisten ilmiöiden vaikutus havusulfaattisellun ominaisuuksiin. Teknillinen korkeakoulu, puunjalostustekniikan osasto. Espoo. Diplomityö.

Page, D.H., Seth, R.S., Jordan, B.D. & Barbe, M.C. 1985. Curl, Crimps, Kinks and Microcompressions in Pulp Fibres – Their origin, measurement and significance. *Paprican PPR 525*. Quebec.

Rauvanto, I. 2010. The intrinsic mechanisms of fiber damage in brown stock fiber line unit operations. *Lappeenrannan teknillinen yliopisto. Acta Universitatis Lappeenrantaensis* 385.

Riekkinen, K., 2002. Kuituvaurioiden ja hienoaineen muodostuminen ruskean massan käsittelyssä. Teknillinen korkeakoulu, puunjalostustekniikan osasto. Espoo. Diplomityö.

Seppälä, M.J., Klemetti, U., Kortelainen, V-A., Lyytikäinen, J., Siitonen, H. & Sironen, R. 2005. Paperimassan valmistus. 2-3 painos. Saarijärvi: Opetushallitus

Seth, R.S. & Bennington, C.P.J. 1995. Fiber morphology and the response of pulps to medium-consistency fluidization. *Tappi journal* 78/12. 152–154.

Sirviö, J. 2008. Fibres and bonds. Teoksessa Niskanen, K. (toim.) Papermaking Science and Technology Book 16 Paper physics. Jyväskylä: Gummerrus Oy, 61–65

Stora Enso 2010. Sisäinen raportti.

Suominen, S. & Laamanen, J., KCL, julkaisematon seloste, 1987.

Särkkinen, T. 2007. Kuituvaurioiden muutokset sellun ja kartongin valmistuksessa. Etelä-Karjalan ammattikorkeakoulu. Paperitekniiikan koulutusohjelma. Opinnäytetyö.

Tikka, P. & Kovasin, K., 1990. Displacement vs. conventional batch kraft pulping: delignification patterns and pulp strength delivery. Paperi ja puu 72/8. 773-779.

Vasankari, H. 2006. Kuituanalysointilaitteen käyttö sellutehtaan laadun valvontaan ja prosessin hallintaan. Oulun yliopisto, prosessi- ja ympäristötekniikan osasto. Diplomityö

	Arvoitu viive	Kiharuus <sub>VA4,Pe</sub>	Kiharuus <sub>KA4,MAF</sub>	Kiharuus <sub>VA4,MAF</sub>	Kiharuuden muutos	Pintojen KA	Tuotanto	Kulutus
	h	%	%	%		%	Adt/d	m3/h
18.tammi	5	10,42	10,74	11,37	-5,6 %	63,21	604	360
	7,67	9,795	10,18	10,80	-5,7 %	68,1	595	358,6
	8	10	10,34	10,99	-5,9 %	63,7	417	361
	6,67	9,77	10,14	10,78	-5,9 %	60,8	412	159
	6,17	9,871	10,26	10,87	-5,6 %	70,2	296,7	132,4
	6,83	9,8	10,13	10,80	-6,2 %	68,2	298,4	203
	6,33	9,858	10,2	10,86	-6,0 %	66,2	297,9	213,1
	5,5	9,813	10,14	10,81	-6,2 %	64,5	307,7	212,2
	5,17	10,05	10,33	11,03	-6,4 %	64,3	312,4	187,8
	6,17	10	10,26	10,99	-6,6 %	64,7	330	193,4
	7,33	10,04	10,34	11,02	-6,2 %	65	337,4	197,4
	6,67	9,876	10,25	10,87	-5,7 %	65,65	362,9	196,5
	6,67	9,957	10,31	10,95	-5,8 %	66,8	355,2	194,2
	4,17	9,849	10,25	10,85	-5,5 %	70,74	355,6	189,4
20.tammi	4,33	9,921	10,4	10,91	-4,7 %	73,5	382,4	190,2
	9,83	9,425	10,08	10,46	-3,6 %	73,9	345,3	152,4
	8,83	9,538	10,18	10,56	-3,6 %	77,5	339,9	176,1
	9,33	9,625	10,27	10,64	-3,5 %	77,8	335,2	180,4
	9,66	9,9	10,42	10,89	-4,4 %	78,7	355,3	182,3
	9,33	9,93	10,55	10,92	-3,4 %	81	312	151,7
	6	9,824	10,31	10,82	-4,8 %	82,3	247	184,3
22.tammi	5,33	10	10,42	10,99	-5,2 %	78,9	236,1	187,2
29.tammi	6,67	9,484	9,906	10,51	-5,8 %	78,1	241,4	208,8
	10,5	9,644	10,12	10,66	-5,1 %	75,1	250	209
	11,67	9,844	10,32	10,84	-4,8 %	73	279	198
	10,33	9,972	10,31	10,96	-5,9 %	70,2	288	186,7
	9,83	10,04	10,28	11,02	-6,7 %	73,5	304,8	205,1
	7,17	10,18	10,46	11,15	-6,2 %	71,5	323,2	193,4
	7,17	10	10,24	10,99	-6,8 %	68,23	270	191,9
	5,67	9,843	10,12	10,84	-6,7 %	70,23	386,9	196,5
	7,17	9,911	10,14	10,90	-7,0 %	72,7	410,6	196,35
	6,67	9,775	10,01	10,78	-7,1 %	77,67	402,4	200
	5,67	9,945	10,2	10,94	-6,7 %	80	365,8	208,7
	6,17	9,781	10,03	10,79	-7,0 %	81,39	353,2	188
	6,67	9,393	9,734	10,43	-6,7 %	82,9	360,7	212,8
	7,33	9,36	9,68	10,40	-6,9 %	83,35	376,3	211,6
30.1 klo 12	5,5	9,485	9,855	10,51	-6,3 %	83,16	373,2	181,8
11.2 klo 5:	4,33	10,09	10,62	11,07	-4,1 %	63,9	732,7	263,3
	4,67	10,11	10,64	11,09	-4,0 %	63,05	656,6	242
	2,5	9,951	10,54	10,94	-3,7 %	61,5	694	263,8
	3,17	10,15	10,68	11,12	-4,0 %	61	703	265,7
	3,33	9,991	10,39	10,98	-5,4 %	57,9	433,3	268,5
	3,67	10,15	10,57	11,12	-5,0 %	56,2	475,2	271,6
	2	10,28	10,61	11,24	-5,6 %	43,6	485,3	276,6
11.2 klo12	2,67	9,95	10,56	10,94	-3,5 %	61,25	705,8	263,9
	3	10,05	10,57	11,03	-4,2 %	59,85	564,8	265
	3,17	9,994	10,39	10,98	-5,4 %	58,1	436,5	267,6
	3,33	10,02	10,45	11,01	-5,0 %	56,1	438,5	269,3
	3,5	10,14	10,51	11,12	-5,4 %	56,1	478,8	271,8
	4,67	10,28	10,58	11,24	-5,9 %	43,6	485,3	267,6
	3,83	10,2	10,55	11,17	-5,6 %	43,8	510	282,7
	3,83	10,17	10,57	11,14	-5,1 %	43,37	529,9	283,7
	5	10,09	10,46	11,07	-5,5 %	43,4	528,3	284,5
	4,5	10,14	10,6	11,12	-4,6 %	42,6	521,1	287,9
	2,33	10,23	10,6	11,20	-5,3 %	41,6	513,8	287,9
	2	10,14	10,53	11,12	-5,3 %	41,2	530,2	286,8
	3	10,22	10,61	11,19	-5,2 %	40,8	526,4	287,9
	2,83	10,22	10,58	11,19	-5,4 %	40	535,5	287,3
	2,33	10,14	10,54	11,12	-5,2 %	39,9	538,2	285,4
	1,83	10,15	10,57	11,12	-5,0 %	39,3	530,5	286,5
	1,67	10,24	10,75	11,21	-4,1 %	36,8	523,6	289,2
	2	10,24	10,6	11,21	-5,4 %	35,23	525,9	288,3
	1,67	10,24	10,55	11,21	-5,9 %	34,7	536,5	287,2
	2	10,17	10,54	11,14	-5,4 %	34,3	552,9	286,7
	2,17	10,23	10,59	11,20	-5,4 %	34,8	572,6	285,7
	2	10,22	10,52	11,19	-6,0 %	35,2	583,5	284,9
	2,33	10,16	10,45	11,13	-6,1 %	35,7	585,3	283,1
4.2 klo 05:4	2,67	9,941	10,19	10,93	-6,8 %	41,1	634,1	268,9

Liite 1  
2 (3)

	Arvioitu viive	Kinkindeksi <sub>VA4,PEX</sub>	Kinkindeksi <sub>KA4,MAF</sub>	Kinkindeksin muutos	Pintojen KA	Tuotanto	Kulutus
	h	1/m	1/m	%	%	Adt/d	m3/h
18.tammi	5	929,3	777,5	-16 %	63,21	604	360
	7,67	866,6	720	-17 %	68,1	595	358,6
	8	897,5	723,4	-19 %	63,7	417	361
	6,67	880,2	730,4	-17 %	60,8	412	159
	6,17	881,5	725	-18 %	70,2	296,7	132,4
	6,83	880	723,8	-18 %	68,2	298,4	203
	6,33	886,8	726,2	-18 %	66,2	297,9	213,1
	5,5	903,9	730	-19 %	64,5	307,7	212,2
	5,17	922,8	746,9	-19 %	64,3	312,4	187,8
	6,17	929,8	754,6	-19 %	64,7	330	193,4
	7,33	935,9	753	-20 %	65	337,4	197,4
	6,67	916	753	-18 %	65,65	362,9	196,5
	6,67	907,9	752	-17 %	66,8	355,2	194,2
	4,17	904,9	750,8	-17 %	70,74	355,6	189,4
20.tammi	4,33	910,4	750,9	-18 %	73,5	382,4	190,2
	9,83	841,4	710,9	-16 %	73,9	345,3	152,4
	8,83	843,8	723,3	-14 %	77,5	339,9	176,1
	9,33	857,2	733,6	-14 %	77,8	335,2	180,4
	9,66	895	743,3	-17 %	78,7	355,3	182,3
	9,33	887	764,8	-14 %	81	312	151,7
	6	874,1	755,5	-14 %	82,3	247	184,3
22.tammi	5,33	893	754,5	-16 %	78,9	236,1	187,2
29.tammi	6,67	852,1	708,3	-17 %	78,1	241,4	208,8
	10,5	871,6	746,4	-14 %	75,1	250	209
	11,67	901,4	762,1	-15 %	73	279	198
	10,33	927,5	755,8	-19 %	70,2	288	186,7
	9,83	934,9	755,6	-19 %	73,5	304,8	205,1
	7,17	954,6	761,5	-20 %	71,5	323,2	193,4
	7,17	920,8	741,2	-20 %	68,23	270	191,9
	5,67	904	733,1	-19 %	70,23	386,9	196,5
	7,17	904,2	731	-19 %	72,7	410,6	196,35
	6,67	884,7	717,1	-19 %	77,67	402,4	200
	5,67	899,5	725,4	-19 %	80	365,8	208,7
	6,17	876,6	709,7	-19 %	81,39	353,2	188
	6,67	828,2	672,1	-19 %	82,9	360,7	212,8
	7,33	822,7	675	-18 %	83,35	376,3	211,6
30.1 klo 12	5,5	844,8	686,4	-19 %	83,16	373,2	181,8
11.2 klo 5:00	4,33	906,8	768,1	-15 %	63,9	732,7	263,3
	4,67	900,9	772,8	-14 %	63,05	656,6	242
	2,5	918,9	780,5	-15 %	61,5	694	263,8
	3,17	932,7	782,8	-16 %	61	703	265,7
	3,33	899,8	760,8	-15 %	57,9	433,3	268,5
	3,67	925,1	775,3	-16 %	56,2	475,2	271,6
	2	915	762,2	-17 %	43,6	485,3	276,6
11.2 klo 12:00	2,67	920,5	780,6	-15 %	61,25	705,8	263,9
	3	908,6	773,6	-15 %	59,85	564,8	265
	3,17	900,5	763,1	-15 %	58,1	436,5	267,6
	3,33	901	758,4	-16 %	56,1	438,5	269,3
	3,5	924	773,3	-16 %	56,1	478,8	271,8
	4,67	915	763,9	-17 %	43,6	485,3	267,6
	3,83	924,6	767,6	-17 %	43,8	510	282,7
	3,83	910,6	760,2	-17 %	43,37	529,9	283,7
	5	901,9	752,3	-17 %	43,4	528,3	284,5
	4,5	905,5	749,6	-17 %	42,6	521,1	287,9
	2,33	908,8	748,7	-18 %	41,6	513,8	287,9
	2	899,5	748,8	-17 %	41,2	530,2	286,8
	3	908	755,8	-17 %	40,8	526,4	287,9
	2,83	902,1	748,1	-17 %	40	535,5	287,3
	2,33	900,3	754,2	-16 %	39,9	538,2	285,4
	1,83	894,1	748,2	-16 %	39,3	530,5	286,5
	1,67	888	743,8	-16 %	36,8	523,6	289,2
	2	903	746,7	-17 %	35,23	525,9	288,3
	1,67	898,7	742	-17 %	34,7	536,5	287,2
	2	899,2	744,5	-17 %	34,3	552,9	286,7
	2,17	907,9	744,8	-18 %	34,8	572,6	285,7
	2	901,3	739,2	-18 %	35,2	583,5	284,9
	2,33	890,4	728,3	-18 %	35,7	585,3	283,1
4.2 klo 05:45	2,67	853,9	705,4	-17 %	41,1	634,1	268,9

	Arvioitu viive	KinKindeksi <sub>VA4,PEX</sub>	KinKindeksi <sub>KA4,MAH</sub>	KinKindeksin muutos	Pintojen KA	Tuotanto	Kulutus
	h	1/m	1/m	%	%	Adt/d	m3/h
1.1 klo 22:10	13,67	886,8	763,5	-14 %	78,1	316,4	171,3
	11,5	904,5	751,2	-17 %	75,58	348,4	170,6
	10,5	912,5	771,2	-15 %	76	356,6	173,6
	7,33	955,8	775,7	-19 %	78,3	369,2	170,5
	5,33	893,1	761,7	-15 %	82,3	373,9	172
	6,5	899,4	767,3	-15 %	83,6	390,5	168,8
	6	901	764,2	-15 %	87,16	393,3	169,8
	6,33	810,3	732,3	-10 %	81	305,8	173,5
	8,67	895	740,4	-17 %	79,5	327,5	171,2
	9,33	867,3	733,5	-15 %	80	340,6	167,8
	9,33	882,9	736,9	-17 %	81	347	166,6
	8,33	812,3	721,7	-11 %	85	361,3	171,9
	11,17	886,3	737,9	-17 %	83,8	306,5	175
	13,5	935,6	751,5	-20 %	83,7	399,7	173,8
	8	847,1	740,3	-13 %	91,3	318,4	141,8
	5	921,8	744,6	-19 %	83,2	387,1	208,7
	5	807	714,2	-11 %	84	308,9	200
6.1 klo 15:30	4	892,2	741,1	-17 %	77,4	194,2	172,7
18.10 klo 7	19,67	825,7	720,7	-13 %	78,6	170	101
	16,83	827	715,8	-13 %	70	352,3	186
	16	841,6	714,3	-15 %	76	417,3	173,7
	14,5	918,3	756,1	-18 %	61,9	343,1	155,1
	10,83	914,1	728,6	-20 %	49,3	619,8	200,1
	9,67	852,9	715,9	-16 %	53,7	602,3	201,6
	9,17	969,2	789,1	-19 %	61,4	455,6	183,2
	12,33	789,1	707,5	-10 %	63,5	784,1	369,8
	12	811,3	713,7	-12 %	65,4	421	193
	14,67	781	698,1	-11 %	67,4	428	190,3
	12,5	817	701,8	-14 %	69,8	424,8	191,3
	12,5	829,8	711,1	-14 %	77,2	587,2	190,4
	10,83	822,7	707,4	-14 %	86,9	329,2	191,1
	10,83	814,1	713,4	-12 %	72,8	370,6	125,2
	8,5	773,3	706,9	-9 %	75,4	346,9	166,9
	9,33	760,9	700,6	-8 %	71,33	337,4	178,7
	8,5	987,6	748,1	-24 %	66	342,1	179,2
	8,17	1012	787,2	-22 %	25,5	311,9	185,4
	5,67	1080	793,9	-26 %	38,27	521,5	176
	7,67	996,5	792,6	-20 %	57,34	570,1	171,2
23.10 klo 5:40	9,83	894,8	744,4	-17 %	66,2	268,5	191,1
27.10 klo 2:30	10,5	1076	852,2	-21 %	73,5	291,4	280,3
	9,5	1057	843,6	-20 %	54,8	559,1	270,1
	9,5	938,9	828,8	-12 %	64,3	752,8	243,8
	7,33	953,3	850,8	-11 %	74,4	573,6	232,9
	6,33	995,2	852,8	-14 %	75	457,8	236,5
	4,17	1051	872,8	-17 %	68,8	418,7	260,6
	7	984,9	845,4	-14 %	60,4	536,1	261,8
28.10 klo 7:10	6,5	990,8	846,5	-15 %	59,8	535,8	262,4
29.10 klo 17	8	939,5	766,4	-18 %	77,1	350,7	165,7
	7,17	965,1	779,6	-19 %	75,7	450,8	165,3
	6,17	928,7	774,6	-17 %	76,91	475,3	168,4
	6	896,9	761	-15 %	76	395,4	174,5
	5,5	915,4	768,2	-16 %	74,5	402,5	169,2
	5	868,5	750,8	-14 %	73,3	382,1	170,6
	5	930,8	772,1	-17 %	71,1	385,3	167,7
	9,17	905,9	734,4	-19 %	69,1	369,6	168,3
0.10 klo 15:30	9,83	940,5	754,6	-20 %	62,4	214,4	174,8
2.11 klo 7:10	7,17	783,6	730,7	-7 %	85,9	120,6	50
	8,17	916,4	745,7	-19 %	80,6	228,6	111,3
	7,5	871,7	738,9	-15 %	83	276,6	108,1
	6	988,4	782,5	-21 %	84,9	253,9	104,2
	5,5	889,6	735,9	-17 %	84,8	279,5	103,1
	6,67	953,2	750,9	-21 %	85	231,4	128,2
	5	897,5	761,6	-15 %	69,2	289,9	118,6
	5,33	903,6	770,7	-15 %	69,6	297,9	107,6
	4,83	913,3	764,4	-16 %	70,5	277,3	110,9
	5,67	900	749	-17 %	70,6	310,2	109,5



Näytteenotto aika	VA4,PEX		Käsinäyte (KA4,PEX)		KA4, MAP		Viive [h]	Pinnankorkeus [%]
	Kink-indeksi [1/m]	Muutos	Kink-indeksi [1/m]	Muutos	Kink-indeksi [1/m]	Muutos		
4.4.2011 13:30	920	-12,4 %	806,19	-12,4 %	790	-14,1 %	4	70,4
5.4.2011 9:30	915	-11,5 %	809,56	-11,5 %	790	-13,7 %	3	80,5
5.4.2011 9:45	940	-14,2 %	806,83	-14,2 %	790	-16,0 %	3	80,2
5.4.2011 10:00	955	-14,6 %	815,74	-14,6 %	790	-17,3 %	3	79,8
6.4.2011 14:45	910	-7,7 %	839,9	-7,7 %	805	-11,5 %	8	80,5
6.4.2011 15:00	910	-8,7 %	831,06	-8,7 %	805	-11,5 %	8	78,5
6.4.2011 15:15	910	-8,3 %	834,26	-8,3 %	805	-11,5 %	8	77,0
7.4.2011 14:10	907	-11,0 %	807,35	-11,0 %	790	-12,9 %	3,5	79,5
7.4.2011 14:30	905	-10,4 %	811,1	-10,4 %	790	-12,7 %	3,5	79,2
7.4.2011 15:00	910	-10,9 %	810,52	-10,9 %	790	-13,2 %	3,5	78,5
26.4.2011 14:45	1020	-19,7 %	819,52	-19,7 %	780	-23,5 %	3	63,1
26.4.2011 15:05	1025	-18,9 %	831,1	-18,9 %	785	-23,4 %	3	64,0
26.4.2011 15:25	1030	-20,9 %	814,48	-20,9 %	788	-23,5 %	3	65,6
28.4.2011 14:25	945	-16,6 %	787,85	-16,6 %	785	-16,9 %	5	56,6
28.4.2011 14:55	930	-15,3 %	787,74	-15,3 %	775	-16,7 %	5	56,6
28.4.2011 15:25	910	-17,2 %	753,23	-17,2 %	765	-15,9 %	5	55,7
29.4.2011 11:50	865	-17,8 %	710,96	-17,8 %	710	-17,9 %	4	50,9
29.4.2011 12:10	863	-17,1 %	715,85	-17,1 %	710	-17,7 %	4	51,9
29.4.2011 12:40	860	-17,1 %	712,59	-17,1 %	710	-17,4 %	4	52,8
27.4.2011 14:45	1000	-14,3 %	857,34	-14,3 %	Ei dataa/Katko KA4:llä		7,5	72,2
27.4.2011 15:15	975	-11,6 %	862,21	-11,6 %			7,5	71,6

Näytteenotto aika	VA4, PEX		Käsinäyte (KA4, PEX)		KA4, MAP		Viive [h]	Pinnankorkeus [%]
	Kiilaruus [%]	Kiilaruus <sub>VA4,MAP</sub> [%]	Kiilaruus [%]	Muutos vs VA4, PEX	Kiilaruus [%]	Mutos vs VA4, MAP		
4.4.2011 13:30	9,55	10,57	9,2	-3,7%	10,25	-3,1%	4	70,4
5.4.2011 9:30	9,65	10,66	9,2	-4,7%	10,3	-3,4%	3	80,5
5.4.2011 9:45	9,75	10,76	9,1	-6,7%	10,3	-4,2%	3	80,2
5.4.2011 10:00	9,8	10,80	9,3	-5,1%	10,3	-4,7%	3	79,8
6.4.2011 14:45	9,74	10,75	9,5	-2,5%	10,4	-3,2%	8	80,5
6.4.2011 15:00	9,75	10,76	9,3	-4,6%	10,4	-3,3%	8	78,5
6.4.2011 15:15	9,76	10,77	9,4	-3,7%	10,4	-3,4%	8	77,0
7.4.2011 14:10	9,46	10,49	9,1	-3,8%	10,25	-2,3%	3,5	79,5
7.4.2011 14:30	9,12	10,18	9,2	0,9%	10,25	0,7%	3,5	79,2
7.4.2011 15:00	9,45	10,48	9,3	-1,6%	10,25	-2,2%	3,5	78,5
26.4.2011 14:45	10,45	11,40	9,4	-10,0%	10,32	-9,5%	3	63,1
26.4.2011 15:05	10,5	11,45	9,4	-10,5%	10,35	-9,6%	3	64,0
26.4.2011 15:25	10,55	11,49	9,4	-10,9%	10,37	-9,8%	3	65,6
28.4.2011 14:25	10	10,99	9,1	-9,0%	10,25	-6,7%	5	56,6
28.4.2011 14:55	9,9	10,89	9,1	-8,1%	10,15	-6,8%	5	56,6
28.4.2011 15:25	9,75	10,76	8,8	-9,7%	10,1	-6,1%	5	55,7
29.4.2011 11:50	9,53	10,55	8,6	-9,8%	9,75	-7,6%	4	50,9
29.4.2011 12:10	9,52	10,55	8,8	-7,6%	9,75	-7,5%	4	51,9
29.4.2011 12:40	9,5	10,53	8,7	-8,4%	9,75	-7,4%	4	52,8
27.4.2011 14:45	10,45	11,40	9,6	-8,1%	Ei dataa/Katko KA4:illä		7,5	72,2
27.4.2011 15:15	10,3	11,26	9,8	-4,9%			7,5	71,6