

# KEMI-TORNION AMMATTIKORKEAKOULU

## Impedanssitomografian hyödyntäminen prosessin optimoinnissa

Tuomo Tuikka

Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma  
Konetekniikan suuntautumisvaihtoehto  
Insinööri(AMK)

KEMI 2011

## ALKUSANAT

Haluan kiittää toimeksiantajaa Stora Enso Oyj Magazine Paper Veitsiluodon tehdasta mahdollisuudesta tehdä tämä opinnäytetyö, kiitokset Veitsiluotoon kuuluvat myös muista opiskelujen aikana tarjotuista työmahdollisuuksista.

Erityiskiitokset haluan osoittaa työni valvojalle, prosessin kehityspäällikkö Jukka Hautamäelle ja tuotantopäällikkö Markku Åmannille Stora Enso Oyj:stä ja ohjaajalleni Lauri Kantolalle Kemi-Tornion ammattikorkeakoulusta. Numcore Ltd:ltä tahdon erityisesti kiittää Jari Kourusta ja Juha Reunasta lukuisista neuvoista sensorin teknologiaan liittyen sekä kaikesta avusta, jota sain data-analyysejä tehdessäni.

Kiitokset kuuluvat koko PK5-tuotannon ja T&K:n organisaatioille kaikista neuvoista ja opastuksesta, joita teiltä sain työtä tehdessäni. Kiitokset PK5 määränpään prosessinhoitajille saamistani vinkeistä ja positiivisesta suhtautumisesta projektiin.

Aihe oli erittäin mielenkiintoinen ja haastava. Erinomainen ja opettavainen aihe innosti tekemään ja perehtymään asioihin syvällisesti tätä työtä tehdessäni. Opin opinnäytetyön tekemisen aikana paljon asioita, joita voin hyödyntää työtehtävissäni.

Kemissä toukokuussa 2011,

Tuomo Tuikka

## TIIVISTELMÄ

Kemi-Tornion ammattikorkeakoulu, Tekniikan ala	
Koulutusohjelma	Konetekniikka
Opinnäytetyön tekijä	Tuomo Tuikka
Opinnäytetyön nimi	Impedanssitomografian hyödyntäminen prosessin optimoinnissa
Työn laji	Opinnäytetyö
Päiväys	23.05.2011
Sivumäärä	91+23 liitesivua
Opinnäytetyön ohjaaja	TkL Lauri Kantola
Yritys	Stora Enso Oyj Magazine Paper
Yrityksen yhteyshenkilö/valvoja	DI Jukka Hautamäki

Tämä opinnäytetyö on tehty Stora Enso Oyj Magazine Paperin Veitsiluodon tehtaan paperikoneelle viisi. Työn tarkoituksena oli selvittää Numcore Oy:n impedanssitomografiaan perustuvan CoreApus-sensorin hyödyntämismahdollisuuksia hyllynkäsittelyn optimoinnissa, paperikoneen ajettavuuden ennustamisessa ja pohjapaperin laatuvaihteluiden vähentämisessä.

Opinnäytetyön tekeminen aloitettiin sensorin käyttöönotolla. Työn teoreettisessa osuudessa käsitellään työn kannalta keskeisimmät teoriat, joiden ymmärtäminen helpottaa kokeellisen osion tuloksien omaksumista. Kokeellisessa osiossa esitetään koekäytön tulokset ja soveltamismahdollisuudet tutkitussa positiossa.

Sensorin yhdistäminen paperikoneen käytännön ajettavuuteen ja konkreettisten hyötyjen saavuttaminen tässä positiossa oli haasteellista. Sensorilla havaittiin märkäosan kemian tilassa tapahtuneita muutoksia, mutta samat tulokset saatiin jo olemassa olevalla Metson kajaaniWEM-analyssaattorilla.

Sensorille ei löydetty tässä positiossa mahdollisia käyttökohteita. Sensori toimi projektin aikana hyvin, mutta investoinnin kannalta riittävät asiakashyödyt jäivät saavuttamatta.

Asiasanat: impedanssitomografia, päällystetty hylky, ratakatko

## ABSTRACT

Kemi-Tornio University of Applied Sciences, Technology	
Degree Programme	Mechanical Engineering
Name	Tuomo Tuikka
Title	Optimization of the Process with Impedance Tomography
Type of Study	Bachelor's Thesis
Date	23 May 2011
Pages	91+23 appendices
Instructor	Lauri Kantola, LicSc
Company	Stora Enso Oyj Magazine Paper
Contact Person/Supervisor from Company	Jukka Hautamäki, MSc

This Bachelor's Thesis was carried out for the Paper Machine 5 at Stora Enso Veitsiluoto Mill. The purpose of the thesis was to determine the benefits of impedance tomography-based on CoreApus sensor of the company Numcore Ltd in the optimizing of broke processing, the predicting of runnability of the paper machine and reducing the quality variations of the base paper.

The Bachelor's Thesis was begun with the introduction of the sensor. In the theoretical part of the thesis the main theories were discussed, which facilitates the understanding of the results of the experimental section. In the experimental section of this thesis the test run results and application possibilities of researched position were presented.

Combining the sensor with the practical runnability of the paper machine and achieving concrete benefits in this position was a challenge. Wet end chemical changes were particularly detected, but the same results were obtained with the Metso kajaaniWEM-analyzer.

Possible applications in this position were not discovered. Sensor worked fine during the project, but the sufficient customer benefits were not achieved concerning the investment.

Keywords: impedance tomography, coated broke, web break.

## SISÄLLYSLUETTELO

ALKUSANAT .....	I
TIIVISTELMÄ .....	II
ABSTRACT .....	III
SISÄLLYSLUETTELO.....	IV
KÄYTETYT MERKIT JA LYHENTEET .....	VI
1. JOHDANTO .....	1
2. STORA ENSO OYJ.....	3
2.1. Stora Enso Oyj Veitsiluodon tehtaot .....	3
2.2. Stora Enso Oyj Magazine Paper.....	5
2.3. Stora Enso Veitsiluodon PK5 .....	6
3. NUMCORE OY .....	8
4. LWC-PAPERI.....	9
5. PAPERIKONEEN MÄRKÄOSA.....	11
5.1. Lyhyt kierto .....	11
5.2. Paperikoneen kiertovesijärjestelmät .....	13
5.3. Märkäosan kemian hallinta.....	14
6. HYLKYJÄRJESTELMÄ.....	15
6.1. Hylkyjärjestelmän pulpperit .....	17
6.2. Hyllyn lajittelu, rejektin käsittely, kuidutus ja saostus .....	19
6.3. Konehylky .....	20
6.3.1. Pohjapaperihylky.....	21
6.3.2. Päällystetty hylky .....	22
6.4. Rullahylky .....	22
6.5. Päällystetyn hyllyn kemiallinen vaikutus annostelussa.....	22
7. JAUHATUS .....	25
7.1. Jauhin.....	26
7.2. Jauhatusprosessin hallinta .....	27
7.3. Jauhatuksen vaikutukset .....	28
7.3.1. Jauhatuksen vaikutus valmiissa tuotteessa.....	29
7.4. Hyllyn jauhatus.....	29
8. PROSESSIKEMIKAALIT .....	30
8.1. Kalsiumkarbonaatti .....	30
8.2. Kiinnityskemikaalit .....	31
8.3. Talkki.....	32
8.4. Vaahdonestoaineet.....	33
8.5. Alumiiniyhdisteet .....	35
8.5.1. PAC .....	35
8.6. Retentioaineet .....	36
8.7. Massatärkkelys .....	37
9. ON-LINE-MITTAUKSET PAPERINVALMISTUKSESSA .....	39
9.1. On-line-mittaukset tuotantoajossa .....	39
9.2. pH .....	41
9.3. Johtokyky .....	42
9.4. Lämpötila.....	42
9.5. Retentio .....	42
9.6. Varaustila ja zeta-potentiaali .....	43

9.7.	Sameus.....	43
9.8.	Ilmapitoisuus .....	43
9.9.	Redox-potentiaali .....	43
10.	IMPEDANSSITOMOGRAFIA .....	44
10.1.	Impedanssitomografian perusteet .....	46
11.	MITTAUKSET .....	48
11.1.	Datan kerääminen .....	48
11.2.	Datan analysointi .....	50
12.	MITTAUSLAITTEISTO .....	52
12.1.	Numcore Oy CoreApus .....	52
12.2.	Asennusvalmistelut ja käyttöönotto.....	53
12.3.	Kytkenät.....	55
12.4.	Hallintatietokone.....	55
13.	HYLYN JAUHATUKSEN EOK –KOEAJO .....	56
13.1.	Koeajon suoritus .....	56
13.2.	Koeajon tulokset .....	57
14.	SENSORIN KOEKÄYTÖN TULOKSET .....	60
14.1.	CASE: Päälystetyn hyllyn pH:n havaitseminen .....	60
14.2.	CASE: Ratakatkojen ennustaminen.....	62
14.3.	CASE: Hyllyn annostelun pH ja johtokyky.....	69
14.4.	CASE: MD-vaihteluiden vähentäminen .....	71
14.5.	CASE: Hyllyn annostelulinjan ilmapitoisuuden tutkiminen.....	72
14.6.	CASE: Pohjapaperin vikamäärien havaitseminen .....	75
14.7.	CASE: Pohjapaperin ominaisuudet .....	79
14.8.	CASE: Sekoituksen tehokkuus .....	81
14.9.	Muita sensorin käytössä havaittuja asioita.....	82
15.	YHTEENVETO .....	83
16.	JATKOTOIMENPITEET .....	86
17.	LÄHDELUETTELO .....	87
18.	LIITELUETTELO .....	91

## KÄYTETYT MERKIT JA LYHENTEET

Armeerausmassa	Lujuutta antava massakomponentti paperinvalmistuksessa
CD	Cross direction (=ristikkäissuuntainen konesuuntaan nähden)
EIT	Electrical impedance tomography (=impedanssitomografia)
EOK	Energian ominaiskulutus
GCC	Ground Calcium Carbonate (= jauhettu kalsiumkarbonaatti)
Karvi	Paperiratoja yhdistävä, teippaamalla tehtävä liitos
MD	Machine direction (=konesuuntainen)
MWC	Medium weight coated (=keskiraskaasti päällystetty)
PK	Paperikone
PM	Paper machine (=paperikone)
PPK	Päällystyspaperikone
LK-aineet	Liuenneet ja kolloidiset aineet
LWC	Light weight coated (=kevyesti päällystetty, kertaalleen molemmin puolin)
Opasiteetti	Paperin läpinäkyvyyttä kuvaava termi
PAC	Polyalumiinikloridi
PCC	Precipitated Calcium Carbonate (= saostettu kalsiumkarbonaatti)
PL	Pituusleikkuri
Pope	Konerullain, kiinnirullain
PPV	Painopaperit Veitsiluoto
SK	Superkalanteri
URK	Uudelleenrullauskone
TIPS	Tieto Integrated Paper Solution, tehdastietojärjestelmä
VR	Välirullain
Wedge	Savcor Oy:n prosessianalyysityökalu

## 1. JOHDANTO

Aiheen opinnäytetyöhön sain hakemalla Stora Ensolla avoinna ollutta opinnäytetyöpaikkaa konsernin rekrytointisivustojen kautta. Aiheena on impedanssitomografian hyödyntäminen prosessin optimoinnissa. Työ oli projektiluonteinen, ja se toteutettiin yhteistyöhankkeena Stora Enso Oyj:n ja Numcore Oy:n kesken. Numcore Oy on kasvava prosessiteollisuudelle mittalaitteita toimittava yhtiö, joka hakee referenssejä tuotteilleen ja Stora Enso Oyj:tä kiinnosti mittalaitteiden hyödyntäminen optimaalisemman hyllynkäsittelyn saavuttamiseksi ja pohjapaperin laatuvaihteluiden vähentämiseksi.

Yhteistyöhanke oli luonteva tapa toteuttaa projekti. Molemmat yhtiöt vastasivat omalta osaltaan aiheutuneista kuluista. Oma osuuteni projektissa oli tutkia, saavutetaanko sensorilla riittävästi hyötyä suhteessa investoinnin suuruuteen. Tämän opinnäytetyön tekeminen toimi projektissa dokumentointitapana. Stora Enso Oyj tekee mahdollisen investointipäätöksen tämän opinnäytetyön pohjalta.

Sensorin hyödyntämistä tutkittiin pääosin hakemalla korrelaatioita sensorin antamien indeksien ja Metso DNA -prosessinohjausjärjestelmän positioiden väliltä. Työkaluna korrelaatioiden hakemiseen on käytetty Savcor Oy:n Wedge-sovellusta. Metso DNA:lta poimittiin Wedgeen aiheen kannalta tärkeimmäksi nähdyt positiot. Aiheen kannalta tärkeimpien positioiden määrittäminen ja merkityksen ymmärtäminen prosessissa oli aikaa vievä toimenpide. Positioita kerättiin tarkoituksella alussa liikaa, koska merkityksettömiä oli helppo karsia työn edetessä pois.

Työlle asetettiin päätavoitteeksi pohjapaperin laadun optimointi, pohjapaperin laadun vaihtelun vähentäminen ja prosessin optimointi sekä stabilointi. Työssä käsiteltäviä päämuuttujia olivat lajittelun rejektisuhteet, hyllyn kokonaisuus, hyllyn jauhatuksen EOK, päällystetyn hyllyn ja pohjapaperihyllyn suhde. Mittareina muuttujille on käytetty pohjapaperin laatuominaisuuksia ja vikoja.



Rajaus tehtiin siten, että työ alkaa hylkypulppereilta ja päättyy pohjapaperikoneen kiinnirullaimelle. Tarkasteltavaksi jäivät pohjapaperikoneen MD- ja CD-suuntaiset vaihtelut. Lisäksi sovittiin, että haluttaessa voidaan tarkastella päällystyskoneen ajettavuutta. Osittain vastauksia on haettu PPK5:n ajettavuudesta, koska hyvälaatuisella ja hyvät lujuusominaisuudet sisältävällä pohjapaperilla on usein suora yhteys päällystyskoneen ajettavuuteen.

Työn tekemisessä erottuivat selvästi seuraavat vaiheet: sensorin käyttöönotto, teoriaosion kirjoittaminen, datan käsittely ja johtopäätöksen tekeminen. Datan käsittely ja kirjallisen osion kirjoittaminen etenivät koko ajan työtä tehdessä.

Tämä opinnäytetyö on siltä osin ainutlaatuinen, että vastaavanlaista teknologiaa kyseisessä positiossa ei ole sovellettu aikaisemmin. Impedanssitomografiaa ei muutenkaan ole työn teko hetkellä kovin laajasti hyödynnetty pulp&paper –toimialalla.

## 2. STORA ENSO OYJ

Stora Enso on globaali paperi-, pakkaus- ja puutuotealalla toimiva yhtiö, jonka päätuotteet ovat sanomalehti- ja kirjapaperit, aikakauslehtipaperit, hienopaperit, kuluttajapakkauskartongit, teollisuuspakkaukset sekä puutuotteet. /23/

Konsernin palveluksessa on noin 26 000 henkilöä. Tuotantolaitoksia on 88 yli 35 maassa. Stora Enson osakkeet noteerataan Helsingin ja Tukholman arvopaperipörsseissä. Asiakkaita ovat kustantamot, painotalot ja paperitukkurit sekä pakkaus-, puusepän- ja rakennusteollisuus. /23/

Stora Enson tuotantokapasiteetti vuonna 2010 oli 12,7 miljoonaa tonnia paperia ja kartonkia, 1,5 miljardia neliometriä aaltopahvia ja 6,9 miljoonaa kuutiometriä puutuotteita, josta 3,1 miljoonaa kuutiometriä oli jatkojalosteita. Konsernin liikevaihto vuonna 2010 oli 10,3 miljardia euroa ja liiketulos ilman kertaluonteisia eriä ja käyvän arvon muutoksia 754,1 miljoonaa euroa. /23/

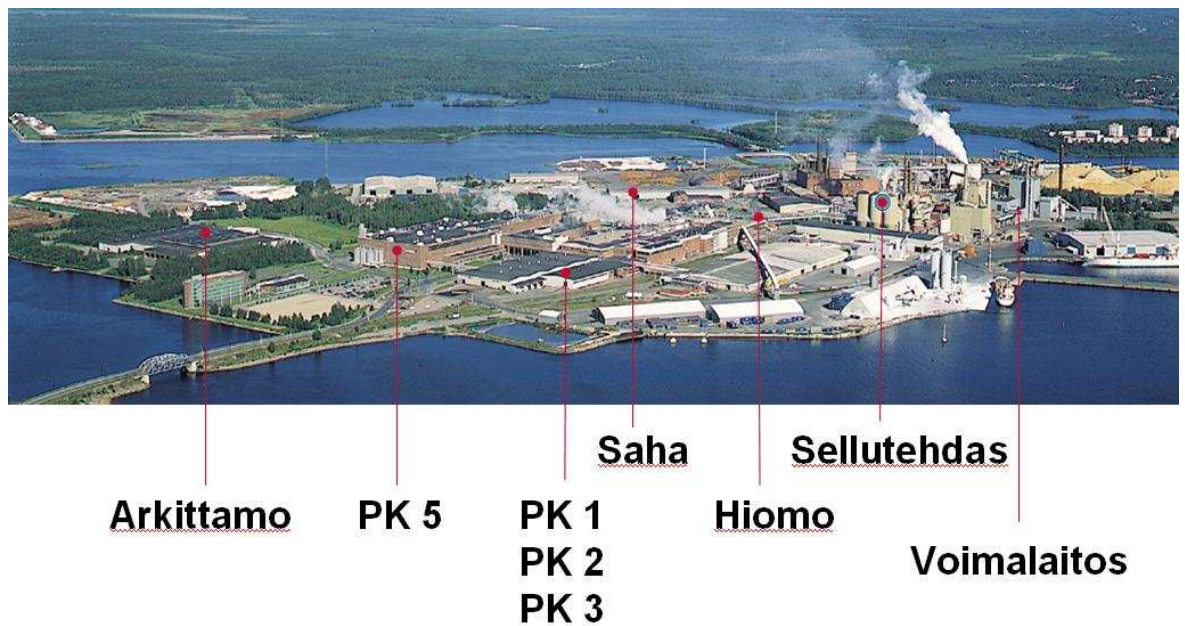
Tulevaisuuden kasvumarkkinat tulevat löytymään Kiinasta ja Latalaisesta Amerikasta. Tuotteista kuitupohjaiset pakkaukset ja puuviljelmiltä peräisin oleva sellu tarjoavat tasaisen kasvupotentiaalin. /23/

### 2.1. Stora Enso Oyj Veitsiluodon tehtaat

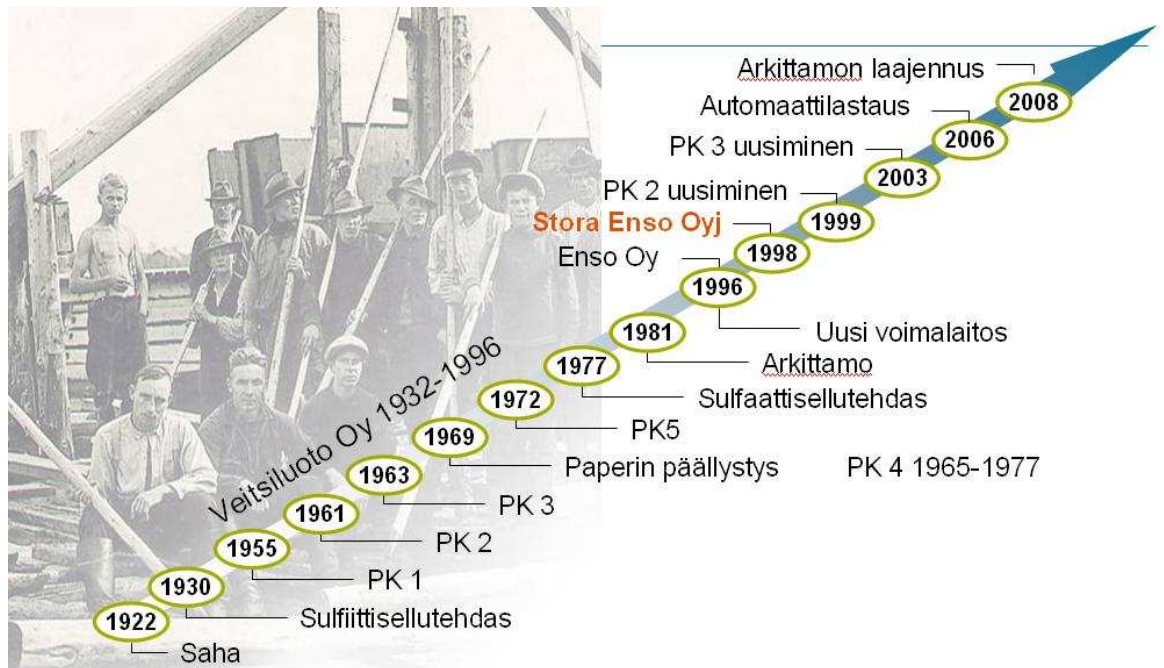
Stora Enson Veitsiluodon tehdas on maailman pohjoisin paperitehdas. Veitsiluodon tehtaisiin kuuluu kaksi tulosityksikköä, Stora Enso Oyj Magazine Paper ja Stora Enso Oyj Fine Paper. Stora Enso Oyj Fine Paper –tulosityksikköön kuuluu PK2, PK3, arkittamo, sellutehdas, voimalaitos ja saha. /21/

Veitsiluodon tehtailla tuotettiin vuonna 2010 469 000 tonnia tulostus-, kirjekuori- ja vihkopapereita, 360 000 tonnia päällystettyjä aikakauslehtipapereita ja 147 000

kuutiometriä sahatavaraa. Veitsiluodon tehdasalueella harjoittavat toimintaansa myös kunnossapidosta vastaava Stora Enson ja ABB:n yhteisyritys Efora Oy, pakkauslavoja valmistava Oplax Oy sekä kalsiumkarbonaattia valmistava Omya Oy. Kuvassa 1 havainnollistetaan Veitsiluodon tehdasintegraattia ja kuvasta 2 nähdään Veitsiluodon tehtaiden historia. /21/



**Kuva 1. Veitsiluodon tehtaat /21/**



Kuva 2. Veitsiluodon historia /21/

## 2.2. Stora Enso Oyj Magazine Paper

Stora Enso Oyj Magazine Paper valmistaa aikakauslehtipaperia. Stora Enso Oyj Magazine Paper kuuluu Publication Paper –liiketoimintadivisioonaan. /22/

Aikakauslehtipaperin vuotuinen tuotantokapasiteetti on 3 miljoonaa tonnia. Päämarkkina-alueita ovat Latinalainen Amerikka ja Eurooppa. /22/

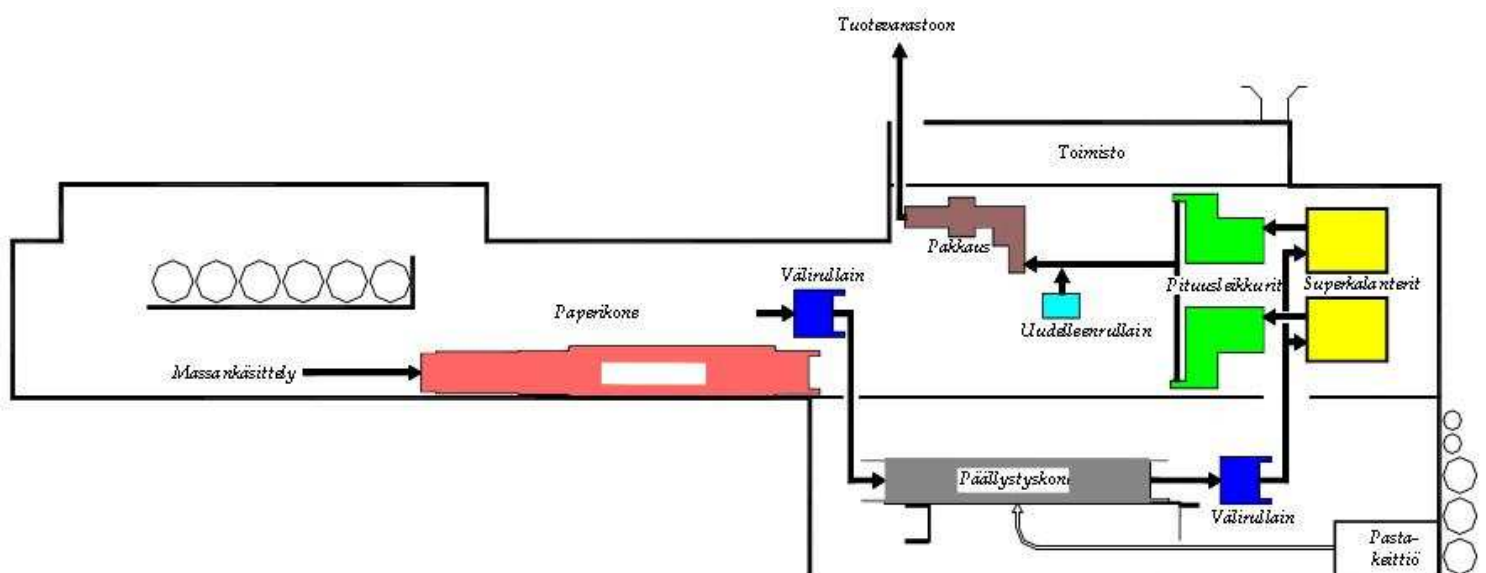
Veitsiluodon tehtailla PPV:n (=Publication Paper Veitsiluoto) tulosyksikköön kuuluu hiomo, peroksidivalkaisulaitos, kaksi paperikonetta ja kaksi päällystyskonetta. Yksikössä valmistetaan korkealaatuisia päällystettyjä MWC- ja LWC-papereita. Valmistettavien tuotteiden nimet ovat NovaPress ja NovaPressSilk, joiden neliömassat vaihtelevat 60–115 g/m<sup>2</sup>:n välillä. Pääasialliset käyttökohteet ovat aikakauslehdet, postimyyntiluettelot ja valokuvateokset. /22/

### 2.3. Stora Enso Veitsiluodon PK5

Stora Enson Veitsiluodon paperinvalmistuslinjalla viisi valmistetaan molemmin puolin kertaalleen päällystettyjä puupitoisia NovaPress ja NovaPressSilk LWC-painopapereita, joiden neliömassat ovat 60–80 g/m<sup>2</sup>. /22/

Paperinvalmistuslinjaan viisi kuuluu pohjapaperikone, päällystyskone, kaksi superkalanteria, kaksi pituusleikkuria, pakkauskone ja uudelleenrullauskone. Tuotantolinjan konevaiheet on esitetty kuvassa 3. PK5 on Valmet Oy:n alun perin toimittama ja sitä on modernisoitu Valmet Oy:n toimesta vuosina 1985, 1995 ja 1996.

PK5 on käynnistynyt sanomalehtipaperikoneena ja se on myöhemmin muutettu LWC-paperikoneeksi. PK5 on trimmileveydeltään 7,45 m ja rakenteelliselta nopeudeltaan 1300 m/min. /14/, /22/



Kuva 3. Paperinvalmistuslinja 5 /22/

Paperikoneen viiraosa on modernisoitu tasoviirasta telalista-kitaformeriksi. Raina siirretään kuivatusosalle 3-nippiseltä puristinosalta. Paksuusprofiilia hallitaan ennen kiinnirullainta

sijaitsevalla 1-nippisellä konekalanterilla. PK5:llä käytetään raaka-aineina Stora Enson Oulun tehtaalta toimitettavaa ECF-valkaistua mäntysellua, hioketta, täyteaineena saostettua kalsiumkarbonaattia sekä lisäaineita. /14/

Armeerausmassana käytettävää havupuusellua jauhetaan optimaalisten lujuusominaisuuksien saavuttamiseksi lopputuotteeseen. Mekaanisen massan valkaisu suoritetaan ditioniitti- tai peroksidivalkaisulla optisten ominaisuuksien ja vaaleuden parantamiseksi. Massan annostelussa annostellaan mekaaninen massa, sellu, hylky sopivassa suhteessa ja johdetaan seos sekoitussäiliöön. /8/

Lyhyessä kierrossa sakea massa laimennetaan ja pumpataan perälaatikolle. Paperikoneen viiraosalla sulpusta muodostetaan raina. Tämän jälkeen puristin- ja kuivatusosalla rainasta poistetaan vettä siten, että paperikoneen kiinnirullaimella paperin kuiva-ainepitoisuus on yli 95%. /9/

Tambuuriraudalle Valmet Optireel-kiinnirullaimella rullattu paperi välirullataan ennen päällystämistä välirullaimella 51 (VR51). Tarkoituksena on paikata reiät ja tehdä karvit tarvittaviin kohtiin sekä leikata reunanauhat. Tämän jälkeen konerullat siirretään tambuurinsiirtovaunulla päällystyskoneen aukirullaukseen, jossa konerullan vaihto tapahtuu tekemällä lentävä saumaus. Paperi päällystetään Valmet Oy:n toimittamalla off-line päällystyskoneella.

Päällystyksen jälkeen konerullat ajetaan tarvittaessa välirullaimella 52 (VR52), jonka jälkeen ne siirretään tambuurinsiirtovaunulla superkalanteroitavaksi kahdelle superkalanterille (SK51 ja SK52). Superkalanteroidut konerullat leikataan kahdella pituusleikkurilla (PL51 ja PL52) asiakasrulliksi. Rullat pakataan linjassa sijaitsevalla pakkaus-koneella, jonka jälkeen ne siirretään kuljettimella tuotevarastoon asiakkaalle toimittamista varten. Tarvittaessa asiakasrullia voidaan uudelleenrullata linjassa sijaitsevalla uudelleenrullauskoneella (URK).

### 3. NUMCORE OY

Numcore Oy on teollisuudelle mittalaitteita kehittävä ja valmistava yritys. Numcoren tuotteissa yhdistyvät matemaattinen mallinnus ja perinteiset mittaukset. Numcoren sensorit perustuvat teknologialtaan impedanssitomografiaan. Sensorit tarjoavat uudenlaisen tavan hyödyntää on-line-mittausta. Mittalaitteilla on mahdollista tehostaa esimerkiksi prosessien raaka-ainekäyttöä ja saavuttaa näin merkittäviä kustannussäästöjä. /16/

Mittalaitteiden lisäksi Numcore tekee asiakaslähtöistä sovelluskehitystä laskennallisen ja matemaattisen mallinnuksen alalla. Sovelluksia löytyy esimerkiksi sellu- ja paperiteollisuudessa, kaivosteollisuudessa, vesienkäsittelyssä ja muussa prosessiteollisuudessa. /16/

Numcoren valikoimissa on tällä hetkellä kolme erilaista tuotetta, jotka soveltuvat erilaisten kohteiden analysointiin. Tuotteiden nimet ovat CoreApus, CoreTucane ja CoreHydra. Tuotteilla määritetään kohteen johtavuus, jonka pohjalta voidaan edelleen määrittää useita kohteen kemiallista tilaa kuvaavia indeksejä. Markkinoilla olevilla tuotteilla voidaan tutkia esimerkiksi säiliöitä, torneja, flotaatioprosesseja ja putkilinjoja. /17/

## 4. LWC-PAPERI

LWC-paperi on kevyesti päällystetty puupitoinen painopaperilaatu. Kevyesti päällystetyt (7–15 g/m<sup>2</sup> päällystettä paperin molemmin puolin) LWC-lajit, on valmistettu painatukseen, jossa tarvitaan suurta tiedonkantokykyä. LWC-paperin rakennetta havainnollistetaan kuvassa 4 näkyvän poikkileikkausprofiilin avulla, kuvassa nähdään päällysteen ja pohjapaperin suhteellinen jakautuminen lopputuotteessa. /9/

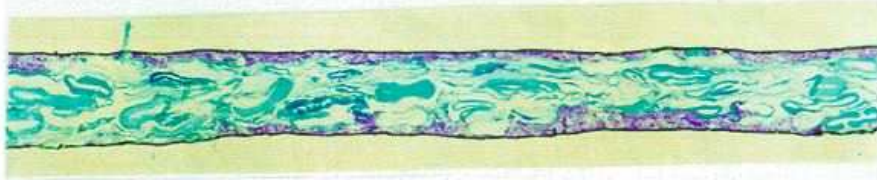
LWC-paperi valmistetaan tyypillisesti mekaanisesta massasta ja pitkäkuituisesta valkaistusta havupuusellusta. Mekaanisen massan määrä on yleensä 50–60 %:n luokkaa, sellun osuuden ollessa 40–50 %. Mekaanisen massan määrä pyritään maksimoimaan, koska se on halvempi pääraaka-ainekomponentti ja sillä saadaan paperille hyvät painatusominaisuudet sekä kustannuksiltaan alhaisempi massaseos. Pitkäkuituisen havupuusellun tehtävänä on toimia armeerausmassana ja antaa paperille riittävät lujuusominaisuudet sekä parantaa ajettavuutta. Tyypillisesti LWC-paperin neliömassat liikkuvat 40–80 g/m<sup>2</sup>:n välillä. /6/, /9/, /24/

Päällystysprosessin aiheuttamien rasisusten takia pohjapaperin lujuuteen joudutaan kiinnittämään erityistä huomiota. Mekaanisen massan ja kemiallisen massan suhteet ovat tärkeimmässä osassa lujuuden hallinnassa. Pohjapaperin Z-lujuutta hallitaan lisäksi optimaalisilla massatärkkelys- ja tuhkapitoisuuksilla. Pohjapaperin tuhkapitoisuus on yleensä yli 10 %. Suurin osa tuhkapitoisuudesta tulee päällystetyn hyllyn pigmenteistä, täyteaineita lisätään tarvittaessa. Tavanomaisimmat täyteaine- ja päällystyspigmentit ovat kaoliini, talkki ja kalsiumkarbonaatti. /6/, /9/, /14/, /15/

Tyypillisimmät käyttökohteet ovat aikakauslehdet, mainospainotuotteet, suoramainontatuotteet ja myyntiluettelot. LWC-lajia käytetään kaikissa aikakauslehti- ja myyntiluetteloissa, joiden mainonnallinen osuus on suuri. LWC-paperille tyypillisiä visuaalisia ominaisuuksia ovat hyvä kiilto ja vaaleus. Tärkeimmät painomenetelmät LWC-papereilla ovat syväpaino ja heatset-offset. /6/, /9/



## LWC:n raaka-ainekoostumus



### Pohjapaperi

- mekaanista massaa 50-70% kuiduista
- havupuusellua 30-50% kuiduista
- täyteaineita 6-10%

### Päällyste

- 7-15 g/m<sup>2</sup>/puoli

Kuva 4. LWC –paperin poikkileikkausprofiili /9/

## 5. PAPERIKONEEN MÄRKÄOSA

Paperikoneen märkäosa on paperinvalmistusprosessin osa, jossa raaka-aineista muodostetaan paperirata ja se kuivataan riittävään kuiva-ainepitoisuuteen paperikoneen kuivatusosalle siirtämistä varten. Märkää alkaa raaka-aineiden ja kemikaalien varastosäiliöistä ja päättyy puristinosan ja kuivatusosan väliin. /13/, /14/

Märkään tärkeimmät osaprosessit ovat raaka-aineiden ja kemikaalien varastointi, niiden valmistelu paperikoneelle annostelua varten, annostelu ja sekoitus, lyhyen kierron lajittelu, viiralle tulevan massavirran muodostaminen perälaatikossa, arkin muodostus ja veden poisto viiraosalla sekä veden poisto puristinosalla. Märkää on paperin valmistuksen tärkein osa-alue ja sen tehtävä on paperiradan muodostaminen siten, että se soveltuu siitä tehtävän lopputuotteen valmistamiseen. /13/, /14/

Lopputuotteen perusominaisuudet määräytyvät käytettävien raaka-aineiden ja niiden käsittelyn mukaan. Lisäksi annostelusuhde ja radan muodostaminen kuitujen orientaation ja raaka-ainejakaumien suhteen vaikuttavat oleellisesti lopputuotteeseen. Märkäosan prosesseilla on suurin vaikutus paperin ajettavuuteen myöhemmissä tuotantovaiheissa. /13/, /14/

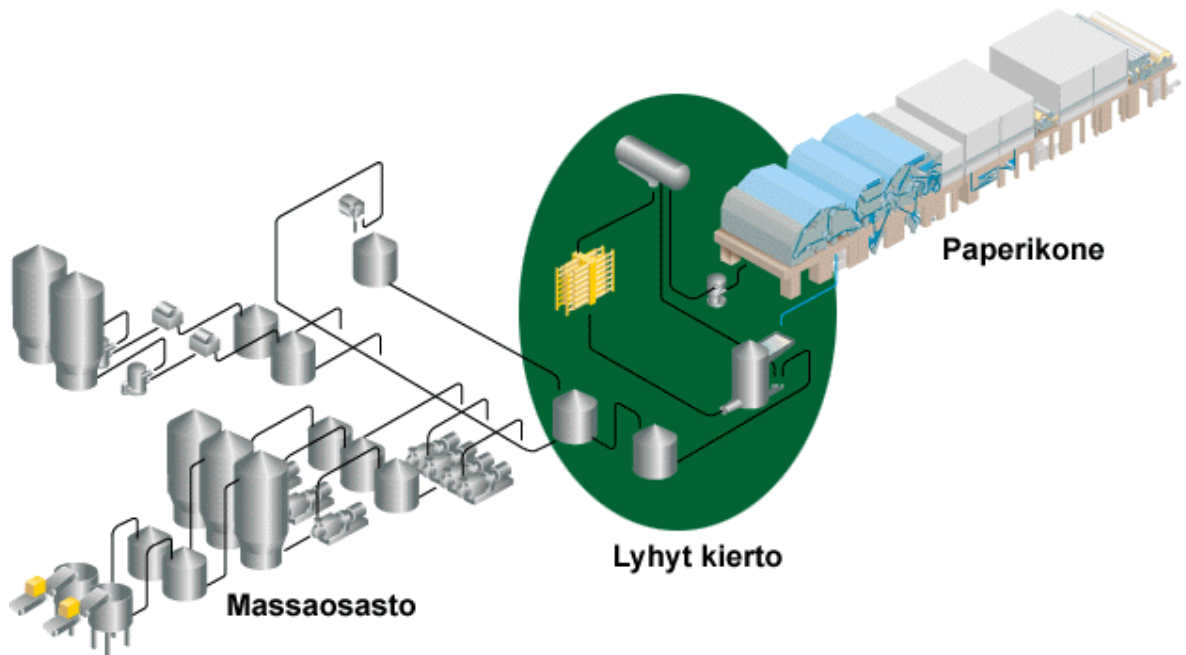
### 5.1. Lyhyt kierto

Tasaisen kuitujakautuman saavuttamiseksi arkinmuodostuksessa viiraosalla kuitususpensio laimennetaan 0,2–1,5 %:n sakeuteen ennen perälaatikkoon syöttöä. Kuitususpensio laimennetaan kuitujen pituuden perusteella; pitkäkuituinen suspensio laimennetaan alhaiseen sakeuteen. /13/, /19/

Perälaatikosta viiralle syötettävästä suspensiosta poistuu viiran läpi poistettavan veden mukana 15–50 % viiralle syötettävän suspension kiintoaineesta eli kuiduista ja lisä-/täyteaineista. Poistuvan kiintoaineen määrä on riippuvainen viirarentiosta. Sakeudeltaan

yksiprosenttisesta suspensiosta on poistettava viiran läpi n.120–200 litraa vettä jokaista tuotettua paperikiloa kohti. Viirarentio on sitä alhaisempi mitä enemmän nollakuitua ja lisä-/täyteaineita viiralle syötettävässä suspensiossa on. /19/

0-vesi on arvokasta kuitu-, lisäaine- ja usein korkean lämpösisältönsä ansiosta. Se kerätään säiliöön viiran alle tai viereen (viirakaivolle) ja sillä laimennetaan paperikoneelle konekyypistä noin 3 %:n sakeudessa tulevaa massaa. /19/

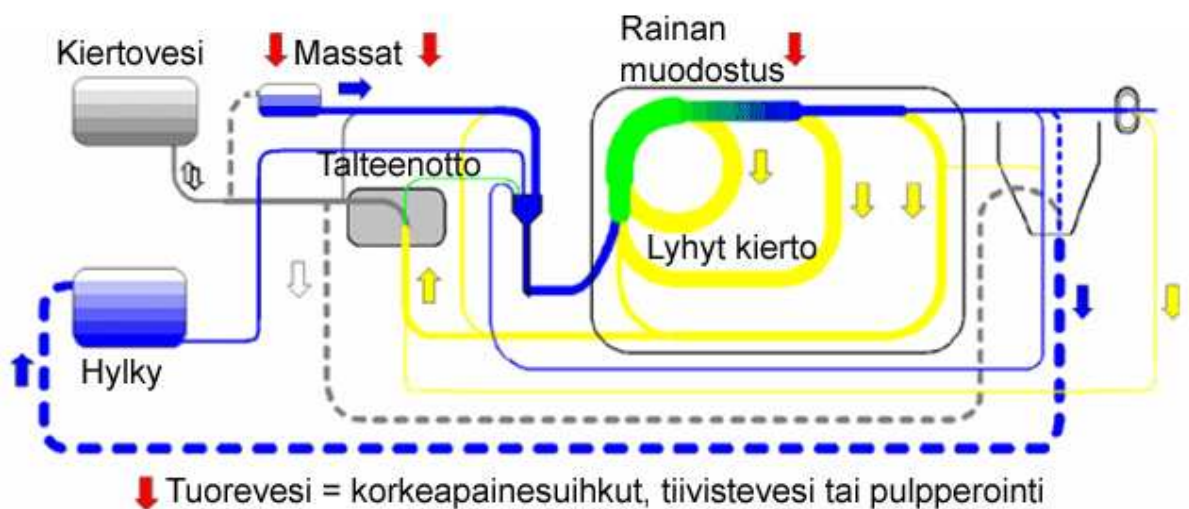


**Kuva 5. Lyhyen kierron sijoittuminen massaosastolla /9/**

## 5.2. Paperikoneen kiertovesijärjestelmät

Paperikoneen märkävähän tulevien vesien kokonaismäärä ylittää aina paperirainan mukana pois kulkeutuvan vesimäärän. Vesien kokonaismäärään luetaan mukaan massan mukana konekyypistä tuleva vesi sekä suihku- ja tiivistysvedet. Ylijäämävesi palautetaan pitkään kiertoon ja kerätään 0-vesisäiliöön, puhdistetaan ja käytetään prosessin eri vaiheissa suihkuihin ja laimennukseen. Paperikoneen 0-vesijärjestelmää ei voida täysin sulkea; tuorevettä on myös otettava prosessiin. Tuoreveden tarve on 10–100 m<sup>3</sup> paperitonnia kohden ja yhtä paljon vettä täytyy poistua prosessista. Poistuva 0-vesi puhdistetaan huolellisesti kuitujen ja lisäaineiden talteenottamiseksi ja ympäristökysymysten huomioimiseksi. /19/

### Paperikoneen vesikierto



Kuva 6. Paperikoneen vesikiertojärjestelmä /9/

### 5.3. Märkäosan kemian hallinta

Märkäosan kemia käsittelee fysikaalis-kemiallisia ilmiöitä paperikoneen massa- ja vesikiirroissa sekä viira- ja puristinosalla. Märkäosan kemian hallinnalla pyritään siihen, että kemialliset ongelmat eivät pääse vaikuttamaan koko kyseessä olevan paperinvalmistuslinjan ajettavuuteen. /7/

Syyt ongelmiin löydetään usein muualta, mutta paperikoneen märkäosa on paikka, jossa ongelmat usein esiintyvät. Märkäosan kemialla tarkoitetaan yleisesti lyhyessä kierrossa esiintyvien komponenttien kemiallisista ominaisuuksista ja vuorovaikutuksista. /7/

Paperikoneen märkäosan kemian hallinta on paperinvalmistuksen herkin ja kriittisin yksikköprosessi. Märkäosan kemiassa pyritään hallitsemaan raaka-aineista ja niiden käytöstä aiheutuvia riskejä, mittauksia ja niiden luotettavaa tulkintaa sekä kalibrointia. Myös ajomallimuutoksia ja viiveistä aiheutuvia riskejä otetaan huomioon märkäosan kemian hallinnassa ja sen kehittämisessä. /7/

## 6. HYLKYJÄRJESTELMÄ

Hylkyjärjestelmä toimii tuotannon puskurivarastona ja sen on pystyttävä ottamaan vastaan koko tuotanto katkojen aikana. Hylkyjärjestelmän tehtävänä on palauttaa eri prosessivaiheissa muodostuva hylkymassa takaisin prosessiin. Hylkyjärjestelmän tehtävänä on myös ehkäistä hylystä aiheutuvien ajettavuusongelmien aiheutumista paperikoneella. /19/

Katkossa viiraosalla tai puristinosalla joutuu raina alas reunamassakyyppiin, jossa se laimennetaan pumpattavaan sakeuteen sekoittaen. PK5:lla kuivatusosan pulpperia kutsutaan konepulpperiksi ja se sijaitsee kuivatusosan viimeisten höyräsynteroiden alapuolella. Samaan pulpperiin ohjataan myös konekalanterilla ja kiinnirullaimella syntynyt hylky. /14/, /19/

Hylkymassa palautetaan paperikonelinjassa määrän pään annosteluun ja käytetään uudelleenkäsiteltynä pohjapaperin raaka-aineeksi korvaamaan sellua, hioketta ja täyteainetta taloudellisuus- ja ympäristösyistä. Hyllyn määrä on 5–25 % tuotannosta. Ajoittain saattaa hyllyn annostelu olla huomattavasti suurempikin. Erityisesti konehylkyä syntyy jaksoittain ja sitä täytyy voida käyttää tasaisesti. Hylkytilavuus vastaa usein noin neljän tunnin ajoa paperikoneella. /6/, /14/

Hylkyä muodostuu paperikoneella useissa eri prosessivaiheissa: reunanauhat eri prosesseissa, rainakatkoissa koko koneen leveydeltä, päällystyskoneella ja pituusleikkurilla reunanauhojen leikkauksessa, konerullien pinta- ja pohjahyllynä, arkituksessa, viallisista asiakasrullista. Paperiradasta leikataan määrässä päässä korkeapainesuihkuilla reunanauhat, koska reunassa neliömassa normaalisti on liian alhainen ja epätasainen. /6/, /14/, /19/

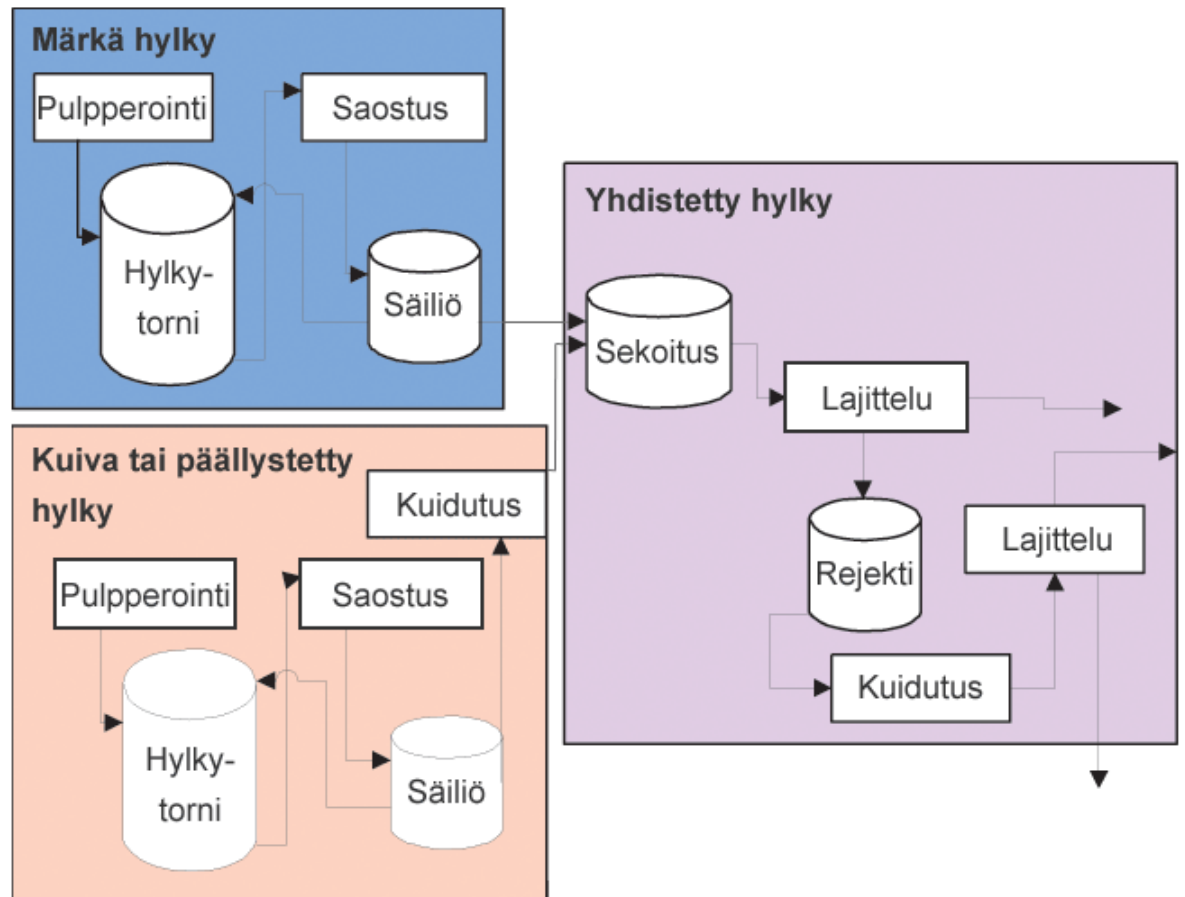
Hylkypaperi hajotetaan pumpattavaan muotoon konepulppereissa (sakeus 3,0–5,5 %). Koska pulpperissa hajotettu sulppu voi sisältää kuituuntumattomia paperinpalasia ja epäpuhtauksia, on hylkymassa varastoinnin jälkeen lajiteltava ennen palauttamista prosessiin. Osa paperikoneen hylystä (viiran reunanauhahylky) palautuu hylkyjärjestelmään matalassa sakeudessa. Tästä syystä hylkyjärjestelmässä on hyllyn

saostus, jottei tarvittava varastokapasiteetti kasva turhan suureksi ja massa voidaan palauttaa sekoitussäiliöön halutussa sakeudessa (3 – 3,5 %). /6/

Usein hylkyjärjestelmä jaetaan kahteen osaan. Monilajikoneilla otetaan koneelta tuleva määrän pään hylky suoraan takaisin annosteluun ilman puhdistusta ja joskus jopa ilman saostusta. Kuivan pään pulppereilta tuleva hylky sen sijaan käsitellään normaalisti. /6/

Päällystettyjä tuotteita tekevällä paperikoneella erotellaan tavallisesti päällystetty ja päällystämätön hylky toisistaan. Ne vaativat erilaisen käsittelyn ja ovat varaustilaltaan sekä kemikaali- ja pigmenttipitoisuuksiltaan hyvin erilaisia. Päällystetty hylky vaatii kunnollisen hajotuksen, sihtauksen kapeilla sihtiraioilla ja lisäksi varaustilan neutraloinnin kationiaktiivisilla aineilla. Erillinen hallittu päällystetyn hyllyn annostelu takaa hyvän määrän pään kemiallisen tilan ja tasaisen pohjapaperin laadun ja pigmenttipitoisuuden. /6/

PK5:n hyllyn käsittely on havainnollistettu liitteessä kolme esitetyllä hyllyn käsittelyn periaatekaaviolla, josta nähdään hylkyjärjestelmän pulpperit.



Kuva 7. Hyllynkäsittely /9/

## 6.1. Hylkyjärjestelmän pulpperit

Pulperoin tarkoitus on hajottaa hylky pumpattavaksi sulpuksi. Pulperoinnin ei tarvitse johtaa täydelliseen kuidutukseen, koska se voidaan tarvittaessa tehdä tehokkaammin kuiduttimella. Hyllyn pulperointisakeus on tyypillisesti välillä 3,0 – 5,5 %.

/14/

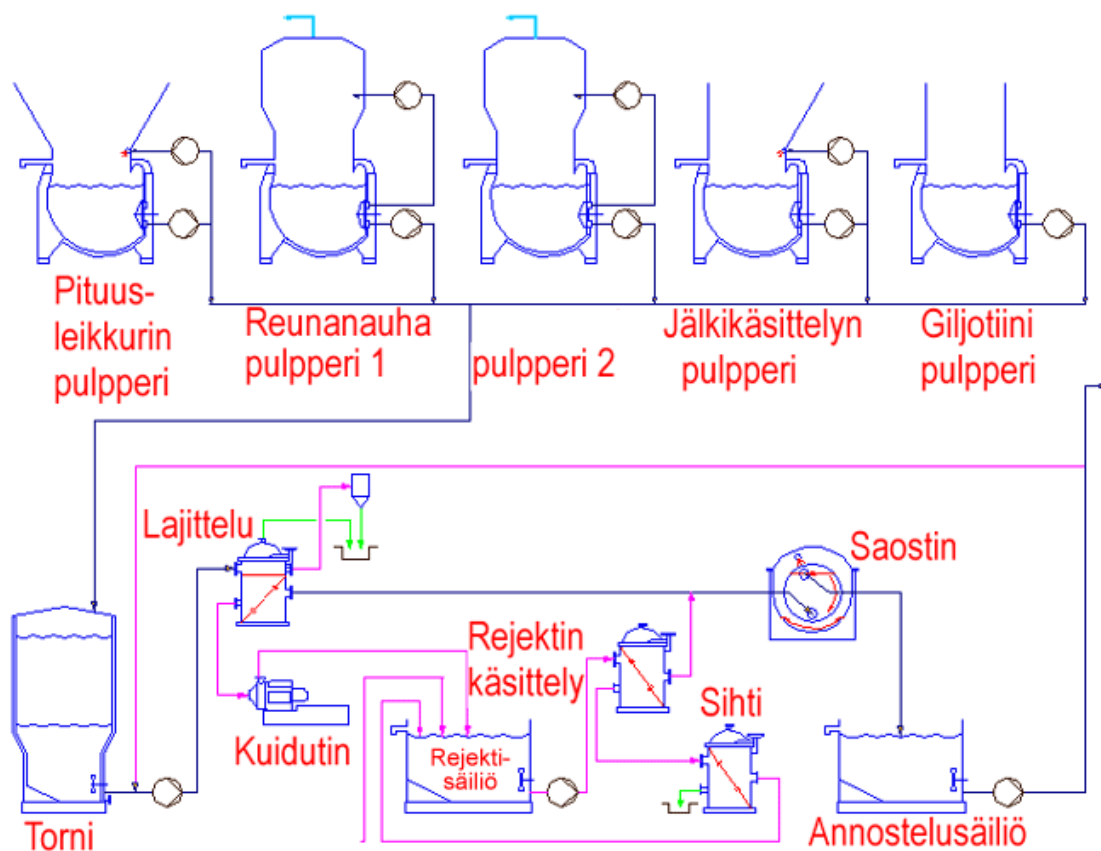
Pulperointiaika ja -energia vaikuttavat pulperointitulokseen merkittävästi. Panostoimisista pulppereista saatava sulppu on homogeenisempää kuin jatkuvatoimisesta, koska esimerkiksi muutokset syöttövirtauksessa voidaan poistaa ja kaikki kuidut saavat saman energiamäärän. /14/



Pulpperointiveden lämpötila ja pH vaikuttavat tulokseen. Veden lämpötilan nostaminen pienentää tarvittavaa energiamäärää. Matalalla veden pH tasolla tai paljon positiivisia ioneja sisältävää vettä on vaikeampi saada kuidun sisään. /14/

Massan märkävarastoinnissa säiliöissä ja torneissa kuidut liettyvät ja muuttuvat joustavimmiksi, koska vesi penetroituu kuidun sisään. Varastointiajan tai -lämpötilan kasvu pulperin jälkeisessä säiliössä parantaa sekoitusta ja kuidun ominaisuuksia, mutta altistaa mikrobitoiminnalle. /14/

Pulpereri on jatkuvatoiminen ja paperin hajotus tapahtuu repijöiden avulla. Laimennusvetenä käytetään 0-vettä ( $t = 55 \text{ °C}$  ja  $\text{pH} = 7$ ). Veden määrää säädetään pulperin sakeuden perusteella. Sakeusmittaus on sijoitettu pulperin lyhyeen kiertoon. Pulperista hyllyn käsittelyyn pumpattavan hyllyn määrää ohjataan pulperin pinnankorkeuden perusteella. Pulpperointitehoa, pH:ta ja lämpötilaa ei yleensä säädetä. /14/



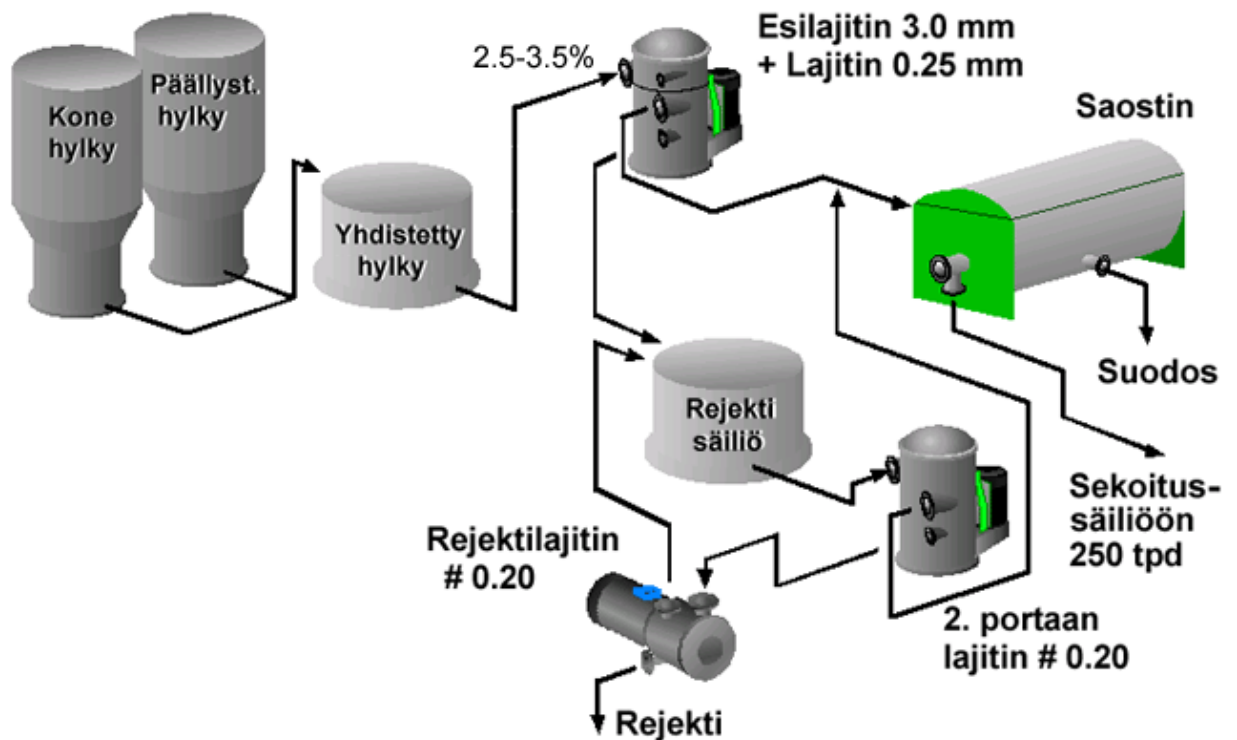
**Kuva 8. Esimerkki erään tuotantolinjan hylkyjärjestelmästä /9/**

## 6.2. Hyllyn lajittelu, rejektin käsittely, kuidutus ja saostus

Hyllyn lajittelun tehtävänä on poistaa roskat, hiekka ja flokit, maksimoida massan laatu ja koneen ajettavuus, minimoida kuituhävikki ja roskien määrä sekä suojella prosessin muita laitteita kulumiselta ja tukkeutumiselta. Lajittelulaitteisto on yleensä painelajittelu, johon kuuluu lajittelussa eroteltavan rejektin käsittely. /8/

Hyllyn rejekti on lajittelussa epäkurantiksi luokiteltua ja lajittelussa kelvolliseksi luokitellusta, akseptista, erotettua hylkymassaa. Rejektin käsittelyllä mahdollistetaan rejektin annostelu paperikoneelle syötettävään sulppuun. /8/

Hyllyn kuidutuksessa on tarkoituksena hajottaa hylkymassan kuitukimput. Hajottaminen tehdään kuiduttimella. Kuidutin on laite, jossa massan tulee läpäistä terän ja staattorin välinen rako. Kuiduttimen sijoituspaikka on yleensä ennen painelajitinta. Kuidutuksella saadaan aikaan myös kuitujen notkistumista, mikä vähentää niiden katkeilua jauhatuksessa. /8/



Kuva 9. Hyllyn lajittelu /9/

### 6.3. Konehylky

Konehylky on kokonaan tai osittain konelinjan valmistusprosessin läpikäynyttä, tuotteeksi kelpaamatonta massaa tai paperia, jota ei ole leikattu asiakasrulliksi. Konehylkyä syntyy siten paperikoneen viiraosan ja pituusleikkurin välisissä prosesseissa. Konehylky jaotellaan tavallisesti myös pohjapaperihylkyyn ja päällystettyyn hylkyyn. /14/

Konehylkyä ovat esimerkiksi eri prosessivaiheissa leikattavat reunanauhat (viiraosa, välirullaimet, päällystyskone, pituusleikkuri), radan ajo katkossa pulppereihin, konerullien pohjat välirullaimilla ja päällystyskoneella sekä erilaiset lusaukset konerullista. /14/

## Rullaimella esiintyvä hylky

- Pohjahylky
- Pintahylky
- Rullahylky
- Katkohylky



**Kuva 10. Rullaimella esiintyvä hylky /14/**

Märkää konehylkyä muodostuu puristinosalle saakka (kuiva-aine alle 45 %). Kuivaa konehylkyä muodostuu kuivausosalta pituusleikkurille saakka (kuiva-ainepitoisuus yleensä yli 95 %).

### 6.3.1. Pohjapaperihylky

Pohjapaperihylkyä syntyy nimensä mukaisesti päällystettyjä paperilajeja valmistavien linjojen pohjapaperikoneen toiminnoissa. Pohjapaperihylkyä syntyy eri prosesseissa viiraosan ja päällystyskoneen välisissä toiminnoissa. Tyypillisimmät syntypaikat ovat viiraosan ja välirullaimen reunanauhat, ratakatkot pohjapaperikoneella ja pohjapaperikoneelta tulevien konerullien pohja- ja pintahylky. /14/

### 6.3.2. Päälystetty hylky

Päälystetty hylky on päälystyskoneella ajettua hyllytettyä paperia. Päälystettyä hylkyä syntyy päälystyskoneen ratakatoissa ja päälystyskoneen jälkeisissä jälkikäsitteilyn toiminnoissa. Päälystetyllä hyllyllä säädetään pohjapaperin tuhkapitoisuutta. Päälystetty hylky aiheuttaa kuitenkin paperikoneella ajoittaisia ajettavuusongelmia esimerkiksi päälystepastan pigmenttien liukenemisestä ja päälysteessä olevista sideaineista johtuen. Ongelmat näkyvät paperikoneella saostumina ja vaahtoamisena. Päälystetyn hyllyn merkitystä märkäosan kemian hallintaan käsitellään kappaleessa 6.6. /2/, /9/

### 6.4. Rullahylky

Rullahylky muodostuu asiakkaalle leikatuista hyllytyistä asiakasrullista, joita ei voida toimittaa puutteellisen laadun takia asiakkaalle. Syynä voi olla esim. paperin laatuviika, rullan huono mekaaninen kunto, rullan leikkaus ja epäonnistunut rullaus. Näiden lisäksi rulla on saattanut vaurioitua pakkauslinjalla, varastossa tai kuljetuksessa niin, ettei siitä saada tehtyä enää uudelleenrullauskoneella tai pakkauksessa laadukasta asiakasrullaa. Myös rullan mitat voivat olla väärät, eikä sitä voida ajaa uudelleenrullauskoneella mihinkään tilaukseen. Rullahylkyä syntyy pituusleikkurilla ja sen jälkeen aina asiakkaalle asti ulottuvissa käsittelyissä, sillä viime kädessä asiakas voi hylätä ja palauttaa rullia esimerkiksi selvien visuaalisten vikojen tai paperin toimimattomuudesta painatusprosessissa johtuen. /14/

### 6.5. Päälystetyn hyllyn kemiallinen vaikutus annostelussa

Päälystetyssä paperikonelinjassa hyllymassa sisältää pohjapaperihyllyä ja päälystettyä hylkyä. Päälystetty hylky tuo päälysteen sideaineiden kautta anionista häiriöainesta, mikä voi aiheuttaa pihkalateksikertymiä märänpään prosessissa. Useimmiten märkäosan kemian hallinnan ongelmat liittyvät päälystettyyn hylkyyn. /14/

Raaka-aineen hylky aiheuttaa paperikoneella saostumia, tahmoja, retentiohäiriöitä ja vaahtoamista. Häiriöitä tuova päällystyspasta muodostuu pigmentin, sideaineen ja lisäaineiden vesiseoksesta. Pigmentin osuus päällystyspastasta on merkittävin, useimmiten 80–95 %. Tästä johtuen pigmentti määrää hyvin pitkälle päällysteen ominaisuudet ja laadun. Pigmentteinä päällystyksessä käytetään kalsiumkarbonaattia, kaoliinia ja talkkia. /14/

Päällystykseen käytetään yleensä kahden tai useamman pigmentin seosta, jolloin sideaineen tehtävänä on sitoa pigmentit kiinni toisiinsa ja pohjapaperiin. Sideaineet myös täyttävät pigmenttien väliin jääviä alueita ja vaikuttavat viskositeettiin ja vesiretentioon. Lisäaineina päällystyspastassa käytetään esimerkiksi optisia kirkasteita, kovettajia, vaahdonestoaineita, säilöntäaineita ja sävytysvärejä. Lisäaineiden määrät suhteessa pigmentteihin ja sideaineisiin ovat yleensä pieniä. /10/, /12/

Päällystetyn hyllyn käyttö annostelussa lisää riskiä ns. white pitch -ongelman esiintymiselle. Päällystetyn hyllyn käytöstä johtuvia saostumia kutsutaan white pitch-saostumiksi. White pitch -saostumien koostumus muodostuu esimerkiksi epäorgaanisesta täyteaineesta, kalsiumkarbonaatista ja öljypohjaisesta polymeeristä, lateksista. Saostumat näkyvät pohjapaperissa täplinä ja reikinä sekä aiheuttavat ajettavuusongelmia ja likaantumista paperikoneella. /10/, /12/

Päällystetyn hyllyn kemiallisen ja mikrobiologisen tilan muutokset heijastuvat usein paperikoneen vesikiertojärjestelmään. Riski white pitch-ongelman esiintymiselle kasvaa, mitä suljetummaksi paperikoneen kiertovesijärjestelmä tehdään. Päällystetty hylky voi aiheuttaa myös ongelmia retention hallintaan aiheuttamalla muutoksia varaustiloihin. Retentioaineen ja anionisten häiriöaineiden väliset reaktiot johtavat retentioaineen kulutuksen nousemiseen. /10/, /12/

Kalsiumkarbonaatin käyttäminen pigmenttinä päällystyspastassa voi aiheuttaa paperikoneella myös vaahdonmuodostusta. Kalsiumkarbonaatin liukeneminen alkaa, kun pH laskee happamalle puolelle. Kalsiumkarbonaatin liukeneminen vapauttaa prosessiin edelleen hiilidioksidia, joka aiheuttaa vaahtoamista paperikoneella.

Päällystetty hylky on mikrobitoiminnan kannalta ideaalinen kasvuympäristö sopivan lämpötilan ja pitkän viipymäaikansa takia. Päällystetty hylky on herkkä pilaantumaan, koska se sisältää runsaasti mikrobitoimintaa kiihdyttäviä ravinteita. /10/, /12/

Yleisesti ottaen, kertymien muodostusta voidaan vähentää hyllyn annostelun ja laadun vakioinnilla. Varastointiajan minimoiminen ja riittävästä sekoituksesta huolehtiminen vaikuttavat myös oleellisesti pilaantumiseen. /14/

## 7. JAUHATUS

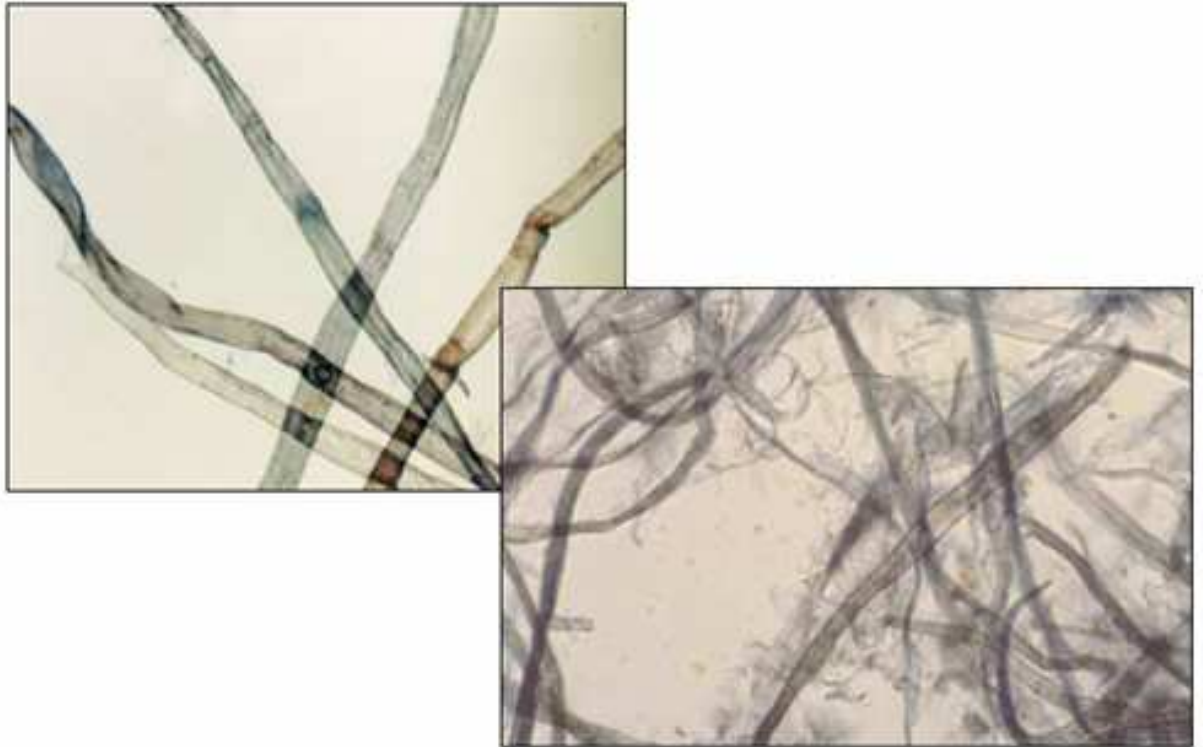
Paperimassan jauhatus on kuitujen mekaanista muokkaamista paperinvalmistuksen yhteydessä. Jauhatusta käytetään, että kuitujen kemiallinen ja fysikaalinen rakenne saadaan muokattua sopivaksi paperinvalmistusprosessia varten. Ilman jauhatusta kuitujen sitoutuminen toisiinsa on huonoa, minkä takia jauhamattomasta massasta valmistetusta paperista tulisi lujuusominaisuuksiltaan heikkoa ja epätasaista. /4/, /8/, /24/

Jauhettuna kuidut ovat fibrilloituneita sekä notkeita, ja niillä on hyvä sitoutumiskyky. Jauhamattomat kuidut ovat jäykkiä ja sileitä, eikä niillä ole kunnan sitoutumiskykyä. /8/

Jauhatusta voidaan käyttää erikseen jokaiselle annosteltavalle massalle, tai yhteisjauhatuksena valmiille massasuspensiolle. Jauhimia käytetään joko sarjaan tai rinnan kytkettyinä. Jauhatusta voidaan suorittaa jatkuvatoimisesti tai jaksottaisena. Jaksoittainen jauhatus ei ole soveltuva suurille isoilla nopeuksilla ajettaville nykyaikaisille paperikoneille. Jaksottainen jauhatus tarkoittaa sitä, että massa johdetaan jauhimen läpi kerta toisensa jälkeen. /4/, /8/, /24/

Jauhatustapaa kuvataan sanoilla raju ja varovainen. Rajulla jauhatuksella pyritään kuitujen katkeamiseen ja hienoaineen syntyyn, kun varovainen jauhatus on kuituja fibrilloivaa ja tekee niistä paremmin sidoksia muodostavia. Kuvassa 11 näkyy jauhatuksen vaikutus kuituihin mikroskoopilla kuvattuna. /8/, /24/





**Kuva 11. Jauhamattomien (vasemmalla) ja jauhettujen (oikealla) kuitujen erot mikroskooppikuvassa /9/**

## **7.1. Jauhin**

Jauhimella tarkoitetaan laitetta, jossa kuituja muokataan mekaanisesti. Tuotettava paperimäärä ja laatu määrittävät tarvittavien jauhimien määrän, koon sekä käytettävät EOK:t. Jauhintyyppejä ovat sylinteri-, kartio- ja kiekkojauhimet. Kuvassa 12 on esitetty kartiojauhimen rakenne. /24/



**Kuva 12. Kartiojauhimen rakenne /9/**

## 7.2. Jauhatusprosessin hallinta

Jauhatuksen määrällä kuvataan, kuinka pitkälle massa jauhetaan. Jatkuvatoimisessa jauhatuksessa massasuspensio läpäisee jauhimen ainoastaan kerran, joten jauhatuksen määrää voidaan säätää hallitsemalla jauhimen kokonaistehon määrää. Roottorin ja staattorin välisten etäisyyksien säätämällä voidaan vaikuttaa jauhimen kokonaistehoon. Mitä pienemmäksi roottorin ja staattorin rako jää, sitä suuremman vastuksen raosta kulkeva massasuspensio aiheuttaa, jolloin jauhimen tehonotto kasvaa. /8/, /24/

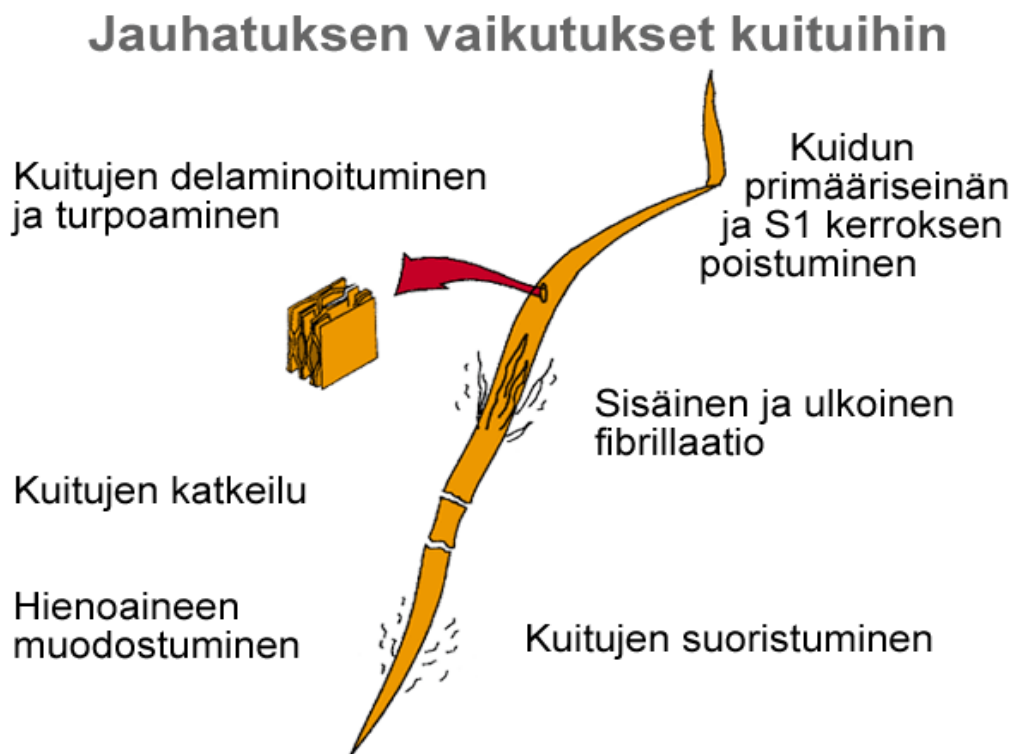
Jauhatusta tarkastellaan usein energian ominaiskulutuksella, jota käytetään yleisesti myös jauhatusprosessin ohjauksessa. Operaattori tarkkailee ja säätää jauhatusta EOK:n avulla.

EOK ei huomioi laitteistoa itsessään ollenkaan, mikä heikentää sen luotettavuutta jauhatusta arvioitaessa. /8/, /24/

### 7.3. Jauhatuksen vaikutukset

Lopputuotteelle pyritään saamaan halutut ominaisuudet jauhatuksella hyödyntämällä mekaanista rasitusta. Yleisesti jauhatuksella pyritään vaikuttamaan lujuusominaisuuksiin.

Tärkeitä ominaisuuksia kuiduille ovat pituus, leveys ja seinämän paksuus. Jauhatuksella kuituihin voidaan vaikuttaa sekä ensi- että toissijaisesti. Kuvassa 13 on esitetty jauhatuksen ensisijaisia vaikutuksia kuituihin.



Kuva 13. Jauhatuksen vaikutus kuituihin /9/

### **7.3.1. Jauhatuksen vaikutus valmiissa tuotteessa**

Merkittävin jauhatuksella haettava sekä saatava ominaisuus on lopputuotteen lujuusominaisuuksien kehittyminen. Fibrilloiva jauhatusta on lujuusominaisuuksia ensisijaisesti kehittävää, kun rajulla jauhatuksella taas kuitujen katkeilemisen takia vaikutetaan enemmän muihin kuin lujuusominaisuuksiin. /1/, /8/

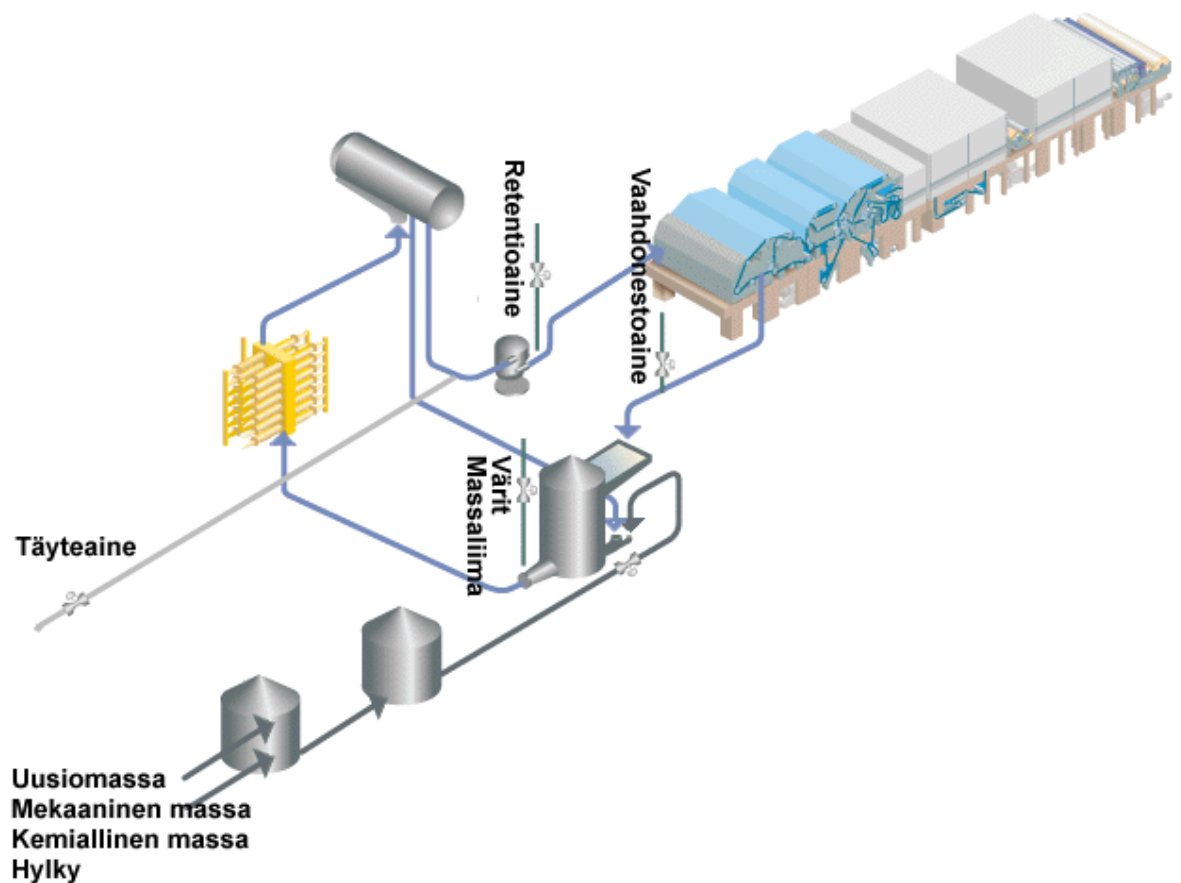
Jauhatuksessa syntyy hienoainesta, joka vahvistaa kuitujen välisiä vetysidoksia ja tiivistää paperia. Tiiviimpi rakenne parantaa paperin formaatiota ja alentaa huokoisuutta. /1/, /8/

## **7.4. Hylyn jauhatus**

Hylyn jauhatusta paperikoneilla ei ole kovin yleisesti käytettyä. Kirjallista materiaalia hylyn jauhatuksesta ja sen tuomista hyödyistä ei ole laajasti saatavilla. Aihetta on tutkittu Veitsiluodossa aikaisemmin Pekka Keskiähon hylyn jauhatusta PK1:llä käsittelevässä insinöörityössä.

## 8. PROSESSIKEMIKAALIT

Tässä kappaleessa esitetään keskeisimmät paperinvalmistuksen kemikaalit Veitsiluodon PK5:n kannalta. Kuvasta 14 nähdään eräiden kemikaalien tyypillisimpiä annostelupisteitä.



**Kuva 14.** Prosessikemikaalien annostelupisteet paperinvalmistuslinjassa

### 8.1. Kalsiumkarbonaatti

Paperinvalmistuksessa käytetään kahdessa eri muodossa olevaa kalsiumkarbonaattia, jauhettua kalsiumkarbonaattia (GCC) ja saostettua kalsiumkarbonaattia (PCC). Sekä jauhetun että saostetun kalsiumkarbonaatin valmistus aloitetaan kalkkikivestä jauhamalla. PCC saostetaan kemiallisesti myöhemmässä prosessivaiheessa. /3/, /12/, /14/

PCC:llä voidaan parantaa paperin opasiteettia ja vaaleutta. Samalla bulkki ja huokoisuus kasvavat. Negatiivisena vaikutuksena PCC heikentää paperin lujuusominaisuuksia. Kiertovesijärjestelmä voidaan puskuroida neutraaliksi PCC:n avulla. Kalsiumkarbonaatti hajoaa happamissa olosuhteissa hiilidioksidiksi ja kalkkimaidoksi. PCC:n valmistusprosessissa otetaan huomioon käyttötarkoitus raekokoa, kide- ja mineraalimuotoa ja partikkelikokojakaumaa optimoimalla. /3/, /12/, /14/

PK5:lla PCC:tä käytetään pohjapaperin täyteainepitoisuuden säätämiseen. PCC:tä valmistetaan Veitsiluodossa on-site -laitoksena toimivalla Omya Oy:n tehtaalla. /14/

Seuraavassa on esitetty kalsiumkarbonaatin käytön tärkeimmät edut ja haitat:

- + Puskuroid kiertovesijärjestelmän neutraaliksi (pH 7,3-8,5)
- + Hyvä vaaleus
- + Edullinen hinta
- Hajoaa happamassa ympäristössä muodostaen hiilidioksidia
- Kovana pigmenttinä prosessilaitteita kuluttava
- Paperin huokoisuuden kasvu korkeilla karbonaattipitoisuuksilla. /14/

## 8.2. Kiinnityskemikaalit

Kiinnityskemikaalien tarkoituksena on pyrkiä pitämään paperikoneen vesien häiriöainepitoisuus mahdollisimman alhaisena sitomalla niitä paperirainaan ja poistamalla lopputuotteen mukana. Tavoitteena on minimoida saostumien syntyminen ja siten vähentää paperin ratavikaisuutta sekä kudosten että puristin- ja kuivatusosan telojen likaantumista. Kiinnittimien oikeaa annostelua ja toimivuutta voidaan seurata likaantumisen, ratavikaisuuden ja katkojen lisäksi käytetystä kiinnitinaineesta riippuen joko varaustilamittauksella ja/tai sameusmittauksella. /3/, /12/, /14/

Kiinnityskemikaaleilla eli fiksatiiveilla pyritään poistamaan anionisia häiriöaineita järjestelmästä kiinnittämällä ne kuituihin. Häiriöaineilla tarkoitetaan puusta, ennen kaikkea mekaanisesta massasta (hiokkeesta) vapautuvaa hyvin hienojakoista ainesta, kuten puun

uuteainetta ja pihkaa. Häiriöainesta paperikonevesiin syntyy myös päällystetystä hylystä vapautuvista hienojakoisista lateksipartikkeleista, päällystyspigmenttien dispergointiaineista ja muista päällystyspастоjen kemikaaleista. Suurina määrinä kiertovesissä esiintyessään ne voivat muodostaa saostumia putkistoihin, säiliöiden seinämiin, viiroihin, huopiin ja telojen pintaan aiheuttaen ratavikoja ja katkoja. /3/, /12/, /14/

Kiinnityskemikaaleilla saatavat positiiviset vaikutukset:

- paperikoneen vesisysteemin parempi laatu
- raaka-aineiden laatuvaihteluiden minimoiminen
- retention ja vedenpoiston tehostaminen
- muiden paperikemikaalien käytön optimointi (tärkkelys, neutraaliliimat, märkälujahartsit)
- koneen likaantuminen ja katkojen määrä vähenee → parempi ajettavuus, tuotantoteho ja paperin laatuominaisuudet
- paperin vikaisuuden lasku ja parempi formaatio /14/

Fiksatiivien virheellisellä annostelutavalla voidaan aiheuttaa koneella ajettavuusongelmia. Nostettaessa fiksatiivien avulla prosessin varaustilaa nollavaraukseen tai sen lähelle käytännössä heikennetään prosessin kolloidaalista stabiiliutta. Voidaan sanoa, että kolloidaalinen järjestelmä on sitä stabiilimpi, mitä kauempana nollavarauksesta ollaan. Varaustilan ollessa liikaa anionisella puolella ilmenee ongelmia mm. täyteaineiden, päällystetyn hyllyn ja mekaanisen massan retention hallinnassa. /3/, /12/, /14/

PK 5:lla fiksatiivia annostellaan vakiomäärä hiokkeen ja hyllyn annostelusäiliöiden pumppujen imupuolelle. /14/

### **8.3. Talkki**

Kidejärjestelmältään talkki on monokliininen mineraali, sen kemiallinen koostumus on magnesiumsilikaattia. Talkki on rakenteeltaan kolmikerroksinen. Magnesiumoksidikerrosta ympäröi kaksi hydrofobista silikaattikerrosta. Sellu- ja

paperiteollisuudessa talkkia käytetään pihka- ja lateksikerääntymien torjuntaan. Talkki adsorboi pihkapartikkeleita hydrofobisten ominaisuuksiensa ansiosta organofiilisille levypinnoilleen. Pihkapartikkelit menettävät kyvyn tarttua toisiinsa, ja tämän vaikutuksesta pihka poistuu prosessivesistä harmittomassa muodossa. /3/, /12/, /14/

Pihkan torjunnan lisäksi talkkia käytetään myös täyteaineena. Tällöin talkilla haetaan myös tyypillisiä täyteaineiden lopputuotteelle antamia ominaisuuksia kuten vaaleutta ja opasiteettia. Täyteaineena käytettävän talkin keskimääräinen partikkelikoko on suurempi kuin pelkästään pihkan torjuntaan käytetyn talkin. Yleensä käytetään lisäksi kationista retentioainetta talkin paperirainaan kiinnittymisen tehostamiseksi. Talkin aiheuttamat ongelmat ovat yleensä vähäisiä. Talkki voi aiheuttaa joissain tapauksissa vaahtoamisongelmia /3/, /12/, /14/

Talkin annostelupaikat ovat tehdaskohtaisia, mutta yleisimmin käytettyjä pisteitä ovat mekaaniseen massaan ennen annostelua, kone- tai sekoitussäiliöön, viirakaivoon ja päällystettyyn hylkyyn. PK5:llä talkkia annostellaan vakiomäärällä pumpun imupuolelle hioketornin jälkeen. /14/

#### **8.4. Vaahdonestoaineet**

Ilmaa ja kaasuja esiintyy paperikoneella vaahtomaisena säiliöiden pinnalla, kuplamaisena kiinnittyneinä kuituihin ja veteen liuenneena. Ilmaa tulee paperikoneen massoihin mm. pulpperoinneista, viiraosan vedenpoistoelimien vaikutuksesta ja säiliöiden sekoituksesta. Kaasuja syntyy kalsiumkarbonaatin hajoamisen tuloksena, jolloin vapautuu hiilidioksidia. /3/, /12/, /14/

Vaahdon muodostumiseen paperikoneella tarvitaan vettä, ilmaa ja pinta-aktiivisia kemikaaleja. Näitä kemikaaleja tulee eri raaka-aineiden, myös hiokkeen ja selluloosan mukana. Myös pienikokoiset partikkelit voivat olla mukana vaahdon rakenteessa. Nämä muodostavat kalvon ilmakuplien ympärille, jolloin ne stabiloituessaan muodostavat vaahtoa. /3/, /12/, /14/



Nykyiset vahojen ja rasvojen vesiemulsiot samoin kuin synteettiset vaahdonestoaineet pystyvät vaahdon neutraloimisen lisäksi tehokkaasti keräämään veteen sekoittuneet ilmakuplat isommiksi kupliksi, jolloin ne poistuvat vedestä. Tällöin vaahdon syntyminen estyy. /3/, /12/, /14/

Korkea ilmapitoisuus massassa vaikuttaa myös pumppaustehokkuuteen ja vähentää siten tuotantoa. Viiraosalla ilmakuplat huonontavat vedenpoistoa tukkimalla virtaustiehykeitä kuitumaton läpi. Lisäksi kuplat aiheuttavat pohjapaperiin reikäisyyttä, joka voi päällystyskoneella aiheuttaa pastan läpätunkeutumista ja liata vastatella aiheuttaen ajettavuusvaikeuksia. /3/, /12/, /14/

Vaahtoa muodostavat pinta-aktiiviset aineet, jotka adsorboituvat neste-kaasu rajapintoihin. Paperinvalmistusprosessissa olevat pinta-aktiiviset aineet ovat peräisin puuraaka-aineesta ja käytetyistä prosessikemikaaleista. /3/, /12/, /14/

Ilmalla on runsaasti paperikoneen ajettavuuteen ja paperin laatuun vaikuttavia ominaisuuksia, jotka ovat kaikki vaikutuksiltaan haitallisia. Selvimmät ilman aiheuttamat haittavaikutukset liittyvät veden poistoon viiralla ja rainan muodostukseen. Valmiissa paperissa ilma mm. lisää huokoisuutta, neulanreikiä ja heikentää formaatiota, sileyttä ja kiiltoa. /3/, /12/, /14/

Vaahdonestoaineilla tapahtuvassa vaahdon torjunnassa on kaksi toimintamekanismia; pyritään joko vähentämään systeemiin sitoutuneen ilman määrää tai vähennetään vaahdon stabiilisuutta. Tyypillisesti vaahtoa vähentävät kemikaalit ovat mineraaliöljy-, silikoni-, pitkäketjuisia hiilivety-, rasvahappo- ja rasva-alkoholijohdannaisia. Vaahdon tappamiseksi taas käytetään alkoholeja, eettereitä, polyglykoli-rasvahapposeoksia, kasviöljyjä, rasvahappoestereitä, polyglykoliestereitä ja mäntyöljyjä. /3/, /12/, /14/

Yleisesti vaahdonestoaine koostuu kolmesta komponentista: nestemäisestä kantaja-aineesta, non-ionisesta tai anionisesta emulgointiaineesta ja erittäin niukkaliukoisesta lisäaineesta, joka toimii varsinaisena vaahdonestokemikaalina. /3/, /12/, /14/

Vaahdonestoaineita käytetään sekä paperi- että päällystyskoneilla. Paperikoneilla yleisimpiä annostelupaikkoja ovat sekoituspumppu, viirakaivo, suihkuvesisäiliö, lajittimet ja viiravesikaukalo. Annostelumäärät vaihtelevat yleensä luokkaa 0,2 – 1 kg/paperitonni.

PK5:lla vaahdonestoainetta käytetään viirakaivoon annosteltuna kuituun sitoutuneen ilman poistoon ja vaahdon muodostuksen ehkäisyyn. Vaahdonestoainetta annostellaan myös flotaation dispersioveteen. /3/, /12/, /14/

## 8.5. Alumiiniyhdisteet

Vanhin ja tunnetuin paperin valmistuksessa käytetyistä alumiiniyhdisteistä on aluna. Muita käytettyjä alumiiniyhdisteitä ovat polyalumiinikloridi (PAC), natriumaluminaatti ja alumiinikloridi.

Alumiiniyhdisteiden käyttömahdollisuuksia paperinvalmistuksessa:

- Retention parantaminen
- Formaation parantaminen
- Vedenpoiston parantaminen
- Varauksen neutralointi (anioninen häiriöaine)
- pH:n säätö
- Vedenpuhdistus (koagulanttina)
- Pihkan torjunta
- Alkaalissa paperinvalmistuksessa epäpuhtauksien poistaminen
- Hartsiliimauksen lisäaine
- Märkäosaliimauksen katalyytti /14/

### 8.5.1. PAC

Polyalumiinikloridi eli PAC on polymeerinen alumiiniyhdiste, jolla on rakenteensa vuoksi voimakas sähköisesti positiivinen (=kationinen) varaus. PAC saostaa tehokkaasti

häiriöaineita laajalla pH-alueella. PAC on hapan, runsaasti kloridia sisältävä vesiliuos, joka asettaa erityisvaatimuksia käytettävälle varasto- ja annostelulaitteistolle. Tästä syystä esimerkiksi PAC:in säiliöt ja annostelulinjat ovat usein lasikuituseosteisia. /14/

PAC:n toiminta perustuu varauksen neutralointiin ja koagulointiin. Erityisesti PAC:ia käytetään varaustilan säätöön, kiinnitysaineena, retentioaineena ja pihkan torjunnassa. Liiallinen PAC:n käyttö voi aiheuttaa erilaisten saostumien syntymistä. Etenkin vaalean hyytelömäisen alumiinihydroksidin muodostuminen voi aiheuttaa vaikeita ajettavuusongelmia tukkimalla kudoksia. /3/, /12/, /14/

PK 5:llä PAC annostellaan hyllyn säätösäiliöön suhdeasetuksella n. 4 kg/t h. PAC:in tehtävä hyllyssä on sitoa päällystetystä hyllystä vapautuvaa hienojakoista lateksia kuituihin. Lisäksi PAC:ia annostellaan myös hiokkeen joukkoon sitomaan mekaanisen massan hienoainesta ennen tärkkelystä, mikä parantaa retentiota. /14/

## 8.6. Retentioaineet

Retentiolla tarkoitetaan paperinvalmistuksessa lopputuotteeseen jäävää osaa prosessiin tai tiettyyn prosessin vaiheeseen syötetystä ainevirrasta. Retentio kuvaa siis perälaatikosta virtaavan kiintoaineen jakautumissuhdetta viiralle ja viirakaivoon, eli kuinka hyvin kiintoainesta jää viiralle. /14/

Retentioaine on kemikaali, jolla muodostetaan paperikonemassojen hienoainesta ja täyteaineista isompia kasaumia eli flokkeja, jotka kiinnittyvät kuituverkkoon. Retentioaineiden tehtävänä on sitoa pienet hiukkaset pinta- ja kolloidikemiallisin keinoin suuremmiksi yksiköiksi eli flokeiksi kiinnittymään kuituverkoston. Lisäksi retentioaineita käytetään myös paperikoneen vesienpuhdistuslaitteilla samaan tarkoitukseen eli flokin muodostukseen, jolloin kiintoaineen poisto vesistä tehostuu. /14/

Paperin valmistuksen kannalta hallitulla ja hyvällä retentiolla voidaan parantaa vedenpoistoa viiraosalla. Tämä vaikuttaa suotuisasti puristinosan ajettavuuteen johtuen paperirainan korkeammasta kuiva-aineesta. Kuivempi paperi vähentää myös kuivatukseen tarvittavan energian määrää. Lisäksi paperin laadun kannalta suotuisia seikkoja ovat

tasaisempi täyte- ja hienoainejakauma, mikä näkyy toispuoleisuuden pienenemisenä sekä tiiviimpänä paperin pinnan rakenteena. /14/

Liian korkeaan retentiotasoon pyrkiminen voi aiheuttaa voimakasta flokin muodostusta. Tällöin paperin formaatio huononee ja seurauksena on lujuuksien heikkeneminen ja painatustuloksen huononeminen. Toisaalta kuitenkin korkea retentiotaso antaa mahdollisuuden ajaa alhaisemmalla perälaatikkosakeudella, mikä puolestaan parantaa formaatiota. Rajoituksena voi tällöin tulla vastaan perän syöttöpumpun kapasiteetti. /3, /14/

PK 5:lla on käytössä mikropartikkelitekniikkaan perustuva retention hallinta. Mikropartikkelitekniikalle tunnusomaista on kationisen, pitkäketjuisen polymeerin tai kationisen tärkkelyksen käyttö yhdessä erittäin pienistä hiukkasista koostuvan kiinteän, anionisen aineen kanssa. /14/

Retentioaineena käytettävää silicaa annostellaan vakiomäärä konesihtien jälkeen. Retentioainetta annostellaan perälaatikon syöttöpumpun jälkeen, kahdelle PK 5:n 0-vesisuotimelle ja lisäksi vakiomäärä myös flotaatioon. Annostelu tehdään retentiotavoitteen mukaan. /3/, /14/

## 8.7. Massatärkkelys

Massatärkkelys on glukoosiyksiköiden muodostama polymeeri, jonka kemiallinen koostumus muodostuu kahdesta erityyppisestä polymeeriketjusta: lineaarisesta amyloosista ja haaroittuneesta amylopektiinistä. Massatärkkelyksen päätehtävä on vaikuttaa positiivisesti paperin lujuusominaisuuksiin, esimerkiksi repäisy-, pinta-, veto- ja palstautumislujuuksiin. /3/, /12/

Tärkeimmät massatärkkelyksen raaka-ainelähteet ovat peruna, vehnä ja maissi. Peruna on ollut perinteisesti massatärkkelyksen raaka-aine, mutta nykyään maissipohjaiset tärkkelykset ovat alkaneet yleistyä. Perunan etu raaka-aineena on sen alhaisempi keittolämpötila. /3/, /12/

Massatärkin annostelupaikka riippuu käyttötarkoituksesta. Pyrittäessä saamaan palstautumislujuutta LWC:n pohjaan massatärkki annostellaan sakeaan massaan, mielellään mekaanisen massan joukkoon, jossa se sitoo myös hienoainetta. Massatärkkelystä voidaan käyttää myös retentiokemikaalina, jolloin se annostellaan lyhyeen kiertoon. Palstaumislujuutta tarvitaan LWC-paperissa ennen kaikkea heat-set offset-painatuksessa eli offset-painatuksessa, jossa väri kuivataan painatuksen jälkeen uunissa. /3/, /12/

Sakeaan massaannosteltuna tärkkelys vaikuttaa lähinnä kehittäen paperin kuivalujuutta, koska tällöin tärkkelys adsorboituu erityisesti pitkiin kuituihin johtuen niiden korkeammasta konsentraatiosta suhteessa hienoainekseen. Lähelle perälaatikkoa annosteltuna tärkkelys adsorboituu pääosin hienoainekseen ja parantaa retentiota. PK 5:lla tärkkelystä annostellaan sekoitussäiliön ja konesäiliön väliseen massalinjaan suhteutettuna paperikoneen tuotantoon. /14/

## 9. ON-LINE-MITTAUKSET PAPERINVALMISTUKSESSA

Koko ajan nykypäivänä esillä olevat tuotantonopeuksien nostaminen, tuotteiden laatuvaatimuksien kasvaminen ja valmistuslinjojen hyötysuhteiden kehittäminen vaativat paljon prosessin hallitsemiselta; tarvitaan paljon luotettavaa tietoa, että tavoitteisiin päästään. Viime vuosina ympäristönsuojelunäkökohdat ovat olleet esillä ja päästövaatimuksia on tiukennettu jatkuvasti.

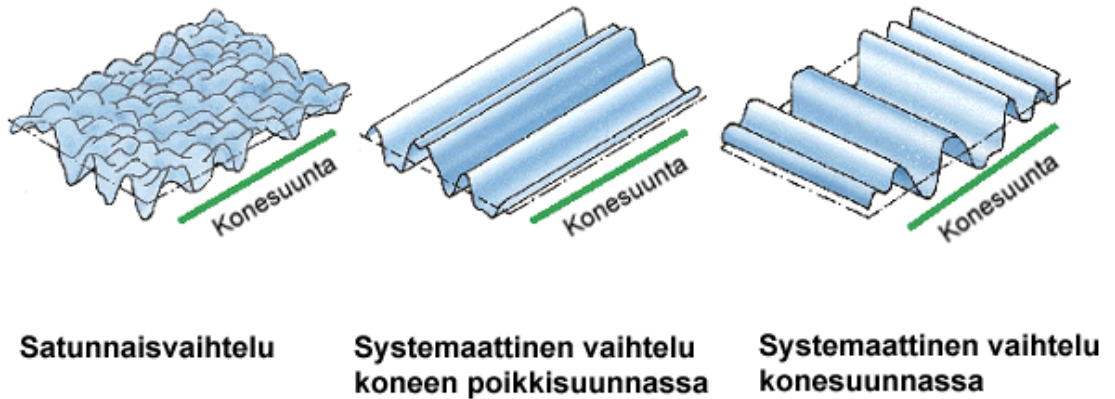
Kiertovesijärjestelmät ovat suljetumpia kuin ennen ja tuorevettä otetaan prosesseihin vähemmän, minkä takia vesissä on enemmän LK-aineita. Tehokkailla ja luotettavilla on-line-mittauksilla voidaan kontrolloida paremmin prosessin kemiallisia ilmiöitä. Tätä kautta korkeammat tuotantotavoitteet, parempi ajettavuus sekä hyötysuhteet, pienemmät laatuviiktelut ja raaka-aine säästöt ovat saavutettavissa.

Kemian hallinnalla on mahdollista vaikuttaa ennalta ehkäisevästi mahdollisiin ongelmiin ja pyrkiä ennustamaan niitä. On tärkeää, että kemiallisille muutoksille herkkä paperikoneen märkäosa pysyisi mahdollisimman stabiilissa tilassa. Säännöllisiä laboratoriomittauksia on pitkään käytetty kemian hallinnan apuna; ne ovat kuitenkin huonoja kertomaan prosessin sen hetkisestä tilasta, koska niillä saadaan vain historiatietoa. Nykyään kemian hallintaan on olemassa useanlaisia analysointilaitteita, jotka pystyvät määrittämään useita erilaisia mittauksia joko jatkuvatoimisesti tai sekvenssimäisesti.

### 9.1. On-line-mittaukset tuotantoajossa

Paperin laatuviiktelun muotoja on kolmea päätyyppiä: MD-vaihtelu, CD-vaihtelu ja jäännösvaihtelu. MD-vaihtelu eli konesuuntainen vaihtelu on paperiradan kulkusuuntaisesti koko rannan leveydellä tapahtuvaa vaihtelua, jota kutsutaan pitkittäisprofiiliksi. CD-vaihtelu eli poikittaissuuntainen vaihtelu on rannassa poikkisuuntaisesti tapahtuvaa vaihtelua. Jäännösvaihtelulla tarkoitetaan sitä jäljelle jäävää vaihtelua, kun kokonaisvaihtelusta on vähennetty MD-vaihtelu ja CD-vaihtelu. /11/

## Suurimittaisen neliömassavaihtelun osatekijät

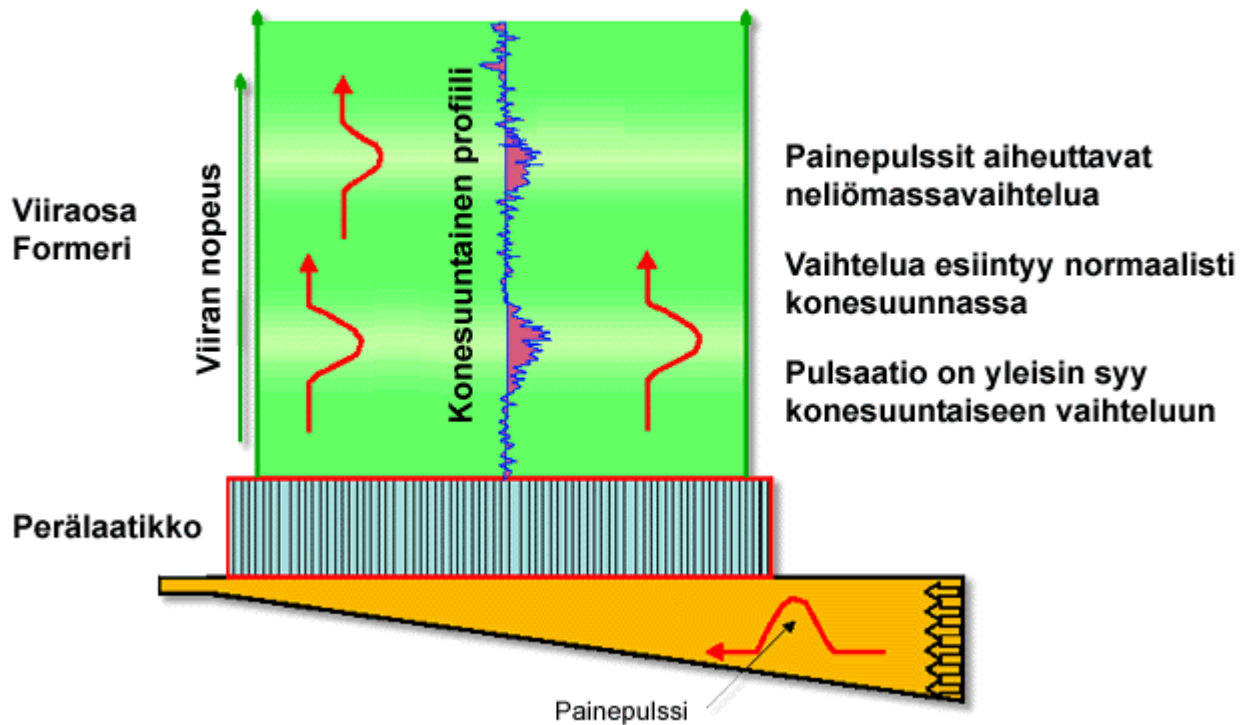


**Kuva 15. Paperikoneen laatuvaihtelumuodot /9/**

Pitkittäis- ja poikittaisprofiilit eivät todellisuudessa ole absoluuttista tietoa, koska raina-analysaattori kulkee vinoittain rataan nähden. MD- ja CD-vaihtelut ovat säännöllisiä ja niihin voidaan helposti vaikuttaa, kun jäännösvaihtelu on epäsäännöllistä ja tuntematonta.

/11/

## Lähestymisjärjestelmän putkiston painepulsaation vaikutus paperin neliömassaan paperikoneen viiraosalla



Kuva 16. Pulsaation aiheuttamat profiilivaihtelut /9/

## 9.2. pH

pH on vesiliuoksen happamuutta logaritmisella asteikolla kuvaava suure. pH:lla kuvataan positiivisten vetyionien aktiivisuutta liuoksessa. pH on erittäin tärkeä hallittava suure paperinvalmistuksessa. Kaikki nestefaaseissa tapahtuvat kemialliset reaktiot ovat tietystä määrin riippuvaisia pH:sta. Varaustila ja pH kytkeytyvät toisiinsa; massan pH:n muuttuessa myös varaustila muuttuu. /12/, /26/

Massan komponenttien anionisuus kasvaa pH:n noustessa. pH on merkittävä suure liuenneiden ja kolloidaalisten aineiden kannalta. LK-aineiden liukoisuus kasvaa pH:n kasvaessa. Tästä syystä esimerkiksi pihka voi LK-aineena aiheuttaa liuetessaan ongelmia tukkimalla viirojen reiät ja aiheuttamalla reikiä paperiin tai saostamalla teloille ja



kuivatussyylintereille. Saostumareikien riskit kasvavat pH vaihteluiden lisääntyessä systeemissä. pH vaihteluita pitäisi pyrkiä välttämään ja pitää ne mahdollisimman tasaisena prosessin eri vaiheissa. /12/, /26/

### **9.3. Johtokyky**

Johtokyky tarkoittaa liuoksen kykyä johtaa sähköä. Johtokykymittauksella on mahdollista analysoida helposti liuenneiden epäorgaanisten ionien kokonaismäärässä tapahtuvia vaihteluita. Johtokyvyllä kuvataan liuoksessa olevien kaikkien ionien vaikutusta liuoksen johtokykyyn, eli johtokykyyn vaikuttavat siis sekä orgaaniset että epäorgaaniset ionit. /26/

Teollisuuteen on nykyään kehitetty tarjolle monenlaisia jatkuvatoimisia johtokykymittareita. Monet näistä ovat nykyaikaisia nelielektroditekniikalla toimivia. Nelielektroditekniikka parantaa tulosten luotettavuutta ja ottaa huomioon kontakti-impedanssin elektrodin pinnan läheisyydestä huomioon.

### **9.4. Lämpötila**

Lämpötila on eräs prosessinhallinnan perussuureista. Lämpötilan nousu lisää liukoisuutta ja kiihdyttää kemiallisia reaktioita. Nopeista lämpötilavaihteluista voi aiheutua saostumia. Vedenpoisto puristin- ja viiraosalla yleensä paranee lämpötilan noustessa. Johtavuus on lämpötilariippuvainen suure. /12/, /26/

### **9.5. Retentio**

Retentio on perälaatikosta virtaavan kiintoaineen jakautumista viiralle ja viirakaivoon kuvaava suhde. Retentiota tarkastellaan erilaisissa muodoissa: kokonais-, täyteaine- tai viiraretentiona. Retentio on hyötysuhdetta kuvaava muuttuja, jonka määrittäminen tehdään perälaatikkoon virtaavan sulpun ja viiralta suotautuvan veden sakeuksista määrittämällä. /3/, /12/, /26/

## 9.6. Varaustila ja zeta-potentiaali

Paperimassan sähköisten varausten merkki ilmoitetaan varaustilalla. Varaustila kertoo lisäksi varauksen suuruuden eli ionien määrän. Varaustilalla voidaan vaikuttaa massan partikkeleiden aktiivisuuteen sähköisten vuorovaikutusten avulla. Varaustilassa tapahtuvat häiriöt voivat aiheuttaa ongelmia prosessiin. /10/

Zeta-potentiaalilla ilmoitetaan paperimassassa olevien kiinteiden partikkeleiden pintojen varaustilat. Zeta-potentiaaliin ei vaikuta partikkelin koko, koska se on vain partikkelin pinnan ominaisuus. Zeta-potentiaalin yksikkönä käytetään millivolttia (mV). Paperimassan zeta-potentiaali on aina negatiivinen.

## 9.7. Sameus

Vedessä olevien LK-aineiden, eloperäisen aineksen ja kiintoaineen määrää voidaan hyvin kuvata sameudella. Perustan sameuden mittaamiselle luovat valon sironta, takaisinheijastuksen mittaaminen tai adsorptio. Sameusmittausta hyödynnetään flokkisuuden mittauksessa. /10/

## 9.8. Ilmapitoisuus

Massasuspension ilmapitoisuutta voidaan mitata nykyään useilla eri tavoilla. Stabiloituneet ilmakuplat vaimentavat ultraääntä, minkä takia ultraääntä voidaan soveltaa käytettäväksi ilmapitoisuuden määrittämiseen. Muita sovelluksia ovat esimerkiksi ali- ja ylipaineen aiheuttamat tilavuuden muutokset massassa.

## 9.9. Redox-potentiaali

Redox-potentiaali kuvaa liuoksen hapetus-pelkistys-kykyä. Redox-potentiaalin mittausta hyödynnetään paperinvalmistuksessa esimerkiksi tutkittaessa massan valkaisuusta jääneiden kemikaalijäännösten suuruutta tai hyllyn pilaantumista. Redox-potentiaaliin vaikuttavat pH, liuenneen hapen määrä ja hapettavat ja pelkistävät konsentraatiot. /10/, /12/, /26/

## 10. IMPEDANSSITOMOGRAFIA

Monessa teollisuuden prosessissa ongelmana on, että kohteen sisälle ei voida nähdä. Impedanssitomografia voi tuoda muutoksen tähän. Yleisesti ottaen impedanssitomografia käsittää kohteen ympäri suoritettuja mittauksia. Matemaattisen mallinnuksen avulla voidaan edelleen luoda leikekuva kohteesta, jotta voidaan visuaalisesti paremmin ymmärtää tapahtuvia ilmiöitä.

Impedanssitomografia perustuu käsiteltävän kohteen sähköisten ominaisuuksien määrittämiseen. Tässä opinnäytetyössä käsitellään erilaisten aineiden profilointia nestefaaseissa niiden ominaisjohtokyvyn perusteella. Massat sekoittuvat erilaisiin suspensioihin, kuten epäedullisiin yhdisteisiin ja ilmakupliin. Aineet on mahdollista tunnistaa johtavuusmittauksen avulla. /20/

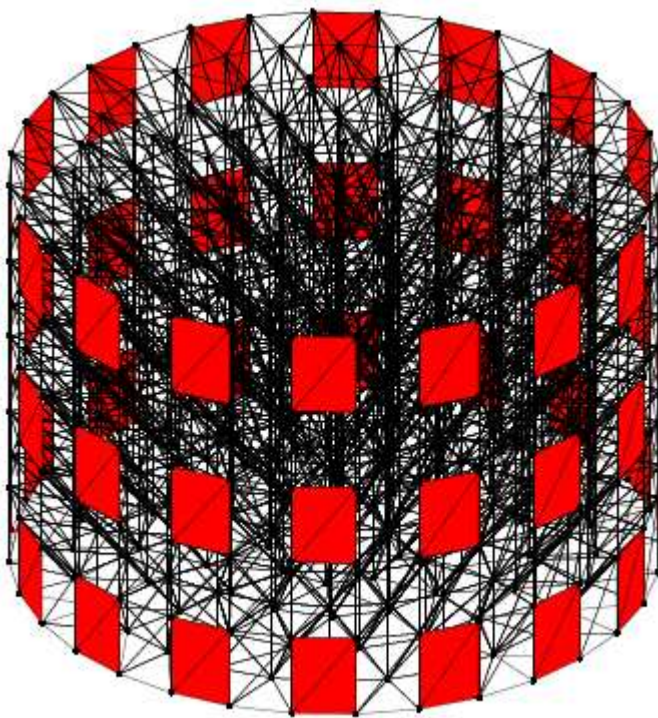
Impedanssitomografian edut muihin vastaavia tuloksia antaviin mittausteknologioihin verrattuna perustuvat siihen, että se mahdollistaa vaivattoman ja erittäin herkän tavan mitata massavirrassa tapahtuvia muutoksia. Suhteellisen pienet kustannukset ja mahdollisuus käyttää on-line-mittausta jatkuvatoimisissa prosesseissa ovat teollisuuden mittauksilta haluttuja ominaisuuksia. /20/

Rajoittava tekijä EIT:n käytössä on aikaisemmin ollut huono resoluutio, mikä on riippuvainen käytettyjen elektrodien määrästä. Ongelma ei yksikäsitteisesti poistu vain lisäämällä elektrodeja; tällöin mitattavien signaalien dynaaminen joukko kasvaa ja esiin tulevat laskennalliset vaikeudet datan suuren määrän takia. Käytetyssä sensorissa oli 64 elektrodia ja resoluutio oli erittäin hyvä, joten nykyään alhainen resoluutio ei rajoita EIT:n soveltamista. /20/

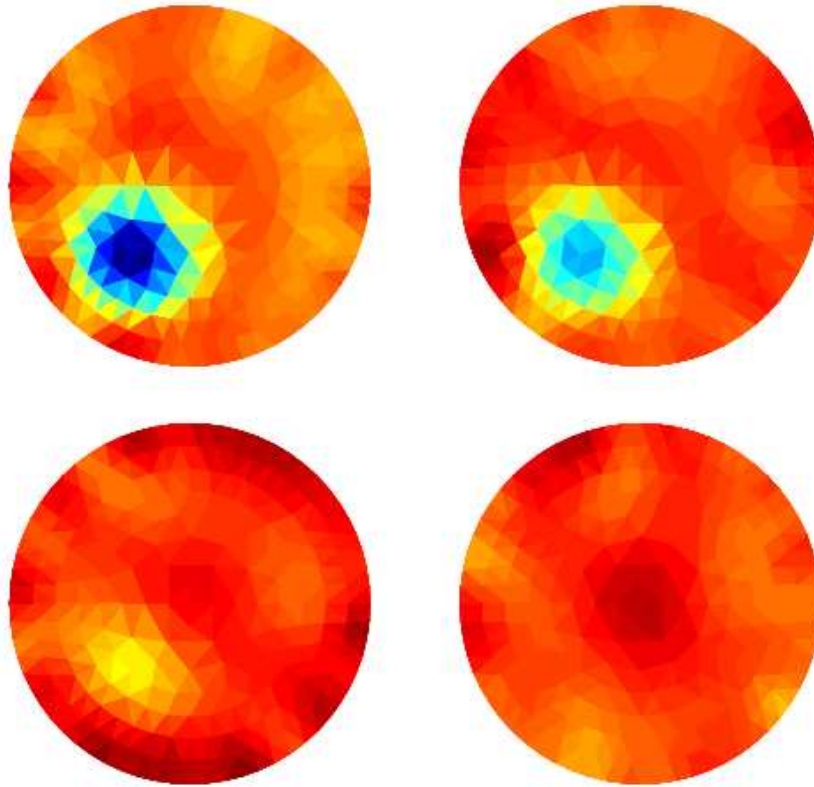
Impedanssitomografia tarjoaa uudenlaisen menetelmän monifaasisten virtauksien mittaamiseen. Impedanssitomografian avulla määritettävän johtavuuden perusteella on edelleen mahdollista määrittää muita ominaisuuksia kohteesta. Johtavuuden perusteella voidaan määrittää esimerkiksi kaikkien flokkien yhteenlaskettu tilavuus, kaikkien flokkien

keskimääräinen tilavuus, prosessin lämpötila ja homogeenisuusindeksi. Kaikki sensorin avulla määriteltävät muuttujat on eritelty yksiköineen liitteessä kolme.

Kuvassa 17 havainnollistetaan impedanssitomografian soveltamista sylinterimäiseen kappaleeseen. Punaiset suorakulmiot kuvaavat elektrodeja ja mustista viivoista muodostuva verkosto kuvaa kyseiselle kappaleelle luotua virransyöttömallia. Kuva 18 esittää sylinterimäisestä kappaleesta luotuja rekonstruktioita.



**Kuva 17. Impedanssitomografian havainnollistaminen sylinterimäisessä kappaleessa /28/**



**Kuva 18. Sylinterimäisestä kappaleesta luotuja rekonstruktioita /28/**

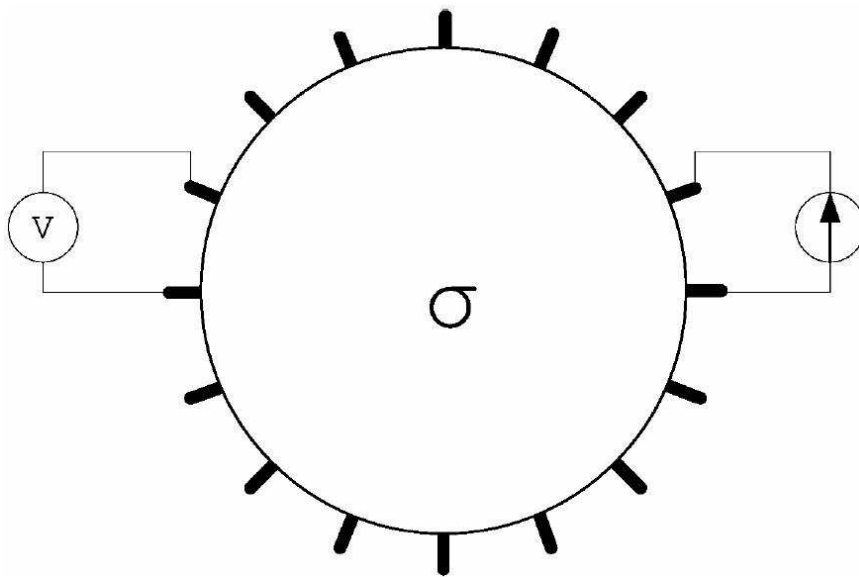
### **10.1. Impedanssitomografian perusteet**

Sovellettaessa EIT:tä prosessin optimointitehtäviin perusideana on asentaa sensoreita putkien tai säiliöiden ympärille, joiden sisällä tapahtuvasta massavirrasta halutaan luoda rekonstruktio. Kohteen pinnalle asetetut elektrodit toimivat säädettävänä muuttujana, joihin syötetään virtaa. Niiden avulla mitataan kohteesta havaitut vastaavat jännitteet. Johtavuusjakaumalle voidaan laskea estimaatti, jos mittauksia toistetaan erilaisille virransyöttökuvioille. Kappaleeseen syötetään yleensä muutaman milliampeerin suuruista virtamäärää 10kHz-100kHz taajuudella. /20/, /25/

Virransyöttöön ja jännite-erojen mittaukseen voidaan käyttää kahta periaatetta, kahden elektrodin menetelmää tai neljän elektrodin menetelmää. Kahden elektrodin menetelmässä virtaa syötetään ja mitataan nimensä mukaisesti samoilta elektrodeilta, kun neljän

elektrodin menetelmässä sekä virran syöttö että mittaus tapahtuvat eri elektrodeilta. /20/, /25/

Parhaaseen tulokseen päästään niin sanotulla täydellisellä elektrodimallilla. Tässä mallissa otetaan huomioon kohteen pinnalla olevien elektrodien lisäksi kontakti-impedanssit. /20/, /25/



**Kuva 19. Neljän elektrodin menetelmä /20/**

Mitattujen jännitteiden, syötettävien virtojen ja sisäisten lähdevirtojen sekä matemaattisten mallien avulla lasketaan estimaatti johtavuusjakaumalle. /25/

Taustalla olevat sähköisyyteen ja magnetismiin vaikuttavat suhteet käsitellään mm. Maxwellin yhtälöillä. EIT:n tapauksessa voidaan tehdä useita oletuksia ongelman yksinkertaistamiseksi. Käytettyjen virtojen taajuuden oletetaan olevan riittävän matala, että siirrettävä virta voidaan jättää huomioimatta. Alue voidaan siitä huolimatta ottaa huomioon ionisena johtimena. /20/

## 11. MITTAUKSET

Hylkymassat toimivat tuotannon puskurivarastona. Hylkyä tulee hyvänkin käynnin aikana muutama prosentti tuotannosta eri prosessin vaiheissa. Hylkymassa lajitellaan ja käsitellään rejekti, kuidutetaan, jauhetaan ja tarvittaessa saostetaan. Näillä toimenpiteillä varmistetaan, että hylkymassa ei tuo ajettavuusongelmia tai laatuvariaatioita paperikoneella.  
/6/

Tässä työssä ennako-oletuksena oli, että päällystetyn hyllyn mukana tulee anionisia häiriöaineita prosessiin, jotka aiheuttavat ajoittain ajettavuusongelmia ja ratakatkoja. Päällysteen pigmentit, sideaineet ja lisäaineet vaikeuttavat märkäosan kemian hallintaa ja aiheuttavat pH-vaihteluita.

Ennako-oletuksena pidettiin, että sensorin indeksit korreloisivat keskenään työn johdannossa määriteltyjen muuttujien kanssa. Keskinäisiä riippuvuussuhteita etsittiin muistakin mahdollisista vasteista antavista positioista. Pääosin tarkasteltiin kuitenkin sensorin hyödyntämistä hyllyn käsittelyn ja annostelujen optimoinnissa hylkylinjan kannalta.

Ratakatkot ovat myös mielenkiintoinen tarkastelun kohde. Annostelun hylkylinjan kautta prosessiin tulevat häiriötekijät on teoriassa mahdollista nähdä sensorin avulla. Ennako-oletuksena oli, että sensorilla voidaan todentaa osa hylystä aiheutuvista ratakatkoista.

Prosessiviiveet on tärkeää ottaa tarkasteluissa huomioon. Savcor Wedge -prosessianalyysityökalun avulla ja aikaisemmin hyllyn säätösäiliön ja perälaatikon välistä viivettä määritettäessä on todettu sen olevan massavirrasta riippuen noin 25-30 minuuttia.

### 11.1.Datan kerääminen

Sensorin antaman datan käsittely muodostaa merkittävän osan tästä työstä. Sensori antaa dataa valtavan määrän, mikä tulee pystyä käsittelemään tehokkaasti. Sensorilta

tallennetaan koko ajan kolmea eri muotoista dataa: jännitettä (Uel), trendidataa (Trend) ja tilavuusmallin luomaa dataa (Sigma). /15/

Käyttöliittymä luo jokaisen edellä luetellun kansion alle alikansioita päivämäärittäin ja edelleen kellonaikojen perusteella. Data laitettiin tallentumaan yhdelle tietokoneen sisäiselle kiintolevylle, josta sitä tarpeen mukaan siirrettiin toiselle sisäiselle kiintolevylle ja verkkokiintolevylle.

Kaikki data pidettiin tallessa jatkotoimenpiteitä varten, koska tarvittaessa tallennettua dataa voidaan ajaa uudestaan sensorin ohjelmistoon kuuluvalla Tomoshopilla. Dataa ajettiin uudestaan Numcoren toimesta koeajojen ajalta ja haettaessa sensorin parametrejä kohdalleen. Sensoriin otettiin käyttöön lämpötilakompensaatio 27.4.2011.

Mittaudatan tallentaminen aloitettiin 11.1.2011. Mittausdata laitettiin siirtymään kiintolevyjen lisäksi trendimuotoisena Savcor Wedge –prosessinanalyysityökaluun prosessipohjaisen datan ja sensorin indeksien keskinäisen vertailtavuuden helpottamiseksi. Tämä toimenpide tehtiin Savcor Oy:n toimesta. Numcoren OPC-serveri laitettiin pyörimään Wedgen palvelimelle, ja data saatiin siirtymään Wedgeen 7.2.2011 alkaen.

OPC-linkki rakennettiin tietokoneen hostnimen varaan. Se olisi ollut toimintavarmuuden kannalta parempi rakentaa tietokoneelle asetetun kiinteän IP:n päälle. Kiinteästä IP:stä tehtiin työtilaus Stora Enson IT-hallinnasta vastanneelle Logica Oy:lle, mutta kiinteää IP:tä ei oltu saatu vielä tämän työn valmistumisen aikaan. Kiinteän IP:n avulla olisi voitu rakentaa etäyhteys Numcoren toimistolle Kuopioon, mikä olisi helpottanut päivityksien tekemistä ja optimaalisten parametrien hakemista sensoriin.

Mittauksia suoritettiin 11.1.2011–3.5.2011 välisenä aikana. Mittauksien suorittamista tullaan jatkamaan tämän insinöörityön valmistumisen jälkeen.



## 11.2.Datan analysointi

Projektin alkaessa ei ollut selvää, miten raakadataa tullaan käsittelemään. Parhaaksi vaihtoehdoksi osoittautui siirtää sensorin antamat indeksit Wedgeen. Näin mahdollistettiin metsoDNA:n antamien indeksien ja sensorin indeksien tarkka keskenäisten riippuvuussuhteiden vertailu, jolla otettiin aikaleimat huomioon.

Mittaustulokset on analysoitu perusteellisesti koko aikaväliltä, jolloin mittauksia on suoritettu. Tuloksia on tarkasteltu yhteistyössä Numcoren kanssa ja Numcore on lisäksi tehnyt omia analyyseja koeajon ajalta sekä hyllyn pilaantumiseen liittyen.

Pääosin datan analysointi on suoritettu allekirjoittaneen toimesta. Tuloksia pohdittiin yhdessä Stora Ensolla projektista vastanneiden henkilöiden kanssa. Datan analysointiin käytettiin seuraavia työkaluja:

- Savcor Oy Wedge - prosessianalyysisovellus
- metsoDNA - prosessinohjausjärjestelmän tiedot
- TIPS (=Tieto Integrated Paper Solution) – laatupäiväkirjat ja vuororaportit
- Henkilökunnan haastattelut
- PK5:n koneenhoitajien ja annostelijoiden vuoropäiväkirjat

Datan analysointi tehtiin pääosin Wedge-prosessianalyysisovellukseen sisältyvien työkalujen avulla. Wedgeen saadaan siirrettyä keräilyyn lähes mikä tahansa data näkymään trendimuodossa. Wedgessä oli valmiiksi keräilyssä lähes kaikki data prosessista, mitä tämän työn tekemiseen tarvittiin. Prosessista lisättiin muutamia positioita sekä lisäksi kaikki Numcoren indeksit edellisessä kappaleessa kerrotun mukaisesti. Wedgeen muokattiin tätä insinööriötä varten soveltuvat käyttäjäasetukset.

Wedge sisältää monia hyviä työkaluja datan käsittelyyn. Tässä työssä on hyödynnetty trenditoimintoja, korrelaatiomatriiseja, ristikorrelaatioita, XY-kuvaajia, jaksollisia vaihteluita, vaihtelun alkuperän etsimistä (MAR-navigaattori) ja aaltomuodon tunnistusta. Wedge osaa määrittää prosessiviiveet ristikorrelaatioita käytettäessä, minkä vuoksi

ohjelmassa erikseen olevia viivästyskomponentteja ei ole käytetty. Lisäksi pääosin oli tarpeen huomioida vain hylyn säätösäiliön ja perälaatikon välinen viive.

Wedgen trenditoiminnot olivat analysoinnin tärkein työkalu. Tarkasteltavat trendit avattiin samaan ikkunaan ja skaalattiin aikaväli halutuksi sekä suodatettiin ratakatkot pois. Sensorin asennuspaikasta johtuen putki kävi välillä tyhjänä, mikä aiheutti suurta vaihtelua sensorin indekseissä. Tästä aiheutuneet piikit suodatettiin myös pois data-analyyseissä, että mahdollistettiin pienienkin muutoksien näkeminen.

Tarkasteltaviksi muuttujiksi aloituspalaverissa määritetyt positiot tarkasteltiin ryhmittäin Numcoren indeksien kanssa. Esimerkiksi hylkyyn liittyen tarkasteltaviksi otettiin kerralla Numcoren indeksien lisäksi päällystetyn ja pohjahylyn suhde, hylyn kokonaismäärä, hylkymassojen sakeudet ja hylyn annostelu suhteessa tuoremassoihin. Muut tarkasteltaviksi määritetyt sekä muita positioita tarkasteltiin samalla periaatteella. Määrittelemättömistä muuttujista merkittävin tarkastelun kohteena ollut ryhmä oli annostelut, sisältäen kaikki paperikoneelle annosteltavat massat, lisäaineet, täyteaineet ja värit.

Ratakatkojen näkyminen sensorin indekseissä oli myös merkittävä tarkastelun kohde. Ratakatkoihin vaikuttamista sensorin avulla tutkittiin trendien avulla, joihin poimittiin sensorin indeksit sekä PK5:n katkoindeksi, mikä ilmoittaa milloin paperikoneella on ratakatko. Mittausaikavälillä tapahtuneet ratakatkot haettiin TIPS-tehdasjärjestelmästä ja arvioitiin ratakatkojen syiden perusteella, oliko niiden mahdollista näkyä sensorin indekseissä.

## 12. MITTAUSLAITTEISTO

Työssä käytetty mittauslaitteisto koostui sensorista ja tietokoneesta. Tässä kappaleessa esitetään mittauslaitteistoa tarkemmin.

### 12.1. Numcore Oy CoreApus

CoreApus tuoteperhe on Numcoren korkeatasoinen tomograafinen sensori. Putkimallista sensoria käytetään useimmiten kuvantamaan massavirtaamia putken sisällä ja se soveltuu hyvin prosessi- ja kemianteollisuuden tarpeisiin, kun halutaan kuvantaa putkia reaaliaikaisesti. Tässä työssä tutkittu sensori oli rakennettu 64-elektrodiseksi. Elektrodit olivat sijoitettu neljän poikkileikkauskehän ympäri, jokaisen kehän sisältäessä 14 elektrodia. Sensorin sisäpinta tehdään muoviseoksesta tai teflonista käyttötärpeen mukaan. Runko ja ulkokuori ovat ruostumatonta terästä. /17/

Numcoren CoreApus – sensori mahdollistaa:

- Putkessa virtaavan materiaalin homogeenisuuden todentamisen
- Ilmapitoisuuden/vaahdon tarkan mittauksen putken koko halkaisijan alueelta
- Sekoitusprosessin tehokkuuden kontrolloinnin
- Virtausnopeuden optimoinnin
- Kemikaalien optimoinnin (esim. vaahdonestoaine).

Sensorin tarkat tekniset tiedot mekaanisista, sähköisistä ja tietoteknisistä asennus sekä käyttövaatimuksista on esitetty tämän työn liitteessä kuusi.



**Kuva 20. Numcore CoreApus –sensori /17/**

## **12.2. Asennusvalmistelut ja käyttöönotto**

Tässä opinnäytetyössä on tutkittu annostelun hylkylinjaan asennettua Numcore Oy:n CoreApus –sensoria. Sensorin asennusvalmistelut hyllyn säätösäiliötä lähtevään putkilinjaan tehtiin joulukuussa 2010 pidetyssä suunnitellussa seisokissa. Putkilinja katkaistiin noin 2,5 metrin korkeudelta hyllyn annostelupumpun painepuolelta. Sensorin mittojen mukaan putkilinjaan tehtiin laippaliitokset sensoria varten. Sensorin ohjainyksikkö kiinnitettiin putkilinjan lähellä olevaan betoniseen tukipilariin.

Sähköistys toteutettiin ottamalla sähköt valaistusverkosta. UPS-suojattu sähköverkko olisi ollut paras ratkaisu häiriöiden ja katkosten minimoimiseksi, mutta valaistusverkko todettiin parhaaksi mahdolliseksi saatavilla olevalla sähköistyksen muodoksi.

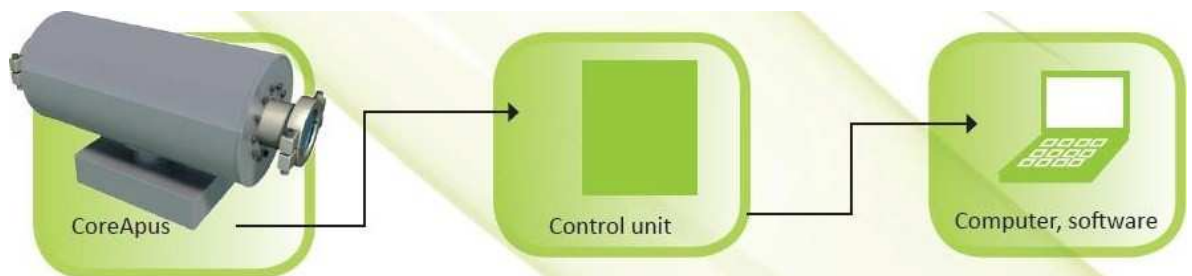
Varsinainen käyttöönotto asennusvalmistelujen jälkeen sujui hyvin nopeasti. Noin puolentoista tunnin kuluttua käyttöönoton aloittamisesta mittausdatan tallentaminen oli jo käytössä. Ylimääräisiä toimenpiteitä aiheutti ainoastaan palomuurin säätäminen sensorin verkkoliikenteelle. Sensorin sijainti prosessissa on havainnollistettu liitteessä 3 ja kuvassa 21.



**Kuva 21. Sensorin sijainti prosessissa**

### 12.3.Kytkenät

Sensoria hallitaan tietokoneella, joka sijaitsee PK5:n määrinpään valvomossa. Sensorista menee ohjainyksikköön jännite- ja virranmittauskaapelit. Ohjainyksikkö on yhdistetty RJ45-verkkoyhteydellä valvomossa olevaan tietokoneeseen. Tietokone on lisäksi kytketty tehtaan sisäiseen verkkoon. Kytkenäjä on havainnollistettu kuvassa 22.



**Kuva 22. Sensorin dataliikenne /17/**

### 12.4.Hallintatietokone

Sensorin hallintaan tilatulle tietokoneelle tuli asettaa tiukat vaatimukset. Sensorilla ajetaan ja tallennetaan kolmiulotteisia tilavuusmalleja, jotka vaativat tietokoneelta paljon suorituskykyä. Erityisesti näytönohjaimen valinnassa tuli olla tarkkana. Toinen tietokoneelle rajoituksia asettava tekijä on sensorin tuottaman datan määrä. Käytetyssä tietokoneessa oli kaksi yhden teratavun sisäistä kiintolevyä, joiden lisäksi käytettiin palvelinhuoneeseen sijoitettua kahden teratavun kokoista verkkokiintolevyä.

## 13. HYLYN JAUHATUKSEN EOK –KOEAJO

Koeajossa asetettiin primääritavoitteeksi, että saadaan todennettua Numcoren sensorin toimivuutta hylkyjauhimen ohjauksessa. Koeajo päätettiin suorittaa, koska data-analyseissä havaittiin, että sensorin indeksien ja hylkyjauhimen asetearvojen välillä oli riittävän vahvoja korrelaatioita asian todentamiseksi koeajolla.

Tarkoituksena oli nähdä sensorin indekseissä muutoksia flokkien lukumäärässä ja tilavuudessa. Näiden tietojen pohjalta sensoria olisi mahdollista käyttää hylkyjauhimen ohjaukseen. Flokkien lukumäärän tai keskimääräisen tilavuuden perusteella hyllyn jauhatusta voitaisiin vakioida. Vakioinnin seurauksena pohjapaperin laatu olisi tasaisempaa ja lisäksi olisi mahdollista säästää energiaa jauhatusprosessissa.

Lisäksi koeajolle asetettiin sekundääritavoitteeksi pohjapaperin muuttuneet lujuusominaisuudet. Tämä tavoite asetettiin vuonna 2004 Veitsiluodon PK1:llä tehdyn insinööriyön tulosten perusteella. Tässä insinööriyössä tutkittiin hyllyn jauhatusta PK1:llä ja todettiin, että hyllyn jauhatuksella voidaan kehittää pohjapaperin ZD-lujuutta merkittävästi. ZD-lujuuden kehittyminen johtuu lyhyiden kuitujen sitoutumiskyvyn paranemisesta.

### 13.1.Koeajon suoritus

Koeajo suoritettiin 9.3.2011 klo 14:00 – 10.3.2011 klo 08:00 välisenä aikana. Paperikoneella oli ajossa koeajon ajan NovaPress 65 g/m<sup>2</sup> -laji. Koeajosuunnitelma tehtiin opinnäytetyöntekijän toimesta ja tarkastutettiin sekä tehtiin tarvittavat muutokset prosessin kehityspäällikkö Jukka Hautamäellä ja käyttöinsinööri Jaakko Mustajärvellä.

Koeajo alkoi siitä, kun hyllyn jauhatuksen EOK nostettiin. Annostelija ilmoitti sylinterimiehelle paperikoneen kuivaan päähän tehdystä muutoksesta ja seuraava pyörivä konerulla nimettiin koeajon ensimmäiseksi. Nostetulla EOK:lla ajettiin yhteensä

kahdeksan konerullaa. Kahdeksan koekonerullan jälkeen EOK palautettiin normaalitasolle ja perään ajettiin loppureferenssit.

Jokaisesta konerullasta otettiin kaksi poikkiratanäytettä. Näytteet käsiteltiin laboratoriossa ajamalla ne Paperlab:llä läpi sekä ottamalla näytteistä ZD-lujuudet käsin. Koeajolta odotettiin muuttuneita pohjapaperin lujuusominaisuuksia. Sensorin indekseissä oli tarkoituksena nähdä erityisesti flokkien lukumäärän sekä tilavuuden muutoksia.

### **13.2.Koeajon tulokset**

Näytteistä määritetyt arvot syötettiin TIPS-tehdastietojärjestelmään, josta seurattiin pohjapaperin ominaisuuksien kehittymistä. Tietoa sensorin indekseissä ja prosessissa tapahtuvista muutoksista seurattiin Wedgen avulla. Paperikone kulki hyvin koeajon ajan, eikä mitään ajettavuusongelmia ilmennyt.

Kumpikaan koeajon tavoitteista ei täytynyt halutulla tavalla. Pohjapaperin ZD-lujuuden kehittyminen oli erittäin pientä, vaikka tuloksien tarkastelussa otettiin huomioon vaikutusten ilmeneminen vasta toisella konerullalla. ZD-lujuus kehittyi alussa aavistuksen verran parempaan suuntaan ja lähti kahdeksannen konerullan jälkeen odotetusti laskemaan.

Kuitenkin yhdennentoista konerullan jälkeen ZD-lujuus lähti nousemaan ja nousi neljännelletoista konerullalle saakka yhtä pientä notkahdusta lukuunottamatta. Kaikesta huolimatta, vaikutukset olivat verrattaen pieniä ja normaalin vaihtelun luokitukseen sopivia. Mitään yksikäsitteistä johtopäätöstä hyllyn jauhatuksen EOK:n nostamisen vaikutuksesta pohjapaperin ZD-lujuuden parantamiseen PK5:llä ei voida tämän koeajon perusteella tehdä.

ZD-lujuuden vaihteluväli oli koeajokonerullilla suurempi kuin perään ajetuilla loppureferensseillä. Pohjapaperin muut lujuusominaisuudet eivät muuttuneet paljon. Koeajokonerullilla oli vain aavistuksen verran paremmat ja tasaisemmat sekä kone- että pitkittäissuuntaiset vetolujuudet.



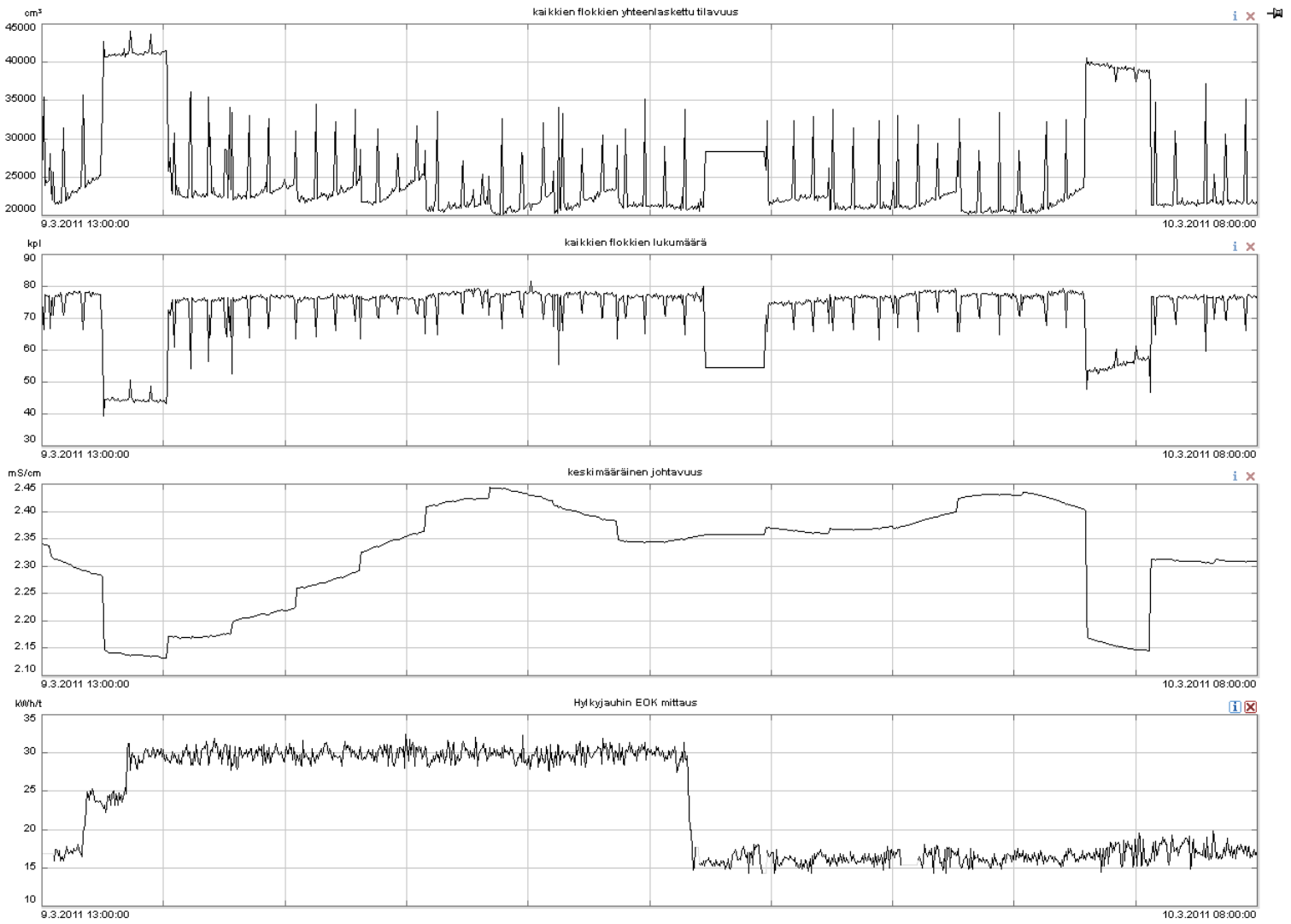
Myöskään koeajon primääritavoite ei toteutunut. Numcoren sensorilla ei käytännössä nähty ennakkoon oletettua flokkien lukumäärän ja tilavuuden muutoksia sensorin indekseissä. Alla olevasta kuvasta nähdään koeajo trendeinä. Kuvasta näkyy hylkyjauhimen kahdessa portaassa muutettu EOK sekä Numcoren sensorin näyttämät keskimääräinen johtavuus, kaikkien flokkien yhteenlaskettu tilavuus ja kaikkien flokkien lukumäärä.

Trendit ovat ajalta 9.3.2011 klo 13:00 – 10.3.2011 klo 08:00 väliseltä ajalta ja niistä voidaan todeta, että ennakkoon oletetuissa kaikkien flokkien lukumäärässä ja kaikkien flokkien yhteenlasketussa tilavuudessa ei tapahtunut mitään merkittävää muutosta. Tapahtuneet muutokset ovat niin pieniä, että niiden ei voida olettaa tapahtuneen tämän koeajon vaikutuksesta. Lisäksi muutokset ovat kokoluokaltaan sellaisia, että niillä ei mahdollisteta hyllyn jauhatuksen vakioimista.

Keskimääräisessä johtavuudessa tapahtuneet muutokset olivat hyvin pieniä ja niiden voidaan osittain olettaa tapahtuneen päällystetyn hyllyn pienestä sakeusvaihtelusta koeajon suorituksen aikana.

Tällä koeajolla todettiin, että Numcoren CoreApus –sensori ei tässä tuotantolinjassa ja tässä positiossa mahdollista hylkyjauhimen ohjausta. Asiaa mietittiin jälkepäin, onnistuisiko hylkyjauhimen ohjaus sensorin avulla, jos sijainti olisi heti hylkyjauhimen jälkeen.

Vaikka tulokset tälle koeajolle olisivat parempia sensorin sijaitessa hylkyjauhimen perässä, kyseinen positio ei kuitenkaan mahdollistaisi muiden tässä projektissa tutkittavien asioiden määrittämistä riittävän hyvin. Lisäksi saavutettavat rahalliset hyödyt ja takaisinmaksuaika eivät välttämättä ainakaan tällä tuotantolinjalla kohtaisi, jos käyttökohteena olisi pelkästään hylkyjauhimen ohjaus. Hyllyn jauhatus on otettu käyttöön PK5 tuotantolinjassa vasta 2000-luvulla, jota ennen on pärjätty varsin hyvin ilman hyllyn jauhatusta.



**Kuva 23. Hyllyn jauhatuksen EOK –koeajo**

## 14. SENSORIN KOEKÄYTÖN TULOKSET

Sensorin soveltamista annostelun hylkylinjalla tutkittiin erilaisten CASE-tilanteiden avulla. Tässä kappaleessa esitetään tutkitut CASE:t.

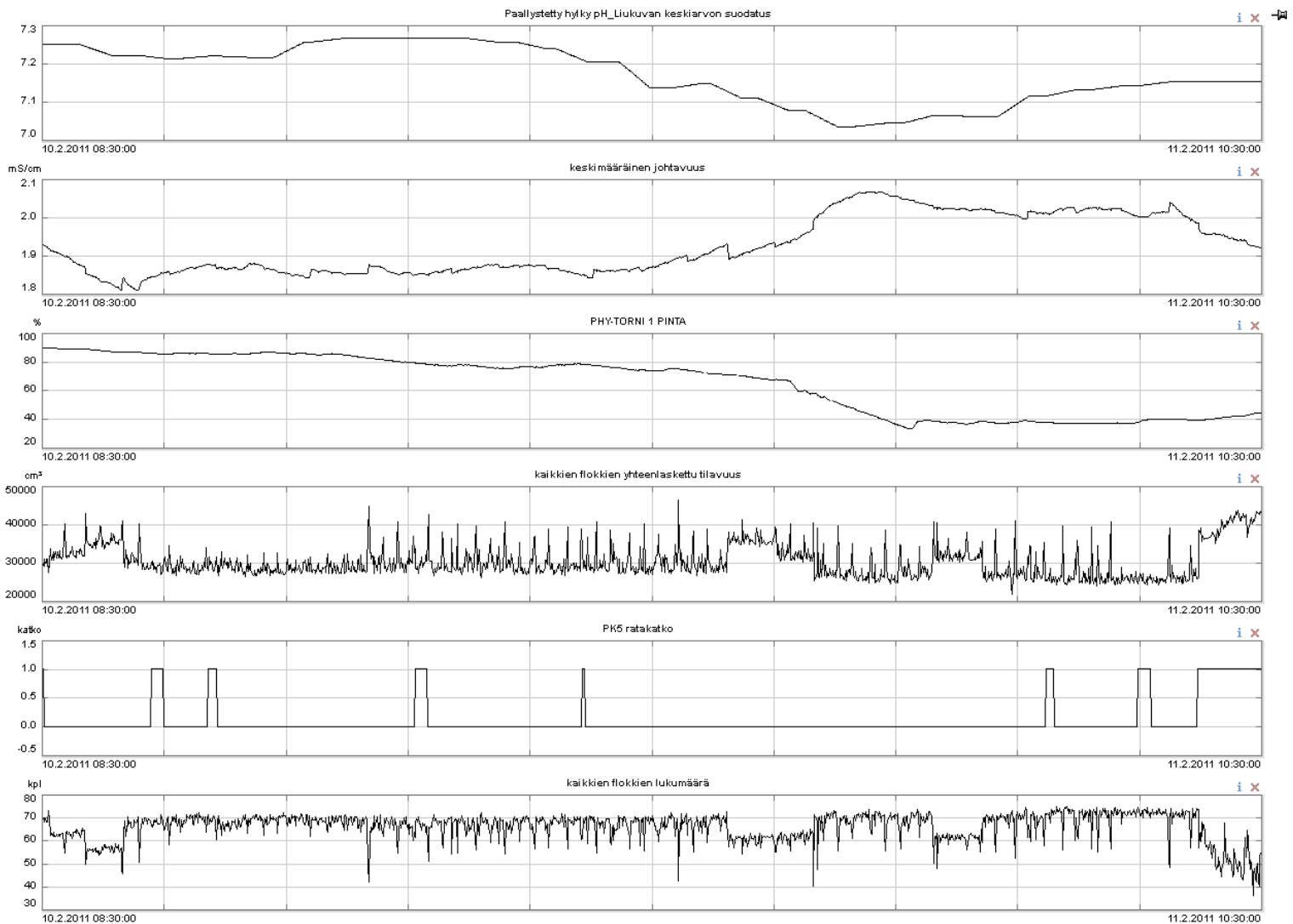
### 14.1.CASE: Päällystetyn hyllyn pH:n havaitseminen

Data-analyseissä havaittiin sensorin keskimääräisen johtavuuden herkkä reagoiminen päällystetyn hyllyn pH-vaihteluihin. pH-vaihtelut ovat paperinvalmistuksessa hyvin epätoivottuja, koska ne horjuttavat määränpään kemian stabilisuutta. Teoriassa päällystetyn hyllyn pH-vaihteluiden tulisikin näkyä sensorilla, johtuen vesifaaseissa tapahtuvien kemiallisten reaktioiden pH-riippuvuudesta.

Päällystetyn hyllyn pH:n laskiessa kalsiumkarbonaatin hajoaminen näkyy keskimääräisessä johtavuudessa nousuna. Negatiivinen korrelaatio on vahva. pH:n laskiessa liuenneiden ionien määrä kasvaa ja nostaa varaustilaa. Päällystetty hylky on mikrobitoiminnalle ideaalinen kasvupaikka, johtuen pitkistä viipymäajoista ja ravintopitoisuudesta. Sensorilla voidaan havaita päällystetyn hyllyn pilaantuminen.

Rahallista arvoa tälle havainnolle tässä positiossa ei käytännössä saada, koska samat määritteet saadaan tehtyä määränpään kemiallista tilaa seuraavalla kajaaniWEM-analysointilaitteella.

Kuvassa 24 on esimerkki, miten sensorin keskimääräisellä johtavuudella voidaan havaita päällystetyn hyllyn pH-vaihtelut. Kuvan kaksi ylintä trendiä osoittavat päällystetyn hyllyn pH:n ja keskimääräisen johtavuuden vahvan negatiivisen korrelaation. Havainto on 10.2.2011–11.2.2011 välisellä aikavälillä. Päällystetyn hyllyn pH:n ja keskimääräisen johtavuuden korrelaatio nähdään myös tämän työn liitteenä olevassa raportissa.



**Kuva 24. Päälystetyn hyllyn pH:n ja keskimääräisen johtavuuden korrelaatio**

Päälystetyn hyllyn pH:sta ja keskimääräisestä johtavuudesta tehtiin lisäksi Numcoren määrittäminen Numcoren toimesta PK5:llä käytettävällä päälystetyllä hyllyllä. Numcorella oli rakennettu laboratorio-olosuhteisiin CoreApus –sensori sekä pH-mittari tätä määrittystä varten. PK5:llä otettiin hylkymassaa päälystetyn hyllyn varastotornin näytteenottoventtiilistä kaksi sangollista Kuopioon koetta varten.

Sensori oli toisesta päästä suljettu, ja hylkymassan annettiin olla pilaantumiseen asti sensorissa. Samalla mitattiin keskimääräisen johtavuuden ja päällystetyn hyllyn pH:n keskinäisiä vaikutussuhteita. Päällystetty hylky ei pilaantunut niin nopeasti, kuin tehdasolosuhteissa, mikä varmasti johtuu osittain matalammasta lämpötilasta. Raportti mittauksista on tämän työn liitteenä.

## **14.2.CASE: Ratakatkojen ennustaminen**

Ratakatkojen ennustaminen ja myös niiden määrittäminen on nykytekniikoillakin hyvin vaikeaa. Ratakatkot ovat usein monien muuttujien summa, eikä yksikäsitteistä selitystä ole aina helppo antaa. Päällystetyn hyllyn käyttö aiheuttaa paperikoneella saostumien takia ajettavuusongelmia. Päällystetystä hyllystä johtuvat saostumat ovat tyypillisesti pigmenteistä, lateksista ja pihkasta johtuvia. Päällystepastan sideaineista johtuvia saostumia nimitetään valkopihkasaostumiksi, ”white pitch”.

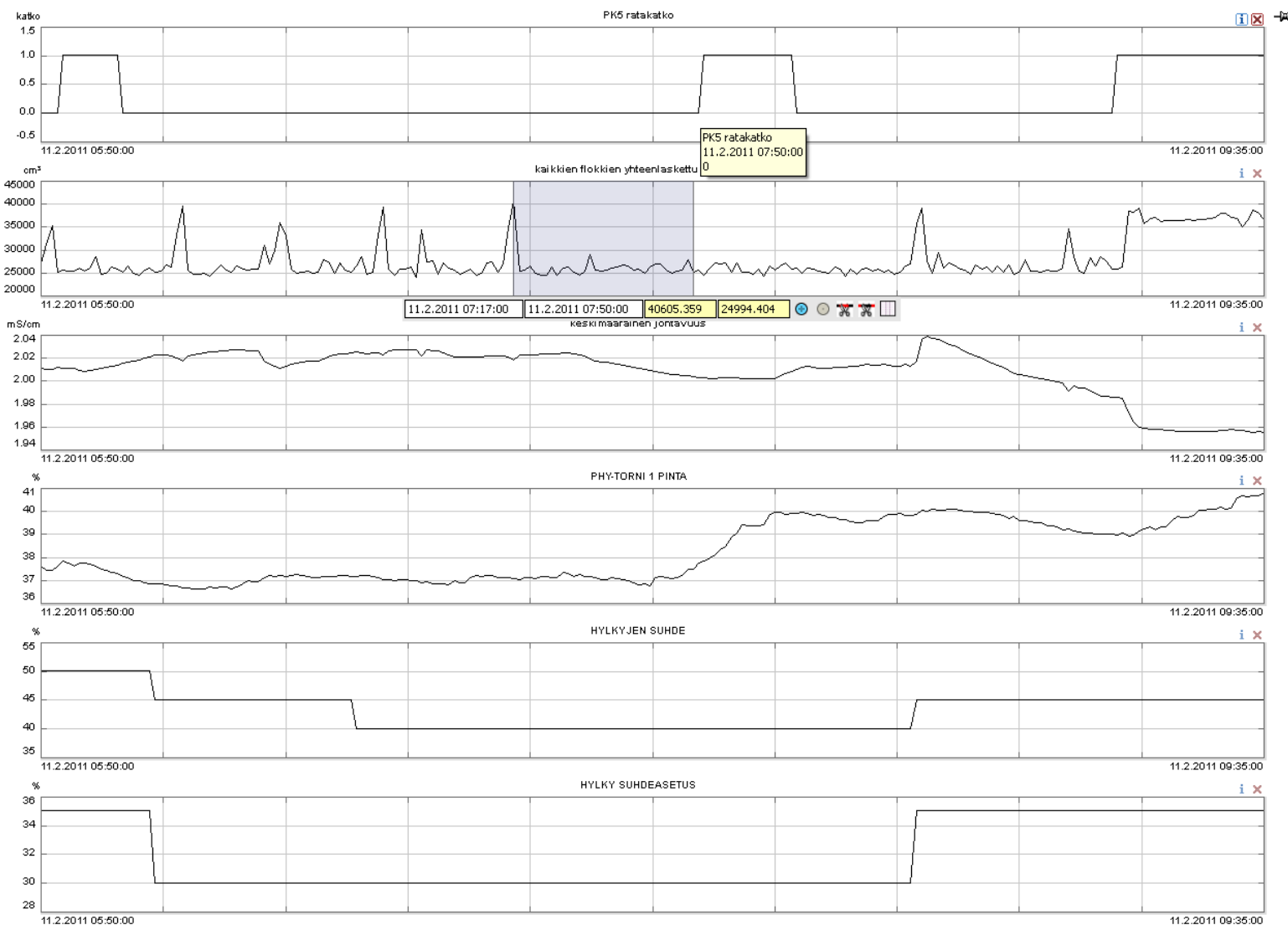
Sensorin reagoimisen perusteella päällystetyssä hyllyssä tapahtuviin kemiallisiin muutoksiin, oltaisiin teoriassa voitu nähdä tästä johtuvia ratakatkoja. Oletettiin, että saostumista ja pienistä rei’istä johtuvat katkot olisivat näkyneet sensorin indekseissä. Vaaleat saostumat ja telaan tarttumiset katkojen aiheuttajana olivat oikeastaan ainoita katkosyitä, joihin löydettiin edes pieniä viitteitä sensorin indekseissä tapahtuvista muutoksista.

Muutokset eivät vain olleet loogisia. Jossain tilanteessa havaittiin merkkejä aiheutuvasta katkosta sensorin indekseissä, kun suurin osa tästä syykoodista aiheutuneista katkoista ei näkynyt millään tavoin.

Katkot analysoitiin koko mittausväliltä ja todettiin kuitenkin, että sensoria ei tässä positiossa sovellu tämän tuotantolinjan ratakatkojen ennustamiseen. Sensorin indeksien käyttäytymiselle ennen ratakatkoja ei löydetty mitään selvää logiikkaa, jonka pohjalta olisi voitu todeta sen toimivuus ratakatkojen ennustajana tässä positiossa.

Katkot analysoitiin mittausvälillä tapahtuneista yksittäisistä katkoista aina katkoryöppyihin. Alla esitetään muutama esimerkki yksittäisistä katkoista ja katkoryöpyistä syineen sekä sensorin indeksien käyttäytyminen kyseisissä tilanteissa.

Kuvassa 25 on esitetty 11.2.2011 klo 07:50 puristinosalla tapahtunut ratakatko, jonka syynä on ollut vaalea saostuma. Prosessiivive sopii kaikkien flokkien yhteenlasketussa tilavuudessa olevan piikin kohdalle. Piikkien välit ovat kajaaniWEM-analysaattorin pesusyklistä johtuvia, minkä takia ei voida varmaksi sanoa ratakatkon näkyneen flokkien tilvauuden nousuna.



**Kuva 25. Puristinosan katko vaaleaan saostumaan**

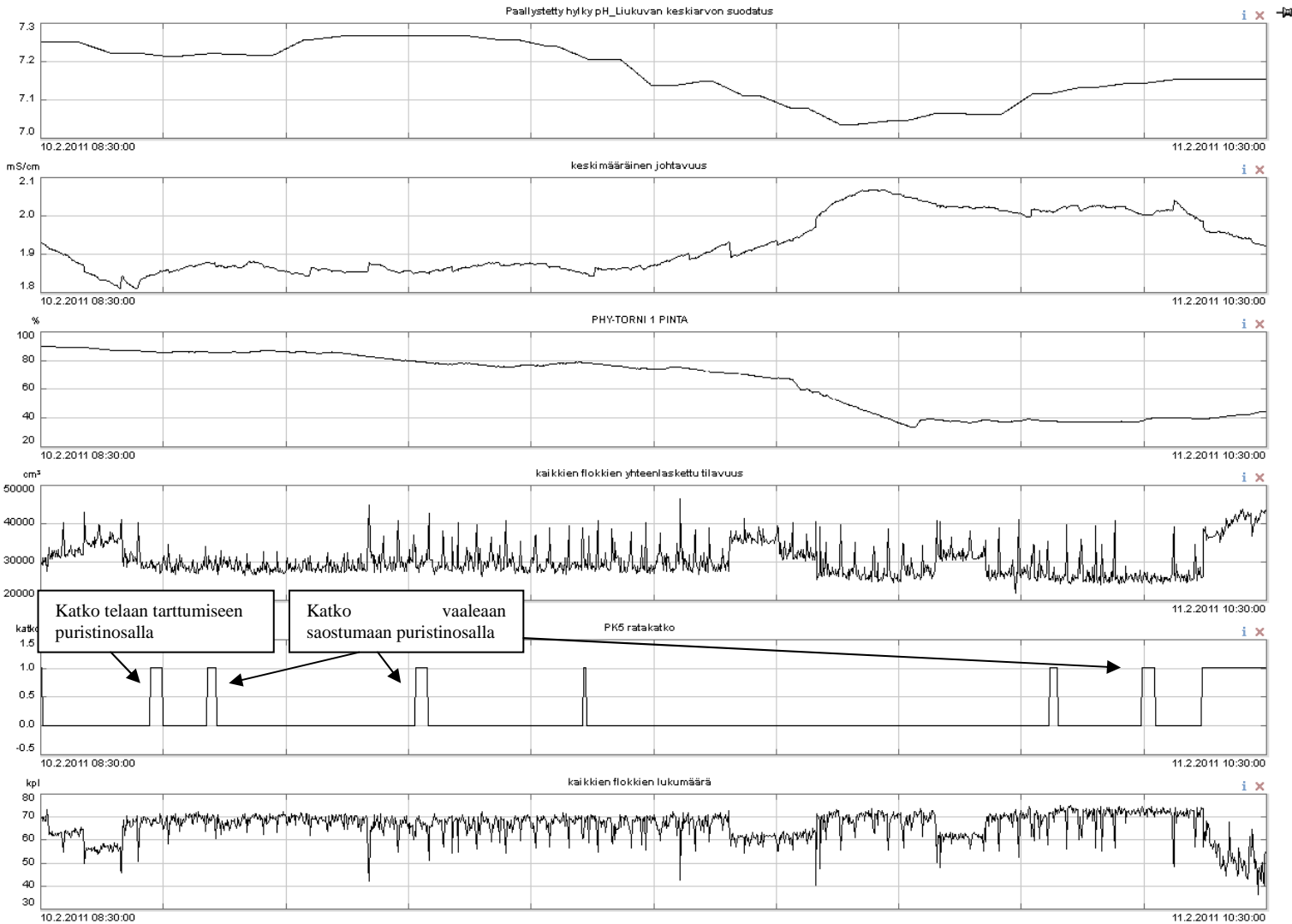
Kuvassa 26 on ollut vastaava katko kuin kuvassa 17. Prosessiviiveen mukaan kaikkien flokkien yhteenlasketussa tilavuudessa on tapahtunut notkahdus ennen katkoa.



**Kuva 26. Puristinosan katko vaaleaan saostumaan**

Kuvassa 27 ensimmäinen katko, telaan tarttuminen, 10.2.2011 klo 10:52 antaisi pieniä viitteitä siihen, että katko on näkynyt sensorin kaikkien flokkien yhteenlasketussa tilavuudessa. Kaksi seuraavaa katkoa, vaaleasta saostumasta puristinosalla takareunasta aiheutuneet 10.2.2011 klo 12:03 ja 16:28 eivät taas anna viitettä, että katkot olisivat

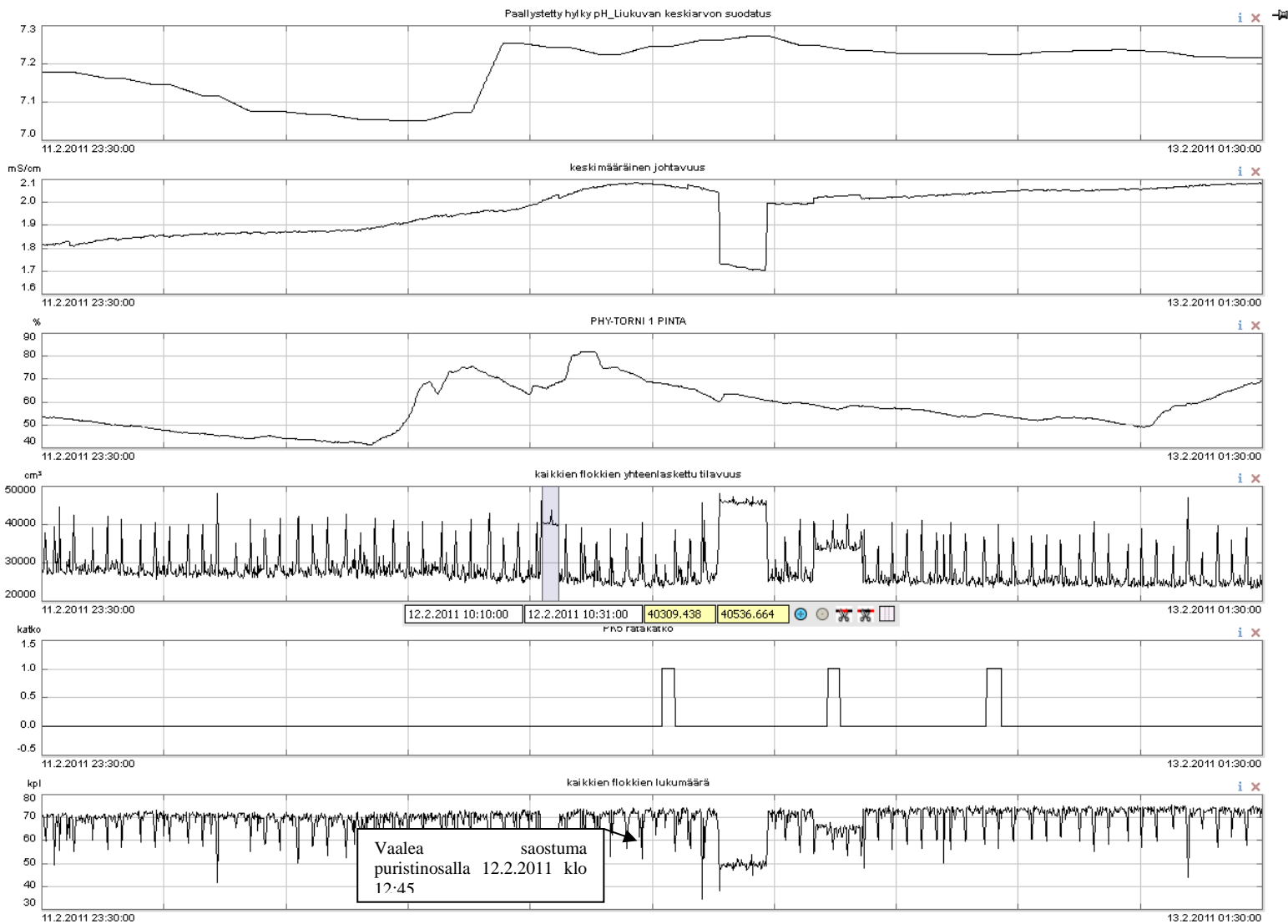
etukäteen havaittu. Myös neljäs kuvaan merkitty katko, vaaleasta saostumasta takareunaan puristinosalla ei anna viitteitä havaitsemisesta etukäteen.



**Kuva 27. Telaan tarttuminen puristinosalla ja kaksi vaaleasta saostumasta puristinosalla aiheutunutta katkoa**

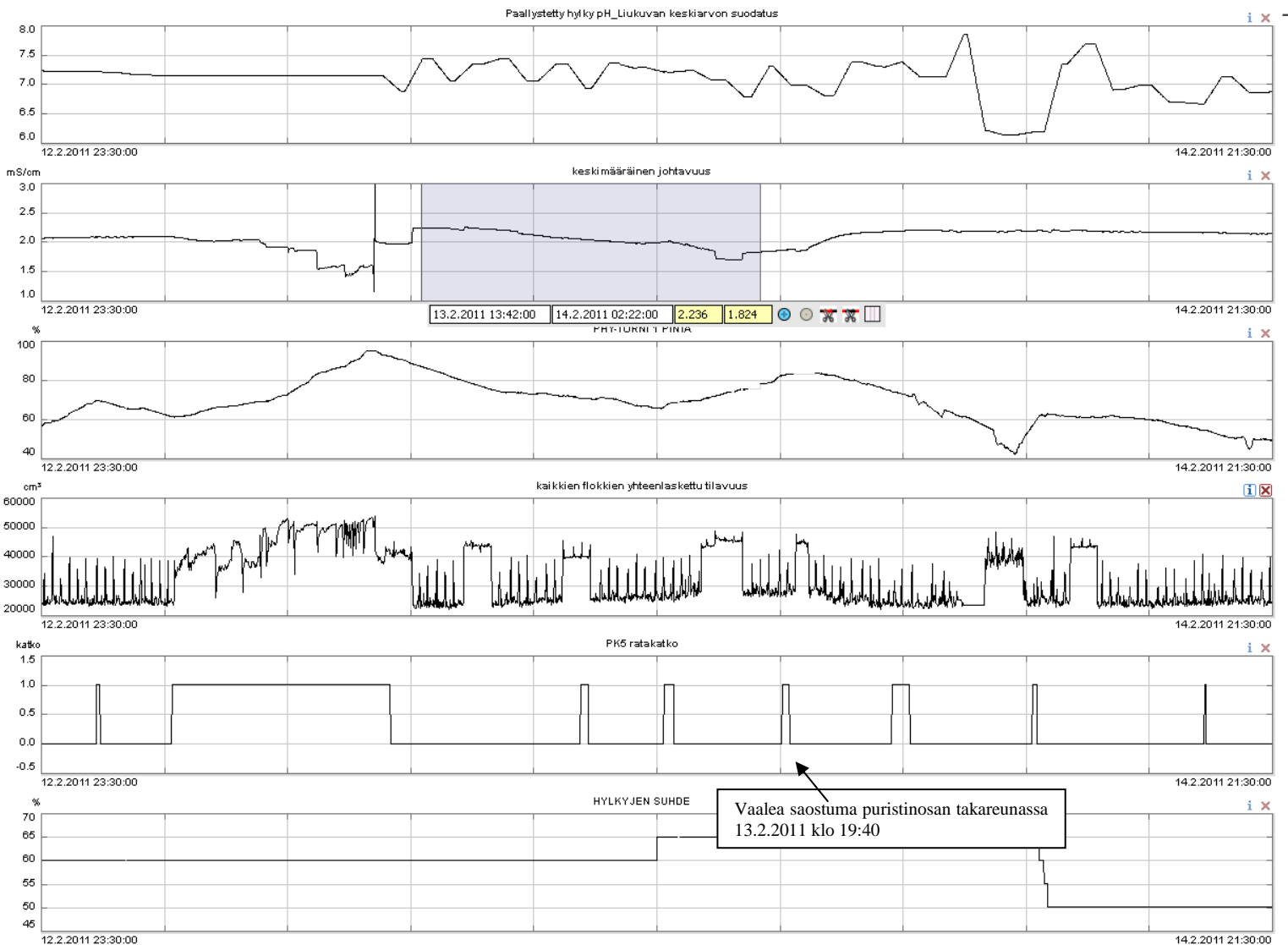
Kuvassa 28 näkyy jälleen vaaleasta saostumasta puristinosalla aiheutunut ratakatko. Prosessiviiveen kohdalla, noin 30 minuuttia ennen katkoa, näkyy sekä kaikkien flokkien lukumäärän että kaikkien flokkien yhteenlasketun tilavuuden lasku. Vastaavia viitteitä on löytynyt muistakin samasta syystä aiheutuneista katkoista.





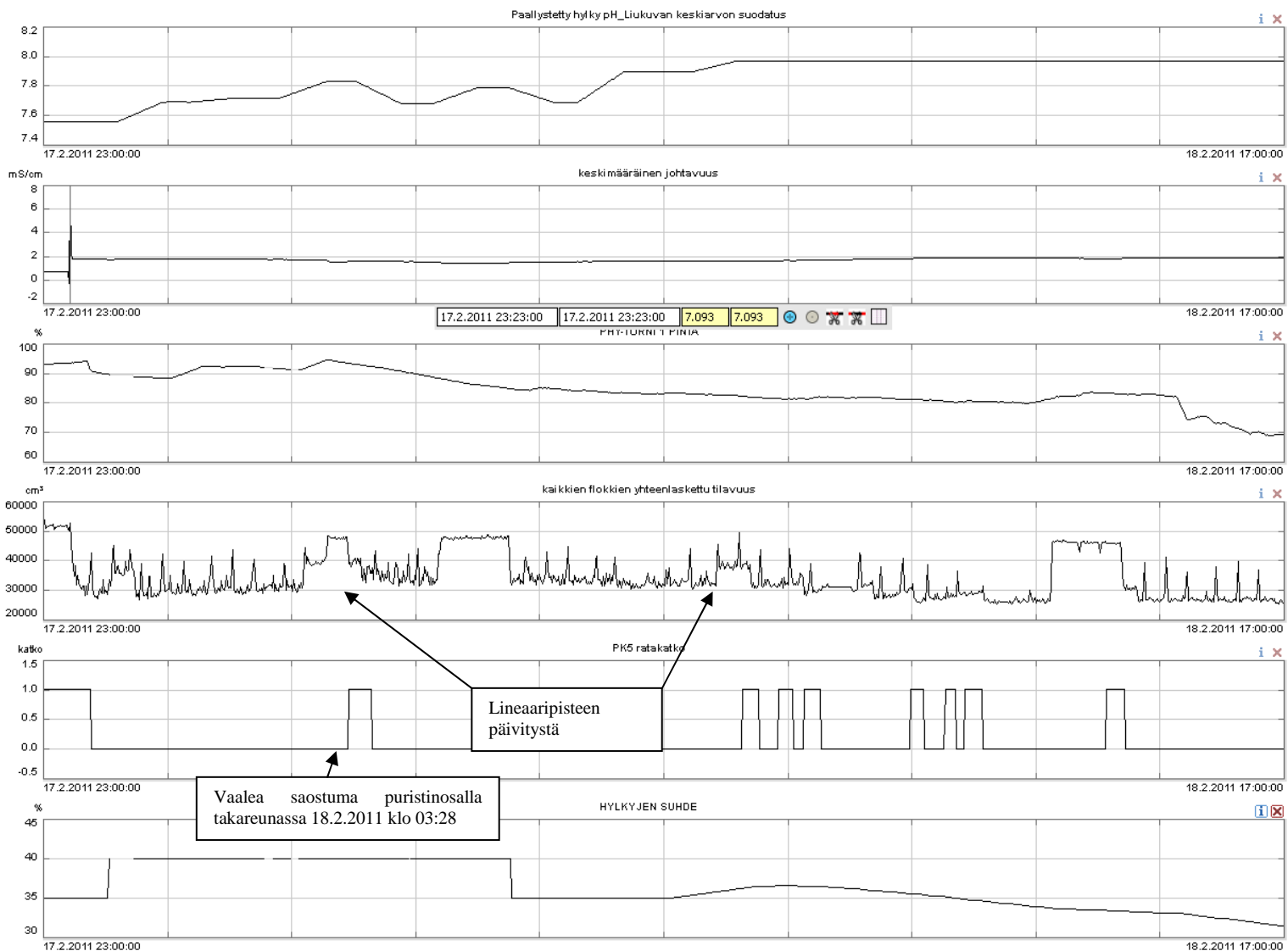
**Kuva 28. Vaalea saostuma puristinosalla**

Kuvassa 29 näkyy taas vaaleasta saostumasta puristinosalla tullut ratakatko. Kaikkien flokkien yhteenlaskettu tilavuus ei anna viitteitä flokkisuuden noususta prosessiviiveen kohdalla ennen katkoa.



**Kuva 29. Vaalea saostuma puristinosan takareunassa**

Kuvassa 30 näkyy kaksi kolmen kappaleen sarjoissa tapahtunutta katkoryöppyä, joille ei ole löydetty yksiselitteistä syytä. Kaikkien flokkien yhteenlasketusta tilavuudesta on hankala vetää johtopäätöksiä katkojen näkymisestä etukäteen, koska sensori on päivittänyt laskennan lineaaripistettä eli kalibrointia. Kuvaan merkittyä katkoa vaaleasta saostumasta puristinosalla ei voida tulkita lineaaripisteen päivityksen vuoksi.

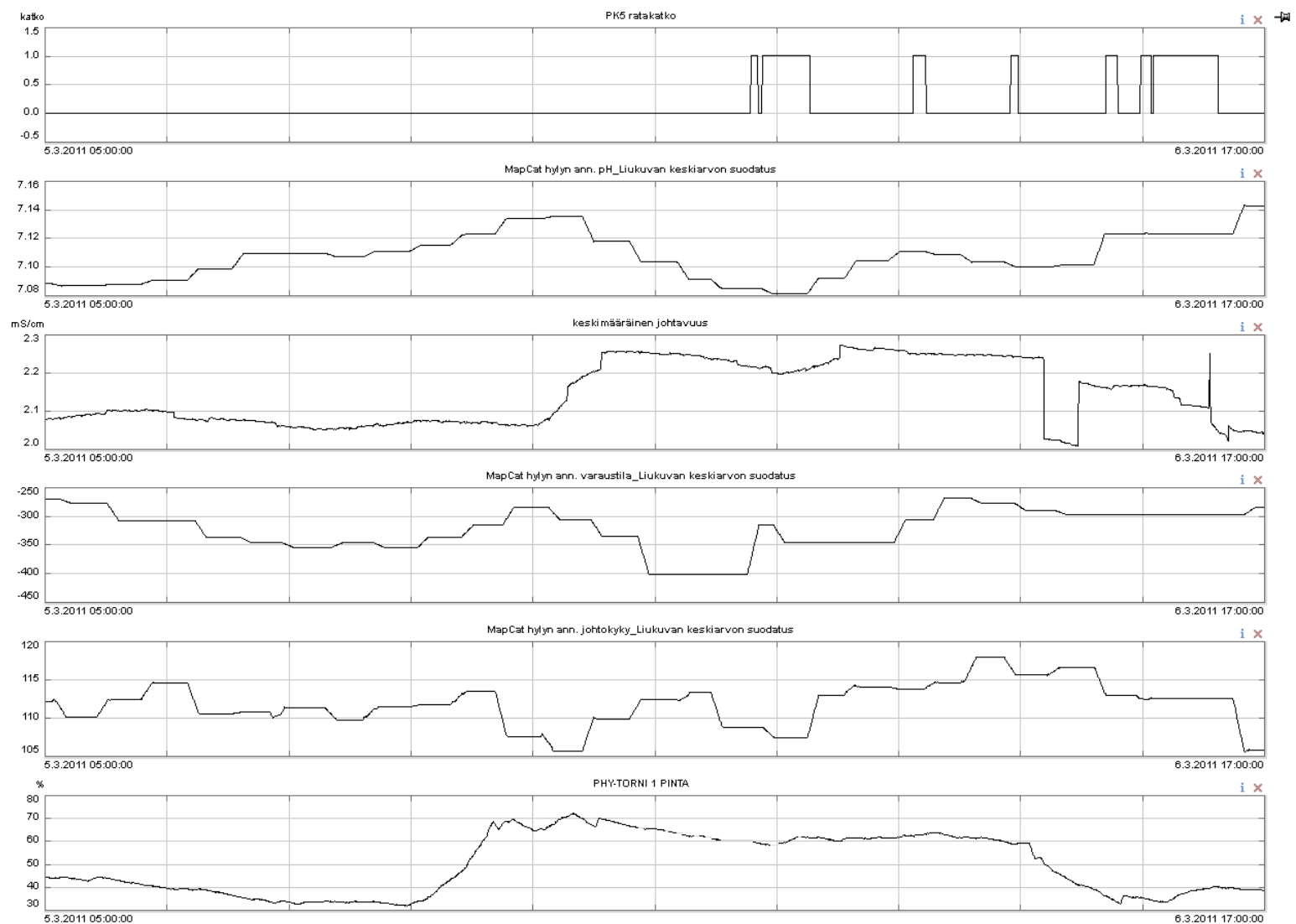


**Kuva 30. Selvittämättömiä katkoryöppyjä**

Vaikka katkot voitaisiin varmasti todentaa näkyvän sensorin indekseissä, tulisi edelleen miettiä mistä saataisiin konkreettinen rahallinen hyöty irti. Jos katkot voitaisiin nähdä noin 30 minuuttia aikaisemmin, mihin voitaisiin vielä vaikuttaa. Vaaleista saostumista nähtävät ratakatkot voidaan ehkä osittain todentaa, mutta lyhyestä reagoitivistä johtuen näihin vaikuttaminen märkäosan kemian tilan muuttamisella ei tapahdu hetkessä. Toisaalta saostumista aiheutuviin katkoryöppyihin olisi ehkä mahdollista vaikuttaa.

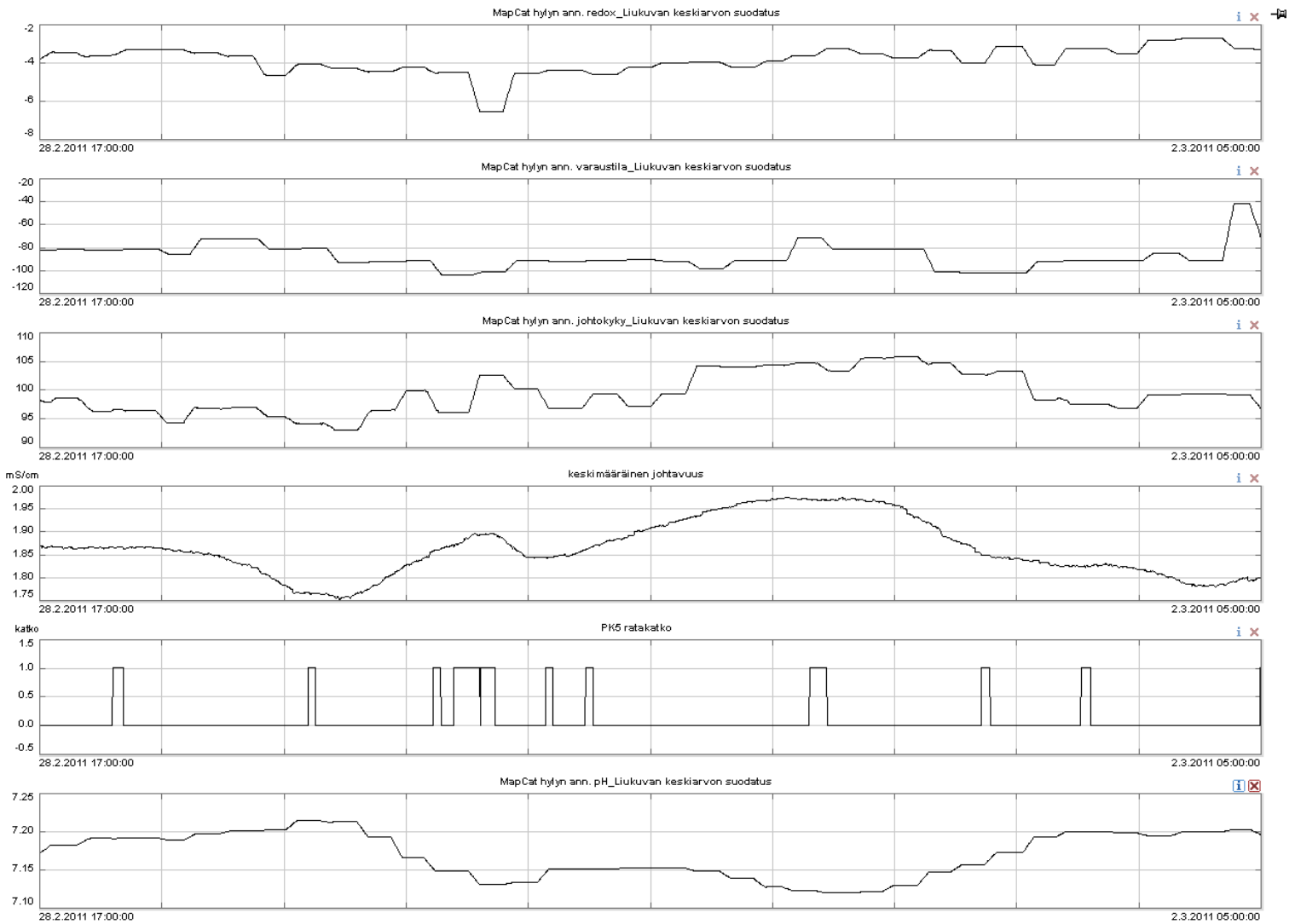
### 14.3.CASE: Hyllyn annostelun pH ja johtokyky

Sensorin indekseistä keskimääräinen johtavuus korreloi hyvin hyllyn annostelun pH:n ja johtokyvyn kanssa. Hyllyn annostelun pH:n muutokset heiluttavat märämpään kemian tilaa ja aiheuttavat epäsuotuisaa vaihtelua hyllyn annostelun johtokyvyssä sekä varaustilassa. Mittaukset, joihin korrelaatiot löytyivät tehdään Metson kajaaniWEM –analysaattorilla. Tästä syystä tämä tieto ei tämän tuotantolinjan tässä positiossa tuo mitään konkreettista hyötyä. Tuloksilla voidaan ainoastaan varmentaa ja kompensoida kajaaniWEM-analysaattorin mittaustuloksia, mille ei kuitenkaan ole tarvetta, koska kajaaniWEM on todettu luotettavaksi kyseiseen tarkoitukseen.



### Kuva 31. Hylyn annostelun pH:n ja johtokyvyn vaihteluiden näkyminen

Kuvassa 31 näkyy hylyn annostelun pH:n ja johtokyvyn korrelaatio keskimääräisen johtavuuden kanssa. Kuvassa nähdään lisäksi vaahdonestoaineen annosteluhäiriötä seurannut katkoryöppy. Vaahdonestoaineen annosteluongelmista seurasi vaikeuksia retention hallinnassa ja katkoja saostumista ja telaan tartumisista.



### Kuva 32. Keskimääräisen johtavuuden korrelaatio kajaaniWEM –analysointiin mittauksiin hylystä

Myös kuvan 32 perusteella voidaan todeta, että sensorilla pystytään havaitsemaan hyllyn annostelun johtokyvyssä sekä pH:ssa tapahtuvia muutoksia sensorin keskimääräisen johtavuuden avulla. Kuvassa 33 nähdään vielä Wedgellä tehty korrelaatiomatriisi keskinäisistä riippuvuussuhteista kuvassa 32 mainitulla aikavälillä.

	MapCat hyllyn ann. redox_Liukuvan keskiarvon suodatus	MapCat hyllyn ann. varaustila_Liukuvan keskiarvon suodatus	MapCat hyllyn ann. johtokyky_Liukuvan keskiarvon suodatus	keskimääräinen johtavuus	PK5 ratakato	MapCat hyllyn ann. pH_Liukuvan keskiarvon suodatus
MapCat hyllyn ann. redox_Liukuvan keskiarvon suodatus	1	-0,20	-0,76	-0,77	0,04	0,72
MapCat hyllyn ann. varaustila_Liukuvan keskiarvon suodatus	-0,20	1	0,35	0,31	0,12	-0,42
MapCat hyllyn ann. johtokyky_Liukuvan keskiarvon suodatus	-0,76	0,35	1	0,80	-0,04	-0,92
keskimääräinen johtavuus	-0,77	0,31	0,80	1	-0,10	-0,69
PK5 ratakato	0,04	0,12	-0,04	-0,10	1	0,05
MapCat hyllyn ann. pH_Liukuvan keskiarvon suodatus	0,72	-0,42	-0,92	-0,69	0,05	1

**Kuva 33. Korrelaatiomatriisi hyllyn annostelun mittauksien korrelaatiosta keskimääräiseen johtavuuteen**

#### 14.4.CASE: MD-vaihteluiden vähentäminen

Yhtenä tavoitteena projektissa oli pohjapaperin laadun optimointi ja konesuuntaisten vaihteluiden vähentäminen. Tätä tavoitetta lähdettiin hakemaan tutkimalla, voidaanko sensorilla vaikuttaa konesuuntaisen vaihtelun vähenemiseen hyllyn annostelulinjan kautta ja edelleen parempiin pohjapaperin profiileihin.

Mitään merkkejä konesuuntaiseen vaihteluun vaikuttavista tekijöistä ei sensorin indekseissä tässä positiossa havaittu. Toki konesuuntaista vaihtelua aiheuttavat tekijät eivät ole hyllyn annostelupumpun jälkeisessä positiossa merkittävässä asemassa lopputuotteen

konesuuntaisen vaihtelun kannalta. Mahdolliset muutokset tilavuusvirrassa tasaantuvat vielä sekoitussäiliössä ja konesäiliössä.

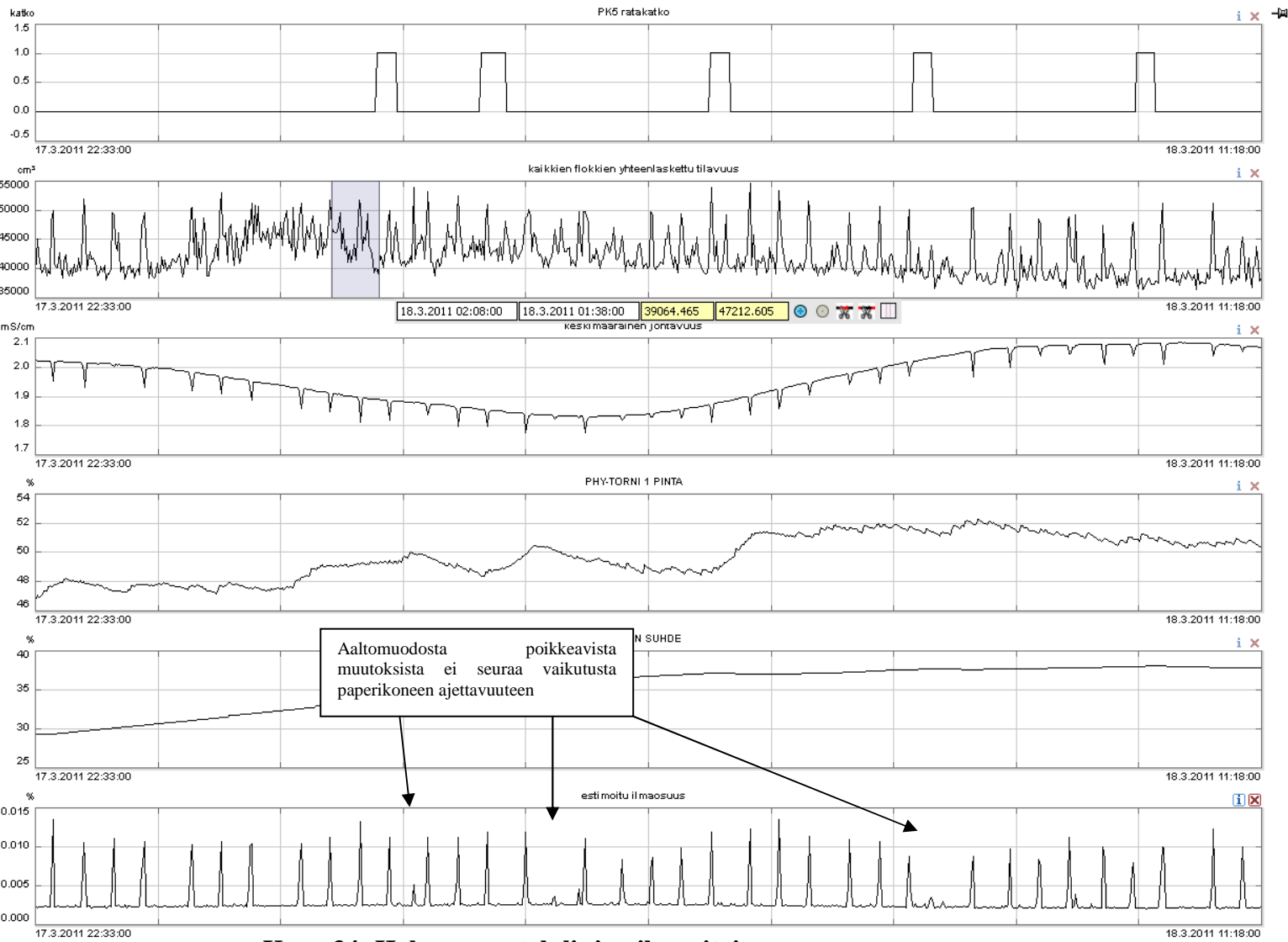
### **14.5.CASE: Hyllyn annostelulinjan ilmapitoisuuden tutkiminen**

Vaahtoaminen ja kaasuuntuminen aiheuttavat häiriöitä paperinvalmistuksessa. Päällystetty hylky raaka-aineena on herkkä vaahdonmuodostukselle käytettäessä päällystyspigmenttinä kalsiumkarbonaattia. Päällystetyn hyllyn pH:n laskiessa kalsiumkarbonaatin liukeneminen kiihtyy, mikä johtaa hiilidioksidin vapautumiseen reaktiossa. Vapautunut hiilidioksidi muodostaa vaahtoa.

Annostelun hylkylinja on tästä syystä mielenkiintoinen kohde tarkastella ilmapitoisuutta. Ilma on tunnetusti sähkönjohtavuuden termistössä eriste. Numcoren CoreApus –sensori ottaa ilman huomioon eristeenä putken sisällä olevien faasien ominaisjohtokyvyn määrittämisessä. Tästä syystä ilmapitoisuus ja siinä tapahtuvat muutokset ovat teoriassa helppo havainnoida tässä positiossa. Ilmapitoisuudessa tapahtuvat muutokset kertovat myös tässä positiossa liuenneen kalsiumkarbonaatin määrästä.

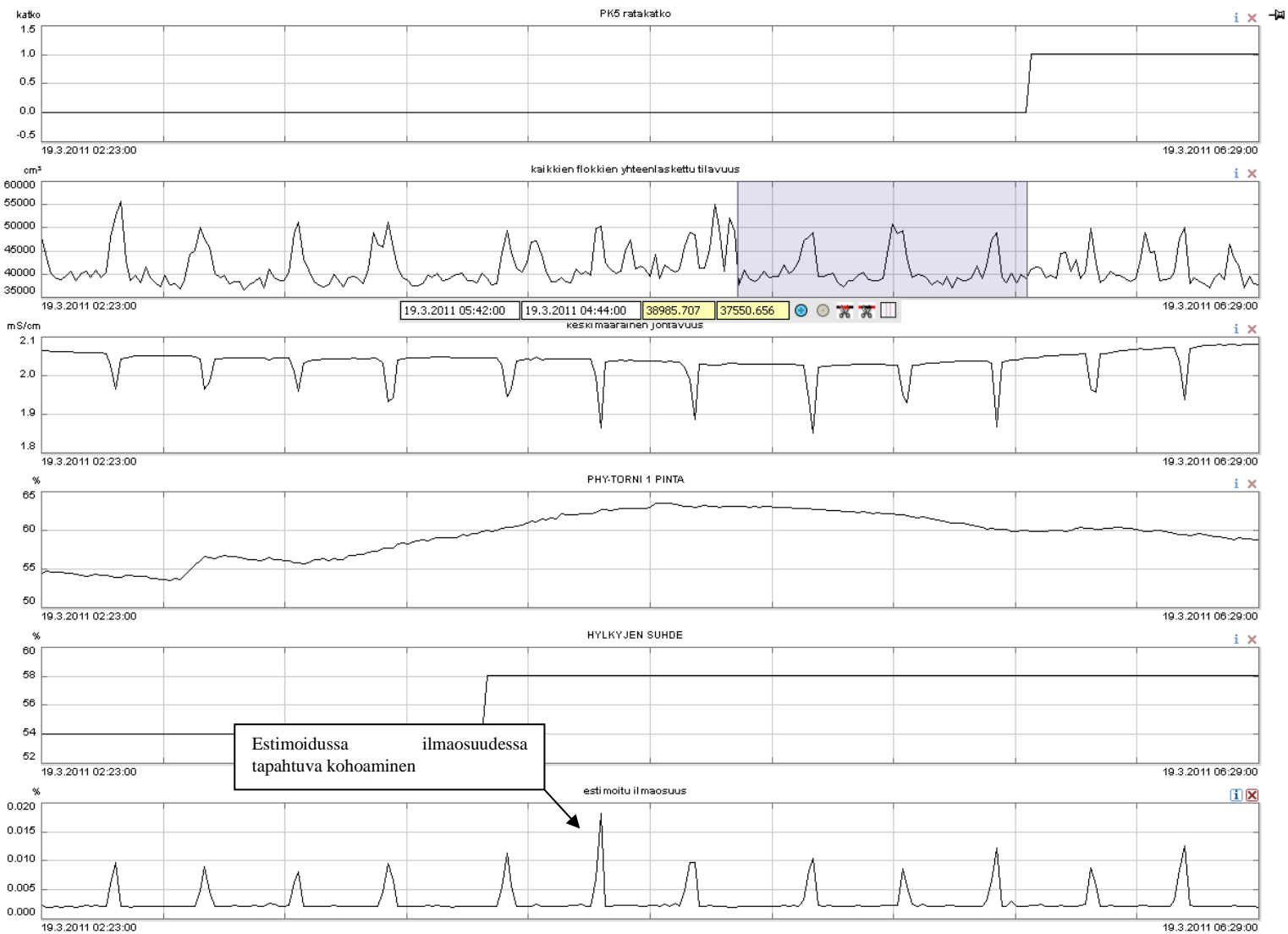
Kuvassa 34 nähdään hyllyn annostelulinjan sensorilla määritetyn estimoidun ilmapitoisuuden vaikutusta selvittämättömiin ratakatkoihin 17.3.2011 klo 22:33 – 18.3.2011 klo 11:18 välisenä aikana. Ottamalla huomioon prosessiviive noin 30 minuuttia, voidaan nähdä, että aaltomuodosta poikkeavat pienet piikit eivät selitä katkoja.

Kuvassa 35 nähdään estimoidussa ilmaosuudessa aaltomuotoon kuulumaton hetkellinen nousu, josta ei aiheudu mitään ajettavuusongelmia. Ilmapitoisuus on tälläkin hetkellä vielä hyvin pieni, mutta suuri suhteutettuna havaintojen perusteella tehtyyn normaaliin vaihteluun ilmaosuudessa.



**Kuva 34. Hilyn annostelulinjan ilmapitoisuus**





**Kuva 35. Estimoidun ilmaisuuden kohoaminen**

Havaitut muutokset ilmapitoisuudessa olivat niin pieniä (sadasosia), että niiden vaikutus käytännön ajettavuuteen ja lyhyen kierron ilmapitoisuuden nousuun on kyseenalainen. Ilmapitoisuudet tulevat tasoittumaan vielä sekoitussäiliössä ja konesäiliössä ennen perälaatikkoon annostelua. Kirjallisuudessa on todettu, että muutaman kymmenesosan ilmapitoisuus lyhyessä kierrossa alkaa vaikuttaa paperikoneen käytännön ajettavuuteen.

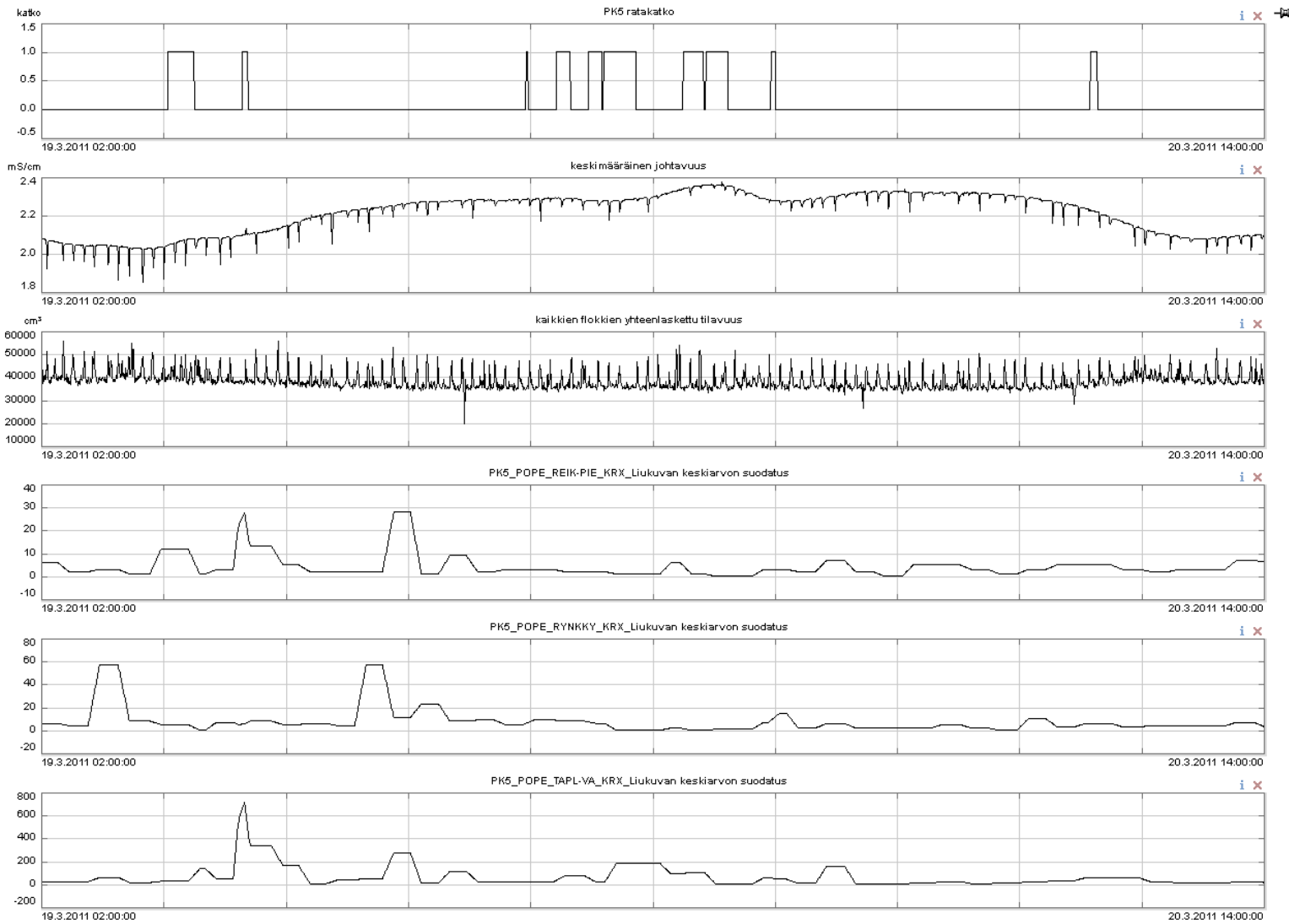
## 14.6.CASE: Pohjapaperin vikamäärien havaitseminen

Pohjapaperin viat ovat monesti päällä jaksottain ja vikojen selvitys määränpään kemian hallinnan kautta on hidas sekä riskejä sisältävä prosessi. Annostelujen muuttamisella voidaan saada kemian tila myös huonompaan suuntaan. Muutoksia tehtäessä olisi erittäin hyvä saada todisteita johtopäätöksien tueksi.

Numcoren sensorilla voidaan tässä positiossa teoriassa todentaa hylkymassasta aiheutuvien ratavikojen esiintymistä pohjapaperissa. Yleisimpiä PK5:llä esiintyviä ratavikoja ovat ULMA:n luokitusten mukaan pienet reiät, vaaleat täplät, tummat täplät, saostumareiät ja rynkky. Todennäköisimpänä havaittavana vikana pidetään pieniä reikiä. Rynkyn havaitseminen sensorin indekseissä on käytännössä hyvin vaikeaa ellei jopa mahdotonta, koska rynkyn taustalla on usein huuven ilmanpoisto- ja korvausilmojen määrät, kuivaturyhmien välisien vetoerojen vaikutukset ja radan kuiva-ainepitoisuus kuivatusosalle tultaessa eli viira- ja puristinosan vedenpoisto kullakin hetkellä.

Kuten kuvasta 36 voidaan todeta, sensorin indekseissä ei voida havaita tästä positioista tällä tuotantolinjalla esiintyvien tyypillisimpien ratavikojen määrän kasvua. Pienten reikien ja vaaleiden täplien huomattava määrän nouseminen ei näy kaikkien flokkien yhteenlasketussa tilavuudessa käytännössä millään tavalla. Lisäksi kuvassa 37 esitetään asiaan liittyen korrelaatiomatriisi vikojen sekä sensorin indeksien keskinäisestä riippuvuussuhteesta kuvan 36 aikavälillä.

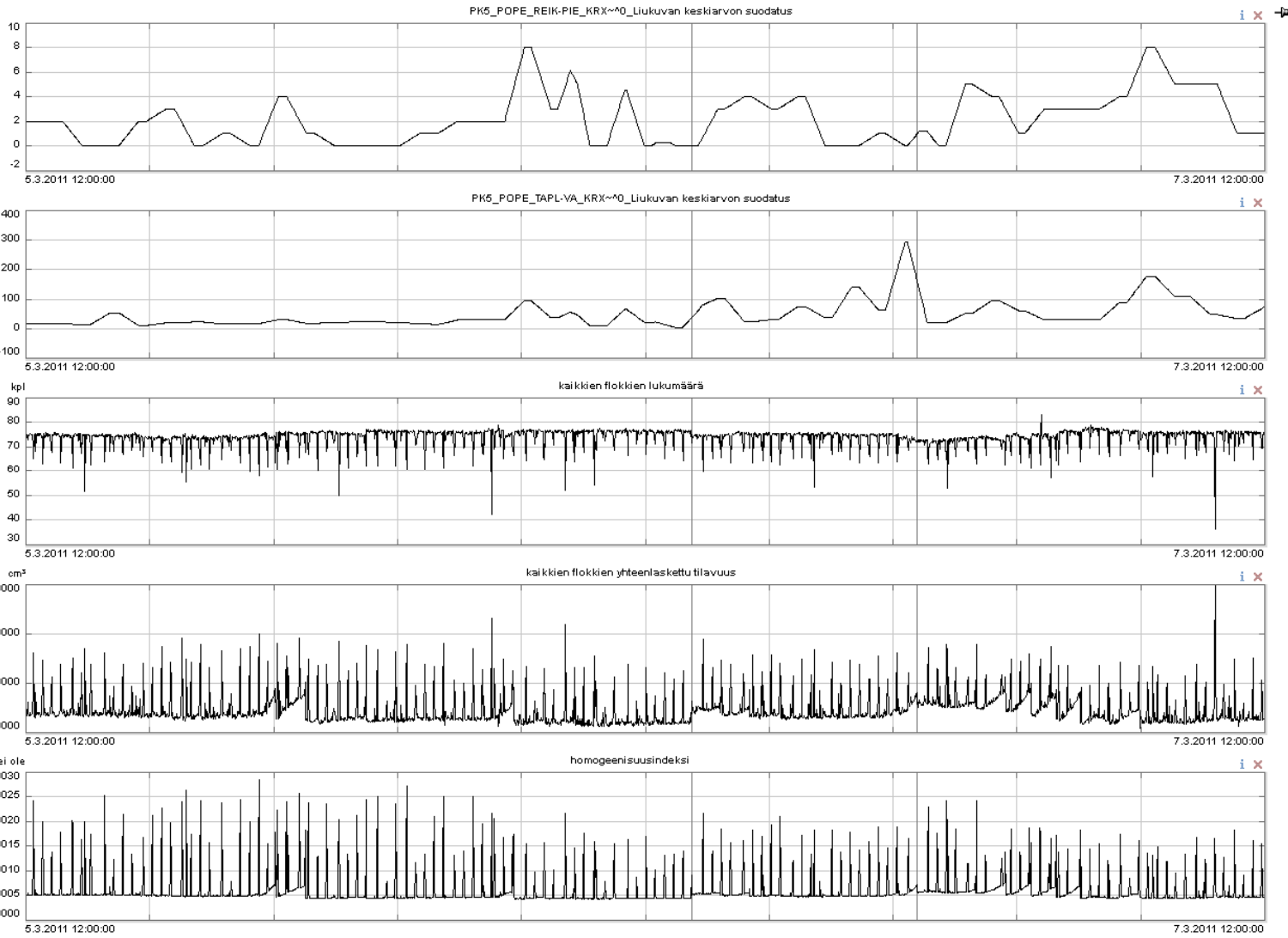
Kuvasta 38 nähdään, että kaikkien flokkien yhteenlasketussa tilavuudessa on tapahtunut tasomuutos, kun vaaleaa täplää on ollut liikkeellä. Tasomuutos ei kuitenkaan sovi yhteen prosessiviiveen kanssa. Kuvasta 39 nähdään kuitenkin se, kuinka kaikkien flokkien yhteenlasketussa tilavuudessa ei ole tapahtunut muutoksia, vaikka vaaleaa täplää on esiintynyt paljon enemmän kuin kuvassa 38.



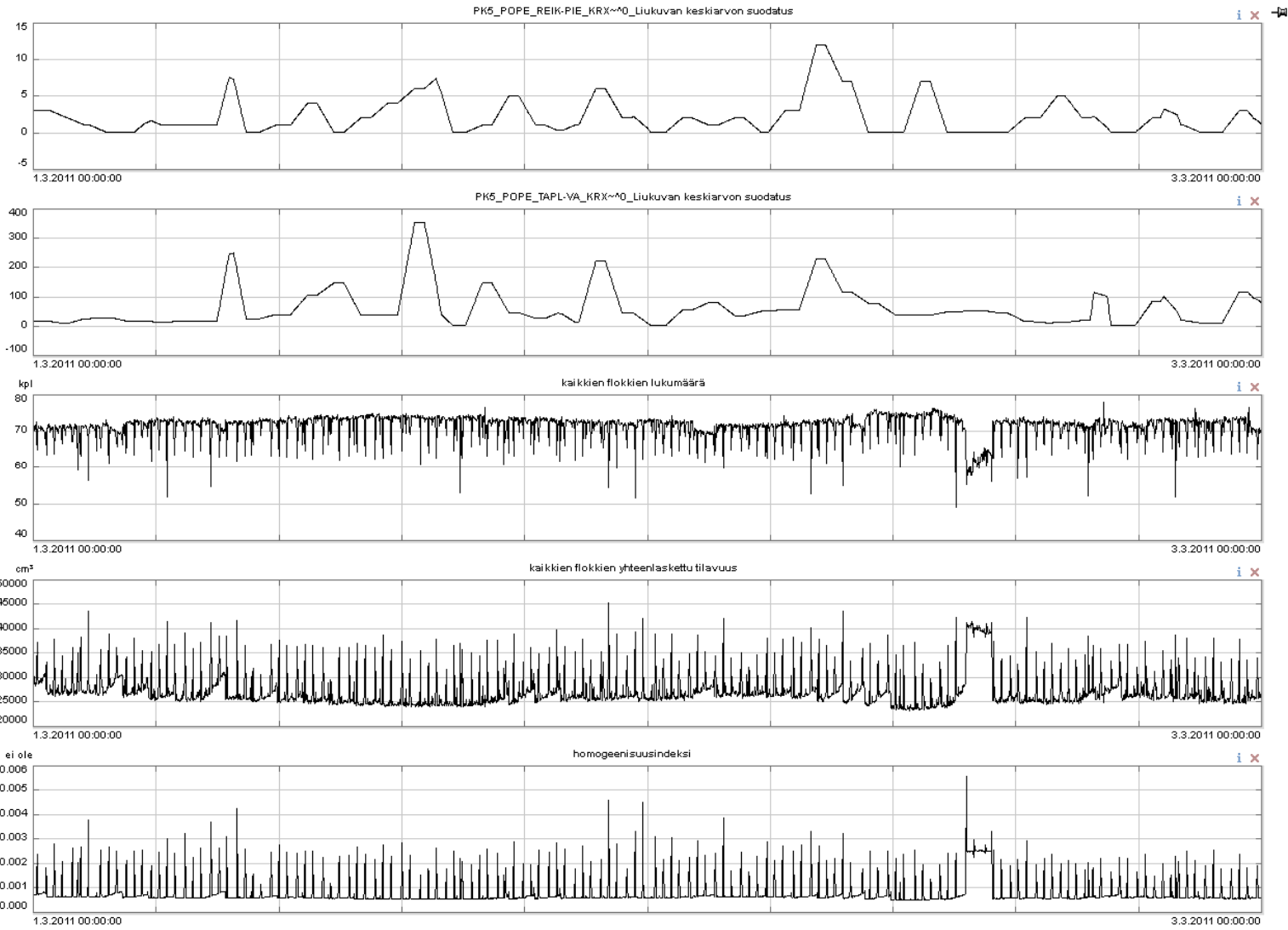
Kuva 36. Vikamäärien havaitseminen sensorin indekseissä

	PK5 rata katko	keskimää räinen johtavuus	kaikkien flokkien yhteenlaskettu tilavuus	PK5_POPE_REIK-PIE_KRX_Liukuvan keskiarvon suodatus	PK5_POPE_RYNKKY_KRX_Liukuvan keskiarvon suodatus	PK5_POPE_TAPL-VA_KRX_Liukuvan keskiarvon suodatus
<b>PK5 ratakatko</b>	1	-0,02	-0,07	-0,02	0,08	-0,06
<b>keskimääräinen johtavuus</b>	-0,02	1	-0,30	0,04	-0,32	0,08
<b>kaikkien flokkien yhteenlaskettu tilavuus</b>	-0,07	-0,30	1	-0,06	-0,01	-0,11
<b>PK5_POPE_REIK-PIE_KRX_Liukuvan keskiarvon suodatus</b>	-0,02	0,04	-0,06	1	0,24	0,22
<b>PK5_POPE_RYNKKY_KRX_Liukuvan keskiarvon suodatus</b>	0,08	-0,32	-0,01	0,24	1	0,20
<b>PK5_POPE_TAPL-VA_KRX_Liukuvan keskiarvon suodatus</b>	-0,06	0,08	-0,11	0,22	0,20	1

Kuva 37. Sensorin indeksien korreloiminen tyypillisimpiin ratavikoihin



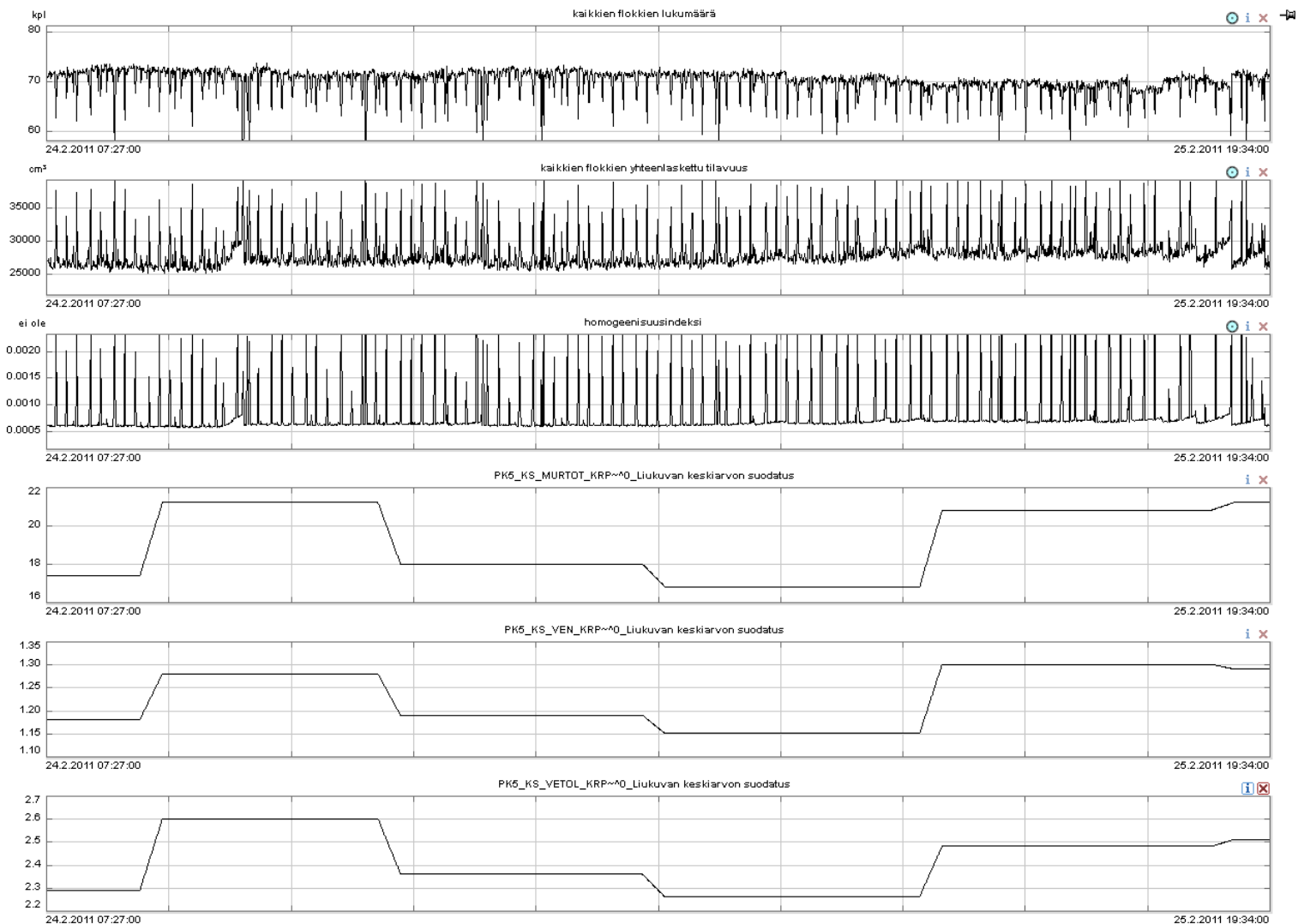
**Kuva 38. Vikamäärien näkyminen flokki-indekseissä**



**Kuva 39. Sensorin reagoiminen vaaleaan täplään**

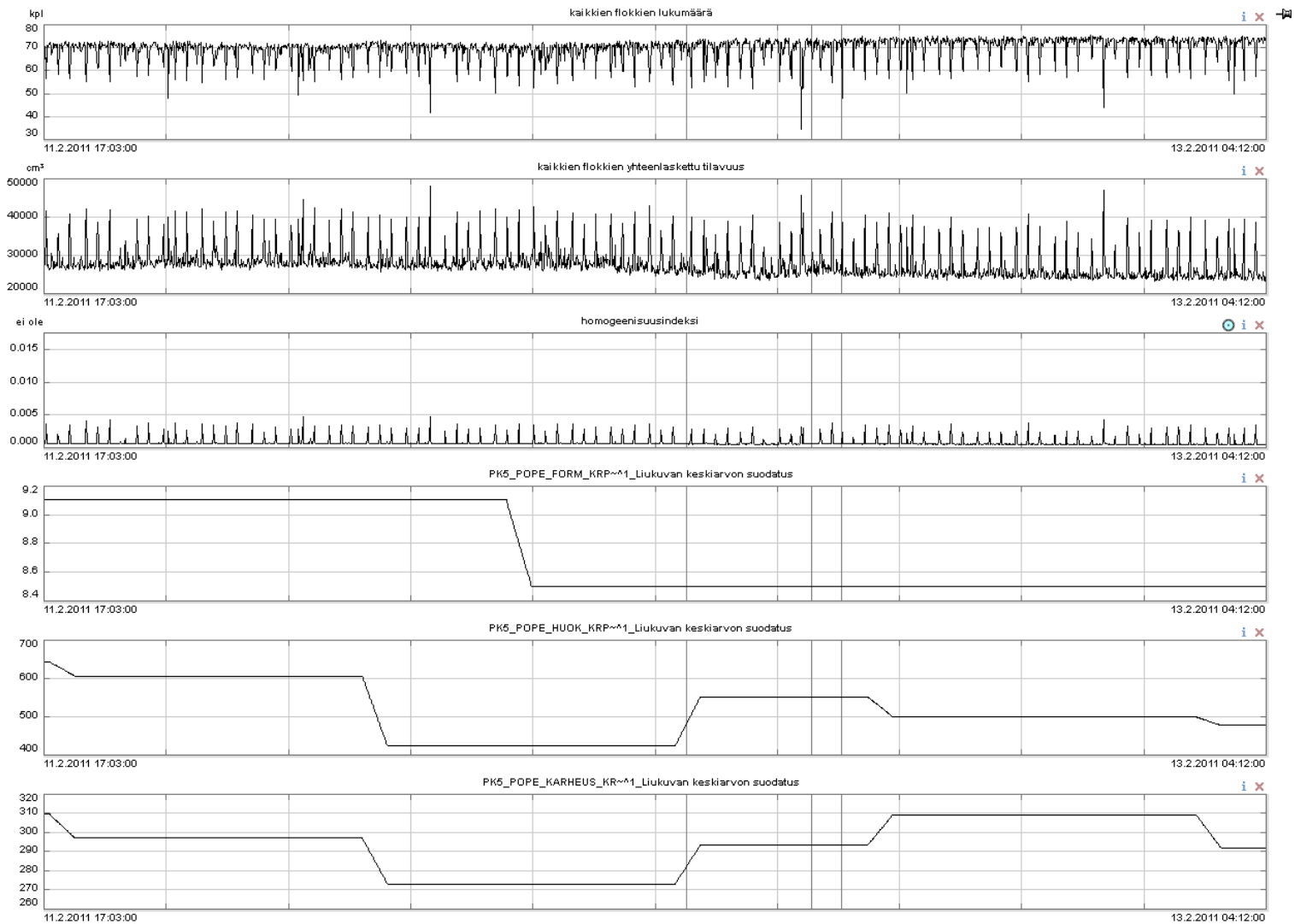
## 14.7.CASE: Pohjapaperin ominaisuudet

Pohjapaperin lujuusominaisuuksiin ei löydetty mitään korrelaatioita. Sensorin käytettävyyden kannalta indeksien korreloiminen ZD-lujuuden kanssa olisi ollut arvokasta tietoa. Myöskään muihin pohjapaperin lujuusominaisuuksiin ei löydetty minkäänlaisia korrelaatioita sensorin indeksien ja pohjapaperin lujuusominaisuuksien väliltä. Kuvassa 40 esitetään sensorin indeksien korrelaatio pohjapaperin konesuuntaiseen murtotyöhön, vetolujuuteen ja venymään.



**Kuva 40. Korrelaatio pohjapaperin lujuusominaisuuksiin**

Kuvasta 41 nähdään sensorin indeksien sekä formaation, huokoisuuden ja karheuden välisiä keskinäisiä riippuvuussuhteita. Kuvasta havaitaan, että sensorilla ei tässä positiossa voida havainnoida pohjapaperin rakenneominaisuuksia.

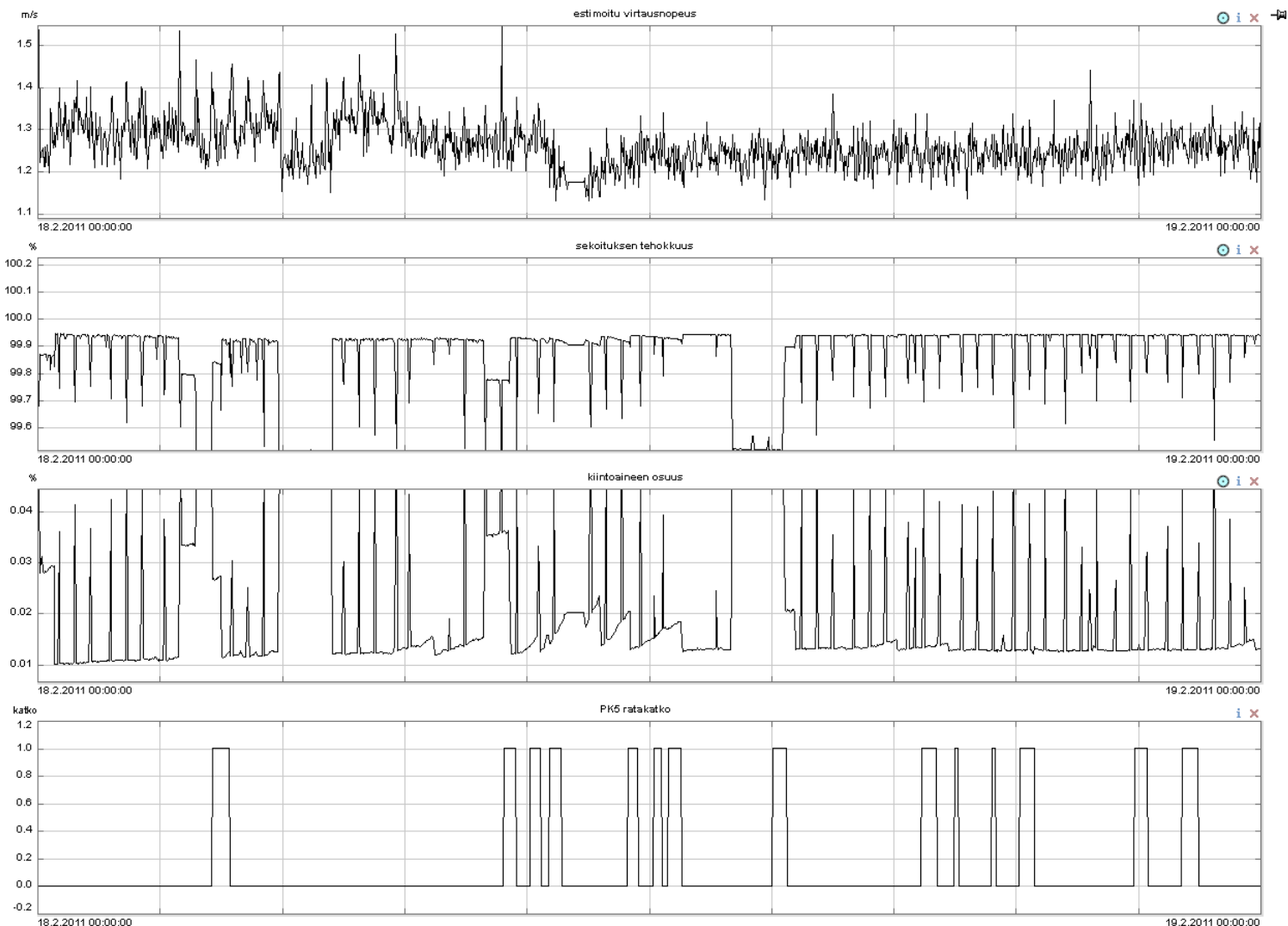


**Kuva 41. Sensorin indeksien korrelaatio pohjapaperin rakenneominaisuuksiin**

## 14.8.CASE: Sekoituksen tehokkuus

Sensorin indeksillä ”sekoituksen tehokkuus” voidaan mitata putken läpi virtaavan materiaalin sekoitusastetta. Sekoituksen tehokkuus kytkeytyy vahvasti homogeenisuuteen. Kumpikaan näistä indekseistä ei tuonut tässä positiossa mitään konkreettisia tuloksia, joita olisi voitu hyödyntää esimerkiksi ratakatkojen vähentämiseksi.

Kuvassa 42 on esitetty sekoituksen tehokkuuden ja kiintoaineen osuuden merkitystä ratakatkoihin. Tämän suuruusluokan muutoksia ei voida yhdistää kuvassa näkyvään katkoryöppyyn, koska näin pienet muutokset tulevat tasoittumaan sekoitussäiliössä ja konesäiliössä ennen annostelua perälaatikolle.



**Kuva 42. Sekoituksen tehokkuuden ja kiintoaineen osuuden vaikutus ratakatkoihin**



### **14.9. Muita sensorin käytössä havaittuja asioita**

Sensori oli herkkä reagoimaan sakeusvaihteluihin. Hylyn annostelulinjan sakeusvaihtelut näkyivät hyvin selvästi, mutta valitettavasti tämä ei tuo konkreettista hyötyä jo olemassa olevien sakeusmittauksien takia. /14/

Keskimääräinen johtavuus reagoi hetkellisiin hylkysihtien rejektin määrän nousuihin suhteellisen vahvasti. Korrelaatioita saadaan kuitenkin vain hyvin lyhyillä aikavälillä ja konkreettiset hyödyntämismahdollisuudet tulisi lisäksi löytää.

Sensorilla nähtiin hyvin Metson kajaaniWEM -analysointin pesusykli, mikä hieman hankaloitti datan käsittelyä projektin alussa. Asennetun päivityksen jälkeen tämä ongelma saatiin karsittua pois.

## 15. YHTEENVETO

Työ sujui pääosin projektisuunnitelman mukaan. Mitään isompia ongelmia projektin aikana ei esiintynyt. Toki asiaan kuuluu aina pienimuotoisia yllättäviä tekijöitä. Datan analysointiin liittyen jouduttiin tekemään muutamia ennalta suunnittelemattomia, tässä työssä esitettyjä toimenpiteitä.

Tämänluonteisille kehitysprojekteille aikataulun määrittäminen on vaikeaa. Projektin kulkua ei etukäteen tarkkaan tiedetä, mikä voi aiheuttaa muutoksia aikatauluun. Projektille aloituspalaverissa asetettu tavoiteaika oli realistinen pienistä ilmenneistä vaikeuksista huolimatta. Aihe oli erittäin haastava, mutta äärimmäisen mielenkiintoinen ja antoisa.

Projektille asetetuista tavoitteista jäätin lähes joka saralla. Sensorin hyödyntäminen käytännössä hyllyn annostelulinjalla on hyvin vaikeaa ja konkreettiset, takaisinmaksun mahdollistavat havainnot jäivät saavuttamatta. Täytyy muistaa kuitenkin se, että tässä työssä tutkittiin Veitsiluodon PK5:n massaosastolla sijaitsevaa positiota, annostelun hylkylinjaa. Positio oli ennalta määritetty, oletuksena päällystetyn hyllyn aiheuttamat ajettavuusongelmat paperikoneella.

Ei voida sanoa varmuudella, olisiko sensori antanut parempia vasteita jossain toisessa positiossa. Yhteenvetona kaikista tutkimuksista ja johtopäätöksistä voidaan todeta, että tämän tuotantolinjan tähän positioon se ei kuitenkaan sovellu projektin tämän hetkisillä tutkimustuloksilla. Kaikesta huolimatta sensorin todettiin olevan pitkälle saatetun tuotekehityksen, korkeaa teknologiaa toimivalla toteutuksella hyödyntävä tuote. Tässä yhteiskehityshankkeessa riittäviä asiakashyötyjä ei kuitenkaan saavutettu.

Sensorin graafinen käyttöliittymä ja lisäsovellukset olivat hyvin toteutettuja ja käyttäjätarpeellisia. Käyttöönotto oli vaivatonta ja peruskäytön oppi hyvin nopeasti. Esimerkiksi trendien ja 3D-tilavuusmallien katselemiseen käytettävä Tomoshop on tähän käyttötarkoitukseen hyvin toimiva sovellus. Sensorin ohjelmistoja ei kuitenkaan hyödynnetty kovin laajasti, koska datan vertaaminen prosessista saatavaan dataan olisi tällöin ollut monimutkaista.

Projekti toteutettiin tiiviissä yhteistyössä Numcoren kanssa ja projektin toteutusmuotona yhteiskehityshanke oli mielestäni erittäin toimiva. Molemmat tahot tekivät yhdessä pidettyjen aivoriihien ja yhteydenpidon lisäksi datasta omia päätelmiään. Asiakkaan ja tuotteen edustajan yhteistyö on hedelmällistä; asiakkaalla on paras tietämys optimoitavasta prosessista ja tuotteen edustajalla taas on paras tietämys tuotteen hyödyntämisestä ja säätämisestä käyttötarkoitukseen sopivaksi.

Sensorille löydetty mahdolliset käyttökohteet tässä positiossa eivät tuo prosessin kehittämisen kannalta minkäänlaisia etuja. Kohteet, johon sensoria olisi voitu käyttää, hyllyn kemiallisen tilan määritykset, voidaan tehdä kajaaniWEM-analysaattorilla. Tutkimusten perusteella voidaan todeta kuitenkin sensorin toimivuus tähän käyttötarkoitukseen.

Nykyaikana painopiste paperiteollisuudessa on siirtynyt erityisesti Suomessa green field – investoinneista prosessien kehittämisen kautta tehtävään optimaalisten ajomallien hakemiseen ja pieninvestointeihin, joiden avulla saadaan suurimmat mahdolliset ajonopeudet rakenteellisten nopeuksien asettamien rajojen puitteissa. Paperinvalmistukseen on tarjolla nykyään laajalti erilaisia on-line-mittareita ja niitä hyödynnetään varsin tehokkaasti. Kuitenkaan impedanssitomografiaa hyödyntävien laitteiden tarjontaa ei ole. Tälle tuotteelle löytyy tämän takia paikkansa markkinoilla.

Mieleen herännyt mahdollinen käyttökohde olisi voinut olla esimerkiksi hyllyn varastotornin kierrätyslinjassa tehtävä hyllyn laadun määrittäminen. Tässä positiossa sensoria olisi voitu hyödyntää hylkyyn tehtävien biosidien annostelussa ja vaikuttaa hyvissä ajoin hyllyn pilaantumisen ehkäisemiseen. Tämän position haittana olisi ollut suppea hyödyntämismahdollisuus. Lisäksi samat määritykset voidaan tehdä Metson kajaaniWEM –analysaattorilla.

Sensorin käyttäminen luontevana osana prosessinohjausta vaatisi liityntäpisteen muuhun prosessinohjausjärjestelmään. Sensoriin voidaan asettaa hälytysrajoja, jotka edelleen voitaisiin saada prosessinohjausjärjestelmän hälytysnäytölle. Tämä olisi käyttäjätystävällinen ja tehokas tapa hyödyntää sensoria prosessinohjauksessa.

Paperinvalmistuksessa pyritään prosessiparametrien vakiointiin, joissa tämä sensori olisi parhaimmillaan.

Numcore tekee jatkuvaa tuotekehitystyötä tuotteiden käyttäjäystävällisyyden lisäämiseksi ja asiakashyötyjen saamiseksi. Projektin tämän hetkisillä tuloksilla ei kuitenkaan saavuteta mielestäni investointiperustetta sovellettavaksi tuotetta tässä positiossa.

## 16. JATKOTOIMENPITEET

Projekti tulee jatkumaan tämän opinnäytetyön valmistumisesta huolimatta. Sensorin parametreihin on otettu käyttöön lämpötilakompensointi Numcoren laskelmien perusteella. Tarkoituksena on varmistua sensorin käyttömahdollisuuksista ja tutkia samalla hylyn jauhatuksella saavutettavia etuja PK5:llä.

Johtavuus on aina lämpötilariippuvainen; lämpötilakompensoinnilla päästään käsiksi johtavuusindekseihin, joihin lämpötila ei vaikuta. Lisäksi johtavuuden perusteella määritetyt johdannaisindeksit saadaan tarkasteltaviksi lämpötilariippumattomana.

Projektin on tarkoitus jatkaa kesäkuuhun 2011 asti. Tavoitteet ovat edelleen samat ja projektin eteenpäin vieminen jatkuu samoilla menetelmillä kuin tähänkin asti. Tarkoituksena on varmistua, saadaanko riittävät asiakashyödyt esille, jotka mahdollistavat investoinnin.

## 17. LÄHDELUETTELO

/1/ Harju, Kimmo, Hylyn jauhatus Stora Enso Veitsiluoto PK5, Massankäsittely- ja huoltopalvelut –seminaari, [Julkaisematon Powerpoint-materiaali], Metso Paper, Oulu, Tammikuu 2007

/2/ Harju, Kimmo, Korte, Jiri, Päälystetyn hylyn käsittely, Massankäsittely- ja huoltopalvelut –seminaari, [Julkaisematon Powerpoint-materiaali], Metso Paper, Oulu, Tammikuu 2007

/3/ Hautamäki, Jukka, Chena –analysointin soveltuvuuden arviointi neutraalin LWC –paperikoneen kemian tilan seurantaan, diplomityö, Teknillinen korkeakoulu, Espoo 2003

/4/ Hautamäki, Jukka, Jauhatus, Stora Enso Oyj Veitsiluodon tehtaot, sisäinen koulutusmateriaali, [Julkaisematon Powerpoint-dokumentti], 2005

/5/ Hautamäki, Jukka, Paperikoneen märkäosa, lyhyt kierto, Stora Enso Oyj Veitsiluodon tehtaot, sisäinen koulutusmateriaali, [Julkaisematon Powerpoint-dokumentti], 2005

/6/ Häggblom-Ahnger, Ulla; Komulainen Pekka, Kemiallinen metsäteollisuus 2, Paperin ja kartongin valmistus, 3-1. painos, Opetushallitus, Gummerus kirjapaino Oy, 2005

/7/ Ekman, Rainer, Märkäosan kemia – Analyysit, mittaukset ja niiden merkitys, INSKO P901901, Paperikoneen märkäosan kemia ja sen hallinta, 1994

/8/ Keskiaho, Pekka, Hylyn jauhatuksen vaikutus MWC-paperin laatu- ja painatusominaisuuksiin, insinöörityö, Tampereen ammattikorkeakoulu, Paperi- ja prosessitekniikan koulutusohjelma, Tampere, 2004

/9/ Knowpap, Paperi- ja selluteollisuuden oppimiympäristö, 2009

/10/ Moisio, Emilia, Märkäosan pH:n hallinta päällystävällä hienopaperitehtaalla, diplomityö, Oulun yliopisto, Prosessi- ja ympäristötekniikan osasto, Kemiallisen prosessitekniikan laboratorio, Oulu, 2005

/11/ Mäkelä, Merja, Paperin laatusuureiden mittaus ja säätö, Suomen Automaatioseura Ry, 2. painos, Copysset Oy, Helsinki, 2003

/12/ Nieminen Heidi, Paperikoneen määränpään vaihteluiden vähentäminen online-mittareita hyväksikäyttäen, diplomityö, Teknillinen korkeakoulu, Espoo, 2007

/13/ Norman, Bo, Web Forming, Papermaking Part 1 Stock Preparation and Wet End, Papermaking Science and Technology serie, Finnish Paper Engineers' Association/Paperi ja Puu Oy, Gummerus Oy, Jyväskylä, 2008

/14/ NovaNet, Stora Enso Oyj Magazine Paper Veitsiluodon tehtaiden sisäinen oppimisympäristö

/15/ Numcore Oy, Numcore EIST User Manual, käyttöohje, [Julkaisematon painos], 2010

/16/ Numcore Oy, Numcoren mittalaitteilla lisää tehokkuutta teollisuuden prosesseihin, Lehdistö tiedote, [PDF-dokumentti],  
[[http://www.cleantechcluster.fi/filebank/111-numcore\\_oy.pdf](http://www.cleantechcluster.fi/filebank/111-numcore_oy.pdf)], Luettu 9.12.2010

/17/ Numcore Oy, Yrityksen internet sivut, [WWW-dokumentti],  
[<http://www.numcore.com/>]

/18/ Nyberg, Kimmo, Käyttöinsinöörin puhelinhaastattelu, Corenso Oy, Pori, 11.4.2011

/19/ Puusta paperiin M-502, Paperikoneet yleistä, Valmet, 2. Muunnettu painos, Sepsilva Ltd Oy, Gummerus kirjapaino Oy, Saarijärvi 1999

/20/ Shaomin, Zhou, Halttunen, Jouko, Impedance Tomography, Tampere University of Technology, Measurement and Information Technology, Multiphase flows in process industry, VTT, [PDF-dokumentti],  
[<http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2005/T2286.pdf>], 2005

/21/ Stora Enso Oyj Veitsiluodon tehdas, Veitsiluoto 2010 –esittelymateriaali, [Julkaisematon Powerpoint-dokumentti], 2010

/22/ Stora Enso Oyj, Publication Paper, [WWW-dokumentti],  
[<http://www.storaenso.com/about-us/organisation/magazine-paper/Pages/Publication-paper.aspx>], Luettu 16.2.2011

/23/ Stora Enso Oyj, Stora Enso lyhyesti, [WWW-dokumentti],  
[<http://www.storaenso.com/about-us/stora-enso-in-brief/Pages/Stora-Enso-lyhyesti.aspx>], Luettu 12.2.2011

/24/ Suomen Paperi-insinöörien Yhdistyksen oppi- ja käsikirja, Paperin valmistus 3 Osa 1, Suomen Paperi-insinöörien yhdistys r.y., Oy Turun Sanomat/Serioffset, Turku 1983

/25/ Tarvainen, Mika, Impedanssitomografian mallintaminen sisäisille virtalähteille, Pro Gradu –tutkielma, Sovelletun fysiikan laitos, Kuopin Yliopisto, Kuopio, Syyskuu 2009

/26/ Tolonen, Teppo, Saostumaperäisten katkojen syiden selvittäminen ja analysointi, diplomityö, Oulun yliopisto, Prosessi- ja ympäristötekniikan osasto, Sääätötekniikan laboratorio, Oulu, 2008



/27/ Ulrich, Weise, Terho, Jukka, Paulapuro, Hannu, Stock and Water Systems of the Paper Machine, Papermaking Part 1 Stock Preparation and Wet End, Papermaking Science and Technology serie, Finnish Paper Engineers' Association/Paperi ja Puu Oy, Gummerus Oy, Jyväskylä, 2008

/28/ Vauhkonen, Marko, Mallin parametrien estimointi, Matemaattisen mallintamisen jatkokurssi, Kuopion yliopisto, sovelletun fysiikan laitos [Internet-lähde], [[http://alpha.cc.tut.fi/mallinnus/materiaali/impedanssitomografia/parametrien\\_estimointi.pdf](http://alpha.cc.tut.fi/mallinnus/materiaali/impedanssitomografia/parametrien_estimointi.pdf)], 2002, Luettu 18.4.2011

## **18. LIITELUETTELO**

LIITE 1 Hylyn jauhatuksen EOK –koeajosuunnitelma

LIITE 2 Hylyn jauhatuksen EOK –koeajon tulokset

LIITE 3 Hylyn käsittelyn periaatekaavio

LIITE 4 Numcore Oy:n CoreApus –sensorin indeksit yksiköineen

LIITE 5 Numcore Oy:n CoreApus –sensorin tekniset tiedot

LIITE 6 Raportti Stora Enson päällystetyn hylyn pilaantumismittauksista

LIITE 7 Raportti päällystetyn hylyn pH:n ja keskimääräisen johtavuuden korrelaatiosta

## Hylyn jauhatuksen EOK -koeajo

### 1. Koeajon suorittamisen perusteet

- Hylyn jauhatuksen koeajo suoritetaan opinnäytetyöhöni liittyen
- Tarkoituksena on nähdä Numcoren sensorin hyödynnettävyys käytännössä
- Tavoitteena on yrittää vakioida hylyn jauhatusta ja tutkia voiko sensorin tuloksia hyödyntää hylkyjauhimen ohjaukseen sekä pohjapaperin laatuominaisuuksien parantamiseen

### 2. Koeajon suoritus

- Koeajo ajetaan 8 tunnin pituisena jaksona
- Hylyn jauhatuksen EOK nostetaan tasolle 30 kWh/t
- Pohjapaperinäytteet otetaan tehostetusti jokaisesta konerullasta 8 tunnin jakson aikana
- Lopuksi EOK palautetaan normaalitasolle, jonka jälkeen otetaan referenssit kahdeksasta konerullasta

### 3. Ohjeet tuotantolinjalle

- Koeajo alkaa, kun EOK on nostettu haluttuun arvoon (30kWh/t)
- Jokaisesta konerullasta otetaan kaksi poikkiratanäytettä koeajon aikana
- Mikäli tuotannossa on ongelmia tai hylkyä tulee paljon, jatketaan koeajoa siten, että saadaan kelvolliset näytteet vähintään kahdeksasta konerullasta
- PK5 kuivanpään valvomoon toimitetaan näytepusseja ja laatikko näytteitä varten
- Näytepusseihin lisätään konerullien tunnistetiedot
- Näytteet toimitetaan laboratorioon analysoitavaksi
- Annostelija ilmoittaa kuivaan päähän, kun hylyn jauhatuksen EOK on tasolla 30kWh/t
- Hylyn jauhatuksen EOK:n normalisoinnin jälkeen otetaan vielä referenssit kahdeksasta konerullasta (samalla tavalla, 2 poikkiratanäytettä/konerulla)

### 4. Ohjeet laboratoriolle

- Tavoitteena on löytää muuttuneita laatuominaisuuksia pohjapaperissa
- Käytöntarkkailun määritykset tehdään normaaliin tapaan

- Tärkeimpinä ominaisuuksina pidetään lujuusominaisuuksia, formaatiota sekä sileyttä/karheutta
- Tehdyt mittaukset näytteistä syötetään TIPSiin

## **1. Yhteystiedot**

- Jos koeajosta tulee kysyttävää, minut tavoittaa sähköpostilla sekä puhelimella mihin aikaan tahansa

Tuomo Tuikka  
Insinööriyöntekijä  
Stora Enso Oyj Magazine Paper Veitsiluodon tehdas  
GSM:  
e-mail: [tuomo.tuikka@storaenso.com](mailto:tuomo.tuikka@storaenso.com)

<b>Koeajo, EOK n.30kWh/t</b>		
<b>Nro:</b>	<b>Konerullanumero</b>	<b>Poikkiratanäytteiden lkm:</b>
1.	108	2
2.	110	2
3.	112	2
4.	113	2
5.	115	2
6.	116	2
7.	117	2
8.	118	2

<b>Loppureferenssit, alku EOK</b>		
<b>Nro:</b>	<b>Konerullanumero</b>	<b>Poikkiratanäytteiden lkm:</b>
1.	119	2
2.	120	2
3.	121	2
4.	122	2
5.	123	2
6.	124	2
7.	126	2
8.	127	2



## PK5 pohja

	Ajo/konerulla	GM2	Vaaleus C	b* C	Tuhka	ZD- lujuus	Z-luj./range	Repluj
		Pope	yp	yp	Pope		vaihteluväli	ps
		g/m <sup>2</sup>	%	.	%	kPa	kPa	Mn
			Paperlab *	Paperlab *				*
VT650043	5/10259	42,70	80,5	1,00	11,0	850		400
10.03.11 07:16	5000611270		80,0	1,10		838	29	353
10.03.11 06:22	5000611260		80,0	1,10		846	21	360
10.03.11 04:34	5000611240		79,9	1,13		873	24	350
10.03.11 03:39	5000611230		80,0	0,99		859	22	349
10.03.11 02:45	5000611220		80,1	0,96		868	16	358
10.03.11 01:51	5000611210		80,0	1,09		842	25	341
10.03.11 00:57	5000611200		80,0	0,97		841	30	356
10.03.11 00:02	5000611190		80,1	0,99		841	51	350
09.03.11 23:08	5000611180		80,1	0,96		855	21	346
09.03.11 22:14	5000611170		80,0	0,99	10,8	854	56	356
09.03.11 21:19	5000611160		80,1	0,94		857	41	357
09.03.11 20:25	5000611150		80,1	1,04		852	23	351
VT650043	5/10254	42,70	80,5	1,00	11,0	850		400
09.03.11 19:16	5000611130		80,2	0,95		881	27	350
09.03.11 18:21	5000611120		80,2	1,03		861	40	346
09.03.11 16:32	5000611100		80,1	1,09		851	35	343
09.03.11 15:16	5000611080		80,2	0,84		878	22	353



## PK5 pohja

	Ajo/konerulla	GM2	Vetoluj	Vetoluj	Vetol-suh	Formaat.	Form.haj.	Venyma
		Pope	ks	ps	Pope	Pope	Pope	ks
		g/m <sup>2</sup>	kN/m	kN/m	.	%	g/m <sup>2</sup>	%
			*	*		*	*	*
VT650043	5/10259	42,70	2,70	0,80	3,2	8,00		1,1
10.03.11 07:16	5000611270		2,58	0,77	3,3	<6,90	2,95	1,2
10.03.11 06:22	5000611260		2,57	0,76	3,4	7,40	3,15	1,2
10.03.11 05:28	5000611250					7,20	3,05	
10.03.11 04:34	5000611240		2,59	0,76	3,4	<6,95	3,00	1,2
10.03.11 03:39	5000611230		2,51	0,77	3,2	<6,95	2,95	1,2
10.03.11 02:45	5000611220		2,59	0,77	3,4	<6,90	3,00	1,2
10.03.11 01:51	5000611210		2,62	0,78	3,3	<6,85	2,95	1,2
10.03.11 00:57	5000611200		2,59	0,78	3,3	7,10	3,05	1,2
10.03.11 00:02	5000611190		2,58	0,77	3,3	<6,85	2,90	1,2
09.03.11 23:08	5000611180		2,62	0,79	3,3	7,10	3,05	1,2
09.03.11 22:14	5000611170		2,61	0,79	3,3	7,25	3,15	1,2
09.03.11 21:19	5000611160		2,58	0,79	3,3	7,00	3,00	1,2
09.03.11 20:25	5000611150		2,63	0,79	3,3	7,35	3,20	1,2
VT650043	5/10254	42,70	2,70	0,80	3,2	8,00		1,1
09.03.11 19:16	5000611130		2,64	0,78	3,4	7,40	3,15	1,3
09.03.11 18:21	5000611120		2,61	0,79	3,3	<6,95	3,00	1,2
09.03.11 17:26	5000611110		2,66	0,78	3,4			1,2
09.03.11 16:32	5000611100		2,63	0,79	3,3	7,35	3,15	1,2
09.03.11 15:16	5000611080		2,67	0,80	3,3	7,55	3,25	1,2



## PK5 pohja

	Ajo/konerulla	GM2	Venyma	Murtotyö	Murtotyö	Karheus	Karheus	Karh ero
		Pope	ps	ks	ps	yp	ap	Pope
		g/m <sup>2</sup>	%	J/m <sup>2</sup>	J/m <sup>2</sup>	ml/min	ml/min	ml/min
			*	*	*	*	*	
VT650043	5/10259	42,70	2,5	16	15	338	395	-70
10.03.11 07:16	5000611270		2,5	20	14	289	355	-67
10.03.11 06:22	5000611260		2,5	20	14	<284	362	-77
10.03.11 05:28	5000611250							
10.03.11 04:34	5000611240		2,5	20	14	<273	<336	-64
10.03.11 03:39	5000611230		2,5	19	14	<265	<337	-72
10.03.11 02:45	5000611220		2,4	21	14	<283	357	-74
10.03.11 01:51	5000611210		2,5	19	14	<254	<292	-38
10.03.11 00:57	5000611200		2,5	20	14	<273	<324	-51
10.03.11 00:02	5000611190		2,4	20	13	<275	<294	>-19
09.03.11 23:08	5000611180		2,4	20	14	<252	<305	-53
09.03.11 22:14	5000611170		2,4	20	14	<257	<321	-64
09.03.11 21:19	5000611160		2,5	20	15	<257	<327	-70
09.03.11 20:25	5000611150		2,4	20	13	<275	354	-79
VT650043	5/10254	42,70	2,5	16	15	338	395	-70
09.03.11 19:16	5000611130		2,4	21	14	<277	347	-70
09.03.11 18:21	5000611120		2,5	20	14	<278	350	-72
09.03.11 17:26	5000611110		2,4	20	13	<258	<310	-53
09.03.11 16:32	5000611100		2,3	20	14	<274	356	-82
09.03.11 15:16	5000611080		2,4	21	14	287	347	-60





## PK5 pohja

	Ajo/konerulla	GM2	Huok.	Tiheys	Paksuus	Opas.C	Fluor.R457	CIE-w. C
		Pope	Pope	Pope	Pope	yp	yp	yp
		g/m <sup>2</sup>	ml/min	g/cm <sup>3</sup>	µm	%	%-yks.	%
			*		*	Paperlab *	Paperlab *	Paperlab *
VT650043	5/10259	42,70	400	0,59	75	84,00		
10.03.11 07:16	5000611270		450	0,58	73	85,91	0,55	75,48
10.03.11 06:22	5000611260		441	0,57	75	85,88	0,57	75,43
10.03.11 05:28	5000611250					85,84	0,55	74,68
10.03.11 04:34	5000611240		392	0,59	73	86,13	0,58	75,22
10.03.11 03:39	5000611230		409	0,59	72	86,19	0,59	75,85
10.03.11 02:45	5000611220		400	0,57	74	86,24	0,58	76,03
10.03.11 01:51	5000611210		389		73	86,14	0,54	75,43
10.03.11 00:57	5000611200		416	0,58	74	86,00	0,58	75,88
10.03.11 00:02	5000611190		401	0,59	73	86,21	0,60	75,90
09.03.11 23:08	5000611180		368	0,58	73	86,20	0,59	76,08
09.03.11 22:14	5000611170		403	0,59	73	86,09	0,60	75,84
09.03.11 21:19	5000611160		405	0,59	73	86,22	0,62	76,08
09.03.11 20:25	5000611150		393	0,58	73	85,86	0,60	75,77
VT650043	5/10254	42,70	400	0,59	75	84,00		
09.03.11 19:16	5000611130		380	0,58	74	85,85	0,63	76,15
09.03.11 18:21	5000611120		399	0,58	73	85,77	0,61	75,96
09.03.11 17:26	5000611110		378	0,59	72	85,91	0,59	75,37
09.03.11 16:32	5000611100		405	0,59	73	85,54	0,59	75,63
09.03.11 15:16	5000611080		418	0,58	74	85,73	0,60	76,60



## PK5 pohja

	Ajo/konerulla	GM2	Huok.	Tiheys	Paksuus	Opas.C	Fluor.R457	CIE-w. C
		Pope	Pope	Pope	Pope	yp	yp	yp
		g/m <sup>2</sup>	ml/min	g/cm <sup>3</sup>	µm	%	%-yks.	%
			*		*	Paperlab *	Paperlab *	Paperlab *
VT650043	5/10259	42,70	400	0,59	75	84,00		
10.03.11 07:16	5000611270		450	0,58	73	85,91	0,55	75,48
10.03.11 06:22	5000611260		441	0,57	75	85,88	0,57	75,43
10.03.11 05:28	5000611250					85,84	0,55	74,68
10.03.11 04:34	5000611240		392	0,59	73	86,13	0,58	75,22
10.03.11 03:39	5000611230		409	0,59	72	86,19	0,59	75,85
10.03.11 02:45	5000611220		400	0,57	74	86,24	0,58	76,03
10.03.11 01:51	5000611210		389		73	86,14	0,54	75,43
10.03.11 00:57	5000611200		416	0,58	74	86,00	0,58	75,88
10.03.11 00:02	5000611190		401	0,59	73	86,21	0,60	75,90
09.03.11 23:08	5000611180		368	0,58	73	86,20	0,59	76,08
09.03.11 22:14	5000611170		403	0,59	73	86,09	0,60	75,84
09.03.11 21:19	5000611160		405	0,59	73	86,22	0,62	76,08
09.03.11 20:25	5000611150		393	0,58	73	85,86	0,60	75,77
VT650043	5/10254	42,70	400	0,59	75	84,00		
09.03.11 19:16	5000611130		380	0,58	74	85,85	0,63	76,15
09.03.11 18:21	5000611120		399	0,58	73	85,77	0,61	75,96
09.03.11 17:26	5000611110		378	0,59	72	85,91	0,59	75,37
09.03.11 16:32	5000611100		405	0,59	73	85,54	0,59	75,63
09.03.11 15:16	5000611080		418	0,58	74	85,73	0,60	76,60



## PK5 pohja

	Ajo/konerulla	GM2	Huok.	Tiheys	Paksuus	Opas.C	Fluor.R457	CIE-w. C
		Pope	Pope	Pope	Pope	yp	yp	yp
		g/m <sup>2</sup>	ml/min	g/cm <sup>3</sup>	µm	%	%-yks.	%
			*		*	Paperlab *	Paperlab *	Paperlab *
VT650043	5/10259	42,70	400	0,59	75	84,00		
10.03.11 07:16	5000611270		450	0,58	73	85,91	0,55	75,48
10.03.11 06:22	5000611260		441	0,57	75	85,88	0,57	75,43
10.03.11 05:28	5000611250					85,84	0,55	74,68
10.03.11 04:34	5000611240		392	0,59	73	86,13	0,58	75,22
10.03.11 03:39	5000611230		409	0,59	72	86,19	0,59	75,85
10.03.11 02:45	5000611220		400	0,57	74	86,24	0,58	76,03
10.03.11 01:51	5000611210		389		73	86,14	0,54	75,43
10.03.11 00:57	5000611200		416	0,58	74	86,00	0,58	75,88
10.03.11 00:02	5000611190		401	0,59	73	86,21	0,60	75,90
09.03.11 23:08	5000611180		368	0,58	73	86,20	0,59	76,08
09.03.11 22:14	5000611170		403	0,59	73	86,09	0,60	75,84
09.03.11 21:19	5000611160		405	0,59	73	86,22	0,62	76,08
09.03.11 20:25	5000611150		393	0,58	73	85,86	0,60	75,77
VT650043	5/10254	42,70	400	0,59	75	84,00		
09.03.11 19:16	5000611130		380	0,58	74	85,85	0,63	76,15
09.03.11 18:21	5000611120		399	0,58	73	85,77	0,61	75,96
09.03.11 17:26	5000611110		378	0,59	72	85,91	0,59	75,37
09.03.11 16:32	5000611100		405	0,59	73	85,54	0,59	75,63
09.03.11 15:16	5000611080		418	0,58	74	85,73	0,60	76,60



## PK5 pohja

	Ajo/konerulla	GM2	Opas.(LW)	Fluor.R457	L* (LW)	a* (LW)	CIE-W(LW)	UV0/420
		Pope	yp	Ka. yp/ap	yp	yp	yp	yp
		g/m <sup>2</sup>	%	%-yks.	.	.	%	%
VT650043	5/10259	42,70	84,0					
10.03.11 07:16	5000611270							
10.03.11 06:22	5000611260							
10.03.11 05:28	5000611250		86,0	0,55	92,02	-0,60	75,4	79,5
10.03.11 04:34	5000611240							
10.03.11 03:39	5000611230							
10.03.11 02:45	5000611220							
10.03.11 01:51	5000611210							
10.03.11 00:57	5000611200							
10.03.11 00:02	5000611190							
09.03.11 23:08	5000611180							
09.03.11 22:14	5000611170		85,9	0,53	92,02	-0,58	75,6	79,5
09.03.11 21:19	5000611160							
09.03.11 20:25	5000611150							
VT650043	5/10254	42,70	84,0					
09.03.11 19:16	5000611130							
09.03.11 18:21	5000611120							
09.03.11 17:26	5000611110		85,9	0,53	92,16	-0,61	75,5	79,8
09.03.11 16:32	5000611100							
09.03.11 15:16	5000611080							



## PK5 pohja

	Ajo/konerulla	GM2	LWsuuntak.	Mekmassa	Havu	Vaaleus C
		Pope	Pope			ap
		g/m <sup>2</sup>	°	%	%	%
			*			Paperlab *
VT650043	5/10259	42,70				80,50
10.03.11 07:16	5000611270		-0,36			79,99
10.03.11 06:22	5000611260		0,21			79,97
10.03.11 05:28	5000611250			52	48	79,60
10.03.11 04:34	5000611240		-0,47			79,79
10.03.11 03:39	5000611230		0,21			79,94
10.03.11 02:45	5000611220		-1,43			80,03
10.03.11 01:51	5000611210		-0,25			79,80
10.03.11 00:57	5000611200		-1,67			79,92
10.03.11 00:02	5000611190		-1,31			79,90
09.03.11 23:08	5000611180		-0,67			79,99
09.03.11 22:14	5000611170		-0,82			79,91
09.03.11 21:19	5000611160		-0,40			79,98
09.03.11 20:25	5000611150		-1,02			79,97
VT650043	5/10254	42,70				80,50
09.03.11 19:16	5000611130		-0,27			80,02
09.03.11 18:21	5000611120		-0,72			80,15
09.03.11 17:26	5000611110		-0,96			80,00
09.03.11 16:32	5000611100		-1,01			80,07
09.03.11 15:16	5000611080		-0,96			80,16



## PK5 pohja

	Ajo/konerulla	GM2	b* C	Fluor.R457	CIE-w. C	b* C	b* C
		Pope	ap	ap	ap	yp	ap
		g/m <sup>2</sup>	.	%-yks.	%	.	.
			Paperlab *	Paperlab *	Paperlab *	Käsimitt.	Käsimitt.
VT650043	5/10259	42,70	1,00			1,00	1,00
10.03.11 07:16	5000611270		1,10	0,61	75,48		
10.03.11 06:22	5000611260		1,03	0,63	75,70		
10.03.11 05:28	5000611250		1,23	0,56	74,58	1,13	1,16
10.03.11 04:34	5000611240		1,17	0,62	75,01		
10.03.11 03:39	5000611230		1,04	0,62	75,66		
10.03.11 02:45	5000611220		0,90	0,64	76,23		
10.03.11 01:51	5000611210		1,08	0,59	75,31		
10.03.11 00:57	5000611200		0,90	0,62	76,09		
10.03.11 00:02	5000611190		1,01	0,60	75,67		
09.03.11 23:08	5000611180		0,93	0,65	76,07		
09.03.11 22:14	5000611170		0,99	0,67	75,76	1,10	1,10
09.03.11 21:19	5000611160		0,98	0,66	75,90		
09.03.11 20:25	5000611150		1,01	0,66	75,78		
VT650043	5/10254	42,70	1,00			1,00	1,00
09.03.11 19:16	5000611130		0,95	0,65	76,02		
09.03.11 18:21	5000611120		1,01	0,68	75,98		
09.03.11 17:26	5000611110		1,16	0,62	75,26	1,17	1,17
09.03.11 16:32	5000611100		1,08	0,66	75,65		
09.03.11 15:16	5000611080		0,83	0,65	76,59		



<b>yksikkö</b>	<b>selitysteksti</b>
%	estimoitu ilmaisuus
mS/cm	keskimääräinen johtavuus
$\Omega \cdot \text{cm}^2$	suurin kontakti-impedanssi
$\Omega \cdot \text{cm}^2$	keskimääräinen kontakti-impedanssi
$\Omega \cdot \text{cm}^2$	pienin kontakti-impedanssi
°C	laitteen lämpötila 1
°C	laitteen lämpötila 2
$\text{cm}^3$	kaikkien flokkien keskimääräinen tilavuus
$\text{cm}^3$	johtavien flokkien keskimääräinen tilavuus
$\text{cm}^3$	eristävien flokkien keskimääräinen tilavuus
$\text{cm}^3$	erittäin johtavien flokkien keskimääräinen tilavuus
$\text{cm}^3$	erittäin eristävien flokkien keskimääräinen tilavuus
kpl	kaikkien flokkien lukumäärä
kpl	johtavien flokkien lukumäärä
kpl	eristävien flokkien lukumäärä
kpl	erittäin johtavien flokkien lukumäärä
kpl	erittäin eristävien flokkien lukumäärä
$\text{cm}^3$	kaikkien flokkien yhteenlaskettu tilavuus
$\text{cm}^3$	johtavien flokkien yhteenlaskettu tilavuus
$\text{cm}^3$	eristävien flokkien yhteenlaskettu tilavuus
$\text{cm}^3$	erittäin johtavien flokkien yhteenlaskettu tilavuus
$\text{cm}^3$	erittäin eristävien flokkien yhteenlaskettu tilavuus
m/s	estimoitu virtausnopeus
1/s	rekonstruktion frame rate
mS/cm	suurin johtavuus
mS/cm	pienin johtavuus
%	sekoituksen tehokkuus
ei ole	homogeenisuusindeksi
°C	prosessin lämpötila
mS/cm	referenssijohtavuus
%	kiintoaineen osuus
mS/cm	johtavuuden keskihajonta



## Technical Data Sheet



### MECHANICAL

Pipe diameter	50-1000 mm
Pipe length	800 mm
Process temperature	Max 100°C / 212°F
Maximum pressure	24 bar
Tube material	Stainless steel (AISI 316) + coating material depending on process
Electrode material	Stainless steel (254SMO)
Number of electrodes	16-64
IP protection class	IP65

### ELECTRICAL

AC power input	100-240V ~ 50/60 Hz
Power consumption	<150W

### COMMUNICATION INTERFACES

Ethernet connection	IEEE 802.3u
Current output	4..20 mA (passive)
Other communication interfaces available on request	

# Raportti Stora Enson PÄHYN pilaantumismittauksista 9.2.2011

---

Projektipäällikkö: Jari Kourunen

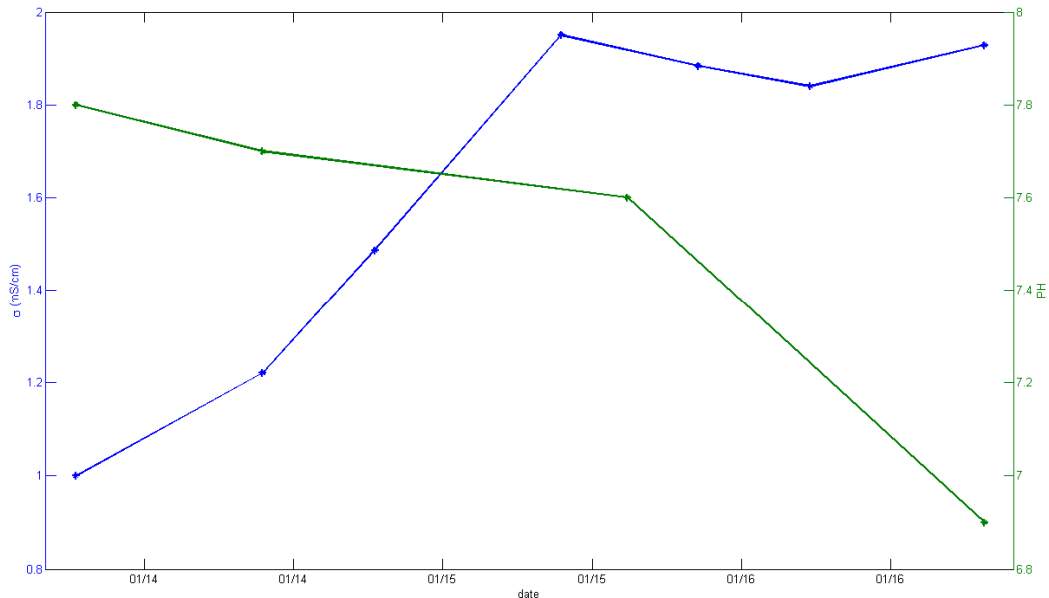
## Tulokset

Mittaukset tehtiin Stora Enson Veitsiluodon tehtailta saadulla PÄHY:llä (päällystetyllä hyllyllä). Massanäytteet otettiin tehtaalta mukaan 12.1.2011 ja mittaukset aloitettiin 13.1.2011, johon saakka hylky oli ollut säilytettynä auton peräkontissa (jäätynyt yön aikana). Mittaukset tehtiin Numcoren CoreApus laitteistolla kts. kuva 1. Mittauskanavia oli käytössä 32 ja virransyöttöjä 8.



**Kuva 1:** Mittauksissa käytetty CoreApus sensori

Mittaukset aloitettiin 13.1.2011 klo 18:00, jolloin myös pH mitattiin (mittari: Hannah Instruments Watercheck) käsimittarilla (pH 7.8). Mittari kalibroitiin aluksi, mukana tulleella standardiliuoksella. Mittaus laitettiin päälle ja lämpötilaa mitattiin samanaikaisesti. Mittauksen annettiin olla päällä 16.1.2011 saakka, jolloin pH oli laskenut 6.9:än. Kuvassa 2 on esitetty mittaustulokset graafina, jossa sinisellä viivalla on esitetty lämpökompensoitu keskimääräinen johtavuus ja vihreällä viivalla käsimittarilla mitattu pH.



**Kuva 2:** Numcoren sensorilla mitattu PÄHYN keskimääräinen johtavuus (sininen viiva) ja käsimittarilla mitattu pH (vihreä viiva) ajan funktiona.

Kuten kuvasta havaitaan, on korrelaatio nähtävissä keskimääräisen johtavuuden ja PH:n välillä. Johtavuus nousee kun pH laskee (vastaava korrelaatio oli myös nähtävissä Tuomo Tuikan raportissa 8.2.2011 "Päällystetyn hyllyn pH:n ja keskimääräisen johtavuuden korreloiminen.pdf"). Kuten kuvaajista nähdään, olisi pH mittauksia täytynyt olla enemmän. Lisäksi kuvan kolmannessa pH mittauksen arvo vaikuttaisi harhaiselta ts. kyseessä saattaa olla mittausvirhe, jos seurataan johtavuusarvoa ja sen kasvua. Lopussa voidaan olettaa että prosessi on johtavuuden kannalta ajatellen stabiloitunut. Lisäksi on huomioitava että mittausympäristö erosi huomattavasti varsinkin lämpötilan puolesta alkuperäisestä ympäristöstä, jossa lämpötila on n. 60 °C kun taas mittauspaikassa lämpötila vaihteli 21.5 ja 25 °C välillä.

## Yhteenveto

Mittauksista havaitaan että Numcoren sensorilla voidaan seurata PÄHYN pilaantumista. Lisämittauksia tarvitaan oikeassa ympäristössä, jotta saadaan varmennettua johtavuuden ja pH:n välinen yhteys.

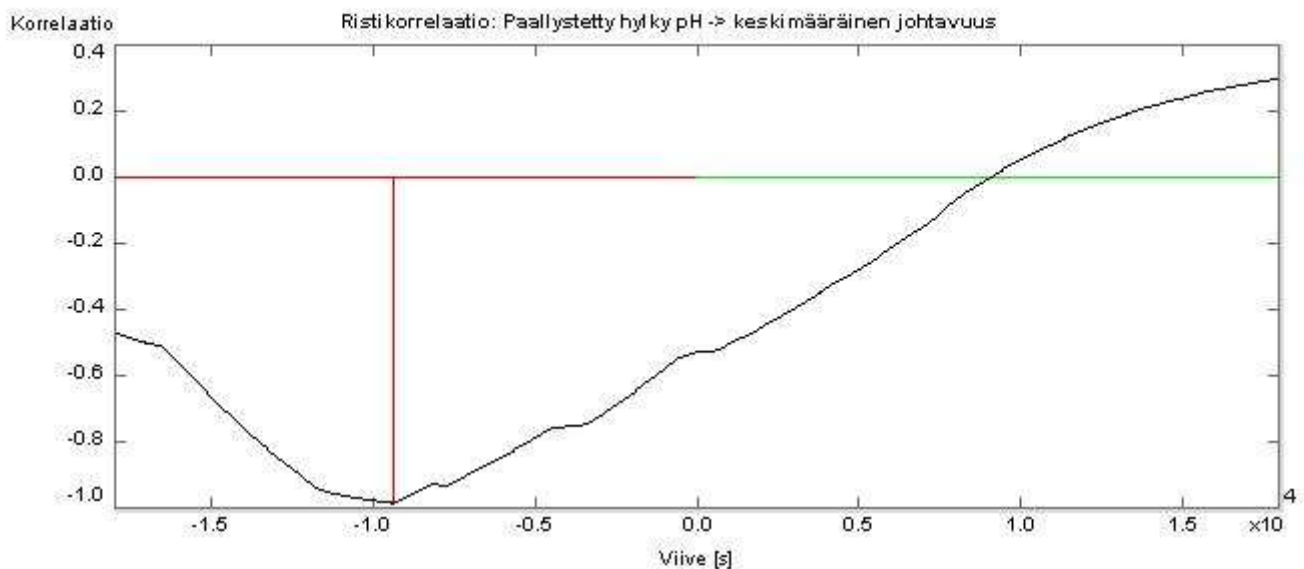
## Päällystetyn hyllyn pH:n ja keskimääräisen johtavuuden korreloiminen

### Asialista:

#### 1. Yleisiä huomioita

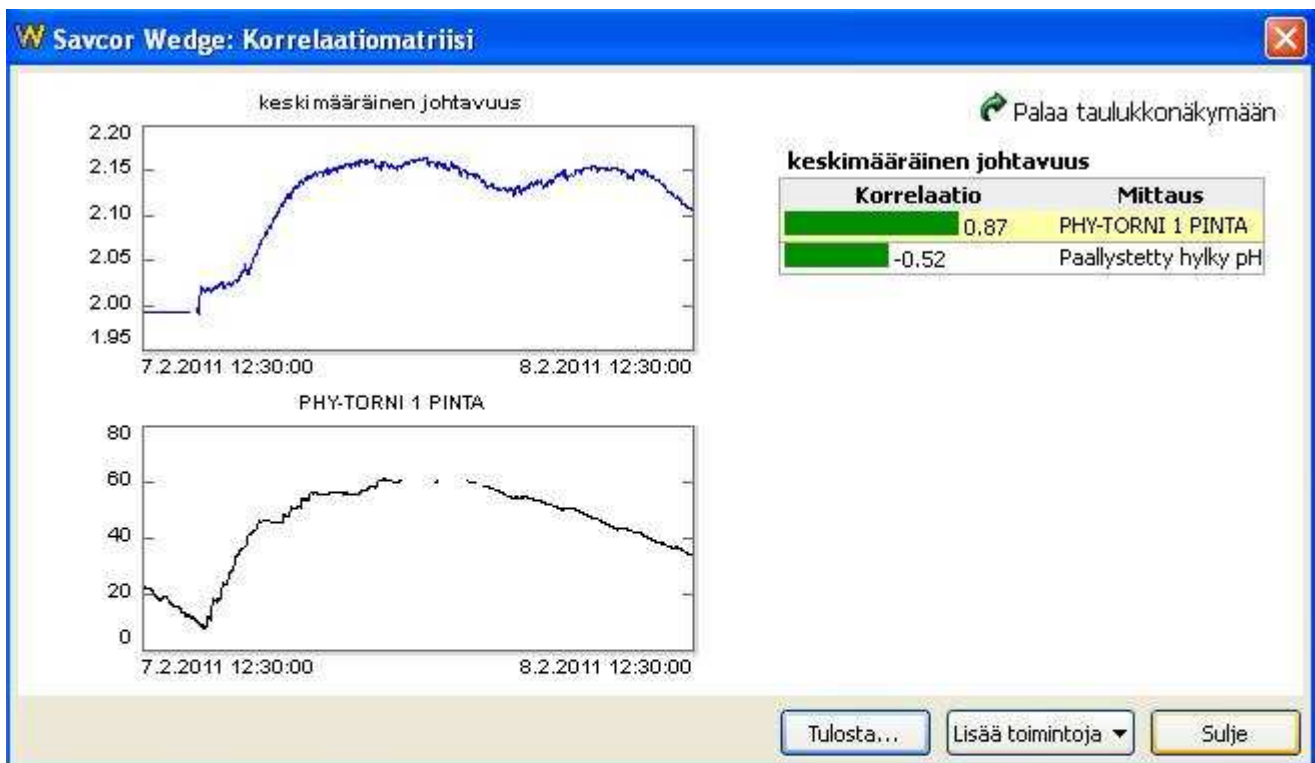
- Äkkiseltään katsottuna päällystetyn hyllyn pH näyttäisi korreloivan hyvin keskimääräisen johtavuuden kanssa
- Numcorella oli muistaakseni samanlaisia havaintoja pähyn pilaantumisen labramittauksissa
- Tärkeää on huomioida, että tutkittu aikaväli on hyvin lyhyt; tulokset voivat tulla muuttumaan paljon

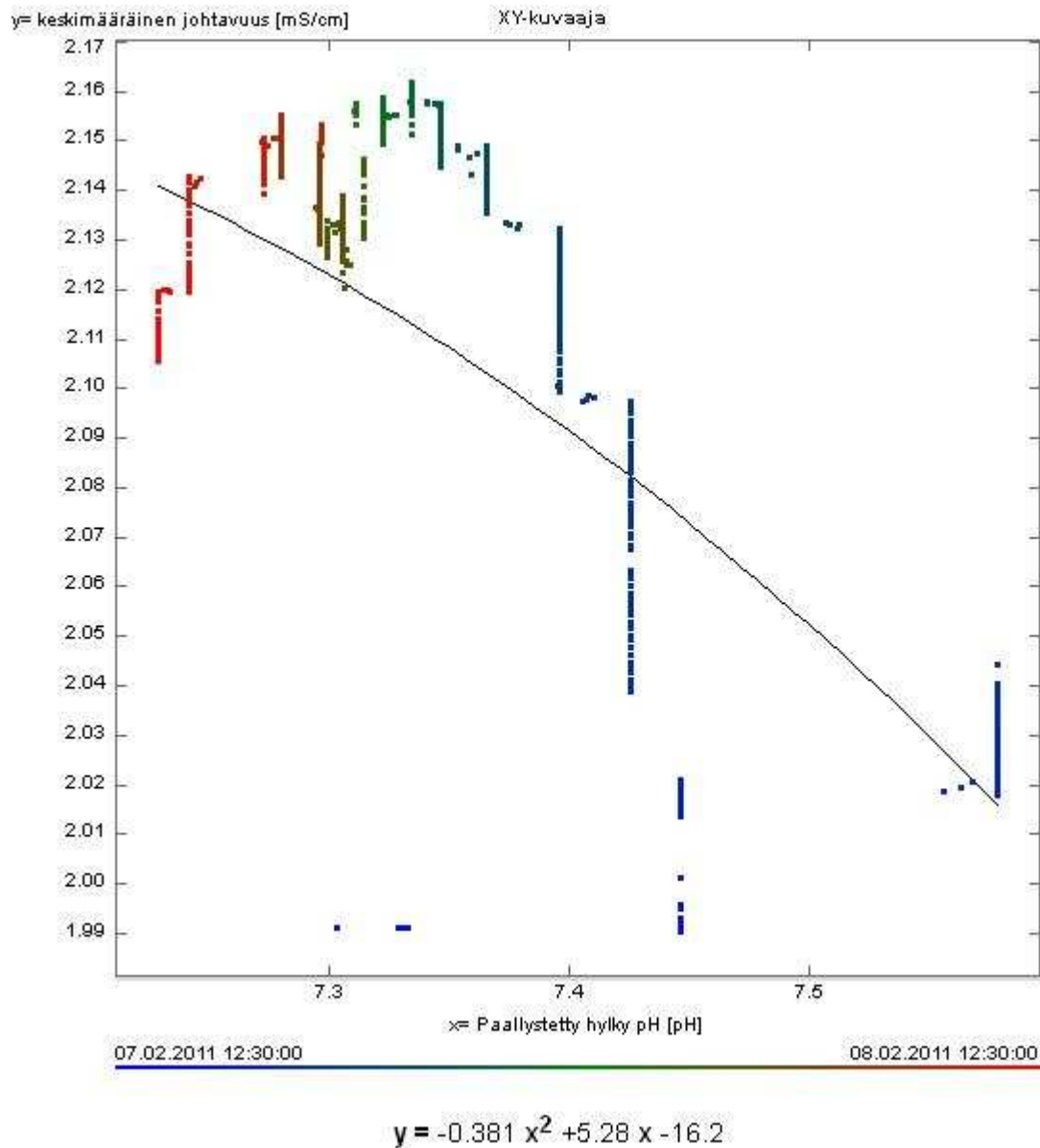
#### 2. Päällystetyn hyllyn pH:n ja keskimääräisen johtavuuden korreloiminen



Vaikutuksen suunta		Voimakkain korrelaatio	Prosessiiveellä [h:m:s]
Paällystetty hylky pH	--> keskimääräinen johtavuus		
keskimääräinen johtavuus	--> Paällystetty hylky pH	-0,989	02:36:00

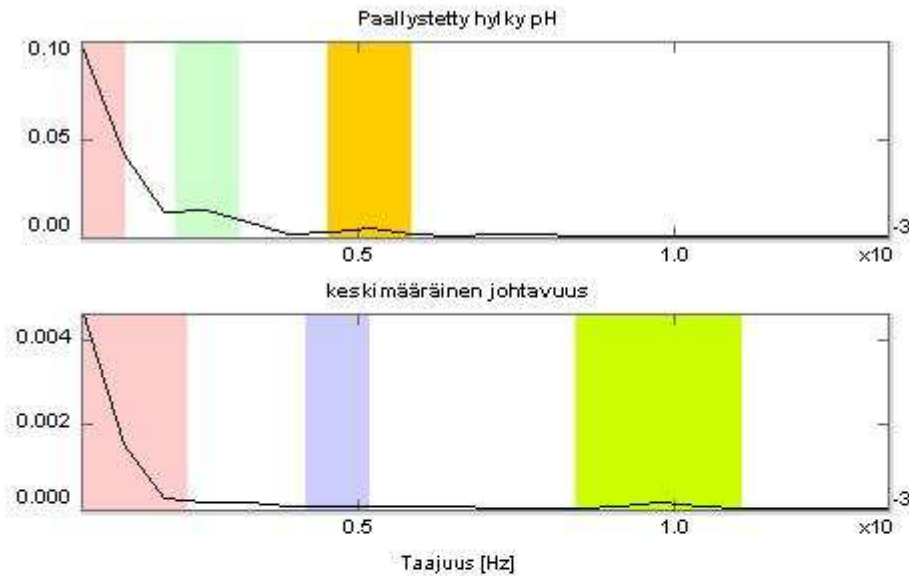
- Ristikorrelaatiolla kyseiset indeksit korreloivat erittäin hyvin (-0,989, max.  $\pm 1$ )
- Samanmuotoisuusaste on negatiivinen, eli indeksien yhteys on käänteinen
- Korrelaatiomatriisilla ei saada yhtä hyvää samanmuotoisuusastetta, koska korrelaatiomatriisi ei huomioi automaattisesti prosessiviiveitä (-0,52)
- Korrelaatiomatriisi löytää vastavuuden pähy-tornin pinnankorkeuden ja keskimääräisen johtavuuden välille (Huom! Ilman prosessiviiveitä)





- Päällystetyn hyllyn pH:n ja keskimääräisen johtavuuden korrelaation sovittaminen toisen asteen yhtälönä XY-kuvaajaan ei näytä kovin hyvää vastaavuutta (lyhyt aikaväli, todennäköisesti tulee tasoittumaan)





- Päällystetyn hyllyn pH:n ja keskimääräisen johtavuuden spektrit vastaavat toisiaan aika hyvin, merkittävin poikkeama on johtavuudessa kilohertsin taajuudella näkyvä amplitudi
- MAR-navigaattori ei löydä kyseiselle vaihtelulle alkuperää. Vastaukseksi MAR-navigaattori antaa seuraavaa:

Mittauksessa keskimääräinen johtavuus havaitun vaihtelun alkuperä

Vaihtelun aikaskaala [h:m:s]

00:15:05 - 00:19:45

Analysoitu datajakso

7.2.2011 12:30:00 - 8.2.2011 12:30:00

Vaihtelun alkuperä löytyi seuraavien mittausten läheisyydestä:

keskimääräinen johtavuus

PK5 Neliömassaprofiilin suodatettu keskiarvo

PK5\_MA-EJ\_VAAL\_AYX

PK5 katkoton aika^0

PK5\_HI-EJ\_KUITMM\_AYX

Retentioaine määrä nollavesisuodin 2 \_Kumulatiivinen summa / m3

PHY-TORNI 1 PINTA

MapCat hyllyn ann. lämpötila

RETENTIOAINE 0-VESISUODIN 1\_Kumulatiivinen summa / ml

PK5\_KONES\_HUOK\_AYX

Mantymassa annosteluun lämpötila

PK5 ratakatto^0\_Katkotiheys

Mantymassa jauhimille lämpötila

PK5 Rullanumero

MapCat hyllyn ann. pH

RETENTIOAINE 0-VESISUODIN 1\_Kumulatiivinen summa /m3

Retentioaine määrä nollavesisuodin 2 \_Kumulatiivinen summa / ml

Retentioaine suotimille ja flotaatioon yhteensä kumulatiivinen summa /m3

PK5\_MA-EJ\_SAK\_AYX

Vaikutusprosenttien laskenta tälle mittausjoukolla ei onnistu.

Mittausten vaihtelu on liian samankaltaista.

OK

Mittaukset...