

Tuomo Kamula

**PAPERIKONEEN JAUHATUKSEN SÄÄDÖN PARANTAMINEN JA
MAP-ANALYSAATTORIN KUNNOSSAPIDON KEHITTÄMINEN**

**PAPERIKONEEN JAUHATUKSEN SÄÄDÖN PARANTAMINEN JA
MAP-ANALYSAATTORIN KUNNOSSAPIDON KEHITTÄMINEN**

Tuomo Kamula
Opinnäytetyö
Kevät 2015
Automaatiotekniikan koulutusohjelma
Oulun ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu
Automaatiotekniikka, projektionnin suuntautumisvaihtoehto

Tekijä: Tuomo Kamula

Opinnäytetyön nimi: Paperikoneen jauhatuksen säädön parantaminen ja MAP-analysaattorin kunnossapidon kehittäminen

Työn ohjaaja: Timo Heikkinen

Työn valmistuslukuksi- ja vuosi: Kevät 2015

Sivumäärä: 76 + 12

Opinnäytetyön tavoitteena oli Stora Enso Oyj, Printing and Reading -yksikön Oulun tehtaan PK7-linjalle asennetun Metso MAP -analysaattorin käytettävyyden parantaminen. Työ suoritettiin Oulun tehtaiden kunnossapidosta vastaavalle Efora Oy:lle.

Analysaattori on osa paperitehtaan massaosaston sellun käsittelyä ja se kuuluu massan jauhatuksen säätöpiiriin. Analysaattori mittaa eri massalajien freeness-lukua, jota käytetään massojen jauhatuksen automaattisen hienosäädön tulosuureena. Analysaattorin mittaustuloksille tehtiin eri suodatustapoja, joiden tavoitteena oli mittaustuloksissa havaitun kohinan vaimentaminen.

Analysaattorin kunnossapitoa parannettiin muokkaamalla analysaattorin käyttöliittymäikkunoita automaatiojärjestelmästä ja luomalla monitorointi-ikkuna analysaattorin pesukemikaalin kulutuksen seurantaan varten. Pesukemikaalisäiliön tasosta tehtiin tekstiviestihälytys, jonka tarkoituksena oli varmistaa, että pesukemikaali ei missään tilanteessa pääsisi loppumaan analysaattorilta.

Asiasanat: automaatiojärjestelmät, freeness-analysaattori, jauhatuksen säätö, jauhatus, kunnossapito, suotautumisvastus

ABSTRACT

Oulu University of Applied Sciences
Automation engineering, project management

Tuomo Kamula:

Title of thesis: Improvement of Usability of Paper Machine MAP Analyzer

Supervisor: Timo Heikkinen

Term and year when the thesis was submitted: Spring 2015 Number of pages: 76 + 12

The thesis was made for Efora Ltd. which is responsible for the maintenance of Stora Enso Printing and Reading Unit's Paper Machine 7. The goal was to improve the usability of the newly installed Metso MAP -analyzer, which is a part of the refining process of the paper machine.

The analyzer's purpose is to measure the drainage resistance of different pulp stocks used in PM7's process. Different filters for measuring results were made to the module which was responsible of automatic fine-tuning of the refiners' input power. The goal was to decrease the variation in the analyzer's measuring results i.e. stock's drainage resistance.

The existing user interface windows were modified for better usability and a new monitor window was added to the distributed control system's user interface. The main purpose of the new window was to provide information about the analyzers cleaning chemical level. A text message alarm was made to advise the maintenance staff to fill the analyzer's cleaning chemical container before it runs out.

Keywords: DCS, drainage resistance, freeness-analyzer, maintenance, refining, refining control

ALKUSANAT

Tämän opinnäytetyön tilaajana toimi Efora Oy. Oulun ammattikorkeakoulun ohjaavana opettajana toimi sähkö- ja automaatiotekniikan lehtori Timo Heikkinen. Opinnäytetyön ohjaajana yhtiössä toimi luotettavuusinsinööri Matti Kokkila. Erityiskiitos projekti-insinööri Jaakko-Samuli Vänntilälle, joka auttoi työn käytännön asioissa ja eteenpäin viemisessä työn alusta loppuun. Kiitokset kuuluvat myös projekti-insinööri Olli Ylikörkölle, jonka neuvoista jauhatuksen säädön toiminnan tutkimisessa oli suuri apu. Haluan kiittää myös diplomityöntekijä Oskari Yliruokasta, jonka työpanoksen ansiosta työssä toteutetut tekstiviestihälytykset saatiin otettua käyttöön.

Oulussa 17.4.2015

Tuomo Kamula

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ.....	3
ABSTRACT.....	4
ALKUSANAT	5
SISÄLLYS.....	6
SANASTO.....	8
1 JOHDANTO	9
2 PAPERINVALMISTUS.....	10
2.1 Puun rakenne	10
2.2 Käytetyt raaka-aineet	11
2.3 Paperinvalmistusprosessin yleispiirteet.....	12
3 MASSANKÄSITTELY	14
3.1 Sellun hajotus ja jauhatus.....	14
3.2 Jauhintyytit	15
3.2.1 Hollanteri.....	16
3.2.2 Levyjauhimet.....	17
3.2.3 Kartiojauhimet.....	18
3.3 Jauhatuksen teorioita	19
3.4 Jauhatusjärjestelmien kokoonpanot.....	20
3.5 Jauhatusprosessin kokoonpano PK7:lla.....	21
4 SUOTAUTUVUUDEN MITTAUS	23
4.1 Canadian Standard Freeness -testi.....	23
4.2 Schopper–Riegler -testi.....	24
4.3 Automaattiset mittausten menetelmät	27
5 METSO MAP -ANALYSAATTORI	30
5.1 Asennus ja laitteisto	30
5.2 Näytteenkäsittelymoduuli.....	32
5.3 Freeness-moduuli.....	33
5.4 Linkki tehtaan automaatiojärjestelmään	34
5.5 Rekisterin sisällön luku automaatiojärjestelmään	37
5.6 Freeness-mittausperiaate.....	38
6 SÄÄDÖN KÄYTETTÄVYYDEN PARANTAMINEN	40

6.1	Jauhatuksen säädön toimintakuvaus.....	41
6.2	Käytettävyyden parantamisen suunnitelma	43
6.3	EOK:n hienosäädön automaatiomodulin muokkaus	45
6.3.1	Neljän viimeisimmän mittauksen tallennus.....	45
6.3.2	MediaanisuoDATUS ja liukuva keskiarvosuoDATUS	46
6.3.3	Mittaustuloksien muutosten valvonta	49
6.4	Mittauksen tarkkailu.....	51
7	KUNNOSSAPIDON PARANTAMINEN	57
7.1	Kunnossapitäjien toiveiden kartoitus	57
7.2	Pesukemikaalin kulutuksen seuranta	58
7.3	Automaatiomodulin toteutus	59
7.4	Käyttöliittymän parannukset	61
8	KOEJAKSON HAVAINTOJA	65
8.1	Mittausten suodatusten vaikutukset säätöön	65
8.2	Säädön käytettävyyden parannukset	68
8.3	Kunnossapidon parannustoimenpiteet	70
9	POHDINTA	72
	LÄHTEET.....	74
	LIITTEET	76

SANASTO

CSF	Canadian Standard Freeness -luku, jolla kuvataan massan suotautuvuutta (ml)
EOK	Energian ominaiskulutus (kWh/t)
flokki	Sulpuissa oleva puukuitujen muodostama kuitukimppu
KSF	Kajaani Standard Freeness -analysointilaitteisto
lyhyt kierto	Paperitehtaan prosessiosasto, joka sijaitsee paperikoneen ja konesäiliön välissä.
PK6, PK7	Stora Enson Nuottasaaren tehtaiden paperikone 6, paperikone 7
PPK7	Stora Enson Nuottasaaren tehtaiden paperinpäällystyskone 7
raina	Paperikoneen viiralle suotautumalla muodostuva paperiarkki tai -rata
SR	Schopper–Riegler -luku, jolla kuvataan massan suotautumisvastusta (°SR)
sulppu	Laimea vesiliete, joka sisältää paperin kuituja ja muita paperinvalmistuksen raaka-aineita

1 JOHDANTO

Opinnäytetyö oli jatkoa projektille, jossa Stora Enso Oyj, Printing and Reading -yksikön Oulun tehtaiden paperikone 7:n massaosastolle asennettiin aiemmin käytetyn massan suotautuvuus-analysaattorin tilalle uusi laite, joka asennettiin vanhan laitteen paikalle. Analysaattori mittaa eri massojen suotautumisvastusta, jonka perusteella hienosäädetään paperitehtaan massaosaston jauhinten jauhatustehoa.

Opinnäytetyö tehtiin Stora Enson Nuottasaaren tehtaiden kunnossapidosta vastaavalle Efora Oy:lle. Analysaattorin säädön v erityksen lisäksi tavoitteena oli laitteen käytettävyyden parantaminen kunnossapitäjien ja asiakkaan näkökulmasta. Työssä tuli selvittää kunnossapitäjien ja asiakkaan toiveet analysaattorilta saatavien tietojen esittämisestä. Opinnäytetyössä tutkittiin, saadanko analysaattorin mittaustuloksissa olevaa kohinaa vähennettyä käsittelemällä analysaattorin mittaustuloksia eri suodatustavoilla massan jauhatustason hienosäätömoduulissa. Tavoitteena oli myös arvioida suodatuksien tuomat hyödyt jauhatuksen hienosäätöön, mikäli suodatuksien lisääminen parantaisi analysaattorin mittaustuloksia. Hienosäätöpiirin muokkauksen pohjaksi täytyi selvittää asiakkaan säädölle asettamat vaatimukset.

Opinnäytetyön toisessa osiossa selvitettiin, olisiko mahdollista helpottaa analysaattorin kunnossapitoa käyttämällä hyväksi laitteen elektroniikkayksikön linkkiä tehtaan automaatiojärjestelmään. Tehtaan automaatiojärjestelmän käyttöliittymään suunniteltiin tehtäväksi erilaisia hälytyksiä, joista oli tarkoitus selvittää, onko joistain hälytyksistä tarpeellista tehdä tekstiviestihälytys automaatioasentajien älypuhelimisiin. Toisen osion parannukset toteuttavat osaltaan Eforan älykkään kunnossapidon strategiaa, jossa kunnossapito perustuu tuotantolinjasta saatavan tiedon hallintaan.

2 PAPERINVALMISTUS

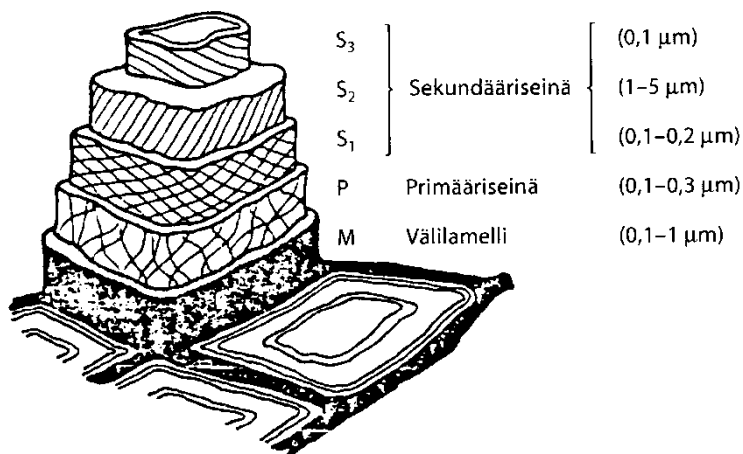
Paperin- ja kartonginvalmistuksessa on kyse puun pitkälle kehittyneestä jalostuksesta, minkä vuoksi siihen voidaan ajatella kuuluvan kaikki erilliset vaiheet puun metsästä keräämisestä lopputuotteen käsittelyyn ja asiakkaalle toimittamiseen paperin- ja kartonginvalmistuksen loppupäässä. Tässä opinnäytetyössä keskitytään paperinvalmistukseen, mutta merkillepantavaa on, että kartonginvalmistus on pääpiirteiltään samanlaista kuin paperinvalmistus. Paperi on tyypillisesti yksikerroksinen tuote, kun taas kartonki koostuu useasta eri kuitukerroksesta. Paperit ja kartongit jatkavat yleensä tehtailta jatkojalostukseen kuluttajalle valmistettavaksi tuotteeksi. Paperin loppujalosteita ovat kirjoitus-, paino- ja hygieniatuotteet. Kartongin loppujalosteet ovat tavallisesti pakkauksia. (Hägglom-Ahnger & Komulainen 2005, 8–9.)

2.1 Puun rakenne

Elävä puu on erikoistuneista soluista koostuva kokonaisuus, jossa solut ovat pääasiassa pitkiä ja kuitumaisia. Samankaltaisista soluista koostuvilla solukoilla on erilaisia puun elämän kannalta tärkeitä tehtäviä, kuten veden ja ravinteiden kuljetus. Täysikasvuisen puun paperinvalmistuksen kannalta tärkein osa on puun ytimen ympärillä sijaitseva puuaines, joka jaetaan sisemmän kerroksen käsittäväksi sydänpuuksi ja ulomman kerroksen käsittäväksi pintapuuksi. Sydänpuu on puun elämän aikana elintoiminnoiltaan kuollutta solukkoa, kun taas pintapuu on elävää solukkoa, jonka tehtävänä veden kuljetus puun runkoa ylös. (Isotalo 2004, 21–26.)

Puukuitujen soluseinät rakentuvat selluloosasta, hemiselluloosasta ja ligniinistä, joista selluloosa muodostaa solujen rungon. Soluseinästä voidaan erotella kuvassa 1 nähtävät kerrokset. Välilamelli, joka kuolleessa puussa muodostuu ligniinistä, toimii kuituja yhdistävänä rakenteena, mutta sitä ei lasketa kuitenkaan kuuluvaksi varsinaiseen soluseinään. Primääriseinä on soluseinän uloin, ohut kerros, joka poistuu paperinvalmistuksen jauhatusprosessissa yleensä kokonaan. Primääriseinän sisäpuolella sijaitsee sekundääriseinä, josta erotellaan kolme eri kerrosta. Sekundääriseinän S₂-kerrosta ympäröi kerroksen ulko- ja sisäpuolella ohuet S₁- ja S₃-kerrokset. Näistä kerroksista uloin S₁-kerros irtoaa primääriseinän tavoin lähes täysin jauhatuksessa. Sekundääriseinän paksu S₂-kerros muodostuu pääasiassa selluloosasta, ja paperinvalmistuksen massan-

jauhatuksen yksi tärkeimmistä tavoitteista on tämän kerroksen sisäinen ja ulkoinen fibrilloituminen eli säikeistyminen. (Isotalo 2004, 31–32.)



KUVA 1. Puukuidun soluseinän rakenne. (Isotalo 2004, 31.)

2.2 Käytetyt raaka-aineet

Paperinvalmistuksen pääraaka-aineena käytettäviä, paperin sisäiset sidokset muodostavia massoja on kolmea tyyppiä: kemiallinen massa, mekaaninen massa ja uusiomassa. Kemiallinen massa valmistetaan sellutehtaalla keittämällä havu- tai lehtipuhaketta tai molempia. Nykyisin suurin osa kemiallisesta massasta keitetään sulfaattimenetelmällä, jonka lopputuotteena saadaan havu- ja/tai lehtipuusulfaattisellua. Kemiallisessa massanvalmistuksessa hake kuidutetaan liottamalla puun kuituja sitova ligniini kemikaalien ja lämmön avulla. Mekaanisia massoja ovat hionta- ja hiertoprosesseissa tuotetut kuitumassat, jotka eroavat kemiallisista massoista pääasiassa suuren hienoaine- ja ligniinipitoisuuden osalta. Mekaanisessa massanvalmistuksessa raaka-aineena käytettävän puuhakkeen kuidut erotellaan toisistaan veden, lämmön ja toistuvan mekaanisen rasituksen avulla. Uusiomassa valmistetaan kierrätetystä paperista, minkä vuoksi uusiomassan ominaisuudet poikkeavat huomattavasti ensimmäistä kertaa tuotetuista massoista, koska kuivaus on aiheuttanut peruuttamattomia muutoksia uusiomassan kuitujen seinämissä. Keräyspaperimassa käsitellään erilaisissa hajotus-, lajittelu- ja puhdistusprosesseissa, joista saadun massan ominaisuuksia parannetaan vielä siistaus- ja jauhatusprosesseissa ennen kuin uusiomassaa käytetään uuden paperin valmistuksessa. (Hägglom-Ahnger & Komulainen 2005, 14–15, 31–35.)

Erityyppisiä paperilajeja tuottavilla paperitehtailla käytetään tuotettavaan paperilajiin parhaiten sopivaa massojen seosta, jossa massojen suhteet säädetään tuotettavalta paperilajilta vaadittavien ominaisuuksien mukaan. Eri massalajeilla saadaan lopputuotteeseen tiettyjä ominaisuuksia, jotka voivat olla ristiriidassa toistensa kanssa. Toisiaan vastaan kilpailevat ominaisuudet tasapainotetaan tuotekehityksessä, jossa pyritään saavuttamaan sopiva kompromissi kyseisten ominaisuuksien välille. Lopputuotteen laatuun ja ominaisuuksiin vaikuttavat myös prosessissa käytetyt erilaiset täyteaineet, liimat ja lisäaineet. (Hägglom-Ahnger & Komulainen 2005, 14–15.)

2.3 Paperinvalmistusprosessin yleispiirteet

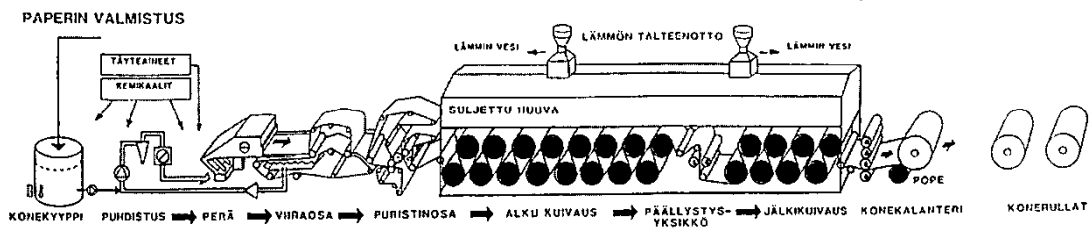
Paperikoneen kokoonpano on esitettyä kuvassa 2. Koneen pääosat prosessin alkupäästä lueteltuna ovat perälaatikko, viiraosa, puristinoso ja kuivatusosa (Hägglom-Ahnger & Komulainen 2005, 15). PK7:lla päällystetyn taidepainopaperin tuotannossa kuivatusosan jälkeen paperi rullataan väilirullaimella konerulliin, jotka jatkavat paperin tuotantoprosessissa eteenpäin.

Paperikoneen alkuosaa kutsutaan märkääksi, joka koostuu perälaatikosta, viiraosasta ja puristinosasta. Perälaatikkoon pumpataan laimeaa kuituseosta eli sulppua, joka pyritään levittämään mahdollisimman tasaisesti viiraosalle. Paperirainan muodostuminen alkaa viiraosalta, jolle levitystä sulppumatosta poistuu yli 95 % perälaatikolta syötetystä vesimäärästä. Viira on yleisnimitys paperikoneen eri osissa käytetyille, yleensä muovikuiduista kudotuille päistään yhteenliitetyille matoille, jotka kulkevat eri tavoin suunniteltua reittiä paperikoneen telojen alla ja päällä. Paperikoneen märkäään viirojen päätehtävä on vedenpoisto paperirainailta. (Hägglom-Ahnger & Komulainen 2005, 16.)

Prosessin seuraavassa vaiheessa paperiraina ohjataan viiraosalta puristinosalle, jossa puristinnippien avulla muokataan rainan rakennetta ja symmetrisyyttä. Puristinnipit ovat tyypillisesti 2–4 vastakkaisen telaparin muodostamia kokonaisuuksia, joissa raina kulkee kahden tai useamman vastakkain puristetun puristintelan läpi. Puristinosalla rainasta poistuu myös vettä, minkä johdosta puristinosan jälkeen rainan kuiva-ainepitoisuus kasvaa viiraosan jälkeisestä 15–20 %:sta 40–60 %:iin. (Hägglom-Ahnger & Komulainen 2005, 16.)

Kuvassa 2 olevan suljetun huuven alla sijaitsevan kuivatusosan tehtävänä on haihduttaa rainasta vettä sopivaan loppukosteuteen, joka paperilajista tai seuraavasta prosessista riippuen on 3–10

% Veden haihdutus kuivatusosalla tapahtuu ajamalla paperia kuumalla höyryllä lämmitettyjen telojen läpi. Lämpö siirtyy teloista paperirainalle, minkä johdosta rainan sisältämä vesi haihtuu ympäröivään ilmaan. Alkukuivauksen ja jälkikuivauksen välissä voi olla yksiköitä liimojen tai päällysteiden lisäämiseksi. Kuivatusosalta paperi johdetaan edelleen kiinnirullaimelle, jossa valmistettu paperiraina rullataan suuriin konerulliin, joissa valmistettua tuotetta voidaan varastoida lyhyitä aikoja tai siirrellä prosessin eri vaiheisiin. (Hägglom-Ahnger & Komulainen 2005, 16.)



KUVA 2. Paperikoneen kokoonpano. (Hägglom-Ahnger & Komulainen 2005, 16.)

PK7:lla valmistettavat paperilajit jatkavat paperikoneelta valmistuttuaan prosessissa eteenpäin PPK7:lle, joka on neljästä päällystysasemasta koostuva kokonaisuus. Päällystysasemilla paperikoneella valmistettuun paperiin lisätään päällystekerroksia, jotka parantavat muun muassa paperin optisia ominaisuuksia. Päällystyksen jälkeen paperi rullataan uudelleen konerullaksi päällystyskoneen kiinnirullaimella. Valmiit konerullat siirtyvät superkalatereille, jotka ovat useista päällekkäisistä rullista koostuvia kokonaisuuksia, joiden läpi päällystetty paperi ajetaan. Superkalanteroinnissa paperista voidaan tehdä matta- tai kiiltäväpintainen valmistettavan paperilajin mukaan. Superkalanteroinnin jälkeen konerullat ovat valmiita leikattavaksi pituusleikkureilla leveydeltään pienemmiksi asiakasrulliksi, jotka voidaan tässä vaiheessa jo toimittaa asiakkaalle tai jatkojalostaa edelleen arkeiksi Stora Enson Nuottasaaren tehtaiden arkittamolla.

3 MASSANKÄSITTELY

Massankäsittelyprosessit sijoittuvat paperikoneen pohjapiirustuksessa massaosastolle, jonka karkeana tehtävänkuvaksena on eri massojen käsittely siten, että perälaatikolle syötettävä massa olisi mahdollisimman tasalaatuista ja että siinä olisi mahdollisimman vähän ajettavuusongelmia aiheuttavia ominaisuuksia. Massankäsittelyssä hajotetaan ja jauhatetaan eri massalajeja, joita ovat sellut, hiokkeet, hylkymassat ja keräyspaperit. Keräyspaperimassa täytyy myös puhdistaa massankäsittelyssä. Massankäsittelyyn lasketaan kuuluvaksi myös lisä- ja apuaineiden käsittely ja annostelu. Kiertovesijärjestelmä osallistuu myös massankäsittelyyn, koska kaikki raaka-aineet laimennetaan viimeistään ennen paperikonetta. (Hägglom-Ahnger & Komulainen 2005, 112.)

3.1 Sellun hajotus ja jauhatus

Sellun hajotukseen ja jauhatukseen vaikuttaa oleellisesti sellu- ja paperitehtaan sijoittelu toisiinsa nähden. Mikäli kyseessä on integroitu tehdas, eli sellutehdas on rakennettu paperitehtaan yhteyteen, massa pumpataan paperitehtaalle putkimassana. Integroimattomaksi tehtaaksi kutsutaan paperitehdasta, jonka välittömässä läheisyydessä ei ole sellutehdasta. Integroimattomille paperitehtaille sellu toimitetaan tavallisesti kuivina sellupaaleina, jotka on hajotettava pulppereissa sulpuksi. Sulppua, jonka sakeustavoite on tavallisesti 4–6 %, voidaan tämän jälkeen siirtää pumpaamalla prosessin eri vaiheisiin. Ennen jauhatusta on joskus tarpeellista kuiduttaa massa kuiduttimella, koska pulpperissa hajotettu massa saattaa sisältää kuituuntumattomia massaflokkeja. Kuidutin hajottaa kuitukimput, mutta ei vaikuta massan suotautuvuuteen, jonka muutos tapahtuu jauhimilla. (Hägglom-Ahnger & Komulainen 2005, 112–113.)

Jauhatusprosessissa kuituja muokataan mekaanisilla menetelmillä halutun lopputuloksen aikaansaamiseksi. Lopputuotteeseen pyritään löytämään tasapaino eri jauhatusasteista johtuvien ominaisuuksien välille. Tällä tarkoitetaan sitä, että massan jauhatusasteen muuttuessa valmistettavan paperin tietyt ominaisuudet paranevat, kun taas toiset ominaisuudet heikkenevät. Paulapuron (2008, 105) mukaan jauhatuksen tavoitteena ei ole välttämättä minimoida sulpun suotautumisvastusta, vaan parantaa paperirainan vahvuutta tai pintaominaisuuksia, koska suotatumisvastusta voidaan säädellä lisäaineilla viiraosalla, mikäli massan suotatumisvastuksessa on tapahtunut muutoksia jauhatuksen jälkeen.

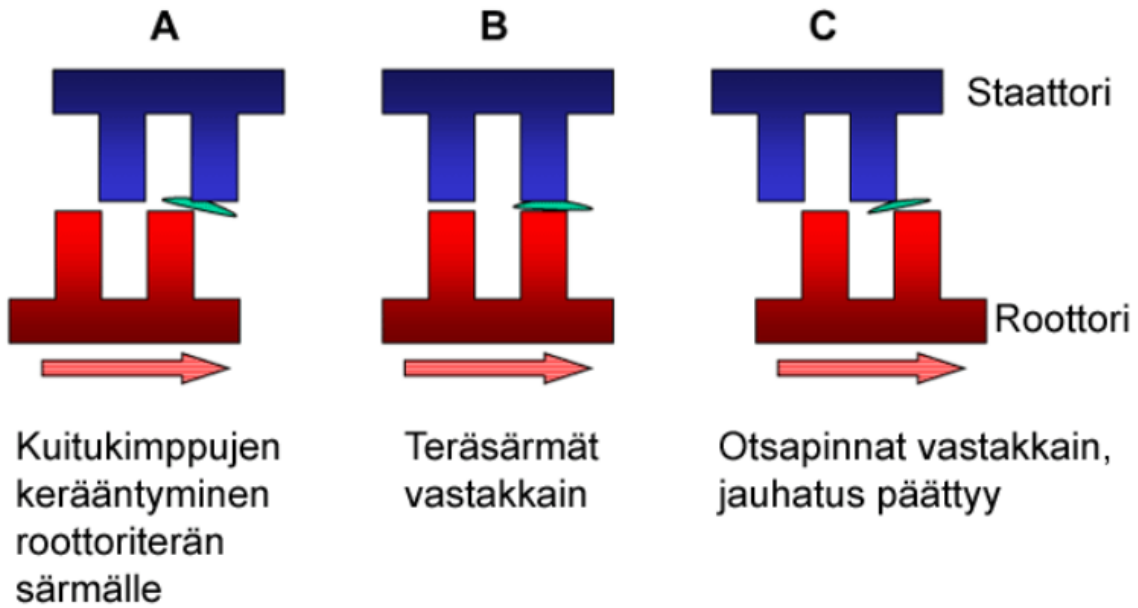
Sellun jauhatuksessa massan kuitujen ominaisuudet muuttuvat monella tapaa, joista seuraavassa lyhyet kuvaukset:

- Ulkoisessa fibrillaatioissa eli säikeistymisessä kuitujen ulkokerrokset osittain irtoavat ja haiventuvat. Tämä ilmiö edistää kuitujen sitoutumista kuidun seinämästä esiin irronneiden haiventen lisätessä yksittäisen kuidun kosketuspinta-alaa.
- Sisäisellä fibrillaatiolla tarkoitetaan veden tunkeutumista kuitujen lamellien väliin ja tästä aiheutuva kuitun turpoamista ja notkistumista. Kuitun notkistuminen aiheuttaa usein putkimaisten kuitujen litistymisen kasaan, jolloin nauhamaiseksi muuttuneet kuidut pääsevät parempaan kontaktiin toistensa kanssa suurentuneen kosketuspinta-alan vuoksi. Lisäksi notkeat kuidut muodostavat laajempia ja tiiviimpiä sidoksia kuin jauhamattomat suorat ja jäykät kuidut. Sisäisen fibrillaation vaikutuksia voi havainnollistaa vertaamalla toisiinsa satunnaisen tulitikkukasan (jäykät kuidut) ja pitkistä langan pätkistä koostuvan kasan (notkeat kuidut) tiiveyttä toisiinsa.
- Kuitun suoruuden muutoksia, joita ovat kuitun suoristuminen matalassa sakeudessa ja kuitun kähertyminen suuressa sakeudessa.
- Kuitujen katkeileminen ja keskipituuden lyheneminen ovat ilmiöitä, joita pyritään yleensä välttämään jauhatuksessa, koska kuitujen pienempi keskipituus huonontaa paperin reppäisylujuutta.
- Hienoaineen syntyminen edistää kuitusidosten syntymistä, koska erityisesti kuitujen risteyshetkillä hienojakoinen aine toimii liima-aineen tapaan.
- Kuitun liukeneminen osittain muodostaa kuitun pintaan sitoutuvan kerroksen, minkä vuoksi tämä muutos voi joskus olla toivottava jauhatuksessa. Kuitun liukeneminen kokonaan taas ei ole toivottavaa, koska lienneet aineet häiritsevät paperinvalmistusprosessia ja kuormittavat paperitehtaan jätevesien käsittelylaitosta. (Hägglom-Ahnger & Komulainen 2005, 113–114.)

3.2 Jauhintyyppit

Jauhintyyppistä riippumatta kuitujen jauhautuminen tapahtuu kaikissa jauhimissa saman periaatteen mukaisesti kuvassa 3 nähtävissä vaiheissa. Ensimmäisessä vaiheessa (A) kuitukimput poimitaan jauhinterien välissä olevista urista ja saatetaan varsinaisten teräsärmien väliin. Toisessa vaiheessa (B) kuitukimput ovat vastakkaisten teräsärmien välissä, jossa tapahtuu kuitujen omi-

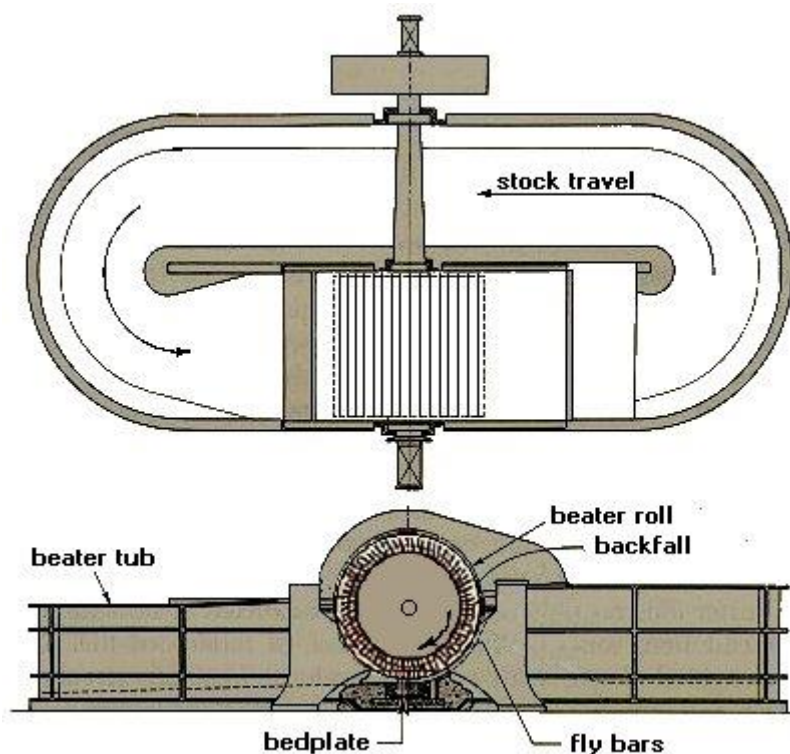
naisuuksien muutokset jauhinterien aiheuttaman paineen ja leikkausvaikutuksen alaisuudessa. Kolmannessa vaiheessa (C) kuitukimput vapautuvat teräsärmien välistä ja jauhatus päättyy. Seuraavissa kappaleissa on kuvaus erätyyppisestä hollanterista ja nykyään kahdesta suosituimmasta jatkuvatoimisesta jauhintyyppistä, joista Oulun paperitehtailla on käytössä kartiotyyppiset jauhimet. (Paulapuro 2008, 94.)



KUVA 3. Jauhatuksen vaiheet jauhinterien välissä. (AEL 2013.)

3.2.1 Hollanteri

Eräs vanhimmista teollisista jauhintyypeistä on kuvassa 4 oleva hollanteri, jossa massan jauhatus tapahtuu erätyyppisesti. Hollanterissa on päättymättömän radan muodostava allas, jonka koko määrittää, kuinka suuri erä massaa voidaan käsitellä laitteessa. Hollanterin akselille on asennettu roottori (beater roll), jonka ulkoreunalla sijaitsevat akselin suuntaisesti asennetut jauhatusterät (fly bars). Kohtisuoraan roottorin akselin alapuolella sijaitsee staattori (bedplate), joka koostuu myös useista roottorin akselin suuntaisista jauhatusteristä. Roottorin liike aiheuttaa altaassa olevan massan virtauksen kuvan 4 nuolen suuntaan (stock travel), jolloin massan jauhatus tapahtuu roottorin ja staattorin terien välissä. Huomiotavaa hollanterissa on sen ominaisuus, jossa jauhatuksen tehoa ja jauhatusaikaa voidaan säätää toisistaan riippumatta. Jauhatusaikaa säädetään pyörittämällä roottoria niin kauan kuin haluttu massaerän jauhatusaste on saavutettu. Jauhatuksen tehoa eli jauhatuksen ominaissärmäkuormaa suurennetaan laskemalla roottoria lähemmäksi staattoria eli toisin sanoen hollanterin terävälä pienentämällä.

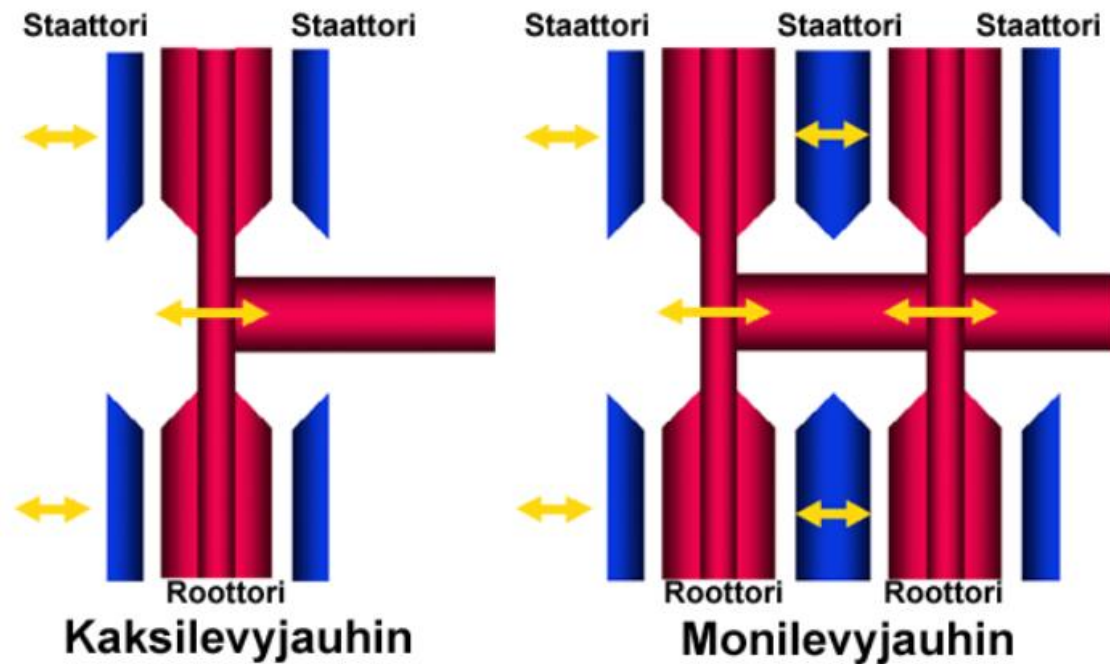


KUVA 4. Hollanterin periaatekuva. Kuvan roottorissa (beater roll) oleva nuolella osoitettu roottorin pyörimissuunta on vastapäivään hollanterin käydessä. (Peace Paper Project 2015, viitattu 2.3.2015.)

3.2.2 Levyjauhimet

Levyjauhimien pääosat ovat ympyrän muotoinen, keskeltä akseloitu, roottori ja tämän molemmilla puolilla olevat staattorina toimivat jauhimen vastaterät. Roottorilevyn ulkopinnalla (punainen kuvassa 5) ja staattorin sisäpinnalla (sininen kuvassa 5) on uritetut terät, joiden välissä massa kulkeutuu jauhimen ulkokehälle jauhimen käynnin aikana. Massa syötetään levyjauhimeen levyn keskellä olevan syöttöyhteen kautta ja se poistuu levyn ulkokehällä olevasta poistoyhteestä. Massaa liikuttaa syöttöyhteeltä poistoyhteelle hydraulisen paineen ja keskipakovoiman yhteisvaikutus. Terien välissä oleva alue on levyjauhimen jauhatusvyöhyke, jossa kuitujen jauhautuminen tapahtuu niiden joutuessa teräsärmien väliin. Levyjauhimissa jauhatusrakojen määrä voi vaihdella yhdestä neljään. Useampirakoisissa, ns. monilevyjauhimissa roottorin levyjä on tällöin asennettu samalle akselille kaksi kappaletta. Levyjauhimissa jauhatus tapahtuu jatkuvatoimisesti, eli massa kulkee jauhimen jauhatusvyöhykkeen läpi vakiolla virtausnopeudella. Tästä johtuen massan jauhatusulos ei ole tällä jauhintyyppillä tasakoosteinen, koska osa kuiduista voi läpäistä terät kulkeutumalla jauhinterien uria pitkin jauhatusvyöhykkeen läpi joutumatta koskaan teräsärmien väliin.

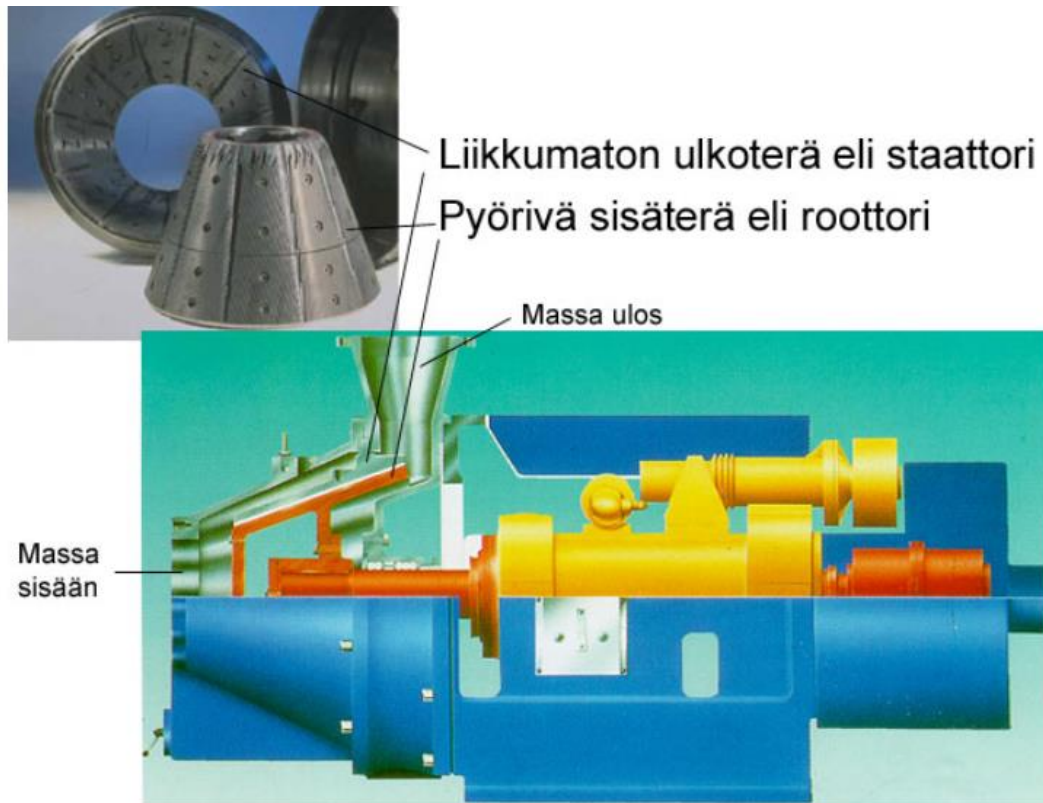
Jauhatusvyöhykkeellä tapahtuvan massan takaisinvirtauksen vuoksi osa kuiduista voi olla jauhatusvyöhykkeellä pidempään kuin on tarpeellista.



KUVA 5. Levyjauhimen periaatekuva. (AEL 2013.)

3.2.3 Kartiojauhimet

Kartiojauhimet koostuvat kuvan 6 mukaisesta kartion muotoisesta roottorista ja tämän ympärillä olevasta kartion muotoisesta staattorista. Massa syötetään jauhimeen kartion kapeasta päästä ja se poistuu kartion leveästä päästä. Massaa liikuttavat voimat ovat kartiojauhimessa syöttö- ja poistoyhteen paine-ero sekä roottorin liikkeen aiheuttama pumppausvaikutus (AEL 2013). Massan päävirtauksen suunta on syöttöyhteestä poistoyhteeseen, mutta jauhimen terien välissä tapahtuu myös tällä jauhintyyppillä paikallisia virtauksia takaisin syöttöpäähän (Paulapuro 2008, 105). Jauhimen teriin on muotoiltu viistottaisia uria, joiden fyysiset ominaisuudet vaihtelevat jauhimen koon ja halutun käyttötavan mukaan. Kartiojauhimet ovat levyjauhimien tapaan jatkuva-toimisia jauhimia ja levyjauhimien tapaan kartiojauhimissa käsitelty massa ei ole täysin tasakoosteista kuitujen takaisinvirtauksen ja ohivirtauksen vuoksi.



KUVA 6. Kartiojauhimen terät irrallaan ja jauhimen sivuprofiili yläosasta halkaistuna. (AEL 2013.)

3.3 Jauhatuksen teorioita

Sellun jauhatusteorioita on useita, joista tunnetuin ja Oulun paperitehtailakin käytössä oleva on ominaissärmäkuormateoria. Teoriassa esitellään kaksi eri laskentakaavaa, jotka kuvaavat ominaisenergian kulutusta ja ominaissärmäkuormaa (kaavat 1–2). Ominaisenergian kulutus kuvaa jauhatuksen määrää ja ominaissärmäkuorma on jauhatustavasta riippuvainen suure. (Hägglom-Ahnger & Komulainen 2005, 114.)

$$SEC = \frac{P_t - P_w}{m}$$

KAAVA 1

SEC = ominaisenergiankulutus (specific energy consumption), kWh/t

P_t = jauhimen kokonaisteho, kW

P_w = jauhimen häviöteho, kW

m = jauhimen läpi virtaava kuivan massan määrä, t/h

$$SEL = \frac{P_t - P_w}{L \cdot n}$$

KAAVA 2

SEL = ominaissärmäkuorma (specific energy load), J/m tai Ws/m

P_t = jauhimen kokonaisteho, kW

P_w = jauhimen häviöteho, kW

L = jauhimen teräsärmien kokonaispituus, km

n = jauhimen kierrosluku, r/s

Oulun paperitehtailla ominaisenergiankulutuksesta käytetään lyhennettä EOK, joka on muodostettu sanoista ”energian ominaiskulutus”. Lyhennettä käytetään tässä opinnäytetyössä, koska se on yleisesti käytössä Oulun paperitehtailla.

Kaavojen yhteys toisiinsa selviää tarkastelemalla tilannetta, jossa jauhatuksen määrää halutaan nostaa paperikoneella, jossa jauhatusprosessin läpi pumpattava massavirtaus määräytyy tehtaan automaatiojärjestelmän mukaan. Tässä tilanteessa jauhatuksen määrää, eli energian ominaiskulutusta, nostetaan kasvattamalla jauhimen tai sarjaan kytkettyjen jauhimien kokonaistehoa, jonka kohotessa myös ominaissärmäkuorma kasvaa, koska L ja n ovat tyypillisesti vakioita. Kokonaistehon kasvatus toteutetaan käytännössä jauhimen tai jauhimien roottorin ja staattorin teräväliä pienentämällä. Jos jauhatuksen määrää halutaan suurentaa kasvattamatta ominaissärmäkuormaa, ainoaksi mahdollisuudeksi jää useampien jauhimien kytkeminen sarjaan ja jakamalla haluttu EOK näiden jauhimien kesken. Tällä tavoin saadaan pidennettyä aikaa, jonka jauhimien läpi kulkeva massa on jauhinterien välissä. Pidennetty jauhinterien välissä vietetty aikaa siis lisää massaan käytettyä energian ominaiskulutusta ominaissärmäkuorman kuitenkin kasvamatta. EOK:lle ja ominaissärmäkuormalle on listattu kirjallisuudessa ohjearvoja, joista esimerkkeinä mainittakoon valkaistu pitkäkuitusulfaatti, joka vaatii EOK:ksi 100–300 kWh/t ja jonka ominaissärmäkuorma voi olla 1–3 J/m sekä lyhytkuitusulfaatti, jonka EOK voi olla 50–150 kWh/t ja ominaissärmäkuorma vain 0,2–1 J/m. (Hägglom-Ahnger & Komulainen 2005, 114–115.)

3.4 Jauhatusjärjestemien kokoonpanot

Yksittäisistä jauhimista rakennetaan paperitehtaiden massaosastoille jauhatusjärjestelmiä, joiden kokoonpano riippuu valmistettavasta paperilajista ja tehtaan koosta. Eri massalajit voidaan jau-

haa omissa jauhatuslinjoissaan tai kaikki samassa linjassa. Yleensä suurissa paperitehtaissa, joihin Oulun PK7 voidaan lukea, eri massalajit jauhetaan omissa jauhatuslinjoissaan.

Erilliset jauhatuslinjat kullekin massalajille mahdollistavat jokaisen massalajin jauhamisen niiden yksilöllisten ominaisuuksien mukaan, jolloin massalajin parhaat ominaisuudet saadaan paremmin otettua käyttöön. Tällöin eri massalajien jauhatusmäärä ja -tapa voidaan säätää erikseen. Samaa jauhatusjärjestelmää usealle eri massalajille käytetään tavallisesti vanhoissa tehtaissa, joissa ei haluta laajentaa massaosastoa tai jonkin muun syyn vuoksi päädytään käyttämään yhtä jauhatuslinjaa. Tämän menettelyn haittapuolena on se, että pidemmät kuidut saattavat suojata lyhyempiä kuituja jauhatusprosessin aikana, jolloin lopputuloksessa lyhyiden kuitujen jauhatus saattaa jäädä vajaaksi ja/tai epätasaiseksi. (Paulapuro 2008, 123.)

Jauhatusjärjestelmissä jauhimet voidaan kytkeä sarjaan tai rinnan. Sarjaan kytkettyjen jauhimien massaan kohdistama kokonaisjauhatusteho on jauhimien tehojen summa. Jauhimia voidaan asettaa samaan massalinjaan kaksi tai useampia. Sarjakytkennän hyvänä puolena on jauhatustuloksen tasaisuus verrattuna rinnankytkentään, kun useamman jauhimen läpi kulkiessaan kuiduilla on pienempi mahdollisuus läpäistä jauhimet kulkeutumatta jauhatusvyöhykkeiden läpi. Sarjakytkennän hyväksi puoleksi voidaan myös laskea edellisessä luvussa (3.3 Jauhatuksen teorioita) käsitelty jauhatusmäärän lisääminen ominaissärmäkuorman pysyessä samana. (Hägglom-Ahnger & Komulainen 2005, 115.)

3.5 Jauhatusprosessin kokoonpano PK7:lla

PK7:n jauhatusprosessin kokoonpanoon kuuluu yhteensä kahdeksan jauhinta: mäntysellujauhimet 1–3, koivusellujauhimet 1–2, eukasellujauhimet 1–2 ja hylkyjauhin. Hylkyjauhin toimii mäntylinjan varajauhimena, eli se voidaan ottaa käyttöön mäntylinjalla esimerkiksi yhden jauhimen teräsvaihdon ajaksi. Kullakin massalajilla on oma linja, jota pitkin massan siirto tapahtuu annostelusäiliöstä sekoitussäiliöön. Massat pumpataan annostelusäiliöstä invertterikäyttöisellä pumpulla virtaus- ja sakeussäädettyä linjaa pitkin jauhimien kautta sekoitussäiliön tukkiin sekoitussäiliön pinnan ohjaamana (Lukka 1996, 1.2.4). Linjojen virtaus- ja sakeussäätö toteutetaan automaattiventtiileillä, joiden toiminta on lukittu annostelusäiliöiden pumppujen käyntiin (Lukka 1996, 1.2.4). Jauhimien irrotus ja kytkentä tapahtuvat nelitieventiileillä, joiden toiminta on lukittu jauhimien käyntitietoihin. Koivulinjaan on kytketty lisäksi eukasellujauhin 2, jota käyttämällä koivulinjaan

saadaan kolmas jauhin. Koivulinjan varajauhimena toimii linjaan kytketty mäntysellujauhin 1. Eukalinjaan on kytketty koivusellujauhimet 1 ja 2, jolloin eukalinjan jauhimien maksimimäärä saadaan kolmeen. Paperikoneen annostelija valitsee linjoille halutut jauhimet käyttöön automaatiojärjestelmän käyttöliittymästä. (Liite 1.)

Mäntysellulinjassa kulkeva massa jauhetaan normaalisti kolmella jauhimella, koska pitkät mäntysellukuidut kestävät enemmän jauhatusta kuin lyhyemmät lehtipuukuidut. Koivu- ja eukasellulle on normaalitilanteessa käytössä neljä jauhinta, jotka yleensä on asetettu käyttöön siten, että molemmilla linjoilla jauhatus tapahtuu kahdessa jauhimessa. Jauhimien jälkeen massat kulkevat sekoitussäiliöön, johon pumpataan tuoreen massan lisäksi myös pulpperoitu ja puhdistettu hylkymassa hylkylinjaa pitkin. Sekoitussäiliöltä massa pumpataan vielä konesäiliöön, jossa massaan lisätään väriaineita ja massaliima. Konesäiliötä massa pumpataan paperikoneelle, jossa se lopulta pumpataan perälaatikon kautta viiralle.

4 SUOTAUTUVUUDEN MITTAUS

Sulpun suotautuvuuden mittaus kuuluu paperikoneen märkäpään hallinnan perussuureiden mittauksiin. Laajemmassa asiayhteydessä suotautuvuus on yksi paperikoneen märkäosan kemian suureista. Märkäosan kemialla tarkoitetaan sitä osaa lyhyestä kierrosta, johon ei pystytä mekaanisilla asetuksilla, kuten perälaatikon asetuksilla, vaikuttamaan. Märkäosan kemia vaikuttaa lopulta tuotettavan paperin laatuun ja ajettavuuteen, minkä vuoksi märkäosan kemian suureita seurataan on-line -mittareilla ja/tai laboratoriomittauksilla. (Hägglom-Ahnger & Komulainen 2005, 147.)

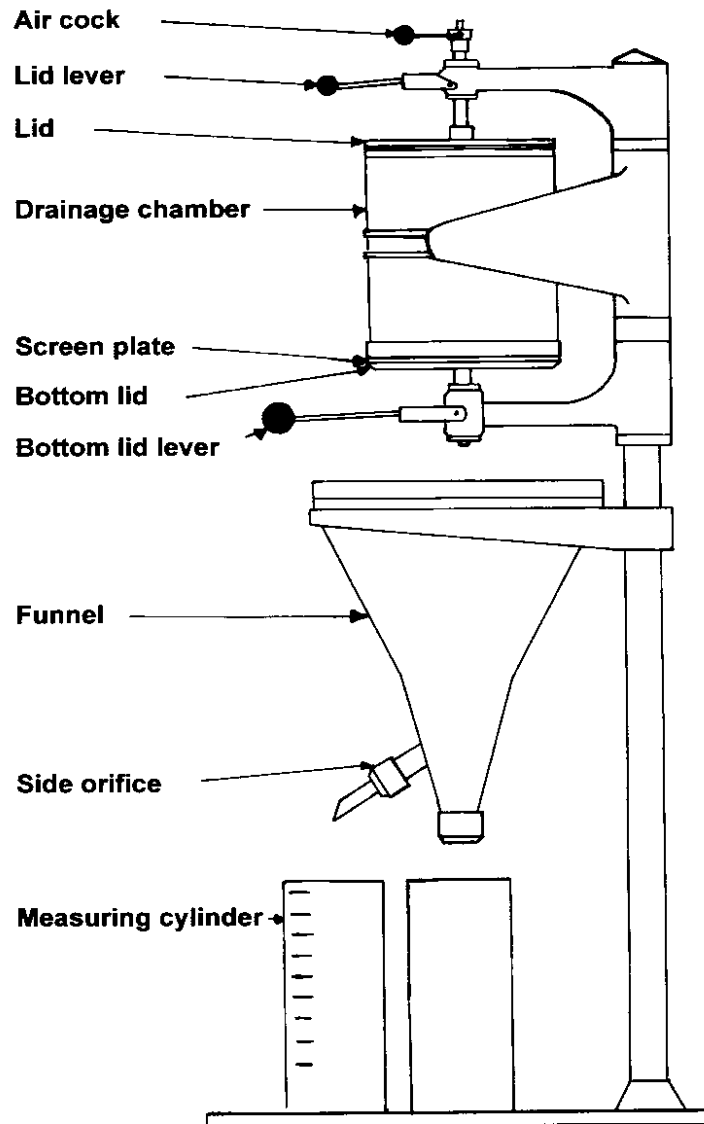
Suotautuvuutta voidaan seurata joko laboratoriomittauksilla tai on-line-mittauksilla. On-line-mittalaitteet perustuvat yleensä standardoituihin laboratoriomittauslaitteisiin, joista tunnetuimmat ovat Canadian Standard Freeness -testi ja Schopper-Rigler -testi. Sulpun Freeness- ja SR-luku muuttuvat jauhatustason muuttuessa, minkä vuoksi niitä käytetään jauhatuksen säädön ohjaussuureena. Mekaanisille massoille käytetään yleensä CSF-lukua ja kemiallisille massoille SR-lukua (AEL 2013).

4.1 Canadian Standard Freeness -testi

TAPPI T 227 -standardissa määritellään sulpun freeness-luvun testauslaitteisto, jonka kaaviokuva on kuvassa 7. Standardin mukaisessa testissä tilavuudeltaan litran kokoinen suotautusastia (drainage chamber) täytetään testattavalla sulpulla, joka on laimennettu 0,3 %:n sakeuteen. Tämän jälkeen kansi (lid) suljetaan ja pohjakansi (bottom lid) siirretään pois sihtilevyn (screen plate) edestä. Testi aloitetaan avaamalla ilmahana (air cock), minkä johdosta testattava sulppu valuu sihtilevyn läpi suppilon (funnel). Suppilon pohjasuulakkeen ominaisvirtausnopeuden ylittävä osa virtauksesta valuu suppilon sivusuuttimesta (side orifice) mitta-astiaan (measuring cylinder), jonka asteikko on millilitroina. Mitta-astiassa olevan nesteen määrä millilitroina on tällöin testatun sulpun freeness-luku. CSF-luku on suoraan verrannollinen testattavan sulpun suotautuvuuteen ja kääntäen verrannollinen sulpun suotautumisvastukseen (kuva 9). (Kuva 7.)

Ilmahanan avauksen jälkeen sihtilevyn päälle kertyvä kuitukakku hidastaa veden virtausta suotautusastiasta pois, joten mitä nopeammin kuitukakku muodostuu, sitä hitaammin neste pääsee

virtaamaan sihtilevyn läpi suppiloon. Tällöin myös freeness-luku jää pienemmäksi, koska pohja-
sululakkeen ominaisvirtausnopeus testilaitteessa on vakio. (Levlin & Söderhjelm 1999, 44–45.)

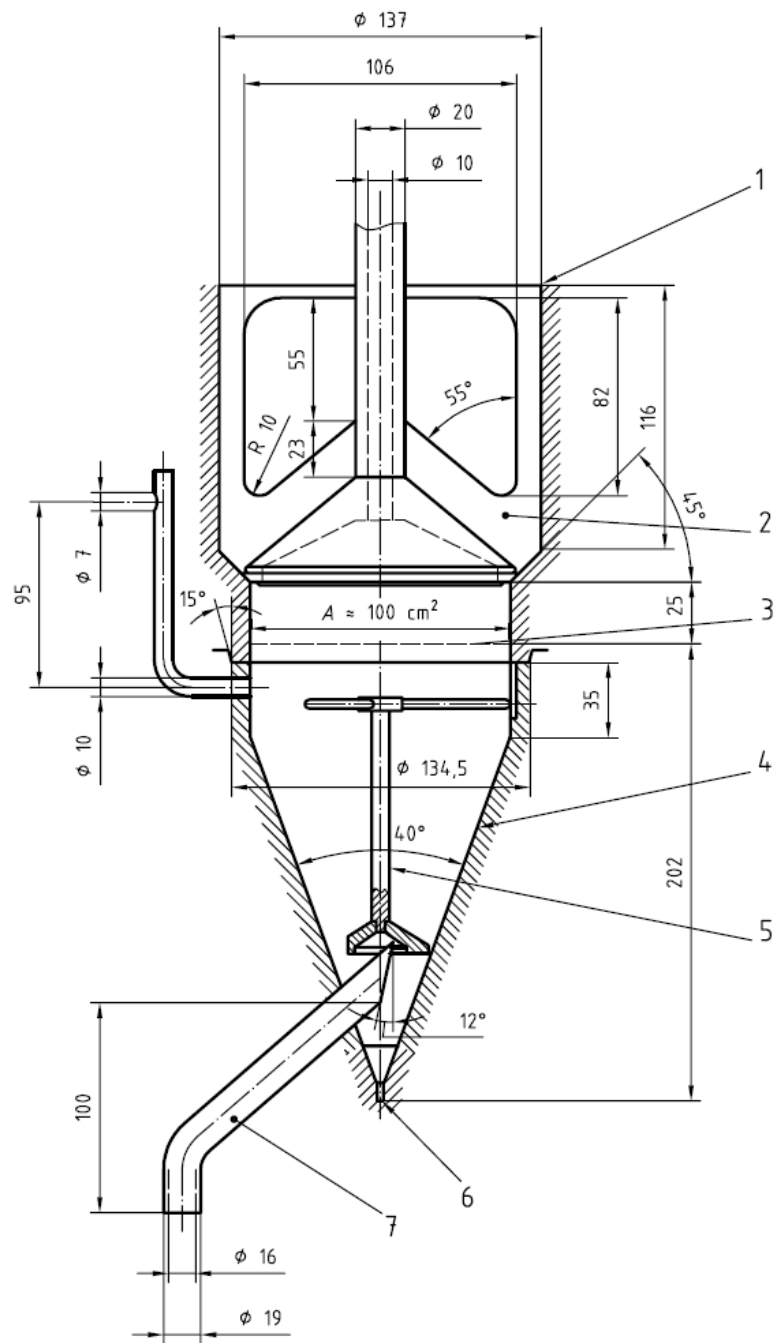


KUVA 7. CSF-luvun määrittämiseen käytettävä laboratoriotestilaitte. (Levlin ym. 1999, 45.)

4.2 Schopper–Riegler -testi

Schopper–Rieglerin testimenetelmä on periaatteeltaan samanlainen kuin CSF-testi. Testilaitteisto on muuten samanlainen kuin CSF-testissä, mutta testattavan sulpun vapautus sihtilevyn läpi tehdään SR-testissä eri menetelmällä. Kuvassa 8 on standardin mukaisen SR-testilaitteiston mittapiirustus, josta havaitaan, että SR-testissä testattava sulppu vapautetaan nostamalla pohjakartio (sealing cone) sihtilevyn päältä.

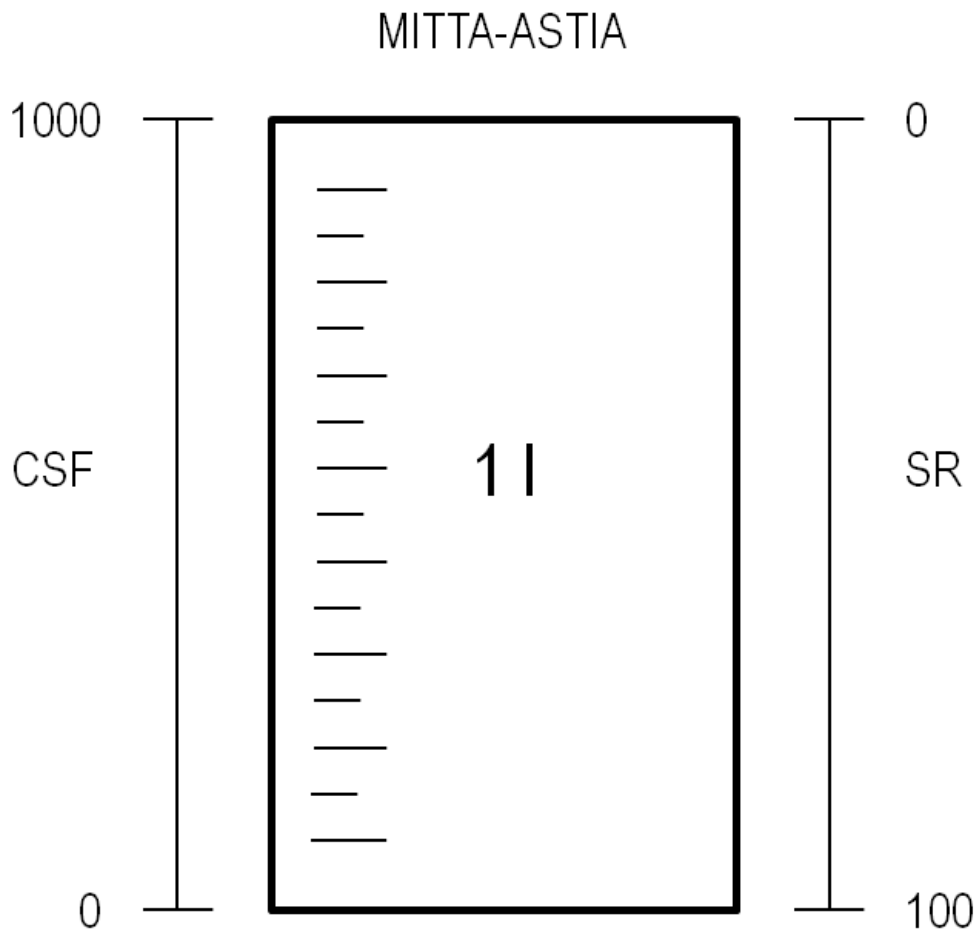
Testattavan massalietteen määrä on SR-testissä 1 l ja se laimennetaan 0,2 %:n sakeuteen (Levlin & Söderhjelm 1999, 44). Schopper–Riegler -testissä käytetään myös tilavuudeltaan litran kokoista mitta-astiaa, jonka asteikolla 1000 ml nestettä vastaa SR-lukua 0 ja vastaavasti tyhjä mitta-astia vastaa SR-lukua 100 (Pulps - Determination of drainability - Part 1: Schopper–Riegler method 2012, 1). SR-luku on siis kääntäen verrannollinen testattavan sulpun suotautuvuuteen ja suoraan verrannollinen sulpun suotatumisvastukseen (kuva 9).



Key

- | | | |
|--------------------|---------------|------------------|
| 1 Drainage chamber | 3 Wire screen | 5 Spreader cone |
| 2 Sealing cone | 4 Funnel | 6 Bottom orifice |
| | | 7 Side orifice |

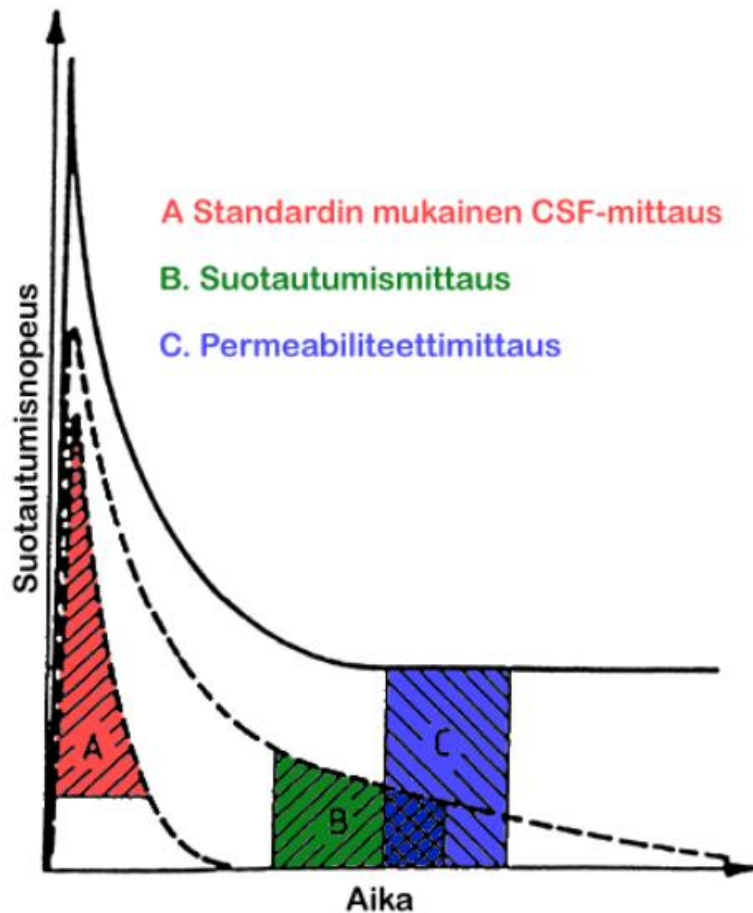
KUVA 8. Standardin mukaisen Schopper-Riegler-testilaitteen pääosien mittapiirustus. (Pulps - Determination of drainability - Part 1: Schopper-Riegler method 2012, 5.)



KUVA 9. CSF- ja SR-lukujen erot teistilaitteiston mitta-astian asteikkoa luettaessa. Termit suotautumisvastus ja suotautuvuus viittaavat samaan sulpun ominaisuuteen, mutta ne ovat toistensa vastakohtia.

4.3 Automaattiset mittausmenetelmät

Suotatuuden mittausmenetelmät jaetaan toimintaperiaatteensa mukaan kolmeen luokkaan, jotka ovat esitettyinä kuvassa 10. Kuvassa on kolme käyrää, jotka esittävät sihtilevyn läpi virtaavan suodoksen virtausnopeutta ajan funktiona.



KUVA 10. Suotautuvuuden mittaus eri mittausperiaatteilla. (AEL 2013.)

A - Standardin mukainen CSF-mittaus

Kuvassa 10 punaisella varjostettu alue kuvaa standardin mukaisen testilaitteiston sivusuuttimen läpi kulkevaa nestemäärää. Mittaus alkaa lähes välittömästi, koska alussa suodoksen virtausnopeus on suuri mittakammiossa olevan vapaan veden valuessa sihtilevyn läpi. Testilaitteiston pohjajasuulakkeen ominaisvirtausnopeuden ylittävä osa otetaan talteen mitta-astiaan, jonka asteikolta freeness-luku luetaan. (Heikkurinen 1997, 10.)

B - Suotautumismittaus

Suotautumismittauksessa mittaus sijoitetaan suotautumiskäyrällä haluttuun paikkaan mittakammion elektrodien etäisyyttä säätämällä. Mittausta edeltää esisuotautumisaika, joka sijoittuu kuvassa 10 vihreällä varjostetun alueen vasemmalle puolelle. Mittauksen aikana suotauttava paine pysyy vakiona, mutta massakakun muodostuminen sihtilevylle jatkuu, minkä vuoksi suotautumisnopeus pienenee. (Heikkurinen 1997, 11.)

C - Permeabiliteettimittaus

Permeabiliteettimittauksessa mittauskammion sihtilevyllä muodostuu massakakku, jonka läpi suotautetaan varsinaisen mittauksen aikana puhdasta vettä. Tästä johtuen suotautumisnopeus pysyy vakiona permeabiliteettimittauksessa. (Heikkurinen 1997, 11.)

Automaattisten mittausmenetelmien tarkkuus ei ole laboratoriomittausten tasolla, koska standardin mukaisessa mittaustilanteessa sulpun valuessa suotautusastian sihtilevyn läpi, muuttuvat astian hydrostaattinen paine ja astiasta poistuva virtaus. Tämä aiheuttaa tilanteen, jossa testattavan sulpun ominaisuudet vaikuttavat olosuhteisiin, joissa mittaus tehdään. Mittausmenetelmien avulla saadut tulokset pyritään kalibroimaan standardin mukaiseen freeness-lukuun. Usein riittää, että pystytään mittaamaan freeness-luvussa tapahtuvat muutokset ja tarvittaessa määrittämään laboratoriossa absoluuttinen freeness-luku. (Heikkurinen 1997, 10–11.)

5 METSO MAP -ANALYSAATTORI

PK7:n massaosastolla massan jauhatusta seurataan mittaamalla massan SR-luku jauhumien jälkeen kultakin massalajilta erikseen ennen niiden sekoittamista toisiinsa sekoitussäiliössä (liite 1). Aiemmin massan CSF-luku, joka muutettiin laskennallisesti SR-luvuksi, mitattiin Kajaani KSF-analysointilaitteella, mutta sen mittaustulokset eivät olleet luotettavia, minkä vuoksi KSF-analysointilaitteeseen korvattiin uudella Metso MAP -analysointilaitteella.

Metso Pulp Analyzer pohjautuu Metson aiemman sukupolven analysointilaitteen (Metso MAP) runkoon, johon asennetaan asiakkaan tarpeita vastaavat kokoonpanot. Analysointilaitteeseen ottaa tarkkailtavasta linjasta näytteen putkiyhteeseen asennettavalla näytteenottimella, jonka tyyppi valitaan mitattavan massalajin mukaan. Analysointilaitteeseen oleva näytteenkäsittely-yksikkö säätää otetun näytteen sakeuden haluttuun arvoon, minkä jälkeen laite mittaa näytteestä analysointilaitteen laitekokoonpanon mukaiset ominaisuudet. Analysointilaitteeseen on saatavilla näytteen freeness-luvun mittaava moduuli ja näytteestä voidaan määrittää erilaisia kuitu- ja tikkuominaisuuksia näiden ominaisuuksien tutkimiseen valmistetuilla moduuleilla. Laitteeseen tuotavien näytelinjojen maksimimäärä on 20 ja sillä voidaan analysoida myös käsinäytteitä. Analysoitavasta näytteestä voidaan ottaa laitteen ulkopuolelle näyte laboratoriomäärittäystä varten.

5.1 Asennus ja laitteisto

Analysointilaitteeseen asennettiin viikolla 6 PK7:n massaosaston sekoitussäiliön eteen laitteelle valmistetulle jalustalle. Kuvassa 11 analysointilaitteeseen on asennettuna käyttökuuntoon asennuspaikalleen. Analysointilaitteeseen asennettiin vanhan KSF-analysointilaitteen paikalle, koska näytteenottimien mittaamien massalinjojen putkiyhteet on asennettu kyseisen paikan läheisyyteen. MAP-analysointilaitteen asennuksen yhteydessä massalinjoissa olevat näytteenottimet vaihdettiin uusiin Metso SD103 -tyyppisiin (Metso Screened Pulp Sampler) näytteenottimiin. Kyseiset laitteet on suunniteltu käytettäväksi sakeilla ja lajittelemattomilla massoilla (Metso Automation Inc 2013, 10). Analysointilaitteen yhteyteen asennettiin myös PK6:lla käytössä oleva venttiilikoon, joka koostuu kolmesta kolmitieventtiilistä. Koonnan tarkoituksena on automatisoida käsinäytteiden ottaminen analysointilaitteelta. Käyttäjät voivat valita yhden tai useamman massalinjan käsinäytteen analysointilaitteen käyttöliittymästä, jolloin valitun massalajin laimennetusta näytteestä syötetään osa venttiilikoon näyt-

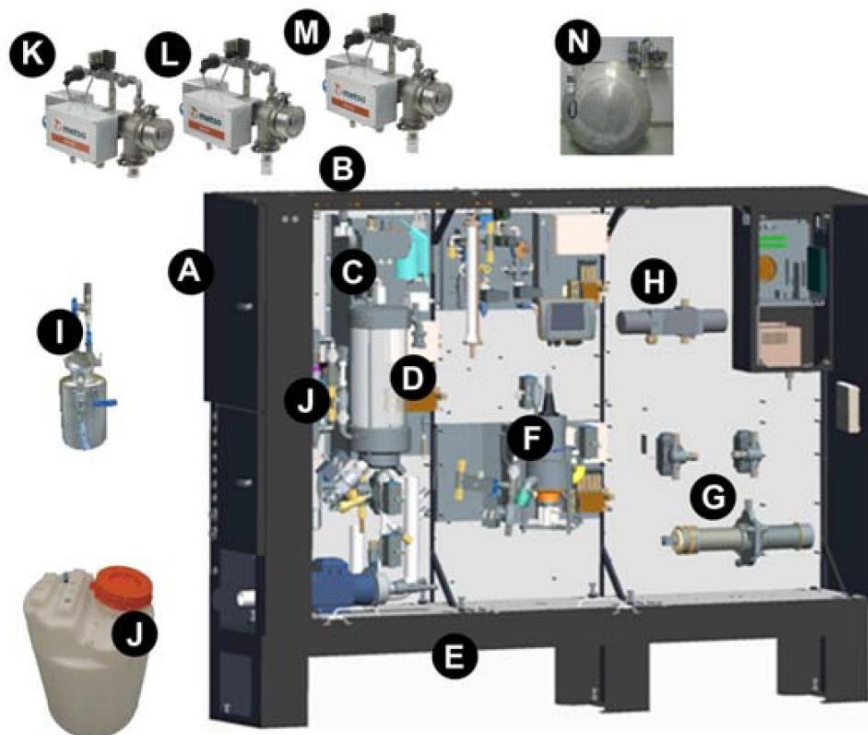
teenkäsittelysekvenssin näytteenjakeluaskeleessa. Venttiileistä aktivoituu valitun massalajin venttiili, jolloin käsinäyte pumpataan venttiin alapuolella oleviin massalajikohtaisiin näyteastioihin, jotka paperikoneen käyttäjät toimittavat laboratorioon SR-luvun määrittämiseen.



KUVA 11. PK7:n MAP-analysaattori asennettuna käyttöpaikalleen sekoitussäiliön eteen. Analysaattorin vasemmalle puolelle oli lisätty venttiilikoonta, josta paperikoneen käyttäjät hakevat automaatiojärjestelmän käyttöliittymästä valitun käsinäytteen.

Kuvassa 12 on esitettyä kokoonpano, jossa ovat kaikki analysaattoriin saatavilla olevat moduulit. PK7:lle asennettuun laitekoonpanoon kuuluvat seuraavat osat:

- A - Elektroniikkayksikkö, joka sijaitsee laitteen vasemmassa päädyssä
- B - Mittausosa, joka sisältää sakeusmittauksen (C) ja näytteenkäsittelymoduulin (D)
- E - Erikseen tilattava jalusta analysaattorille
- F - Freeness-moduuli
- I - Läpivirtaus-pesumoduuli
- J - Ejektori-pesumoduuli ja pesukemikaalin sisältävä kemikaalisäiliö
- K - Näytteenotin Metso Screened Pulp Sampler SD103, joita on asennettu massalinjoihin yhteensä neljä kappaletta.



KUVA 12. Metso MAP-analysointilaitteen täydellinen laitekoonpano. (Metso Automation Inc. 2013, 9.)

5.2 Näytteenkäsittelymoduuli

Analyysointilaitteen näytteenkäsittelysekvenssi koostuu osasekvensseistä, jotka suoritetaan peräkkäin pääsekvenssin tilatiedon mukaan. *Näytteenottosekvenssin* tehtävänä on ohjata kutakin näytteenottoa siten, että näytelinjaan saadaan haluttu määrä näytettä. Sekvenssin siirtoveden käyttö voidaan konfiguroida toimimaan usealla tavalla, esimerkiksi voidaan valita, käytetäänkö siirtovettä osanäytteiden aikana tai välissä vai työnnetäänkö koko näyte vasta lopuksi siirtovedellä näytteenotto-säiliöön.

Näyte siirretään näytteenotusputken pitkin näytteenastiaan, jossa *sakeussäätösekvenssi* laimentaa ja sekoittaa saadun näytteen. Astiassa olevalle näytteelle suoritetaan alkusakeuden määrittäminen, jotta sakeuden säätäminen haluttuun 0,3 %:n loppusakeuteen olisi mahdollista. Sakeuden säätö koostuu näytteen sekoittamisesta, laimentamisesta ja laimennuksen onnistumisen tarkastamisesta. Seuraavaan osasekvenssiin siirretään sakeuden ollessa asetetuissa rajoissa.

Näytteenjakelusekvenssissä ilmoitetaan kokoonpanoon asennetuille mittausmoduuleille näytteen valmistumisesta. Moduulit ottavat omilla näyteventtiileillään tarvitsemansa määrän näytettä. Parametrien mukaan näytteestä voidaan ottaa laitteen ulkopuolelle myös laboratorionäyte tässä osasekvenssissä.

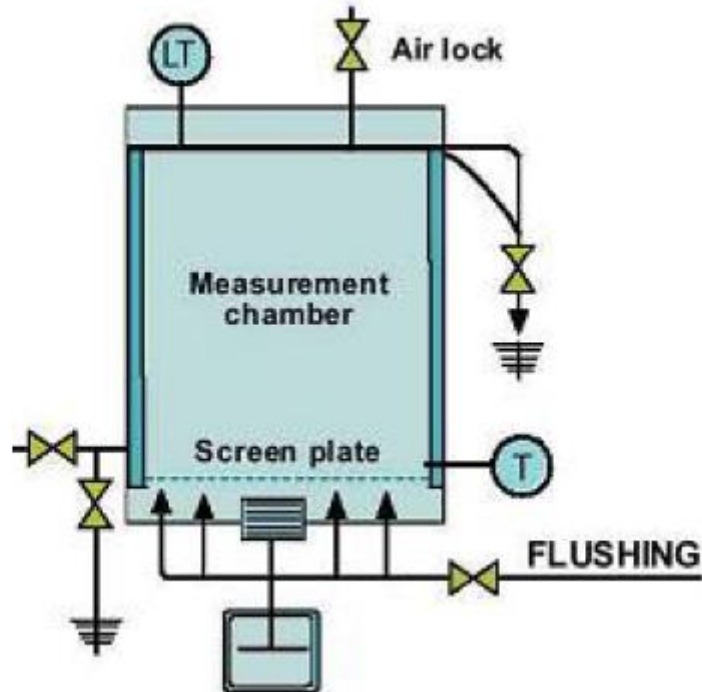
Huuhtelusekvenssi koostuu näytesäiliön ja mittakierron huuhtelusta. Osasekvenssin vaiheissa näytteenkäsittelymoduulin säiliöt, venttiilit ja pumppu huuhdellaan ohjaamalla vesiventtiileitä huuhtelusekvenssin parametrien mukaan. (Metso Automation Inc. 2013, 69.)

5.3 Freeness-moduuli

Freeness-moduuli mittaa näytteenkäsittelymoduulilta saamastaan näytteestä freeness-luvun, joka tarvittaessa muutetaan laskennallisesti Schopper–Riegler-luvuksi. Molemmille suureille lasketaan lämpötila- ja sakeuskompensointiarvot. Seuraavassa kappaleessa on kuvattu freeness-moduulin osasekvenssien pääpiirteet. Kuvassa 16 on freeness-moduulin kaaviokuva, josta nähdään moduulin osien sijoittelu toisiinsa nähden.

Näytteenodotusekvenssissä odotetaan näytettä näytteenkäsittelymoduulilta. *Näytesekvenssi* koostuu mitta-astian (Measurement chamber) ylitäyttämisestä valuttamalla liika näyte ylijouksuventtiiliin kautta viemäriin. Kuvassa 16 näyte syötetään sisään kuvan vasemmassa laidassa olevasta vaakatasoon piirretystä venttiilistä. Ylitäyttämisen tavoitteena on saada mitta-astiaan litra tasalaatuista näytettä.

Mittaussekvenssissä näyte valutetaan sihtilevyn (Screen plate) läpi mittausventtiiliin kautta viemäriin ja samaan aikaan mitataan pinnankorkeutta ultraäänianturilla (LT). Seuraavaan osasekvenssiin siirrytään parametreissa määritellyn ajan kuluttua. *Huuhtelusekvenssin* tavoitteena on mitta-astian puhdistus näytteestä. Tämä saavutetaan vesihuuhtelulla, jota on tehostettu ulträänipepurilla. Sekvenssi päättyy mitta-astian vesitäytöllä, josta siirrytään *vesimittaussekvenssiin*, jossa mitataan analysaattorin käyttämän kemiallisesti puhdistetun veden freeness-luku samalla tavalla kuin massanäytteestä. Veden freeness-lukua tarkkailemalla voidaan seurata freeness-moduulin likaantumista. (Metso Automation Inc. 2013, 71.)

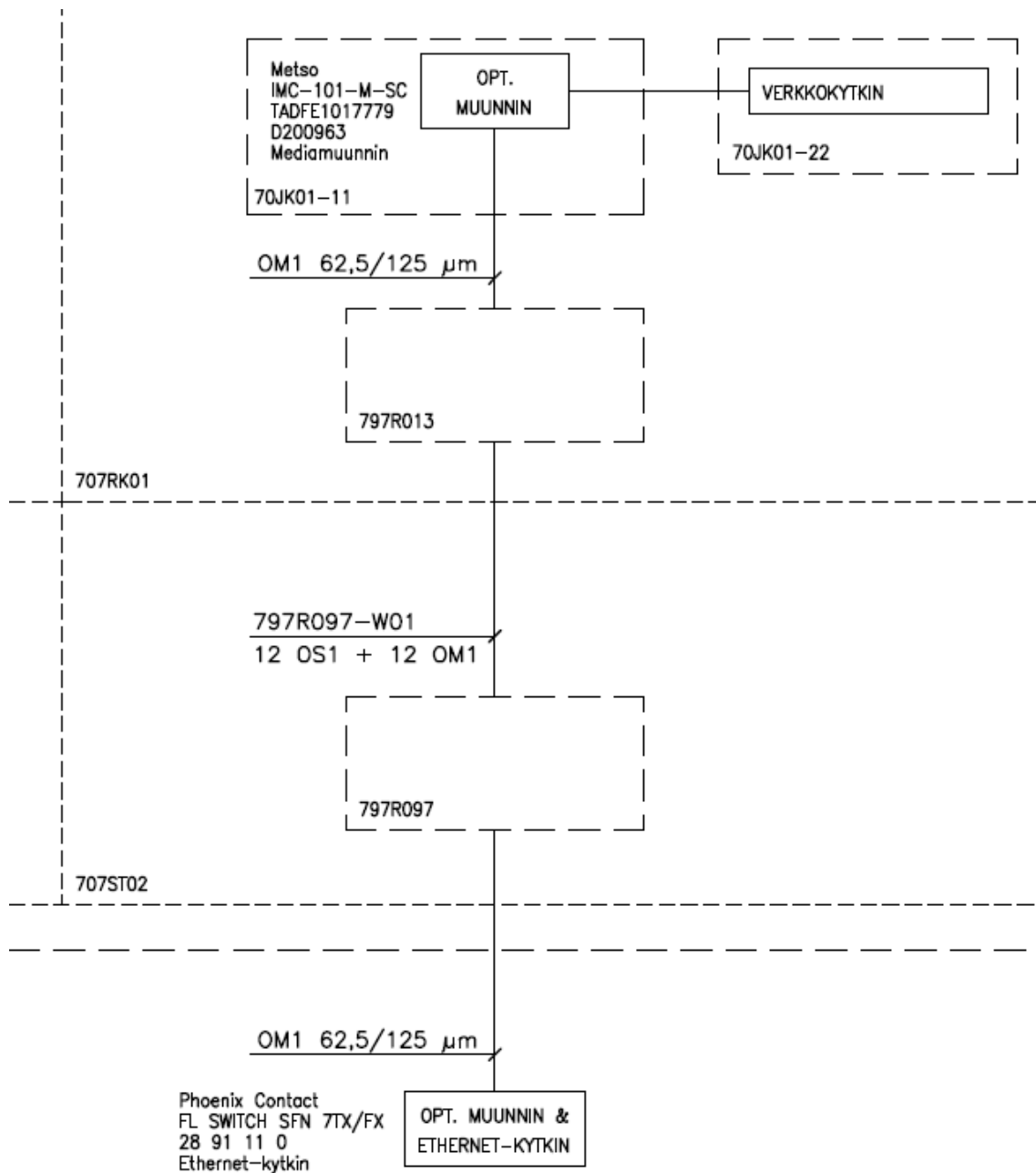


KUVA 13. Freeness-moduulin kaaviokuva. (Metso Automation Inc. 2015, 37.)

5.4 Linkki tehtaan automaatiojärjestelmään

PK7:n MAP-analysaattori on kytketty tehtaan automaatiojärjestelmään kuvassa 13 esitetyllä tavalla. Analysaattorin ja automaatiojärjestelmän verkkokytkimien välinen etäisyys olisi ollut liian suuri toteutettavaksi Ethernet-kaapelilla, joten PK7:n ristikytkentätilan ja analysaattorin välille asennettiin optinen kuitu, jonka ansiosta tällä matkalla signaalihäviöt jäävät merkityksettömiksi.

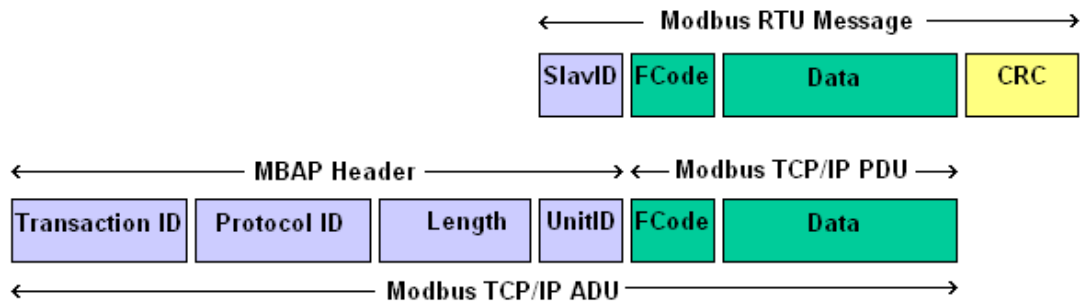
Kommunikointi automaatiojärjestelmän ja analysaattorin välillä tapahtuu Modbus-protokollan avulla. Modbus on teollisuudessa yleisesti käytössä oleva, avoin sarjakommunikointiprotokolla, joka mahdollistaa tiedonsiirron elektronisten laitteiden välillä sarjaliikennekaapeleiden välityksellä. Protokollassa on määritelty verkon rakenne, jossa yksi master-laite ohjaa yhtä tai useampaa slave-laitetta. Slave-laitteet on kytkettävä Modbus-verkossa ketjuun, koska protokolla ei salli tähti-topologiaa verkon rakenteeksi. Tyypillisesti Modbus-protokollaa käytetään kentälaitteilta saatavien signaalien siirtämiseen automaatio- tai tiedonkeruujärjestelmään. Protokollasta on omat versionsa sarjaliikennekaapeleille (Modbus RTU ja Modbus ASCII) ja Ethernet-verkoille (Modbus TCP). (Simply Modbus 2014a, viitattu 4.3.2015.)



KUVA 14. MAP-analysoijan kytkentä tehdasautomaatiojärjestelmään. Ote analysoijan piirikaaviosta, jossa analysoija sijaitsee kaavion alareunassa.

MAP-analysoijan tiedonsiirrossa käytetään Modbus-protokollan TCP-versiota, jossa Modbus RTU -viestikehyksestä poistetaan slave-laitteen osoite ja CRC-virheentarkistusosio ja ne korvataan kuvassa 14 olevalla MBAP Header -lohkolla. Slave-laitteen osoite voidaan poistaa, koska Ethernet-verkossa päätelaitteet erotellaan toisistaan IP-osoitteen avulla. Modbus TCP/IP ADU -viestikehyks liitetään TCP/IP-standardin mukaiseen IP-pakettiin, jota käsitellään ethernet-verkossa kuten kaikkia muita IP-paketteja. Modbus RTU -viestikehyksen CRC-virheentarkistusosio voidaan myös poistaa, koska virheentarkistus suoritetaan TCP/IP-protokollan

mukaiselle IP-paketille. Modbus-protokollan TCP-versiossa myös laitteiden nimitykset muuttuvat ethernet-verkon nimityksiä vastaavaksi: master-laitetta kutsutaan serveriksi ja slave-laitetta clientiksi.



KUVA 15. Modbus RTU -protokollan mukainen viestikehys ja Modbus TCP -protokollassa määritellyt TCP/IP ADU -viestikehys, joka kapseloidaan TCP/IP-protokollan mukaiseen IP-pakettiin. (Simply Modbus 2014b, viitattu 5.3.2015.)

PK7:n järjestelmässä automaatiojärjestelmä on Modbus-verkon serveri ja MAP-analysointilaitteen client. MAP-analysointilaitteen elektroniikkayksikön muistissa sijaitsevat Modbus-protokollassa määritellyt rekisteritaulukot, joihin analysointilaitteen kirjoittaa analysointilaitteen moduulien mittaustuloksia, vikabittejä tai venttiilien asentotietoja. Kunkin rekisterin pituus on 16 bittiä ja niillä on yksilöllinen osoite, joka numero väliltä 0–65535. Rekisterit voivat olla tyyppiltään RW eli luku-kirjoitus-tyyppisiä tai R eli luku-tyyppisiä. Analysointilaitteen käyttämät rekisterit on lueteltu Metson laatimassa taulukossa, jossa kullekin rekisterille on taulukoitu rekisterin käyttötarkoitus, numero ja tyyppi sekä venttiilien asentotietojen ja vikabittien tapauksessa rekisteristä käytettävän bitin järjestysnumero.

Serveri eli tehtaassa automaatiojärjestelmä lukee ja/tai muokkaa rekistereitä lähettämällä clientille eli MAP-analysointilaitteelle Modbus TCP -protokollan mukaisia viestejä, jotka siirretään laitteelle ethernet-verkon välityksellä. Viesteissä on käytettävissä kolme eri Modbus TCP -protokollan mukaista toimintokoodia (function code): read holding registers (03), preset single holding register (06) ja preset multiple registers (16). Toimintokoodien käyttötarkoitukset ovat seuraavat:

- Read holding registers -toimintokoodilla on mahdollista lukea useampi rekisteri peräkkäin. Luettavien rekistereiden määrä määritellään MBAP-header -kehyksessä.
- Preset single holding register -toimintokoodi kirjoittaa yhteen rekisteriin, joka on määritellyt Modbus-viestin kehyksessä.

- Preset multiple registers -toimintokoodi mahdollistaa usean rekisterin yhtäaikaisen kirjoituksen. MBAP-header-kehyksessä määritellään ensimmäinen muokattava rekisteri ja seuraavien muokattavien rekisterien lukumäärä. (Karjalainen 2006, 3-1–3-2.)

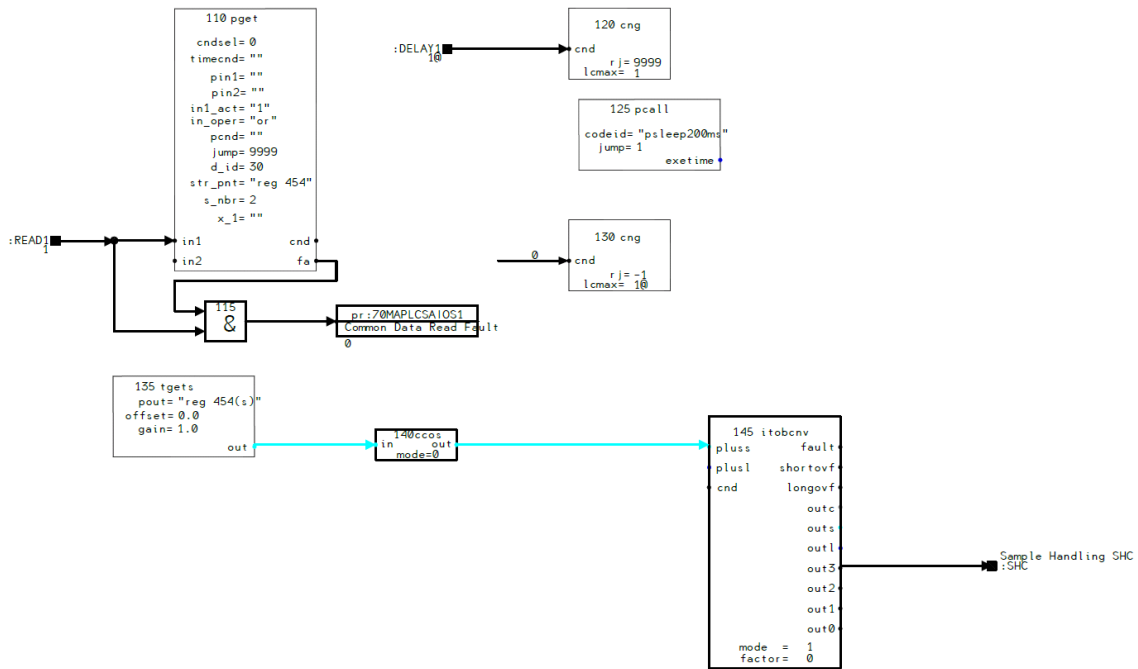
5.5 Rekisterin sisällön luku automaatiojärjestelmään

Rekisterien tiedot luetaan automaatiojärjestelmään omissa automaatiomoduuleissaan, joissa määritellään muun muassa linkkimoduulit sisältävän prosessiaseman nimi ja IP-osoite sekä rekistereiden luku- ja kirjoitusyökin taajuus. Suurin osa analysaattorin näytteenottoyksikön ja freeness-mittausyksikön rekistereistä luetaan järjestelmään analysaattorin asennusprojektin yhteydessä luoduissa moduuleissa. Laitteen ylläpitoa helpottavassa moduulissa käytettävän SHC-venttiilin tilatiedon rekisterille ei ollut tehty lukumoduulia, minkä vuoksi venttiilin tilatiedon lukemiseksi jouduttiin tekemään uusi automaatiomoduuli, jossa venttiilin tilatieto kirjoitettiin erikseen nimettyyn rajapintaporttiin automaatiojärjestelmän käyttöön.

Kuvassa 15 on esitettyä tehdyn automaatiomoduulin sisältämä kokonaisuus, joka lukee rekisterin numero 454 sisältöä. Analysaattorin elektroniikkayksikön muistin sisältämien rekisterien numerot, käyttötarkoitukset ja tyypit (luku, luku/kirjoitus) on lueteltu Metson toimittamassa dokumentissa. Analysaattorin rekisterit ovat etumerkittämiä 16-bittisiä kokonaislukuja, joten halutun rekisterin sisällön lukeminen moduulissa tapahtuu tgets-toimilohkolla, joka suorittaa datan haun rekisteritaulukosta. Tgets-toimilohkon lähtö on viety itobcnv-binäärilukumuunnostoimilohkon pluss-tuloon. Itobcnv-toimilohkossa pluss-tuloon viety kokonaisluku muutetaan esitettäväksi lähtöpisteissä out0–out3 binäärimuodossa bitti kerrallaan, kun mode-konfigurointiparametri on 1. Factor-konfigurointiparametrilla asetetaan binäärimuotoon muutetusta kokonaisluvusta luettavaksi neljä vähiten merkitsevää bittiä. Metson toimittamissa taulukoissa määritellään SHC-venttiilin tilatiedon sisältäväksi bitiksi bitti numero 3 eli binäärimuotoisen kokonaisluvun neljäs bitti vähiten merkitsevistä bitistä ylöspäin laskettaessa.

Rekisterien lukumoduulissa tulee määritellä luettavien rekistereiden nimet, mikä tehdään rekistereistä tietoa lukevalla toimilohkolla pget. Toimilohkoon kirjoitetaan str_pnt-konfigurointiparametriksi rekisterin nimi, josta lukeminen aloitetaan. S_nbr-konfigurointiparametrilla määritellään luettavien rekistereiden määrä alkaen str_pnt-

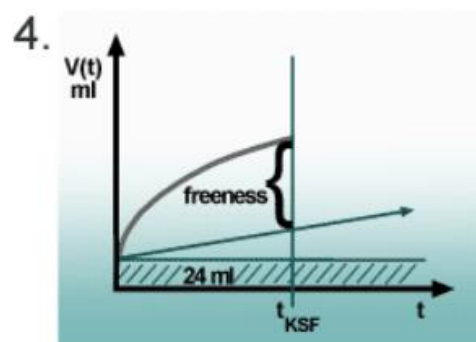
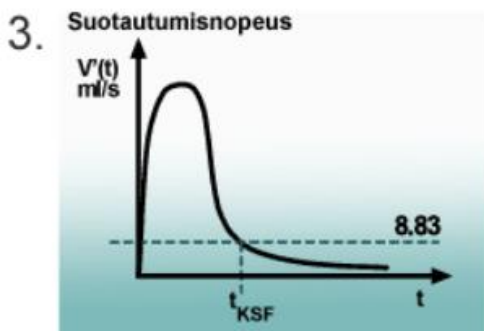
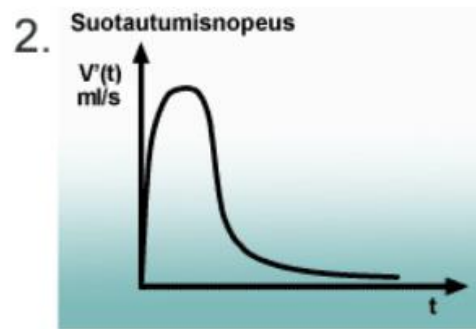
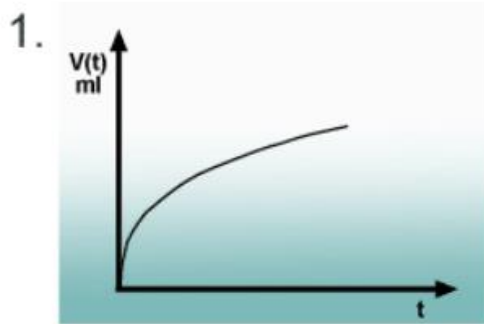
konfigurointiparametrin määrittämästä rekisteristä. Kuvan 15 modulissa luetaan rekisterit 454 ja 455.



KUVA 16. SHC-venttiilin tilan automaatiojärjestelmän rajapintaporttiin (:SHC) lukevan automaatiomodulin rakenne.

5.6 Freeness-mittausperiaate

MAP-analysaattorin freeness-moduulin mittausperiaate on esitetty kuvassa 17. Vaiheessa 1 freeness-moduulin mitta-astian pohjaventtiili avataan. Pinnankorkeusanturi tallentaa mittaustuloksensa analysaattorin muistiin 25 kertaa sekunnissa, joista jokainen arvo on 10 mittauksen keskiarvo. Mittausarvoista muodostettuun käyrään sovitetaan matemaattinen vedenpoiston tilavuuskäyrä $V(t)$, joka kuvaa sihtilevyn läpi virrannutta nestemäärää ajan t suhteen. Kuvan 17 vaiheessa 2 tilavuuskäyrä muutetaan derivoimalla virtauskäyräksi $V'(t)$, josta kuvaa näytteen suotautumisnopeutta sihtilevyn läpi. Vaiheessa 3 määritetään virtausnopeuskäyrältä piste, jossa $V'(t_{KSF}) = 8,83$ ml/s. Tässä pisteessä virtausnopeus on sama kuin laboriotestilaitteen pohjasuulakkeen ominaisvirtausnopeus. Näytteen freeness-luku määritetään vaiheessa 4 kaavan 3 mukaan. Kaavassa 24 ml vastaa laboriotestilaitteen suppilon alaosan tilavuutta. Vaiheessa 4 vähennetään siis suotautuneen näytteen tilavuuskäyrän ajanhetken t_{KSF} tilavuudesta suppilon pohjasuulakkeen läpi virrannut näyte ja suppilon alaosan tilavuutta vastaava tilavuus, jolloin jäljelle jäävä osa vastaa testilaitteen mitta-astiaan virrannutta tilavuutta. Tämä tilavuus on näytteen freeness-luku. (AEL 2013.)



KUVA 17. MAP-analysaattorin freeness-yksikön mittauseriaate. (AEL 2013.)

$$CSF = V(t_{KSF}) - 8,83 \cdot t_{KSF} - 24 \text{ ml}$$

KAAVA 3

CSF = näytteen freeness-luku, ml

$V(t_{KSF})$ = pohjasihdin läpi suotautuneen nesteen tilavuus ajanhetkellä t_{KSF} , ml

t_{KSF} = aika suotautumisnopeuden ollessa 8,83 ml/s

6 SÄÄDÖN KÄYTETTÄVYYDEN PARANTAMINEN

Vanha KSF-analysointilaite aiheutti ongelmia massan jauhatuksessa, koska sen tuottamiin mittaustuloksiin ei pystytty luottamaan. Ongelmana oli EOK:n hienosäädön PID-säätimen ohjauslähdön ajautuminen ääriarvoonsa. Säätimen lähdön ajautuminen suurimpaan tai pienimpään sallittuun arvoonsa lyhyeksi ajaksi ei ollut haitallista, mutta usein säätö jäi ääriarvoonsa useiksi tunneiksi, mikä aiheutti massan ali- tai ylijauhautumisen säätimen lähdön tilan mukaan. Paperinvalmistuksessa perälaatikolle syötettävän massan ominaisuudet pyritään vakioimaan valmistettavan paperilajin haluttujen ominaisuuksien saavuttamiseksi, joten massan jauhatustason vaihtelu, joka aiheutuu epäluotettavasta jauhatuksen automaattisäädöstä, saattaa aiheuttaa pahimmillaan paperilajiin ajettavuusongelmia paperikoneella.

6.1 Lähtötilanne

Ennen uuden analysointilaitteen asennusta oltiin tilanteessa, jossa jauhatuksen säätö oli käsiajolla. Paperikoneen käyttäjät asettivat jauhatuksen automaattisäädölle vain lyhyiksi ajanjaksoiksi kerrallaan, koska jauhatuksen automaattiseen hienosäätöön ei voitu luottaa. Jauhatuksen käsiajossa jauhimien terävälühkaus on vakio. Massojen jauhatustaso määritettiin toimittamalla vuorojen alussa laboratorioon laimentamattomat massanäytteet, joista laboratorio määrittänyt näytteiden SR-luvut, joiden perusteella paperikoneen annostelija säätöi jauhimien EOK:ta. Menettelytapa oli puutteellinen, koska massan ominaisuuksien lyhyen ajan muutoksia, joita oli tarkoitus kompensoida automaattisäädöllä, ei pystytty tässä tilanteessa ottamaan huomioon. Suotautuvuuden on-line-mittauksella olisi ollut tarkoitus ottaa huomioon massassa tapahtuvat lyhyen ajan muutokset ja hienosäätää massan jauhatustasetta säätämällä jauhimille asetettua EOK:ta käyttämällä jauhetun massan SR-lukua säätösuureena. MAP-analysointilaite mittaa massan freeness-lukua, mutta se muutetaan analysointilaitella laskennallisesti SR-luvuksi, jota käytetään automaatiojärjestelmän säätimien tulosuureena.

Jauhatuksen säädössä ongelmia aiheutti myös laboratorionäytteen käsittelytapa, jossa näyte otettiin eri massalinjojen käsinäytteenottoaikoilta laimentamattomana. Laimentamattoman näytteen näytteenottolaitteet sijaitsivat eri kohdassa massalinjaa kuin analysointilaitteen näytteenottimet. Paperikoneen käyttäjät toimittivat laimentamattomat näytteet laboratorioon, jossa ne laimennettiin

laboratorion vesijohtovedellä SR-testissä määritettyyn alkusakeuteen. KSF-analysaattori käytti laimennukseen tehtaan kemiallisesti puhdistettua vettä, minkä vuoksi laboratorion ja analysaattorin mittaustuloksissa oli huomattava ero, joka johtui kemiallisesti puhdistetun veden ja vesijohtoveden erilaisista ominaisuuksista.

6.2 Jauhatuksen säädön toimintakuvaus

PK7:n annostelija asettaa EOK:n asetusarvon kullekin massalinjalle valmistettavan paperilajin parametrien mukaiseksi. Lisäksi annostelija asettaa automaatiojärjestelmän käyttöliittymään jauhatuksen SR-luvun asetusarvon kullekin massalajille erikseen. Automaatiojärjestelmän hienosäätömoduulin tehtäväksi jää jauhatuksen EOK:n asetusarvon säätö MAP-analysaattorilta saatavan SR-luvun mukaan. Koivu-, mänty- ja eukalinjojen EOK:n ja jauhatuksen tehonsäätömoduulit ovat identtisiä toiminnaltaan, minkä vuoksi tässä opinnäytetyössä käytetään esimerkkinä koivulinjan säädön automaatiomoduleita. Koivusellulinjan jauhatuksen säädön lohkokaavio on liitteessä 2. Lohkokaaavion pohjana käytettiin Risto Polvisen opinnäytetyön (Polvinen 2004) liitteissä olevaa PK6:n jauhatuksen säädön lohkokaaviota, joka on muokattu vastaamaan PK7:n koivulinjan koonpanoa ja nimityksiä.

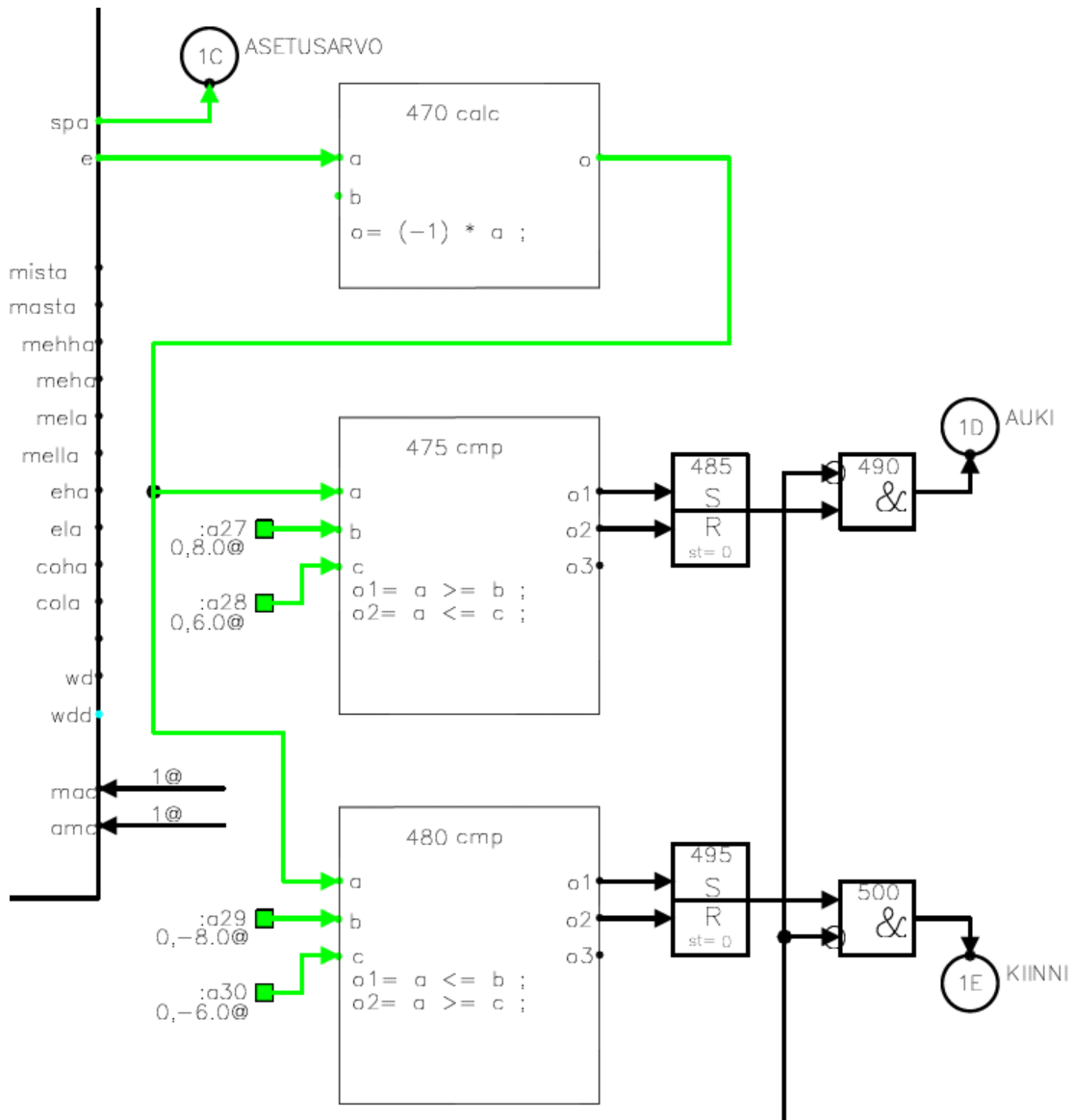
Jauhatusasteen hienosäätö tapahtuu hienosäätämällä jauhimien EOK:n asetusarvoa käyttämällä jauhatusasteen suurena sekoitussäiliöön pumpattavan jauhetun massan SR-lukua. EOK:n asetusarvon automaattinen hienosäätö tapahtuu kaskadisäätöpiirissä, jossa alatason säätimenä toimii yksittäisten jauhimien jauhatustehoa säätävä PID-säädin, joka saa asetusarvonsa säädetävän linjan kokonais-EOK:sta, joka kerrotaan kyseiselle jauhimelle asetetulla prosenttiosuudella kokonais-EOK:sta. Ylätason säädin hienosäätää käyttäjän asettamaa koivulinjan jauhatuksen kokonais-EOK:ta ± 10 kWh/t ja se saa asetusarvoksen käyttäjän asettaman SR-luvun, jota verrataan MAP-analysaattorin mittaustulokseen. SR-luvun asetusarvon ja SR-mittauksen erosuureesta muodostetaan säätimen lähtösuure. Säätimelle ei ole annettu ± 10 kWh/t suurempaa vaikutusta jauhatuksen EOK:een, koska jauhetun massan SR-luvun perusteella halutaan vain kompensoida massan SR-luvussa tapahtuvia lyhytaikaisia muutoksia. (Liite 2.)

Käyttäjän asettama EOK:n asetusarvo ja jauhatuksen EOK:n hienosäätimen lähtösuure summaataan, ja tämä säädetty koivulinjan kokonais-EOK on tarjolla automaatiojärjestelmässä kaikille jauhimille, joita esimerkiksi koivusellun jauhatuksessa on mahdollista käyttää. Paperikoneen an-

nostelijan jokaiselle koivulinjan jauhimelle erikseen asettaman EOK:n prosenttiosuuden mukaan kokonais-EOK skaalataan kyseiselle jauhimelle asetetun osuuden mukaan. Koivusellun annosteluvirtauksen ja sakeuden perusteella yksittäiselle jauhimelle skaalatusta EOK:sta lasketaan tehoasetus jauhimen jauhatustehoa säätävälle automaatiomodulille. (Liite 2.)

Kaskadisäädön alatason säätimenä toimiva yksittäisten jauhimien PID-säädin saa asetusarvonsa summalohkolta, jossa laskettuun tehoasetukseen lisätään jauhimen joutokäyntiteho. Jauhimen joutokäyntiteholla tarkoitetaan tehoa, jonka jauhin käyttää, jos jauhimen läpi ajettaisiin puhdasta vettä. Joutokäyntiteho kasvaa roottorin pyörimisnopeuden kasvaessa, minkä vuoksi jauhimien pyörimisnopeus on pyritty mitoittamaan mahdollisimman alhaiseksi, jotta joutokäyntiteho saataisiin mahdollisimman pieneksi. Alatason säätimen erosuure muodostetaan vertaamalla asetusarvoa jauhimen käytöltä mitattuun tehoon. (Liite 2.)

Jauhimen kuluttamaa tehoa säädetään käytännössä ajamalla jauhimen teräväliä kiinni tai auki. Tämä toteutetaan kunkin jauhimen tehonsäädön automaatiomodulissa, jossa PID-säätimen erosuureen etumerkki käännetään calc-toimilohkossa ja tämä suure viedään kahdelle vertailutoimilohkolle, joissa erosuureta verrataan esiasetettuihin erosuureen kahteen raja-arvoon, jotka ovat mitoitettu siten, että niiden väliin jää hystereesi. Toinen toimilohko tarkkailee positiivista ja toinen negatiivista erosuureen arvoa. Mikäli positiivinen erosuure kasvaa liian suureksi, asettaa positiivisen suureen vertailutoimilohko kyseistä vertailua vastaavan lähdön ykköseksi, jolloin tähän lähtöön kytketty SR-toimilohkon set-tulo asettaa lähtöbittinsä ykköseksi. SR-toimilohkon lähtö on kytketty referenssipisteeseen, jonka asettuminen ohjaa jauhimen teräväliä auki. SR-toimilohkon lähtö vaihtaa tilansa nollaan, kun erosuure on laskenut positiivisen suureen vertailutoimilohkossa määritellyn alarajan alle. Negatiivisen suureen vertailutoimilohko toimii vastaavalla tavalla, mutta SR-toimilohko on kytketty referenssipisteeseen, joka ohjaa jauhimen teräväliä kiinni. (Kuva 18.)



KUVA 18. Jauhimen terävää säätävä kokonaisuus.

6.3 Käytettävyyden parantamisen suunnitelma

Opinnäytetyön aloituspalaverissa sovittiin, että työssä tutkittaisiin analysaattorin mittaustulosten keskiarvosuodatuksen vaikutusta jauhatuksen säätöön. Alkuperäiseen säätöpiiriin PK6:lle oli suunniteltu neljän pisteen keskiarvosuodatus, mutta sitä ei ollut otettu käyttöön automaatiojärjestelmän rajoitteiden vuoksi. Lähtökohtana työn toteutuksessa oli keskiarvosuodatusta lukuun ottamatta toimiva EOK:n asetusarvon hienosäätöpiiri, johon oli otettu malli PK6:n automaatiojärjestelmässä olevasta vastaavasta automaatiomodulista. PK7:n moduliin oli muokattu uuden MAP-analysaattorin tulot ja lähdöt sekä tarvittavat rajapintaportit. Metson edustaja ja Eforan

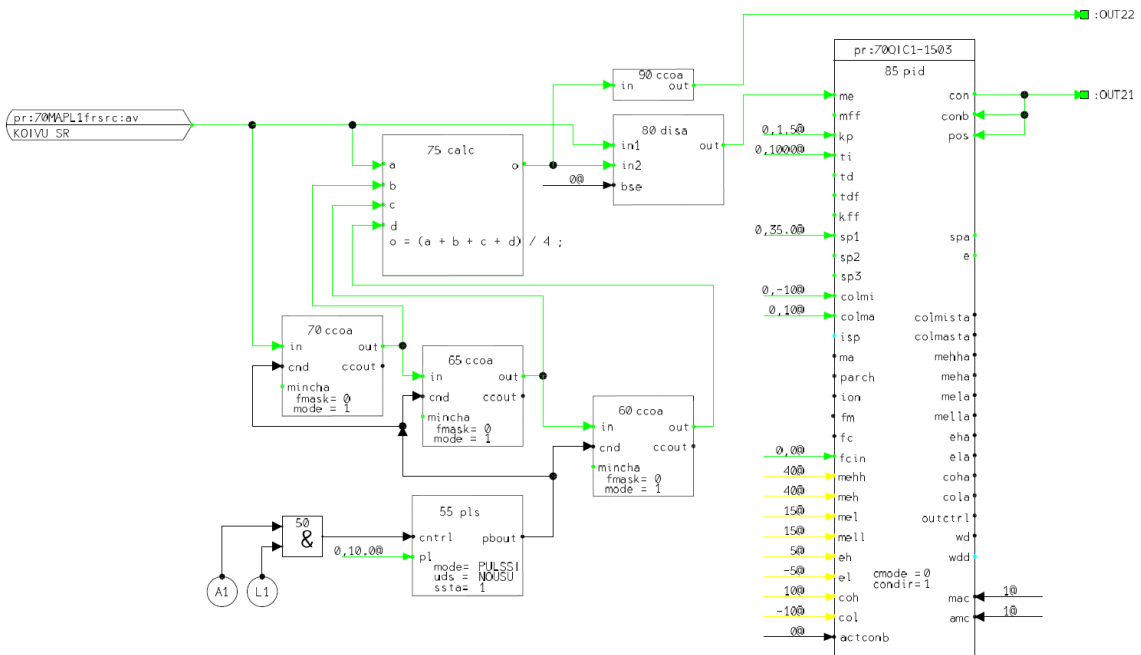
Engineering-osaston projekti-insinööri suorittivat analysaattorin kalibroinnin ja virityksen tuotantovalmiiksi. Tämä oli lähtötilanne, josta säätöpiirin käytettävyyden parannuksia lähdettiin tutkimaan.

Aloituspalaverissa keskusteltiin hienosäädön parannuksista, jotka tulisi toteuttaa PK7:n säätömoduuliin. Neljän pisteen keskiarvosuodatuksen suorittava kokonaisuus tulisi korjata toimivaksi ja lisäksi testiin tulisi ottaa neljän pisteen mediaanisuodatus ja vertailla näiden suodatustapojen eroja. PK6:lla automaatiopiiri luo hälytyksen, mikäli analysaattorin jonkin linjan mittaustuloksissa ei ole ollut muutosta tuntiin. Lisäksi PK7:n piiriin tulisi hälyttää, mikäli hienosäätömoduulin PID-säätimen lähtösuure on ollut ääriarvossaan yli puoli tuntia.

Alkuperäisessä automaatiomodulissa oli kuvan 19 mukainen ratkaisu kolmen viimeisimmän mittaustuloksen tallentamiseksi ccoa-toimilohkojen out-lähtöihin. Toimilohkojen lähtöjä hyödynnettiin kuvassa 19 näkyvässä 75calc-laskentatoimilohkossa, jonka lähtöön kirjoitettiin neljän viimeisimmän mittaustuloksen keskiarvo. Neljän mittauksen liukuvan keskiarvon tai viimeisimmän mittaustuloksen pystyi valitsemaan 80disa-valintatoimilohkon bse-tulobitillä. 80disa-toimilohko kirjoitti lähtöönsä out tuloon in1 kytketyn tiedon, mikäli bse-tuloon kirjoitettiin bitti 0. Jos bse-tuloon kirjoitettiin bitti 1, lähtöön out kirjoitettiin tuloon in2 kytketty tieto. 80disa-toimilohkolta SR-luku vietiin PID-toimilohkon me-tuloon.

Lähtötilanteessa säätimien mittaustuloon saatiin aina MAP-analysaattorin mittaama viimeisin mittaustulos, koska kuvassa 19 näkyvän 80disa-toimilohkon bse-tuloon oli asetettu vakio bitti 0, jolloin lähtöön kirjoitettava tulo oli in1 eli viimeisin SR-mittaus analysaattorilta. Kun automaatiomoduulin toimintaa tutkittiin Metson Function Block CAD -työkalun testityökaluilla, havaittiin että aikaisempia mittaustuloksia tallentava ccoa-moduuleista koostuva kokonaisuus ei toiminut.

Tämä johtui siitä, että ccoa-moduulien kopiointiehtona oli cnd-tulossa havaittavan nousevan reunan ilmaisu. Nouseva reuna olisi kirjoitettu kuvan 19 55pls-toimilohkon pbout-lähdöstä kymmenen sekunnin kuluttua siitä, kun 55pls-toimilohkon cntrl-lähdössä oli havaittu nouseva reuna. PK7:n automaatiomodulissa tällaista tilannetta ei kuitenkaan koskaan olisi tapahtunut, koska MAP-analysaattori vaihtaa aktiivista linjaa, joka tuotiin kuvassa 19 näkyvälle sivulle referenssipisteellä L1, seuraavaan ennen kuin analysaattori muuttaa aktiivisena olleen linjan mittauksen valmistumisesta kertovan rekisterin bitin aktiiviseen tilaan. Tämä rekisteri tuotiin kuvan 19 sivulle referenssipisteellä A1. Tästä johtuen 50and-toimilohko ei koskaan olisi kirjoittanut lähtöönsä bittiä 1, mikä oli edellytyksenä nousevalle reunalle 55pls-toimilohkon tulossa cntrl.



KUVA 19. Koivulinjan jauhatuksen EOK:n hienosäädön moduuli lähtötilanteessa.

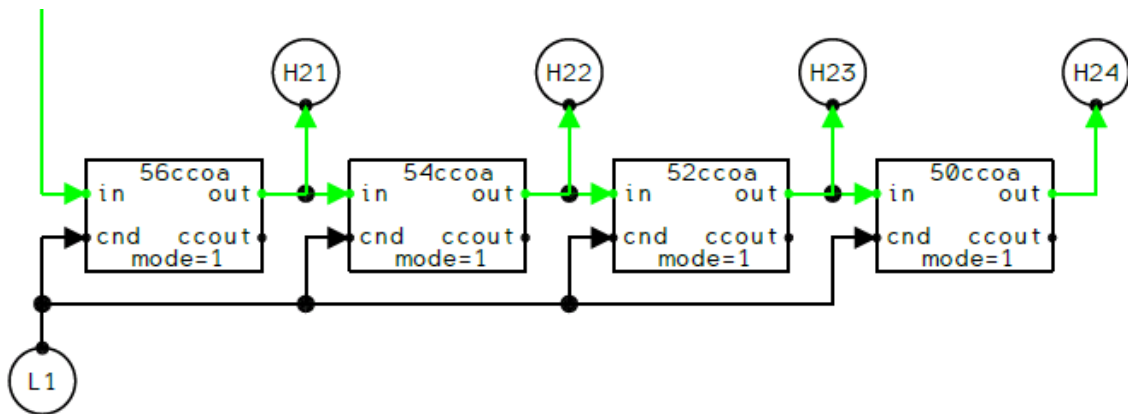
6.4 EOK:n hienosäädön automaatiomodulin muokkaus

Automaatiomodulistista valittiin alkuvaiheessa muokattaviksi koivu- ja eukalinjat, koska valinnan hetkellä molemmissa linjoissa ajettava massa oli samaa lajia, eli tässä tilanteessa oli hyvä mahdollisuus eri suodatustapojen vaikutusten vertailuun. Mittaustulosten suodatuksessa kokeiltiin neljän viimeisimmän mittauksen keskiarvosuodatusta ja uutena suodatustapana neljän viimeisimmän mittauksen mediaanisuodatusta.

6.4.1 Neljän viimeisimmän mittauksen tallennus

Kuvassa 20 on kokonaisuus, joka tehtiin koivulinjan neljän viimeisimmän SR-mittauksen tuloksen tallentamiseksi hienosäätömoduuliin. Toimilohkon 56ccoain-tuloon on kytketty ulkoinen tietopiste, joka lukee MAP-analysoijan koivulinjan viimeistä SR-mittausta. Kokonaisuuden ccoa-toimilohkot asetettiin moodiin 1, jolloin in-tulossa oleva tieto kopioidaan out-lähtöön, kun cnd-tulossa havaitaan nouseva reuna. Cnd-tulohin on kytketty referenssipisteen L1 avulla automaatiomodulin sivulla 1 oleva koivulinjan ”mittaus valmis”-tietopiste (liite 8/1). MAP-analysoijalla kirjoitetaan tähän tietopisteeseen 30 sekunnin ajan binäärisignaalia 1, kun freeness-moduuli on suorittanut mittauksen ja uusi mittaustulos on saatavilla.

Toimilohkot on järjestetty siten, että uusin mittauspiste on ääri vasemmalla olevassa 56ccoatoimilohkon out-lähdössä ja tästä oikealle mittaukset ovat aikajärjestyksessä uusimmasta vanhimpaan. Moduulien suoritusjärjestys on päinvastainen, eli ensin suoritetaan äärimmäisenä oikealla oleva 50ccoatoimilohko, jonka jälkeen loput oikealta vasemmalle suoritusjärjestyksensä mukaan. Kukin suoritukseen tuleva ccoa-toimilohko kopioi in-tulossa olevan mittaustuloksen out-lähtönsä, jolloin saadaan vanhin mittauspiste poistettua lukujonosta ja muita mittaustuloksia siirrettyä yksi oikealle toimilohkojen lähtöjen muodostamassa lukujonossa. (Kuva 20.)



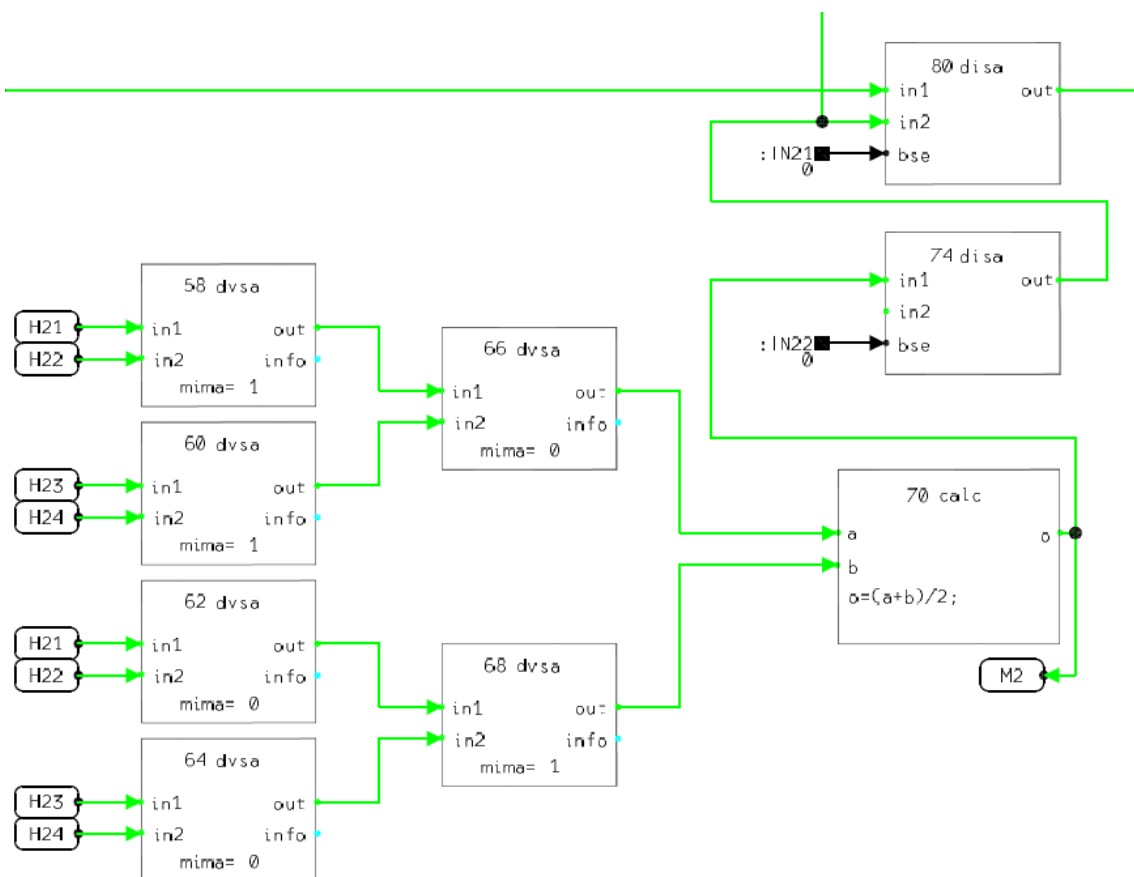
KUVA 20. Koivulinjan SR-mittaustuloksia tallentava kokonaisuus säätöpiirissä 70QI-1503.

Rakennetta laajennettiin tallentamaan kahdeksan viimeisintä mittaustulosta automaatiomodulin lopulliseen versioon, koska haluttiin testata myös kuuden ja kahdeksan mittaustuloksen keskiarvosuodatuksen vaikutuksia EOK:n hienosäätöön. Moduulin lautusvaiheessa tuli ottaa huomioon, että suodatuksia ei pystytty heti latauksessa ottamaan käyttöön, koska latauksen jälkeen ccoa-lohkot kirjoittavat lähtönsä nolaa. Kahdeksan mittauspisteen tapauksessa oikean keskiarvosuodatuksen tuloksen sai käyttöön vasta noin kahden tunnin kuluttua moduulin latauksesta.

6.4.2 Mediaanisuodatus ja liukuva keskiarvosuodatus

Minkä tahansa lukujoukon mediaani saadaan järjestämällä lukujonon jäsenet suurusjärjestykseen ja valitsemalla tästä joukosta keskimäinen luku. Parillisen määrän jäseniä sisältävästä joukosta valitaan suurusjärjestyksessä kaksi keskimäistä lukua, joille lasketaan keskiarvo. (Wesstein 2015.)

Automaatiomodulin mediaanisuodatuksen osio toimii siten, että dvsa-toimilohkoilla valitaan mitaustuloksien muodostamista lukupareista ensin suurimmat ja sitten pienimmät arvot (toimilohkot 58–64dvsa). Mittaustulokset tuodaan kokonaisuudelle referenssiporteilla H21, H22, H23 ja H24, jotka ovat aikajärjestyksessä viimeisen numeronsa mukaan (uusin mittaustulos referenssipisteessä H21 ja vanhin pisteessä H24). Dvsa-toimilohko vertailee tuloihinsa kytkettyjä analogiatietoja, ja valitsee niistä suuremman tai pienemmän kirjoitettavaksi lähtöön out konfiguroitavan parametrin mima mukaan. Mima-parametrin arvolla 1 valitaan suurempi tuloista ja arvolla 0 pienempi. Mediaanisuodatuskokonaisuuden seuraavassa portaassa (toimilohkot 66dvsa ja 68dvsa) valitaan kahdesta suuremmasta tuloksesta pienempi ja kahdesta pienimmästä tuloksesta suurempi. Tällä tavoin saadaan selville suuruusjärjestykseen järjestetyn neljän mittauksen muodostaman lukujonon kaksi keskimmäistä lukua. Toimilohkossa 70calc lasketaan näille mittapisteille keskiarvo, joka kirjoitetaan toimilohkon lähtöön o. (Kuva 21.)



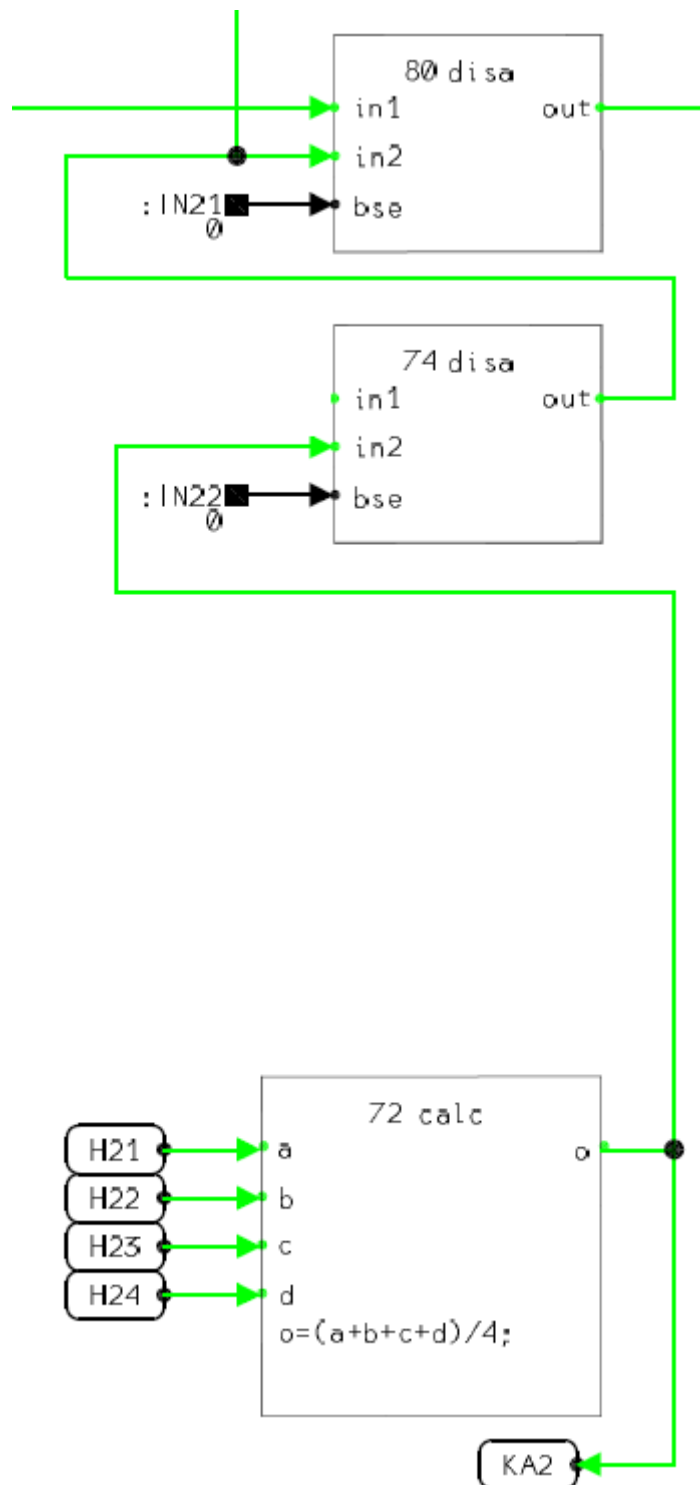
KUVA 21. Koivulinjan SR-mittaustuloksien mediaanisuodatuksen suorittava kokonaisuus.

Mediaanisuodatuksen suorittavan kokonaisuuden huonona puolena voidaan pitää laajennettavuutta, koska tässä työssä tehdyn toteutustavan laajentaminen neljää mittauspistettä suurem-

maksi ei onnistu suunnittelematta koko kokonaisuutta uudestaan. Työssä olevan automaatiomoduulin yhteydessä ratkaisun hyvänä puolena voidaan pitää yksinkertaisuutta, sillä neljän pisteen mediaani saadaan tällä tavoin toteutettuna laskettua vain seitsemällä toimilohkolla.

Hienosäätömoduulin tehtiin myös kolmen mittauksen mediaanisuoitus, jolla korvattiin neljän mittauksen mediaanisuoitus automaatiomoduulin lopullisessa versiossa. Liitteessä 8/3 sivun yläalidassa on kokonaisuus, jolla kolmesta viimeisimmästä mittaustuloksesta valitaan käyttöön suuruusjärjestyksessä keskimäinen tulos. Kokonaisuuden kahdella ylemmällä dvsa-toimilohkolla valitaan kolmesta viimeisimmästä mittaustuloksesta pienin ja kahdella alemmalla dvsa-toimilohkolla suurin mittaustulos. Suurin ja pienin mittaustulos on kytketty cmp-toimilohkoon, jossa tuloja a–b vertaillaan min- ja max-tuloihin. Mikäli jokin tulo on suurempi kuin minimi ja pienempi kuin maksimi, kyseistä tuloa vastaava lähtöbitti asetetaan tilaan 1. Jos vertailutoimilohkon ehdot eivät täyty, lähtöpisteisiin kytketty and-toimilohko asettaa lähtönsä tilaan 1. Vertailutoimilohkon lähdöt on kytketty ccoa-toimilohkojen cnd-tuloihin, jolloin eteenpäin kopioidaan sen lähdön osoittama mittaustulos, joka on suuruusjärjestyksessä keskimäinen. Mikäli vertailutoimilohkon ehdot eivät täyty, kopioidaan analysaattorin viimeisin mittaustulos. (Liite 8/3.)

Mittapisteiden keskiarvo lasketaan kuvan 22 72calc-toimilohkossa. Neljä viimeisintä mittausta tuodaan tässäkin tapauksessa toimilohkolle referenssipisteillä H21–H24. Automaatiomoduulin rakenteesta ja mittapisteiden tallennustavasta johtuen mittapisteille suoritetaan liukuva keskiarvosuoitus, koska keskiarvon laskemisessa otetaan mukaan uusimman mittauksen lisäksi kolme viimeisintä mittaustulosta. Näitä aiemmat mittaustulokset eivät siis enää vaikuta keskiarvolaskennan lopputulokseen.



KUVA 22. Koivulinjan SR-mittaustuloksien keskiarvosuodatuksen suorittava kokonaisuus.

6.4.3 Mittaustuloksien muutosten valvonta

Automaatiomodulistista haluttiin saada hälytys, mikäli jonkin linjan mittaustulos jääty näyttämään samaa tulosta yli tunniksi. Hälytyksen aktivoituessa EOK:n hienosäätö haluttiin pakottaa käsioh-

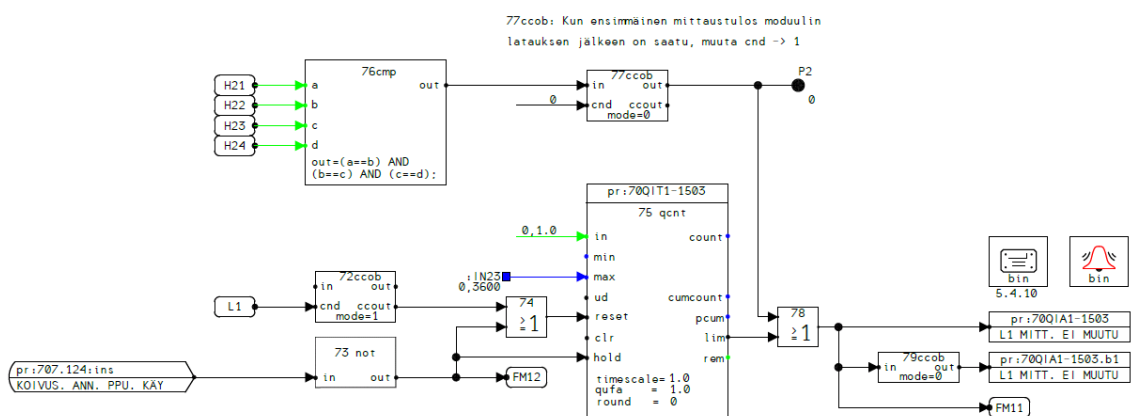
jaukselle, jolloin säätimen ohjaus jäisi tasolle, jossa se oli kun hälytys asettiin päälle. Analysointiri kirjoittaa bitin 1 EOK:n hienosäätömoduulin sivulla 1 oleviin ulkoihin tietopisteisiin 30 sekunniksi, kun kunkin linjan freeness-mittaus on valmistunut ja uusi mittaustulos on käytettävissä. Tätä tietoa käytetään hyödyksi mittaustuloksen muutosta valvovassa kokonaisuudessa.

Ajan valvontaan käytetään 75qcnt-toimilohkoa, jonka analogiatuloon in kirjoitetaan vakioarvoa 1. Konfiguroitava tieto timescale osoittaa toimilohkon sisäisessä laskennassa integroitavan suureen aikaskaalan sekunneissa, joka tässä tapauksessa on 1. Qufa-tieto osoittaa laskuritoimilohkon mittayksikön, joka on analogiatulon in aikaintegraalin arvo, joka aiheuttaa laskurin count muuttamisen yhdellä. Konfigurointien tavoitteena oli asettaa laskuritoimilohko sellaiseen tilaan, jossa count-lähdön arvo kasvaa yhdellä joka sekunti. Tulo ud määrittää laskurin count laskusuunnan, joka tässä tapauksessa on jätetty oletusarvoonsa 0, jolloin laskusuunta on ylöspäin. (Kuva 23.)

L1-referenssipiste on kytketty 72ccob-toimilohkon cnd-tuloon. Toimilohko on asetettu moodiin 1, jolloin kopiointi tapahtuu, kun tulossa cnd havaitaan nouseva reuna. Toimilohkon lähtö ccout, joka ilmoittaa arvolla 1, mikäli kopiointiehto on voimassa, on kytketty or-toimilohkon kautta 75qcnt-toimilohkon reset-tuloon. 72ccob-toimilohko toimii uuden mittaustuloksen nousevan reunan ilmaisimena. Tätä tietoa käytetään qcnt-toimilohkon resetoimiseksi, jolloin toimilohkon count-laskurin arvo palautuu nolnaan. Lim-lähtö muuttuu aktiiviseksi, mikäli count-laskurin arvo on suurempi kuin max-tulon arvo. Lim-lähtö on kytketty or-toimilohkon kautta 70QIA1-1503-suorasaantiporttiin, jolle on määritelty positio- ja tapahtumamoduulit hälytyksen muodostamiseksi valvomossa. Lim-lähtö on kytketty niin ikään or-toimilohkon kautta 70QIA1-1503.b1-suorasaantiporttiin ja FM11-referenssipisteeseen, joista suorasaantiporttia lue-taan DNAuse-käyttöliittymäikkunassa ja referenssipiste on kytketty säätimen fm-tuloon. 75qcnt-toimilohkon max-tuloon on kytketty rajapintaportti IN23, koska haluttiin mahdollistaa valvonta-ajan muuttaminen debugger-työkalulla. Valvonta-aika syötetään rajapintaporttiin sekunteina. Laskuritoimilohkon reset- ja hold-tuloon kirjoitetaan koivusellun annostelupumpun käyntitieto käänteise-nä, koska säätimen toiminta haluttiin lukita annostelupumpun käyntitietoon. Toiminto on tarpeelli-nen paperikoneen ollessa seis, jolloin mittaustuloksissa ei tulisi muutoksia koneen pysähtymisen vuoksi ja hälytys annettaisiin turhaan. Hold-tuloon kirjoitettava bitti 1 pitää kaikki toimilohkon läh-döt muuttumattomina, kun annostelupumppu ei ole käynnissä. (Kuva 23.)

76cmp-vertailutoimilohkolla vertaillaan neljää viimeisintä mittaustulosta toisiinsa ja jos ne ovat samansuuruisia, kirjoitetaan toimilohkon lähtöön out bitti 1. Toimilohkon lähtö on kytketty 77ccob-

toimilohkon ja or-toimilohkon kautta hälytyksen muodostaviin rajapintaportteihin ja referenssipisteeseen. Toimilohkojen tarkoituksena on antaa hälytys tilanteessa, jossa analysaattorilta saadaan ”mittaus valmis”-tieto, mutta mittaustulokset ovat yhtäsuuria eli mittaus on jäänyt näyttämään samaa lukemaa. Turhien hälytysten välttämiseksi moduulia järjestelmään ladatessa 77ccob-toimilohkon kopiointiehdoksi on asetettu oletuksena 0, jolloin kopiointia ei tapahdu. Moduulin latauksen jälkeen referenssipisteissä H21–H24 on arvona 0, koska mittaustuloksia ei ole vielä saatu analysaattorilta. Kun ensimmäinen mittaustulos analysaattorilta on saatu, 70ccob-moduulin kopiointiehdoksi muutetaan 1, jolloin 76cmp-toimilohkon lähtötieto kopioidaan ccob-toimilohkon lähtöön.



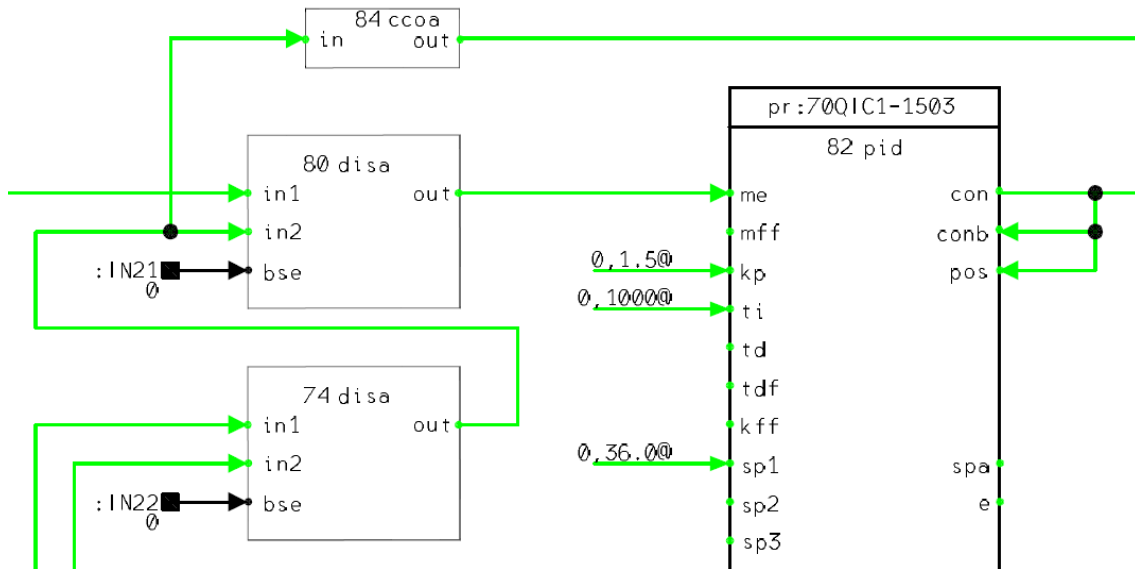
KUVA 23. Koivulinjan SR-mittausten muutosta valvova kokonaisuus.

6.5 Mittauksen tarkkailu

Hienosäätömoduuliin tehtiin rajapintaportteilla ja disa-toimilohkoilla rakenne, jonka avulla koivu- ja eukalinjan PID-säätimen mittaustulon pystyy valitsemaan kolmesta vaihtoehdosta. Disa-toimilohko koostuu kahdesta tulosta (in1 ja in2) ja yhdestä lähdöstä (out). Bse-tulossa oleva binääritieto määrittää, kumpi tulo kopioidaan toimilohkon lähtöön. Kuvassa 24 74disa-toimilohkolla valitaan SR-mittausten suodatuksen käyttöön mediaani- (IN22 = 0) tai keskiarvosuodatus (IN22 = 1). 74disa-toimilohkon lähtö vietään 80disa-toimilohkon in2-tuloon, joka voidaan valita käyttöön kirjoittamalla IN21-rajapintaporttiin bitti 1. IN21-porttiin asetetulla bitillä 0 80disa-toimilohkon lähtöön kopioidaan analysaattorin viimeisin mittaustulos moduulissa olevan ulkoisen tietopisteen kautta.

Kuvan 24 rakenne mahdollisti suodatuksien vaikutusten seurannan koivu- ja eukalinjan mittaustuloksille ilman, että niitä otetaan käyttöön moduulia ladatessa järjestelmään. Tarkoituksena oli

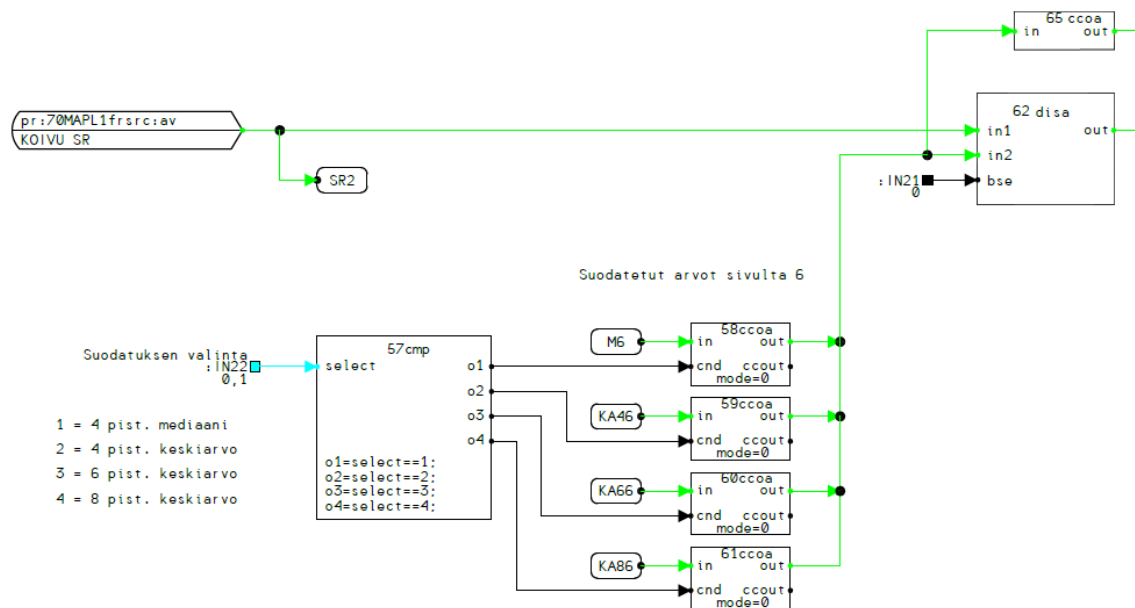
seurata Aspen Process Explorer 2004 -ohjelman trendeistä suodatusten vaikutuksia mittaustuloksiin. Liitteissä 4 ja 5 on koivu- ja eukalinjan SR-mittaustulokset suodattamattomana ja molemmilla tavoin suodatettuna 12 tunnin tarkastelujaksolla. Kuvaajista havaitaan, että molemmilla tavoilla mittaustuloksissa olevia vaihteluita saatiin tasoitettua. Seuranta jatkettiin viikon verran, jonka jälkeen koivulinjalle otettiin koekäyttöön neljän pisteen mediaanisuo datus ja eukalinjalle neljän pisteen keskiarvosuo datus.



KUVA 24. Mediaani- tai keskiarvosuodatuksen valintarakente koivulinjan hienosäätömoduulissa.

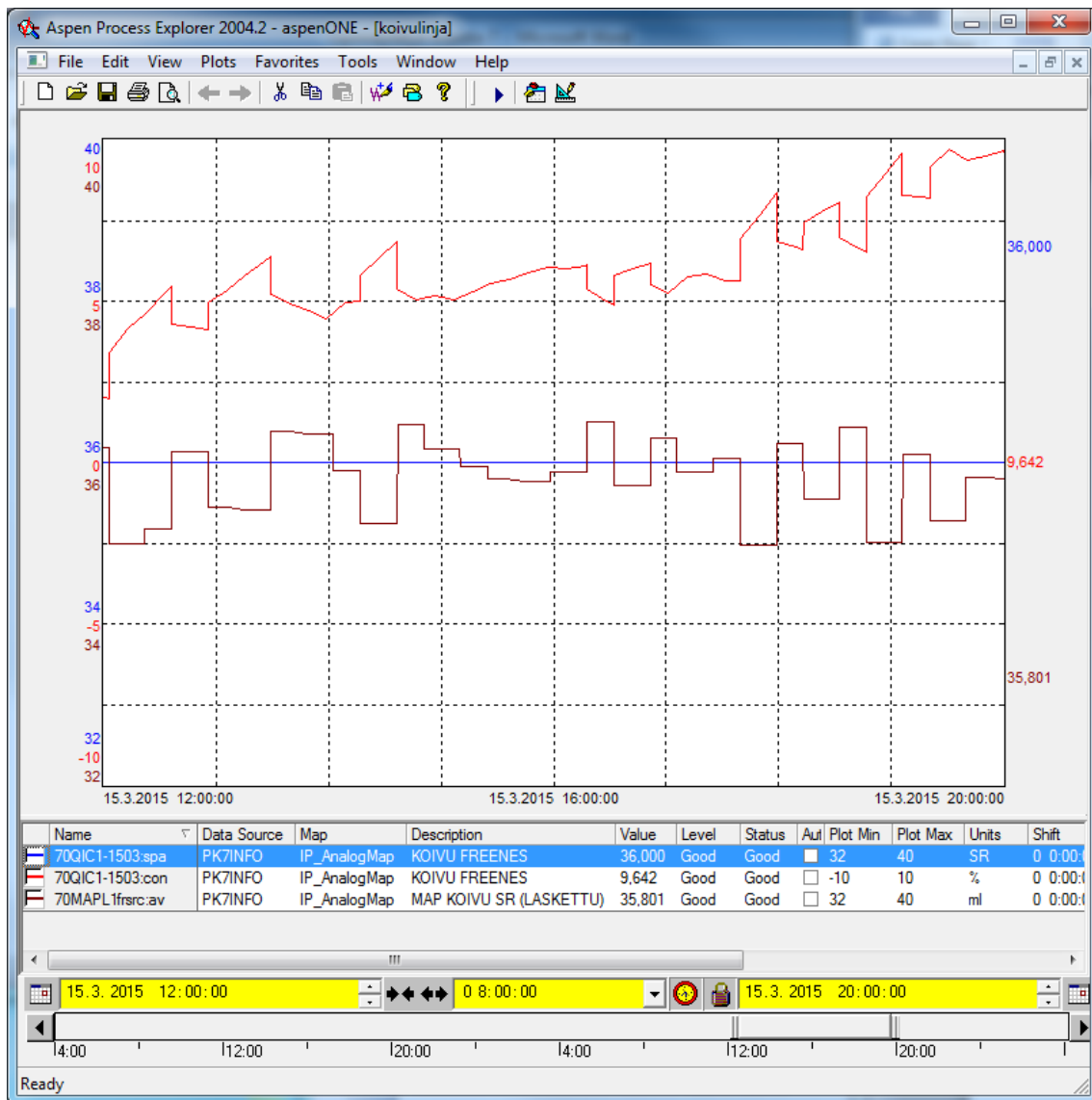
Suodatusten toimintaa tarkkailtiin trendeistä pari viikkoa, jolloin liukuvan keskiarvosuodatuksen todettiin suodattavan paremmin mittaustuloksissa olevia muutoksia. Keskiarvosuodatuksesta haluttiin ottaa kokeiluun neljän mittauspisteen suodatuksen lisäksi vielä kuuden ja kahdeksan pisteen suodatukset. Automaatiomodulia päivitettiin rakentamalla kuvassa 25 oleva valintarakente ja siirtämällä eri suodatustavat omalle sivulle, josta ne otettiin käyttöön PID-säätimen sisältävälle sivulle referenssipisteisiin viittaamalla (liite 8/3). Kuvan 25 rakenteessa suodatustapa valitaan kirjoittamalla rajapintaporttiin IN22 kokonaisluku väliltä 1–4. 57cmp-vertailutoimilohkossa jokaiselle lähdölle on määritetty oma numeronsa, jonka yhtäsuuruutta verrataan select-tulossa olevaan arvoon. Lähtöpisteeseen, jolle toimilohkon kaavoissa määritetty numero vastaa select-tulossa olevaa arvoa, kirjoitetaan bitti 1 ja muihin lähtöihin kirjoitetaan bitti 0. Sivun ccoa-toimilohkot ovat moodissa 0, jolloin kopiointi tapahtuu kun cnd-tuloon kirjoitetaan bitti 1. Kaikkien ccoa-toimilohkojen lähdöt on kytketty yhteen pisteeseen, mikä normaalisti ei olisi sallittua, mutta tässä tapauksessa vain yksi ccoa-toimilohko kerrallaan kirjoittaa 62disa-toimilohkon in2-tuloon.

Valittu ccoa-toimilohko kopioi in-tulostaan valitun suodatustavan suodatetun tuloksen out-lähtönsä.



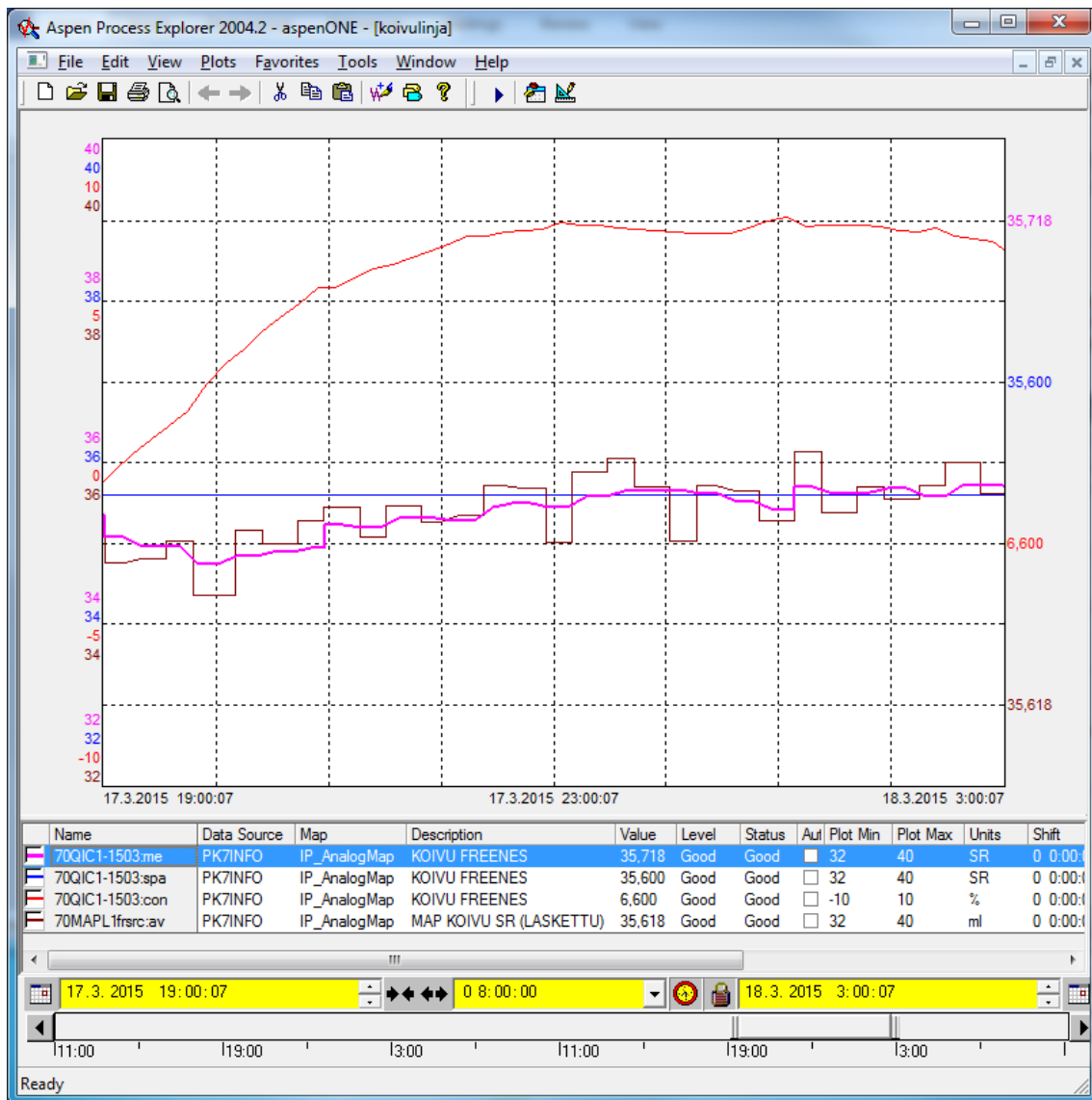
KUVA 25. Rakenne, joka mahdollistaa valinnan neljästä eri suodatustavasta, jotka ovat sijoitettu omalle sivulleen.

Opinnäytetyössä oli tarkoitus tutkia, saadaanko eri suodatustavoilla vähennettyä MAP-analysaattorin suodattamattomissa mittaustuloksissa olevaa vaihtelua. Suurehkojen vaihteluiden epäiltiin johtuvan suodattamattomissa mittaustuloksissa olevista mittauksen kuvitellusta perustasosta poikkeavista piikeistä positiiviseen tai negatiiviseen suuntaan. Kuvassa 26 on esimerkki kahdeksan tunnin tarkastelujaksolla koivulinjan suodattamattomista mittaustuloksista, joissa kuviteltuna perustasona SR-mittauksille voidaan pitää linjan asetusarvoa. Noin klo 14.15 SR-mittauksessa on negatiivinen piikki, joka aiheuttaa säätimen tavallista voimakkaamman säädön positiiviseen suuntaan. Mittausten välisellä ajalla jauhatuksen EOK:a säädetään liikaa, minkä vuoksi seuraava mittaustulos on reilusti asetusarvon yläpuolella. Analysaattorin mittaustuloksissa on havaittavissa noin yhden SR-luvun suuruisia vaihteluita mittausten välillä erityisesti tarkastelujakson kolmella viimeisellä tunnilla. Trendistä nähdään, että säädön lähtösuureen kuvaajaa on sahalaitainen, koska PID-säätimen integrointiosa kasvattaa lähtösuuretta voimakkaasti erosuureen ollessa suuri.



KUVA 26. Koivulinjan mittaustulokset 15.3.2015 kahdeksan tunnin tarkastelujaksolla. Kuvaajassa punainen käyrä kuvaa EOK:n hienosäätimen lähtösuuretta, ruskea käyrä analysaattorin mittauksia ja sininen käyrä säätimen asetusrvoa, joka on ollut sama koko tarkastelujakson ajan.

Kuvassa 27 on trendi koivulinjan mittaustuloksista, kun neljän pisteen keskiarvosuodatus mittaustuloksille on otettu käyttöön. Kuvaajan tilanteessa säätimen lähtösuure muodostetaan syäänin käyrän osoittamien suodatettujen mittaustulosten perusteella. Säätimen lähdössä ei tässä tapauksessa ole vastaavaa sahalaitamaisuutta kuin ilman suodatusta. Vertailun vuoksi analysaattorilta saatavat suodattamattomat mittaustulokset on esitetty ruskealla käyrällä. Verrattaessa kuvan 26 tarkastelujaksoa kuvan 27 tilanteeseen voidaan todeta tässä tilanteessa suodattamattomien mittaustulosten pysyvän kurissa hieman paremmin ja perättäisissä mittaustuloksissa olevien muutoksien olevan keskimäärin pienempiä kuin ilman suodatusta.



KUVA 27. Koivulinjan mittaustulokset 17.3.2015 kahdeksan tunnin tarkastelujaksolla. Kuvaajassa punainen käyrä kuvaa ylätasen säätimen asetusarvoa, ruskea käyrä analysaattorin mittauksia, syaani käyrä keskiarvosuodatettuja mittaustuloksia ja sininen käyrä säätimen asetusarvoa, joka on ollut sama koko tarkastelujakson ajan.

Koivulinjalle otettiin käyttöön neljän pisteen keskiarvosuodatus ja eukalinjalle kuuden pisteen keskiarvosuodatus viikon ajaksi, jonka jälkeen suodatukset otettiin pois päältä, jotta voitaisiin vertailla suodattamattomien mittaustulosten käyriä. Liitteessä 6 ovat koivulinjan MAP-analyysaattorin suodattamattomat mittaustulokset kahden vuorokauden aikajaksolla, kun linjan mittaustuloksille tehdään neljän pisteen keskiarvosuodatus. Liitteessä 7 ovat mittaustulokset kahden vuorokauden ajalta, kun linjan keskiarvosuodatus on otettu pois päältä. Kun verrataan suodattamattomia mittaustuloksia keskiarvosuodatuksen ollessa päällä suodattamattomiin mittaustuloksiin suodatuksen ollessa pois käytöstä, ei mittaustuloksissa ole havaittavissa suuria eroja,

joten todettiin, että pelkällä keskiarvosuodatuksella ei saavuteta haluttua parannusta mittaustuloksissa olevassa vaihtelussa.

7 KUNNOSSAPIDON PARANTAMINEN

PK7:n MAP-analysaattorille oli tehty käyttöliittymä tehtaan automaatiojärjestelmään. Käyttöliittymäikkunasta oli mahdollista tarkastella esimerkiksi analysaattorin viimeisimmät mittaustulokset eri massalajeille ja vesifreeness-testin tulokset. Käyttöliittymässä oli lisäksi painikkeet käsinäytteiden ottamista varten. Kun käsinäytteenotto oli valittu, seuraavan kerran kun analysaattori otti näytteen valitusta linjasta, osa näytteestä syötettiin kuvassa 11 näkyvän kolmen kolmitieventtiilin muodostaman kokonaisuuden läpi kullekin linjalle erikseen määriteltyyn näyteastiaan. Opinnäytetyössä helpotettiin analysaattorin kunnossapitoa tekemällä automaatiojärjestelmän käyttöliittymään parannuksia, jotka hyödynsivät analysaattorin rekistereistä saatavia tietoja.

7.1 Kunnossapitäjien toiveiden kartoitus

Kunnossapitoasentajat kokivat tärkeimmäksi työkaluksi ohjelmiston, jonka avulla MAP-analysaattorin operointipääteeseen saadaan etäyhteys automaatiokorjaamon PC:ltä. Eforan Engineering-osaston avustuksella etäyhteyden asiakasohjelmisto asennettiin kunnossapitoasentajien osoittamalle PC:lle.

Selvitettäväksi aiheeksi ehdotettiin analysaattorin pesukemikaalin kulutuksen seuranta SHC-venttiilin ohjaustietoa lukemalla. SHC-venttiilin sulkeutuessa kemikaalipesusekvenssissä analysaattorin ejektoripumppu annostelee tulevan veden linjaan pesukemikaalia. Automaatioasentajien haastattelun perusteella päätettiin tehdä MAP-analysaattorin käyttöliittymään uusi monitori-ikkuna, josta pystytään seuraamaan analysaattorin pesukemikaalin tasoa. Pesukemikaalin tason seuranta varten suunniteltiin tehtäväksi automaatiomoduli, jonka tulisi tehdä hälytys, kun pesukemikaalisäiliössä on jäljellä enää yksi annos pesukemikaalia. Hälytys suunniteltiin näytettäväksi sekä analysaattorin käyttöliittymässä että monitori-ikkunassa. Hälytys haluttiin myös tehtäväksi tilanteessa, jossa pesukemikaalin määrä ei riittäisi viikonlopun aikana suoritettaviin pesuihin. Tällainen hälytys koettiin tarpeelliseksi, koska viikonloppuna pesukemikaalisäiliön täyttämiseksi ei olisi henkilöitä töissä.

Eforan älykkään kunnossapidon strategian hengessä päätettiin myös tutkia ja kokeilla tehdä pesukemikaalin tasohälytyksestä tekstiviesti ja/tai sähköpostiviesti. Kunnossapitoasentajilla on äly-

puhelimet, joihin olisi mahdollista lähettää tekstiviesti, kun tasohälytys aktivoituu. Tehtyjen parannusten avulla asentajien ei tarvitsisi aktiivisesti seurata pesukemikaalin tasoa, vaan analysaattori pystyisi itse ilmoittamaan pesukemikaalisäiliön täyttötarpeesta. Automaatiomodulin hälytyksiä ja viestejä hyödyntämällä pystyttäisiin varmentamaan, että analysaattorin pesukemikaalisäiliö ei koskaan olisi pitkiä aikoja tyhjä.

7.2 Pesukemikaalin kulutuksen seuranta

Analysaattorin kemikaalipesusekvenssissä venttiili SHC suljetaan, jolloin ejektoripumppu pump-paa pesukemikaalia pesukemikaalisäiliöstä analysaattorin vesilinjaan (liite 3). Analysaattorin vesi-linjaan pumpattavan pesukemikaalin määrä pysyttelee joka pesukerralla tiettyjen rajojen sisällä, joten kulutuksen seuranta oli mahdollista toteuttaa venttiilin asentotietoa seuraamalla.

Kulutuksen laskemiseksi tuli tietää, kuinka paljon pesunestettä otetaan pesusekvenssin aikana. Analysaattori täytyi asettaa huoltotilaan tehtävien mittauksen ajaksi. Pumpatun pesunesteen mää-rä mitattiin asettamalla pesukemikaalin imuletku tilavuudeltaan 0,5 l suuruisen mitta-astian, joka oli täytetty vedellä 500 ml tilavuuteen. Analysaattori asetettiin kentällä operointipäätteeltä suorittamaan kemikaalipesusekvenssi laitteen huoltotilassa käytettävällä IO-testillä, jonka jälkeen mitta-astian asteikolta tarkistettiin kulutetun pesunesteen määrän. Testin tulokset on esitetty tau-lukossa 1. Mittaustulosten keskiarvoksi saatiin 340 ml, jota käytettiin asetusarvona kulutusta seu-raavassa automaatiomodulissa.

TAULUKKO 1. Mitta-astiasta kemikaalipesusekvenssissä pumpattu nestemäärä.

Mittaus	Pumpattu nestemäärä [ml]
1	360
2	310
3	320
4	310
5	375
6	335
7	370

7.3 Automaatiomoduurin toteutus

Kulutuksen seurannan automaatiomoduurin keskeinen toimilohko on 50cnt-laskuritoimilohko, joka asetettiin laskemaan in-tulossa havaittavia nousevia reunoja. Tämä toiminnallisuus asetettiin päälle syöttämällä konfiguroitavan tiedon mode arvoksi 1. Toimilohko lisää lähdössä count olemaan kokonaislukuun yhden joka kerta, kun mode-parametrin mukainen muutos havaitaan. Tässä tapauksessa 50cnt-toimilohkon count-lähtöön kirjoittama kokonaisluku ilmoittaa SHC-venttiilin sulkeutumisen määrän. SHC-venttiilin tilatietoa luetaan ulkoisella tietopisteellä pr:70MAPLCSAIOS.F:SHC, johon analysointori kirjoittaa venttiilin tilan binääritietona, jossa 0 vastaa venttiilin kiinni-asentoa ja 1 venttiilin auki-asentoa. (Liite 9/1.)

Automaatiomoduurin käytettävyyden parantamiseksi luotiin rajapintaportit säiliön tilavuudelle, pesukemikaalin keskimääräiselle annokselle, pesukemikaalin suurimmalle annokselle ja pesukemikaalin annosteluvälille. Pesukemikaalisäiliön tilavuus voi muuttua, joten kunnossapitoasentajien on voitava muuttaa säiliön tilavuutta debugger-työkalulla. Pesukemikaalin keskimääräinen kulutus mitattiin seitsemän mittauskerran keskiarvosta, joten on mahdollista, että kerralla otetun pesukemikaalin määrän keskiarvoa on tarvetta muuttaa. Säiliön täyttötarpeen seurannassa tarvitaan myös pesukemikaalin suurinta mahdollista yhdellä kertaa otettavaa tilavuutta ja pesukemikaalin annosteluväliä, joiden suuruutta voidaan myös muuttaa rajapintaportteista. (Liite 9/1.)

Automaatiomoduurin tulopuolelle luotiin suorasaantiportti 70LI-1503.b1, joka toimii laskurin nollauksen kytkintietona. Portille luotiin positio- ja operointitoimilohkot portin käyttämiseksi automaatiojärjestelmän käyttöliittymästä. Kun säiliö on täytetty, laskuri nollataan käyttöliittymän monitorikkunan painikkeella tai kirjoittamalla suorasaantiporttiin debugger-työkalulla bitti 1. Suorasaantiportti on kytketty ccob-toimilohkon kautta 50cnt-toimilohkon reset-tuloon. Kun tuloon kirjoitetaan bitti 1, se suorittaa toimilohkon nollaustoimenpiteet, joista tässä moduulissa merkittäviä ovat reset-tulon nollaus ja laskurin count arvon asettaminen min/max-tuloissa olevaan arvoon laskentasuunnan (ud-tulo) mukaan. Tässä tapauksessa ud-tulo on 0, eli laskentasuunta on min-arvosta ylöspäin. Min-tulon arvo on oletusarvossaan, joka on 0. (Liite 9/1.)

70LI-1503.b1-suorasaantiportin bitti asetetaan nollaksi automaattisesti 40pls-pulssitoimilohkon ja 45ccob-toimilohkon muodostamalla takaisinkytkennällä. Cnt-toimilohkon reset-tulo nollautuu automaattisesti, joten 40pls-toimilohkon cntrl-tuloon kirjoitetaan suorasaantiportin bitin ykköseksi asetuksen jälkeen lyhyt pulssi, joka käynnistää 1,5 sekunnin pituisen pulssin 40pls toimilohkon

pbout-lähdössä, joka on kytketty ccob-toimilohkon in-tuloon. 45ccob-toimilohko on moodissa 5, eli kopiointi suoritetaan, kun tulossa in on havaittu muutos arvo-osassa. Kopiointitoimilohkon lähdössä on pulssitoimilohkon toiminnan johdosta 1,5 sekuntia bitti 1, jonka jälkeen pulssitoimilohkon lähdön palautuessa takaisin nolnaan 45ccob-toimilohkon lähtöön kirjoitetaan 0, joka on kytketty 70LI-1503.b1-suorasaantiporttiin ja 50cnt-toimilohkon reset tuloon. (Liite 9/1.)

Cnt-toimilohkon count-laskurin arvo viedään toimilohkolle 55calc, jossa jäljellä olevan pesukemikaalin määrä lasketaan vähentämällä säiliön tilavuudesta käytettyjen pesukemikaaliannosten ja annoksen keskimääräisen tilavuuden tulo. Laskutoimituksen tulos kirjoitetaan toimilohkon lähtöön o analogiatyyppisenä tietona. (Liite 9/1.)

Säiliön täyttötarve ilmoitetaan binäärityyppisenä tietona suorasaantiportissa 70LI-1503.b2, jolle on tehty positio- ja tapahtumatoimilohkot. Säiliössä olevaksi minimiannokseksi laskettiin tilavuus, joka säiliössä on oltava 24 tunnin pesujen suorittamiseksi. Tämän ajateltiin olevan riittävä aika kunnossapitoasentajalle pesukemikaalin hankkimiseksi ja säiliön täyttämiseksi, ennen kuin säiliö on kokonaan tyhjä. Minimitilavuus lasketaan toimilohkossa 70calc, jossa lasketaan 24 tunnin ja pesukemikaalin annosteluvälin osamäärän ja pesukemikaalin maksimiannoksen tulo. Tulon muodostamiseen käytetään pesukemikaalin annoksen maksimimäärää, jolloin varmistutaan siitä, että säiliössä todella on riittävästi pesukemikaalia 24 tunnin toimintaa varten. Laskentatoimilohkon tulos viedään 75cmp-vertailutoimilohkoon, jossa tulosta verrataan pesukemikaalisäiliössä jäljellä olevaan nestemäärään. Mikäli säiliössä on vähemmän nestettä kuin laskettu minimimäärä, vertailutoimilohkon lähtöön kirjoitetaan bitti 1. (Liite XX.)

Viikonlopulle ajoittuvasta pesukemikaalisäiliön tyhjenemisestä ilmoitetaan suorasaantiportin 70LI-1503.b3 bitillä. Viikonlopun kestoksi määritettiin 72 tuntia, joka sijoittuu perjantain kello 8:n ja maanantain kello 8:n välille. Laskentatoimilohkossa 120calc lasketaan tämän 72 tunnin ja pesukemikaalin annosteluvälin osamäärä, joka kerrotaan pesukemikaalin keskimääräisellä annoksella. Tällä tavoin saadaan laskettua pesukemikaalimäärä, joka riittää ennalta määritellylle aikavälille. Laskentatoimilohkon lähtö viedään vertailutoimilohkolle 125cmp, jossa verrataan pesukemikaalin laskennallista määrää viikonloppuhälytyksen minimitilavuuteen. Mikäli pesukemikaalisäiliössä olevan kemikaalin tilavuus on pienempi kuin määritelty minimitilavuus, vertailutoimilohkon lähtöön kirjoitetaan bitti 1. Moduulin toisella sivulla olevalla 95timetoi-toimilohkolla luetaan PK7:n paikallisen ajan laskevasta moduulista paikallinen aika, joka hajotetaan timetoi-toimilohkon lähtöpisteisiin kokonaislukutyypiksi tiedoiksi. Järjestelmäkellon tunti ja viikonpäivän numeroarvo

viedään 110cmp-vertailutoimilohkolle, jossa lähtöön out kirjoitetaan bitti 1, mikäli tunnin lukuarvo on suurempi kuin 8 ja pienempi kuin 14 sekä viikonpäivän numeerinen arvo on 5. 110cmp-toimilohkon lähtöön kirjoitetaan siis bitti 1 perjantaisin kello 8.00–14.00. 125cmp-toimilohkon ja 110cmp-toimilohkojen lähdöt viedään and-toimilohkoon, jonka lähtö on kytketty SR-toimilohkon set-tuloon. SR-toimilohkon lähtö asetetaan, mikäli perjantaina kello 8.00–14.00 välillä pesukemikaalin taso on alhaisempi kuin laskettu minimimtaso viikonlopun pesujen tekemiseksi. SR-toimilohko nollataan, kun säiliön täytön yhteydessä tapahtuvan laskuritoimilohkon nollauksen yhteydessä. SR-toimilohkon lähtö on kytketty suorasaantiporttiin, josta tieto luetaan automaatiojärjestelmän käyttöliittymään. (Liite 9/2.)

7.4 Käyttöliittymän parannukset

Metso oli tehnyt automaatiojärjestelmän käyttöliittymään MAP-analysaattorille omat käyttöliittymäsivut, joissa havaittiin suunnitteluvaiheessa kehitettävää. Kuvassa 28 on MAP-analysaattorin käyttöliittymän pääsivu, johon lisättiin pesukemikaalin tason seurannan monitori-ikkunan painike ”Vesi Freeness”-alueen alapuolelle. Painikkeen oikealla puolella oleva teksti välkkyi punaisella taustavärillä, mikäli pesukemikaalin taso on laskenut pesukemikaalin tason seurannan moduulissa määritellyn rajan alle. Lisäksi alueen alapuolelle ilmestyy oranssilla taustavärillä välkkyvä teksti, mikäli pesukemikaalin määrä on liian pieni viikonlopun pesujen suorittamiseksi. Välkkyvät tekstit lukevat binääritietoja pesukemikaalin tason seurannan automaatiomodulissa olevista suorasaantiporteista, joihin molemmat hälytykset on kytketty.

Lupa DNA:lta			Freeness		Tuhka	Seurantänäyte		
Lupa laitteelta	Lupa ann.säiliön pumpulta	Linja	Lask. CSF ml	Lask. SR ml				
A	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Koivu	03-19 12:30	359	35,8	102,6	Ei valittu
A	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Mänty	03-19 12:34	418	30,1	104,2	Ei valittu
A	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Euca	03-19 12:39	365	35,2	102,7	Ei valittu
A	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Konemassa	03-19 12:44	381	33,9	17,39	
M	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Käsi euca	02-06 09:23	333	38,0		
M	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Käsi mänty	03-06 09:58	467	27,6		
M	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Käsi hylky	02-04 18:17	415	31,3		
M	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Käsi lyh k	02-04 18:31	520	24,2		

KUVA 28. Metso MAP -analysaattorin käyttöliittymäikkuna.

Käyttöliittymään lisättiin kaksi uutta saraketta ”Lupa DNA:lta”-sarakkeen oikealle puolelle. Alkuperäiselle käyttöliittymäsivulle oli tehty kaksi saraketta, jotka olivat kuvan 28 sarakkeista kaksi ensimmäistä vasemmalta lukien. Ensimmäisessä sarakkeessa osoitetaan kirjaimilla A tai M onko linja valittu automaatti- vai manuaalilinjaksi. Toisessa sarakkeessa näytetään kunkin linjan tehtaan automaatiojärjestelmän mittausluvan tila. Uusien sarakkeiden lisäämisen vuoksi kaikki sarakkeet tuli otsikoida selkeästi. Laatikossa oleva valintamerkki tarkoittaa, että mittauslupa on annettu. Parannusten tavoitteena oli esittää kaikki analysaattorin mittauksen lukitsevat tiedot samalla sivulla, mikä helpottaa vianhakua tilanteissa, joissa analysaattori ei mittaa.

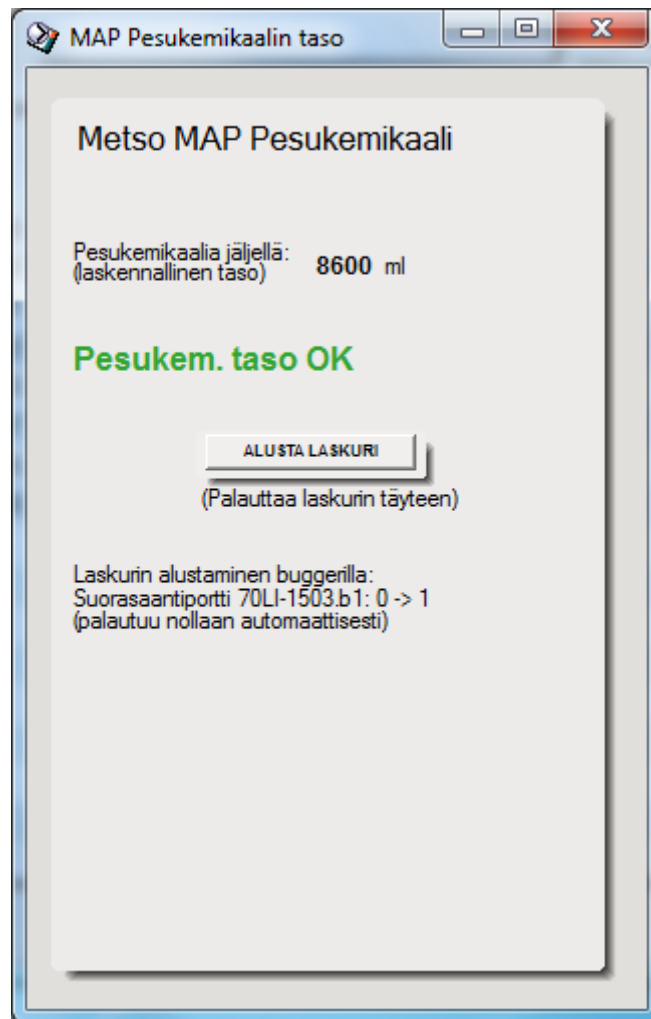
”Lupa laitteelta”-sarakkeen laatikot osoittavat, onko linja kytketty laitteen operointipäätteeltä päälle vai pois. Linjakohtaiset päälle/pois-tiedot luetaan analysaattorin rekistereistä automaatiojärjestelmään kunkin linjan omassa automaatiomodulissa, jossa linjan tilatieto on kytketty erikseen nimettyyn suorasaantiporttiin. Laitteen linjojen tilatietojen rekisterit ovat luku-tyyppisiä, minkä vuoksi kyseisen sarakkeen laatikoita ei voi operoida. Linjoja ei voida kytkeä päälle automaatiojärjestelmästä, koska linjat ohjataan päälle tai pois pelkästään analysaattorin operointipäätteeltä. Ideana ainoastaan analysaattorilta linjojen päälle tai pois kytkemisessä on mahdollisuus lukita

linjat kunnossapitotoimenpiteiden ajaksi kentällä, jolloin varmistutaan siitä, että automaatiojärjestelmä ei pysty asettamaan linjoja mittaukselle kesken töiden.

Viimeisen sarakkeen laatikoissa ilmaistaan annostelusäiliöiden ja konesäiliön pumppujen käyntitieto, jota käytetään myös EOK:n hienosäädön säätimen pakkokäsiohjaukseen kytkemiseen. Mikäli pumput eivät ole päällä, kytketään EOK:n hienosäätö pakkokäsiohjaukselle ja kyseiselle linjalle ei suoriteta freeness-mittausta. Käyntitiedot on kytketty suoraan sarakkeen laatikoihin, joissa valintamerkki osoittaa pumpun olevan päällä ja tyhjä valintamerkki osoittaa pumpun olevan pois päältä. Pumppujen käyntitiedot on hyvä näyttää MAP-analysaattorin käyttöliittymäsivulla, koska tällöin nähdään yhdellä silmäyksellä mittauksen lukitsevien pumppujen tila kunkin linjan kohdalla.

Käyttöliittymäikkunan alkuperäisessä versiossa ”Näytteenotto”- ja ”Mittaus”-alueet olivat toisin päin, eli ”Näytteenotto”-alue oikealla ja ”Mittaus”-alue vasemmalla. Tämä järjestys haluttiin muuttaa, koska analysaattorissa näytteenkäsittelymoduuli ja freeness-moduuli sijaitsevat siten, että näytteenkäsittelymoduuli on vasemmalla ja freeness-moduuli oikealla. Moduulien tilan osoituksen selkeyttämiseksi ”Näytteenotto”-alueen tilaotsikko ”Mittaus” muutettiin muotoon ”Sakeusmittaus” ja ”Mittaus”-alueen otsikko ”Mittaus” muutettiin muotoon ”Freeness-mittaus”.

Pesukemikaalin tason seurannan monitori-ikkunaan lisättiin tarvittavat toiminnot tason seuraamiseksi ja laskurin nollaamiseksi. Kuvan 29 yläreunassa sijaitsee laskuri, joka näyttää automaatiomoduulin am-toimilohkolle kirjoitettavan pesukemikaalin laskennallisen tason. Tämän alapuolella oleva teksti ”Pesukem. taso OK” muuttuu punaisella taustavärillä välkkyväksi ja teksti pyytää täyttämään pesukemikaalisäiliön, mikäli pesukemikaalin tason hälytysbitti (70LI-1503.b2) aktivoituu. Tekstin alapuolella olevaan tyhjään tilaan ilmestyy oranssilla taustavärillä välkkyvä ilmoitusteksti, mikäli pesukemikaali ei riitä viikonlopun pesuihin. Tämä bitti luetaan automaatiomoduulin suorasaantiportista 70LI-1503.b3. Monitori-ikkunan keskellä oleva painike alustaa laskurin, eli palauttaa laskurin arvon täyteen. Painikkeen avulla kunnossapitoasentaja voi alustaa laskurin pesukemikaalisäiliön täyttämisen jälkeen. Automaatiokorjaamon tietokoneilla ei pystytä operoimaan automaatiojärjestelmän DNAuse-näyttöjen toimintoja, joten painikkeen alapuolelle on tehty ohjeet laskurin alustamiseksi debugger-työkalulla, jota asentajat pystyvät käyttämään automaatiokorjaamolla.



KUVA 29. MAP-analysaattorin pesukemikaalin tason seurannan monitori-ikkuna.

8 KOEJAKSON HAVAINTOJA

EOK:n hienosäätömoduulin tehtyjä muutoksia kokeiltiin muutaman päivän jaksoissa, ja kokeilujen tuloksia seurattiin Aspen Process Explorer 2004 -ohjelmiston tuottamista trendeistä. Moduuliin tehtiin muutoksia sitä mukaa, kun hienosäädön toiminnassa havaittiin puutteita tai korjattavaa. Muutokset ladattiin järjestelmään yleensä aamulla, koska jokaisen latauksen jälkeen oli tarve jäädä seuraamaan tehtyjen muutosten toimintaa muutamaksi tunniksi.

Analysaattorin pesukemikaalin tason seuranta varten tehty moduuli oli koekäytössä useita viikkoja, joiden aikana moduuliin tehtiin muutoksia ja lisäyksiä tarpeen vaatiessa. Moduulin toimintaa seurattiin yhteistyössä analysaattorin kunnossapidosta vastaavan automaatioasentajan kanssa. Moduulin tuottamat hälytykset lisättiin järjestelmään, joka lähettää tekstiviestit sille määritellyistä hälytyksistä järjestelmään kirjattuihin puhelinnumeroihin.

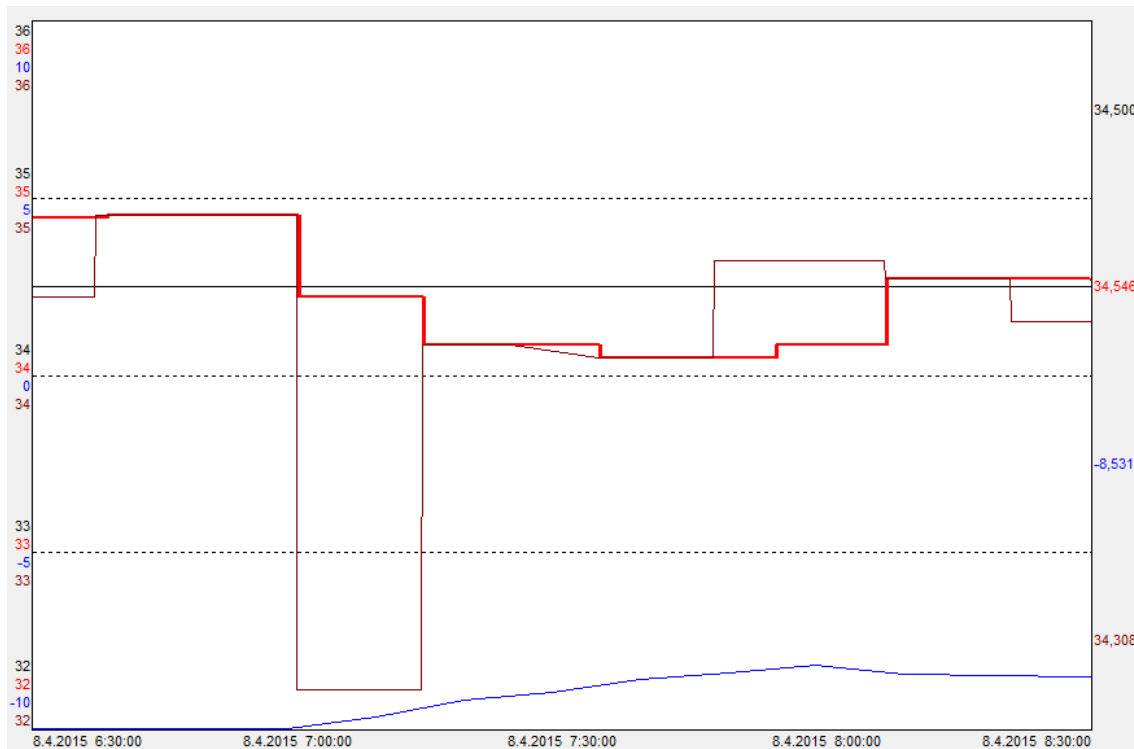
8.1 Mittausten suodatusten vaikutukset säätöön

Opinnäytetyön seurantalaverissa käytiin läpi tehtyjen suodatusten vaikutuksia ja havaittiin, että neljän ja kuuden pisteen keskiarvosuodatuksilla ei ollut juurikaan vaikutusta suodattamattomissa mittaustuloksissa olevaan kohinaan. Alkuperäisistä suunnitelmista poiketen kahdeksan pisteen keskiarvosuodatusta ei tämän vuoksi otettu koekäyttöön. Liukuvassa keskiarvosuodatuksessa havaittiin se huono puoli, että satunnaiset piikit SR-luvun mittauksessa vaikuttavat laskettavaan keskiarvoon ja siten säätimen ohjaukseen, joskin keskiarvosuodatetut piikit mittaustuloksissa vaikuttavat ohjaukseen huomattavasti vähemmän kuin ilman suodatusta mitattavat piikit. Esimerkkinä voidaan pitää tilannetta, jossa yksittäinen, jauhetun massan asetusarvosta yhdellä tai kahdella SR-luvulla eroava mittaustulos tallennetaan säätimen keskiarvosuodatusosion toimilohkoihin. Neljän mittauksen keskiarvosuodatuksessa yksittäinen muista poikkeava arvo muuttaa keskiarvoa sen mukaan, onko poikkeava tulos asetusarvon ylä- tai alapuolella.

Työssä päätettiin kokeilla menettelyä, jossa poistetaan huonon mittaustuloksen vaikutus säätimen ohjaukseen kokonaan ottamalla koekäyttöön kolmen pisteen mediaanisuuodatus. Koelinjaksi valittiin koivulinja, koska tällöin suodatuksen vaikutusta voitiin verrata eukalinjaan, jolle suodatusta ei otettu käyttöön. Kolmen pisteen mediaanisuuodatuksessa kolmesta viimeisimmästä mittaus-

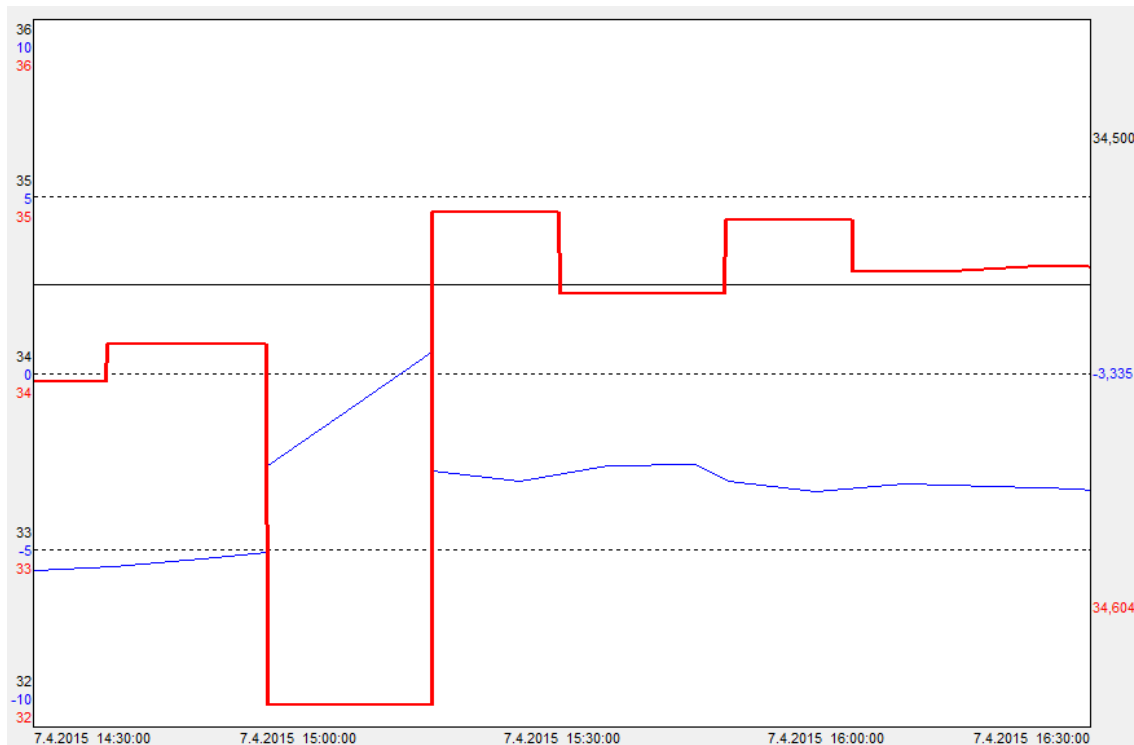
tuloksesta valitaan käyttöön suuruusjärjestyksessä keskimäinen. Ajatuksena oli, että kolmen pisteen mediaanisuodatuksella jätettäisiin huomioimatta mittaustuloksissa olevat kuvitellusta SR-luvun perustasosta suuresti poikkeavat mittaustulokset. Tällä suodatustavalla hienosäätimen ohjauslähdön trendi tasoittui hieman, mutta suodattamattomissa mittaustuloksissa olevat vaihtelut eivät merkittävästi alentuneet.

Kolmen mittauksen mediaanisuodatuksen vaikutukset koivulinjassa rajoittuivat kuvassa 30 kuvattuun tilanteeseen, joita voitiin havaita trendeissä tapahtuvan useita kertoja vuorokaudessa. Kuvassa 30 suodattamattomat mittaustulokset analysaattorilta on esitetty ruskealla käyrällä, suodatetut mittaustulokset punaisella käyrällä ja asetusarvo mustalla käyrällä. Säätimen ohjauslähdön tila on esitetty sinisellä käyrällä. Kuvasta voidaan havaita, että noin kello 7 analysaattorilta saatu mittaustulos on noin 2 SR-lukua asetusarvoa pienempi. Ilman suodatusta säädin yrittäisi ohjata EOK:ta voimakkaasti ylöspäin, kuten kuvassa 31, mutta mediaanisuodatuksen ansiosta säätimen tulosuureena käytetään kolmanneksi viimeisintä mittaustulosta, joka on huomattavasti lähempänä asetusarvoa kuin kello 7 saatu huono mittaustulos. Seuraava, noin kello 7.15 saatu mittaus vaikuttaa olevan järkevämpi, eli se otetaan huomioon säädössä, koska se on suuruusjärjestyksessä keskimäinen viimeisimmästä kolmesta mittauksesta. Suodatuksella siis saavutetaan joissain tilanteissa sille asetettu tavoite, eli häiriötä seuraava mittaus ei ole hypännyt asetusarvon yli, koska jauhatusastetta on säädetty liian suureksi huonon mittaustuloksen vuoksi.



KUVA 30. Koivulinjan SR-mittausten trendi kahden tunnin tarkastelujaksolla 8.4.2015 klo 6.30 alkaen.

Kuvassa 31 ei mittaustulosten suodatus ole käytössä. Kuvasta nähdään ongelma, jota yritettiin suodatuksilla vaimentaa. Noin kello 15 analysaattorilta saadaan jälleen noin kaksi SR-lukua asetusarvoa pienempi mittaustulos. Säädin alkaa säätämään lähtösuuretaan, eli lopulta jauhimien EOK:ta, voimakkaasti suuremmaksi, jolloin linjan jauhimet jauhavat linjassa kulkevaa massaa liikaa mittausten välisen 15 minuutin aikana. Noin kello 15.15 on saatu uusi mittaustulos, joka on mennyt asetusarvon yli noin puoli SR-lukua. Kuvan 31 esimerkkitalanteessa tapahtuva muutos ei ole vielä paha ylitys, mutta ilman suodatusta olevien koivu- ja eukalinjojen trendeissä voidaan havaita lukuisia tilanteita, joissa mittauksen putoamisen tai nousemisen jälkeinen asetusarvon ohitus on huomattavasti suurempi kuin esimerkissä. Tällainen virheellisistä mittauksista johtuva ylisäättö voi osaltaan vaikeuttaa jauhatuksen säädön asetusarvossa pysymistä, joten kolmen mittauksen mediaanisuodatusta auttaa tässä työssä kuvaillun häiriön poistamisessa.



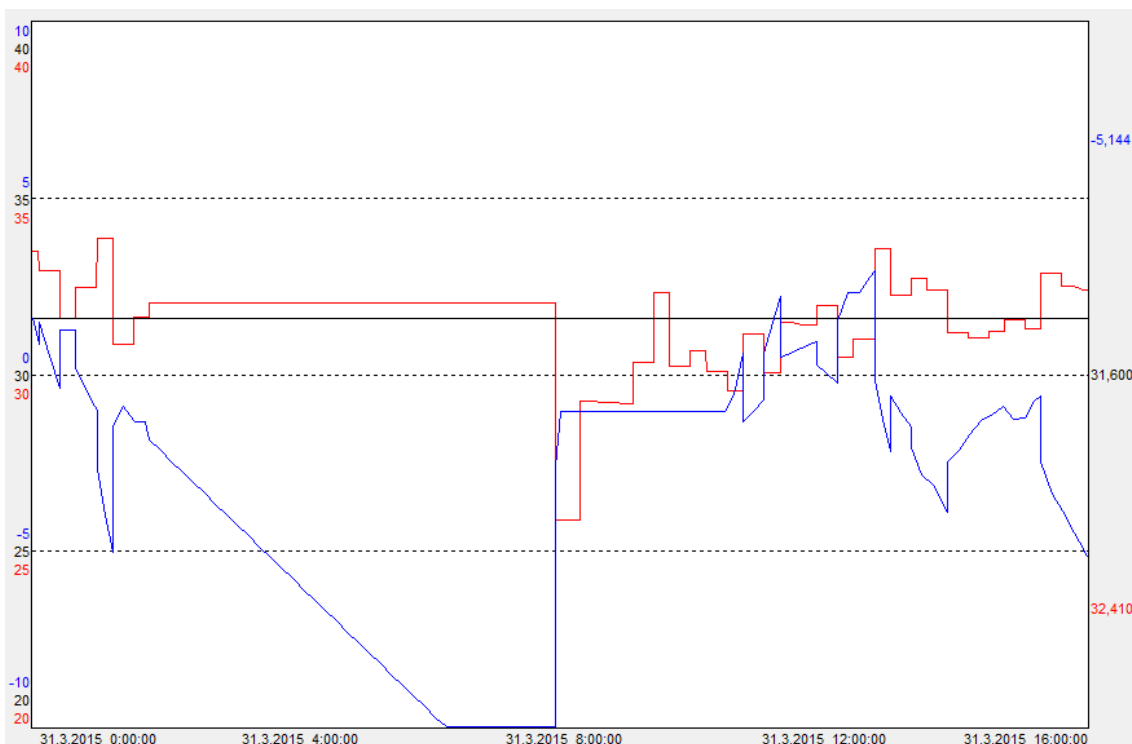
KUVA 31. Koivulinjan SR-mittausten trendi kahden tunnin tarkastelujaksolla 7.4.2015 klo 14.30 alkaen.

8.2 Säädön käytettävyyden parannukset

Työssä tehtiin hienosäätöpiiriin useita turvaominaisuuksia, joiden tarkoituksena oli estää analysaattorin vikaantuessa tapahtuva hienosäädön ajautuminen ääriarvoonsa pitkäksi aikaa. Hienosäätöpiiristä oli saatava hälytys, jos säädön lähtö oli ollut pitkän aikaa jommassakummassa ääriarvossaan, koska tällöin säädön toimiessa normaalisti annostelijan on muutettava hälyttävän linjan jauhatuksen kokonais-EOK:ta säädön palauttamiseksi säätöalueelle. Analysaattorin vikatilanteessa säädin on kytketään pakkokäsiohjaukselle, jolloin säätimen lähtö jäädytetään ennen pakkokäsiohjauksen kytkeytymistä vallinneeseen arvoon.

Suodatusten testijakson aikana sattui tilanne, jossa analysaattorin freeness-moduulin alaosa oli pudonnut, koska alaosan lukitseva pidätintappi oli jäänyt laittamatta paikoilleen. Analysaattori ilmoitti järjestelmälle mittaustuloksen valmistuneen, vaikka freeness-mittausta ei pystytty suorittamaan, jolloin järjestelmään kirjoitettiin viimeisin freeness-moduulin mittaama tulos. Mittaustuloksen valmistumisesta kertova rekisteri nollasi uuden mittaustuloksen valmistumista valvovan kokonaisuuden, jolloin hälytystä ei annettu, vaikka analysaattorin mittaustulos oli jäänyt näyttämään samaa tulosta. Nollaus tapahtui, koska analysaattori pystyi mittaamaan näytteenkäsittely-

moduuliin otetun näytteen sakeuden oikein. Kuvassa 32 on trendi tilanteesta, joka alkoi noin kello 2 yöllä. Trendistä nähdään, että seuraavan seitsemän tunnin aikana hienosäätöpiiri oli ohjannut (sininen käyrä) jauhimien EOK:ta asetusarvossa (musta käyrä) ja mittaustuloksessa (punainen käyrä) olevan pysyvän erosuureen perusteella, mikä oli lopulta aiheuttanut paperikoneen pysäytyksen aamulla. Automaatiomoduliin oli tehty kokonaisuus, joka antoi hälytyksen, mikäli säätimen ohjassuure on ajautunut puoleksi tunniksi ääriarvoonsa, mutta kuten kuvasta 32 voidaan havaita, tässä tilanteessa kyseinen kokonaisuus olisi aiheuttanut hälytyksen vasta noin kello 7 aamulla, jolloin jauhatuksen säätö oli ohjannut jauhimien EOK:ta virheellisen mittaustiedon perusteella viisi tuntia.



KUVA 32. Mäntylinjan SR-mittausten trendi 31.3.2015 16 tunnin tarkastelujaksolla. Trendissä SR-mittaus on merkitty punaisella, asetusarvo mustalla ja säätimen ohjaus sinisellä käyrällä.

Vastaavan tilanteen tapahtuminen uudestaan haluttiin estää, joten automaatiomoduliin tehtiin muutos, jossa analysaattorin "mittaus valmis"-tiedon lisäksi tarkkailtiin neljän viimeisimmän mittaustuloksen yhtäsuuruutta. Korjauksen ja aiemman toiminnan päätavoitteena oli saada säädin pakkokäsiohjaukseen tilanteessa, jossa analysaattorin mittaus ei muutu, koska muuten säädin ohjaa jauhimien EOK:ta virheellisen mittauksen perusteella, mikä pahimmassa tapauksessa aiheuttaa ajettavuusongelmia paperikoneella. Tärkeää oli saada annostelijalle selkeä tieto siitä, jos säädin on lukittu pakkokäsiohjaukseen ja mikä on ollut pakkokäsiohjauksen syy. Tällöin annostelija

osaa kiinnittää huomionsa jauhimien EOK:n säätöön, joka on tässä tilanteessa kokonaan annostelijan kokemuksen ja taidon varassa. Vaikka vikatilanne aiheutti paperikoneen pysäytyksen, tilanteen positiivinen puoli oli siinä, että kyseinen tilanne ei voi tapahtua enää uudestaan tehtyjen ohjelmamuutosten ansiosta. Freeness-moduulin alasoan pidätintappi voi tulevaisuudessakin jäädä laittamatta paikoilleen inhimillisen virheen vuoksi, joten on tärkeää, että kyseisessä tilanteessa paperikoneen annostelija saa tiedon mittauksen jääytymisestä ajoissa ja EOK:n hienosäätö kytetään pakkokäsjajolle.

8.3 Kunnossapidon parannustoimenpiteet

Tavoitteena oli myös analysaattorin käytettävyyden parantaminen laitteen Modbus-rekistereistä saatavia tietoja hyödyntämällä. Parannuskohteeksi valittiin laitteen pesukemikaalisäiliön tason seuranta, jolle toteutettiin automaatiomoduli ja monitori-ikkuna DNAuse-järjestelmään. Moduulista saatavat hälytykset kytkettiin PK7:n järjestelmään, joka lähettää tekstiviestin automaatioasentajien älypuheliin, kun jokin hälytys aktivoituu. Analysaattorin automaatiojärjestelmän käyttöliittymäikkunaan tehtiin selkeyttä lisääviä muutoksia, joista erityisesti analysaattorin sekvenssien tilaa osoittavien osien kääntö vastaamaan analysaattorin osien oikeaa järjestystä koettiin hyväksi. Käyttöliittymään lisätyt eri linjojen lukituksia osoittavat laatikot todettiin myös hyväksi muutokseksi kunnossapitoasentajan näkökulmasta, koska uudessa ikkunassa kaikki mittauksen lukitsevat luvat ovat selkeästi näkyvillä, joten esimerkiksi analysaattorin kuukausihuollon jälkeen käyttöliittymäikkunasta on helppo tarkistaa, että analysaattorilla on mittauslupa päällä järjestelmästä ja mikään linja ei ole jäänyt kytkemättä päälle operointipäätteeltä.

Opinnäytetyön ohessa automaatiokorjaamon PC:lle asennettiin analysaattorin operointipäätteen etäkäyttöohjelmisto. Kun etäkäyttöohjelmiston käyttö yhdistetään käyttöliittymään tehtyihin muutoksiin, analysaattorin tilan seuraaminen helpottuu. Analysaattorilla täytyy käydä säännöllisesti suorittamassa ennakkohuoltosuunnitelman mukaiset huollot, mutta parannusten ansiosta vikatilanteet on mahdollista havaita aikaisemmin, koska laitteen operointipäätettä on mahdollista seurata automaatiokorjaamolta muiden töiden ohessa, jolloin laitteen tilaan kiinnitetään ehkä enemmän huomiota kuin aikaisemmin.

Aikaisemmassa mallissa automaatioasentajan tuli seurata pesukemikaalin riittävyyttä säännöllisten ylläpitokierrosten aikana tai käymällä erikseen analysaattorilla. Työssä tehtyjen parannusten

ansiosta automaatioasentajan ei tarvitse käydä tarkastamassa säiliön tasoa kentällä, koska käyttöliittymästä nähtävä laskennallinen taso kertoo riittäväällä tarkkuudella jäljellä olevan pesukemikaalin määrän. Tason seurantaan jää pientä epätarkkuutta, joka ei tässä tapauksessa ole suuri puute, koska analysaattori ei kärsi, mikäli esimerkiksi yksittäinen kemikaalipesusekvenssi ei saa tarpeeksi tai ei ollenkaan pesukemikaalia. Jos pinnan seurantaan haluttaisiin tarkkuutta, asennuspaikalla olisi mahdollista käyttää esimerkiksi ultraääneen perustuvaa etäisyysmittaria erikseen valmistetussa säiliössä, mutta tästä saatava hyöty jäänee niin pieneksi, että tällaiselle menettelylle ei ole perusteita.

Opinnäytetyössä toteutetut tekstiviestihälytykset pesukemikaalisäiliön tyhjenemisestä todettiin toimivaksi lisäksi. Erityisesti tekstiviestit helpottavat analysaattorin kunnossapitoa analysaattorin kunnossapidosta vastaavan automaatioasentajan ollessa lomalla, koska aiemmin vastaavan asentajan ollessa pitkiä aikoja poissa töistä analysaattorin kunnossapitotoimenpiteet saattoivat jäädä tekemättä tiedonkulun puutteiden vuoksi. Tekstiviestit pesukemikaalisäiliön tyhjenemisestä lähetetään nyt kaikille kunnossapitoasentajille, jotka toimivat hälytysten vaatimalla tavalla vastaavan kunnossapitoasentajan poissa ollessa.

9 POHDINTA

Työssä tutkittiin MAP-analysaattorin mittaustulosten suodatuksen vaikutusta massan jauhatusteessa olevaan vaihteluun. Suodatukset rauhoittivat jauhimien EOK:ta säättävän PID-säätimen lähdön ohjausviestiä, koska sekä mediaani- että keskiarvosuodatuksella saatiin tasoitettua mittaustuloksissa olevia yksittäisiä piikkejä. Ilman suodatusta hienosäädön PID-säädin ohjasi voimakkaasti saadessaan säätimen asetusarvosta suuresti poikkeavan SR-luvun mittaustuloonsa, mistä johtuen säätimen lähdön trendi muodostui sahalaitaiseksi. Työssä toteutettu kolmen mittauksen mediaanisuodatus osoittautui toimivimmaksi ratkaisuksi mittaustuloksissa olevin piikkien suodatuksessa.

Työssä käytettiin hyväksi analysaattorin rekistereistä saatavia tietoja laitteen kunnossapidon helpottamiseksi selkiyttämällä laitteen automaatiojärjestelmän käyttöliittymäsivua ja luomalla laitteen pesukemikaalin tasoa seuraava automaatiomoduli. Pesukemikaalin tason seurannan hälytyksille tehtiin tekstiviestihälytykset, jotka asetettiin lähettäväksi kunnossapitoasentajien älypuhelimiin.

Sulpun SR- tai freeness-mittauksen tulos on tuotettavan massalajin monien toisistaan riippumattomien ominaisuuksien summa, minkä vuoksi SR-luvun säädössä tulisi ottaa huomioon kaikki massan jauhatusprosessiin vaikuttavat suureet. SR-luvun mittauksen tulokseen vaikuttavat jauhettavan massan massavirtaus sekoitussäiliöön sekä sakeus, joista erityisesti massavirtaus sekoitussäiliöön vaihtelee eri paperilajeja ajettaessa. PK7:n analysaattorin mittausten väli, joka on yksittäisellä massalajilla noin 15 minuuttia vaikeuttaa massan SR-luvussa tapahtuvien muutosten seuranta ja niihin reagoimista.

Massalajien jauhatuksen EOK:n karkea säätö on edelleen paperikoneen annostelijan tehtävä kuten aiemmin, mutta uuden analysaattorin ollessa vanhaa luotettavampi pystytään jauhatuksen hienosäätöä pitämään automaattisäädöllä, minkä vuoksi ajettavan massan SR-luku koivu- ja eukalinjalla pysyy normaalissa tilanteessa noin ± 1 SR-luvun rajoissa ajettavalla massalajilla. Mäntylinjan SR-luvun mittaus vaihteli noin ± 2 SR-luvun välissä verrattuna asetusarvoon.

Opinnäytetyön seurantalaverissa tuli esille kehitysideoita jauhatuksen EOK:n hienosäätömoduulin kehittämiseksi. Palaverissa kyseenalaistettiin PID-toimilohkon sopivuus tämän tyyppiseen säätöön, jossa säädettävän suureen mittaus tehdään noin 15 minuutin välein. Kehitysideana

ehdotettiin oman säätölaskennan kehittämistä moduulissa olevan PID-toimilohkon tilalle. Koska MAP-analysaattorin mittausten väli yhdelle massalinjalle on noin 15 minuuttia, mittaustulos ehtii vanhentua, ennen kuin seuraava mittaus valmistuu. Tämän vuoksi säätötoimenpiteet pitäisi suorittaa heti uuden mittauksen tullessa saataville, jonka jälkeen säätimen lähtöön ei tehtäisi muutoksia ennen seuraavan mittaustuloksen saapumista. Säätörakenteessa voisi olla vertailutoimilohko, joka saa tuloikseen SR-mittauksen asetusarvon ja analysaattorin mittaustuloksen. Vertailutoimilohkon lähdöistä saataisiin tieto, onko mittaus asetusarvon yli vai alle. Vertailutoimilohkon lähtöjen tilojen perusteella säätörakenteessa lisättäisiin tai vähennettäisiin EOK:n hienosäädön lähtösuuretta ennalta määritellyn lukuarvon verran. Säätö tehtäisiin tässä rakenteessa siis vain silloin, kun analysaattorilta on saatu uusi mittaustulos. Säätöön voitaisiin lisätä myös ominaisuus, jossa uuden mittaustuloksen saapuessa EOK:n säätöaskeleen suuruus määritetään sen mukaan, kuinka kaukana asetusarvosta mittaustulos on. Tässä säätörakenteessa hyvänä puolena olisi se, että säädöt tehdään vain tuoreelle mittaustulokselle, eikä vanhentuneen mittaustuloksen anneta vaikuttaa EOK:n säätöön.

Opinnäytetyön tuloksia tarkasteltaessa todettiin, että massan jauhatustasteen pitämiseksi lähempänä asetusarvoa kuin tässä työssä saavutettu tulos, tulisi jauhatuksen kehittäminen aloittaa jauhatusprosessin alkupäästä eli jauhimilta alkaen. Kehitysprojektissa olisi syytä käydä läpi kaikki massan jauhatukseen liittyvät suureet, joista eniten merkitseviä ovat massan annosteluvirtaus, sakeus ja massan jauhatustaste jauhimien jälkeen ja pyrkiä ottamaan näissä suureissa tapahtuvat muutokset aiempaa paremmin huomioon jauhimien EOK:n automaattisäädössä. Sekoitussäiliön annosteluvirtausta säätevien venttiilien kunnosta pitäisi saada tieto automaatiojärjestelmään, koska annosteluvirtauksen muutoksien pitäisi olla hitaita, jotta jauhimien EOK:n säätö ehtisi kompensoida virtauksen muutoksia.

Olisi syytä myös tutkia, olisiko jauhetun massan SR-luvun määrittystä mahdollista tehdä pienemmällä aikavälillä kuin tässä opinnäytetyössä, jolloin EOK:n säädin pystyisi reagoimaan nopeammin massan SR-luvussa tapahtuviin muutoksiin. Tässä opinnäytetyössä tehdyillä muutoksilla ei ollut suurta vaikutusta massan jauhatusprosessiin kokonaisuutena, minkä vuoksi suodatusten käyttäminen tai käyttämättä jättäminen eivät vaikuttaneet merkittävästi massan jauhatustasteessa tapahtuviin muutoksiin.

LÄHTEET

AEL Oy 2013. Paperitekniiikan ja automaatiotekniikan oppimisympäristö KnowPap 15.0 (12/2013). Sisäinen lähde. Prowledge Oy.

Heikkurinen, A. 1997. Kuitujakeiden ominaisuudet ja vaikutukset massan laatuun. AEL/METSKO. P908901/97 II. Insko-seminaarit.

Hägglom-Ahnger, U. & Komulainen, P. 2005. Paperin ja kartongin valmistus. 3-1. painos. Jyväskylä: Gummerus.

Isotalo, K. 2004. Puu- ja sellukemia. 3. uudistettu painos. Edita Prima.

Karjalainen, A. 2006. Global Modbus specification D05295 V1.00. Sisäinen lähde. Metso Automation Oy.

Levlin, J-E. & Söderhjelm, L. 1999. Papermaking Science and Technology Book 17 Pulp and Paper Testing. Jyväskylä: Gummerus

Lukka, A. 1996. Mäntysellulinja toimintakuvaus ja ajotapaselostus. Sisäinen lähde. Enso Fine Papers Oy Oulun tehtaat.

Metso Automation Inc. 2013. Metso Pulp Analyzer Käyttäjän käsikirja K01952 V1.5 FI. Sisäinen lähde. PDF-dokumentti.

Metso Automation Inc. 2015. Metso Pulp Analyzer (MAP) Käyttö ja seuranta. Sisäinen lähde. PDF-dokumentti.

Paulapuro, H. 2008. Papermaking Science and Technology Book 8 Papermaking Part 1, Stock Preparation and Wet End Second Edition. 2. painos. Jyväskylä: Gummerus.

Peace Paper Project 2015. History of papermaking. Viitattu 2.3.2015, <http://www.peacepaperproject.org/dardhunter.html>.

Polvinen, R. 2004. Jauhatuksen säädön kehitys. Oulun seudun ammattikorkeakoulu. Tietotekniikan koulutusohjelma. Opinnäytetyö.

Pulps - Determination of drainability - Part 1: Schopper–Riegler method. 2012. ES ISO 5267-1. Ethiopian Standards Agency.

Simply Modbus 2014a. Frequently asked questions. Viitattu 4.3.2015. <http://www.simplymodbus.ca/FAQ.htm>.

Simply Modbus 2014b. Modbus TCP/IP. Viitattu 5.3.2015. <http://www.simplymodbus.ca/TCP.htm>.

Wesstein, E. 2015. Median. MathWorld—A Wolfram Web Resource. Viitattu 17.4.2015. <http://mathworld.wolfram.com/Median.html>.

LIITTEET

Liite 1 PK7 Sellun käsittelyn peruskaavio

Liite 2 PK7 Jauhatuksen säädön lohkoakaavio

Liite 3 MAP-analysaattorin virtauskaavio

Liite 4 Koivulinjan SR – suodattamaton ja keskiarvosuodatettu

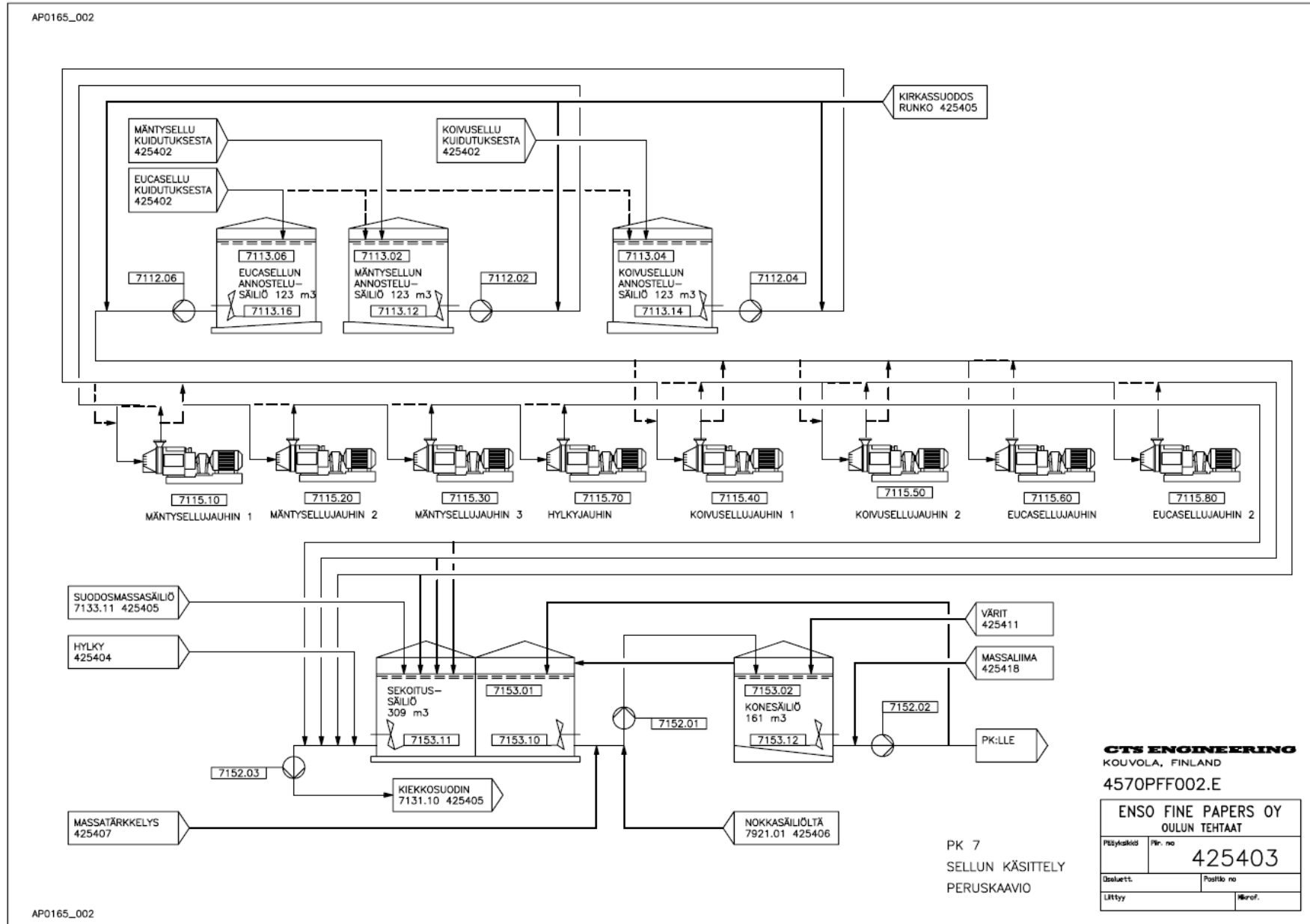
Liite 5 Eukalinjan SR – suodattamaton ja keskiarvosuodatettu

Liite 6 Koivulinjan SR 21.3.2015–23.3.2015

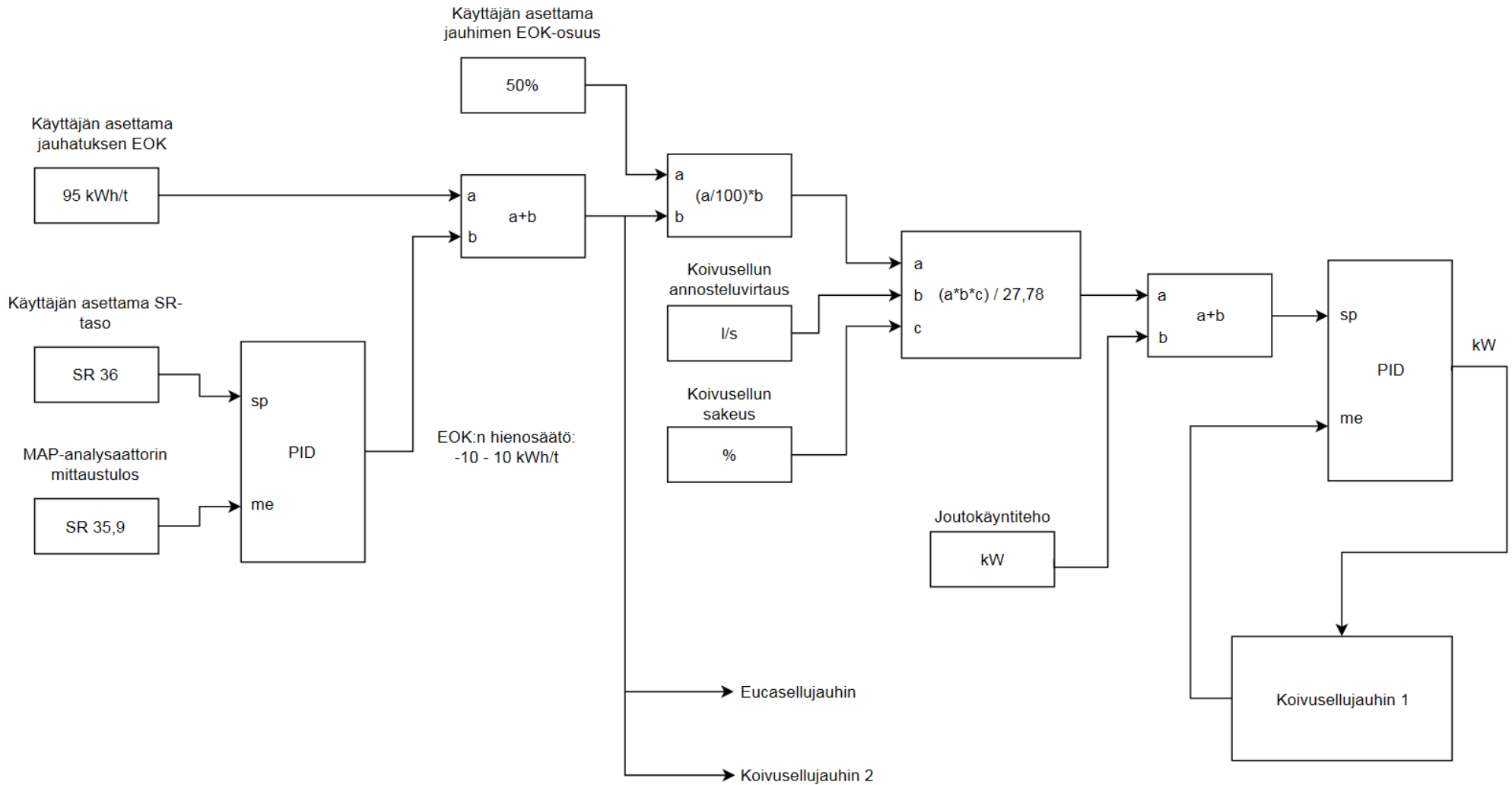
Liite 7 Koivulinjan SR 24.3.2015–26.3.2015

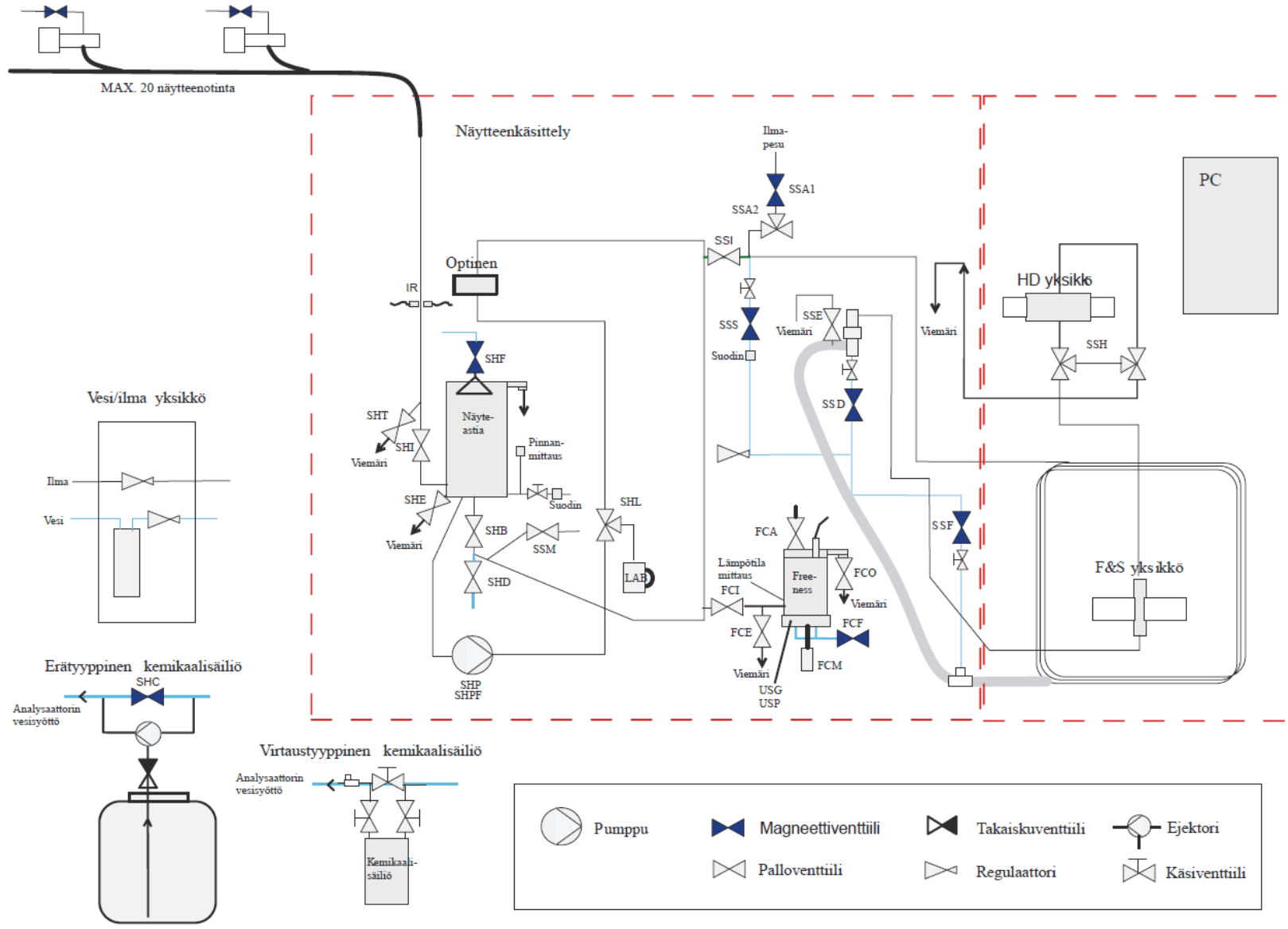
Liite 8 Jauhatuksen EOK:n hienosäädön automaatiomoduli (koivulinjan osuus)

Liite 9 Pesukemikaalisäiliön pinnan seurannan automaatiomoduli

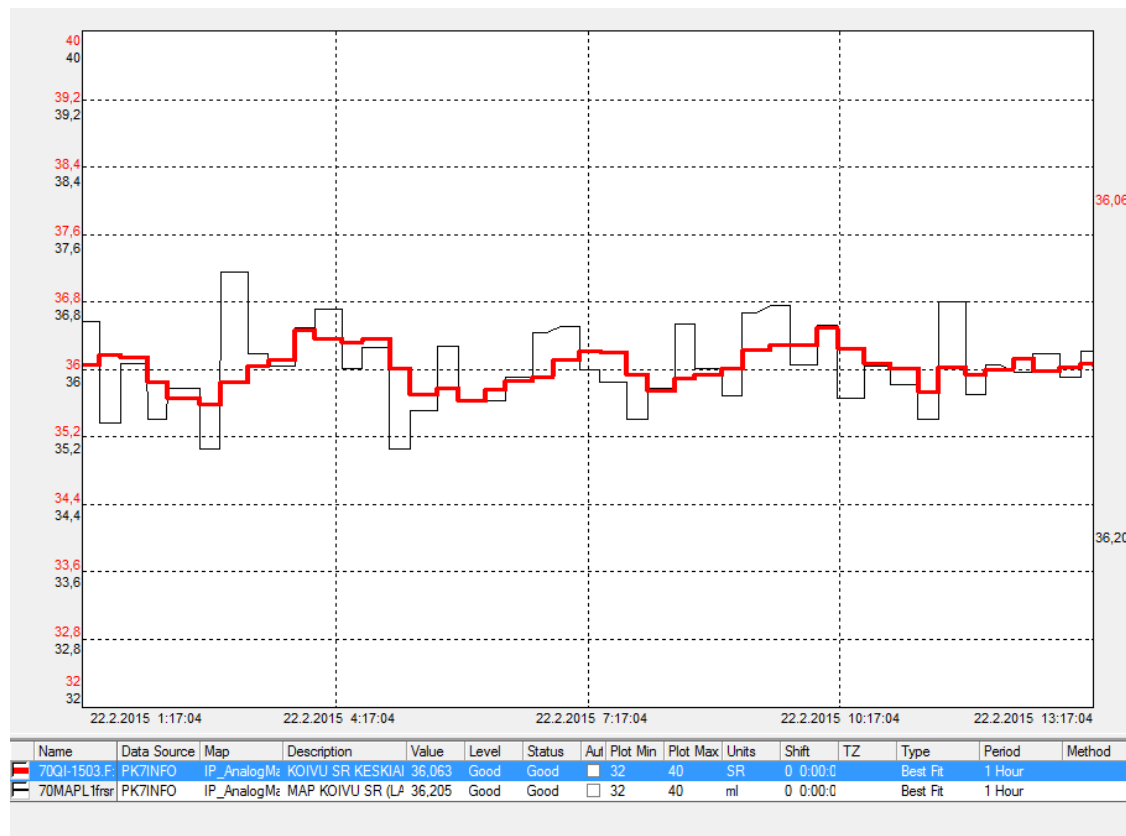


PK7 JAUHATUKSEN SÄÄDÖN LOHKOKAAVIO

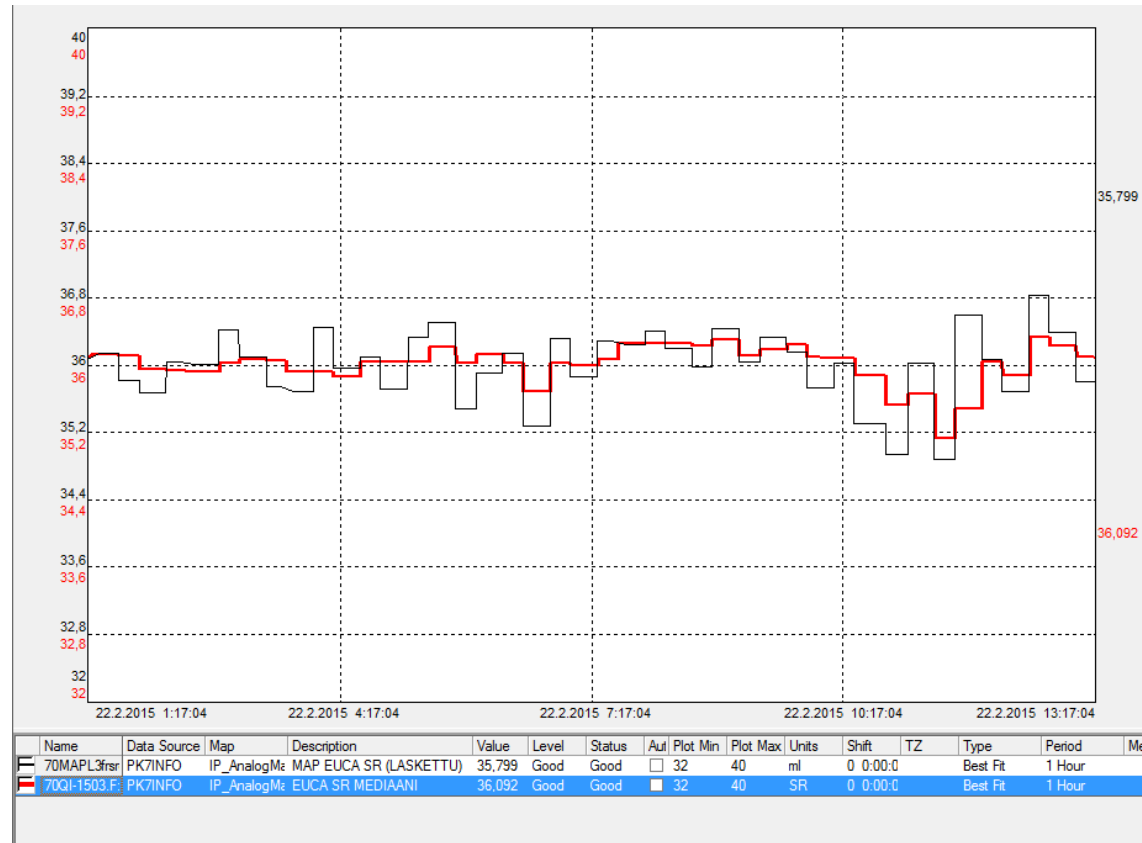




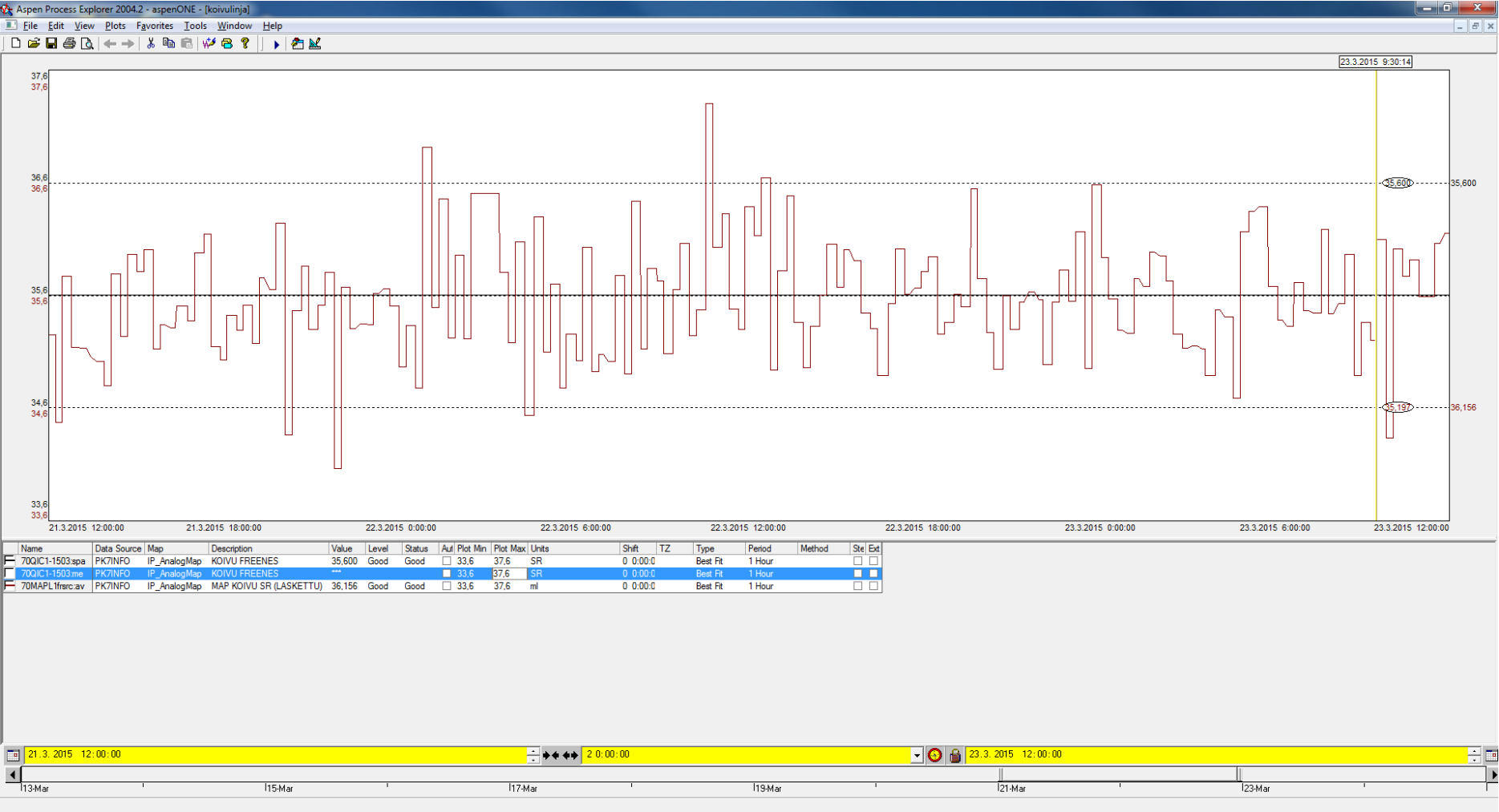
(Metso Automation Inc. 2013, 70.)

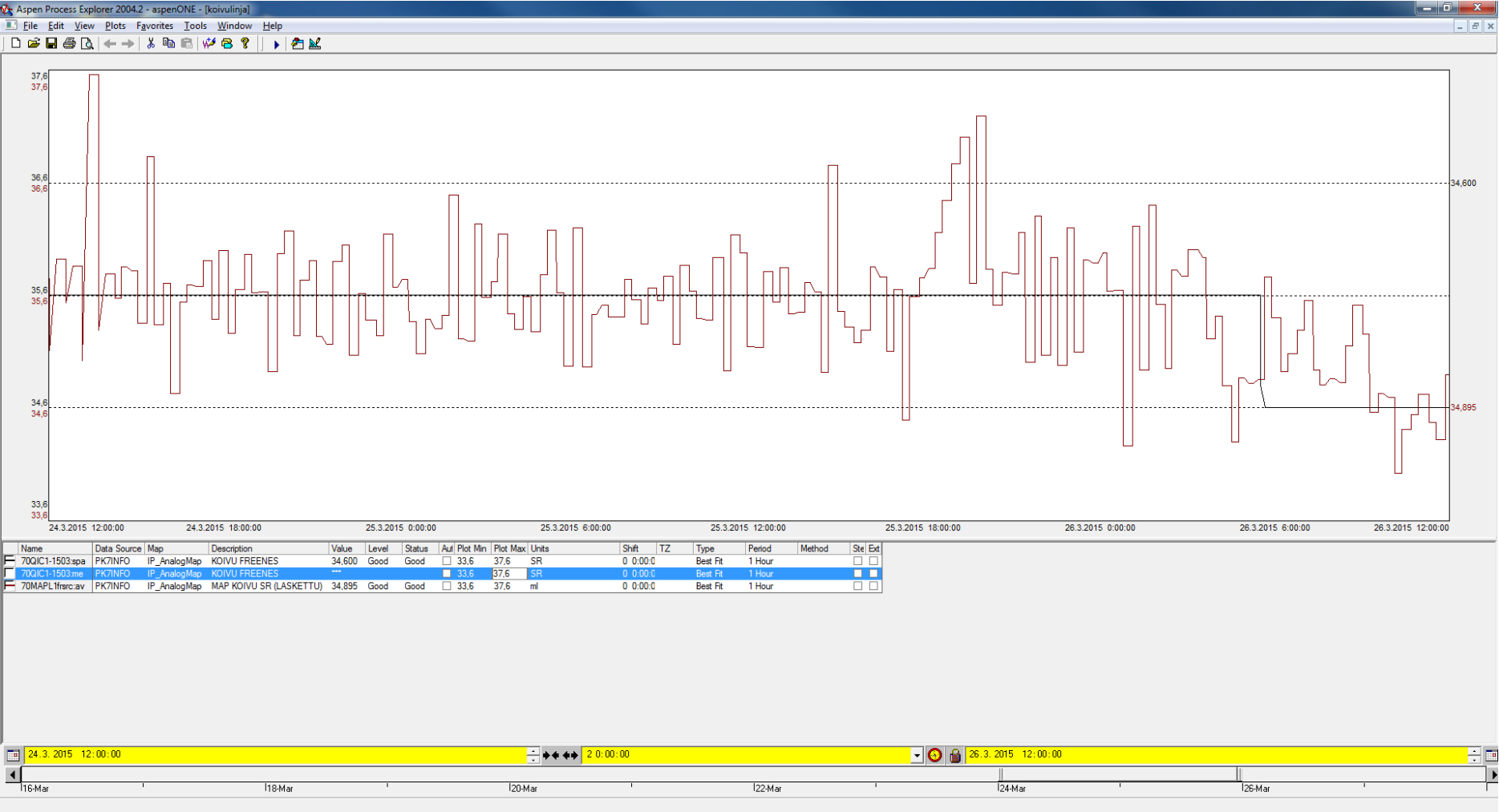


Koivulinjan SR 22.2.2015 12 tunnin ajalta alkaen klo 01:17. Kuvassa suodattamaton SR-mittaus ohuella mustalla viivalla ja keskiarvosuodatettu SR paksulla punaisella viivalla.

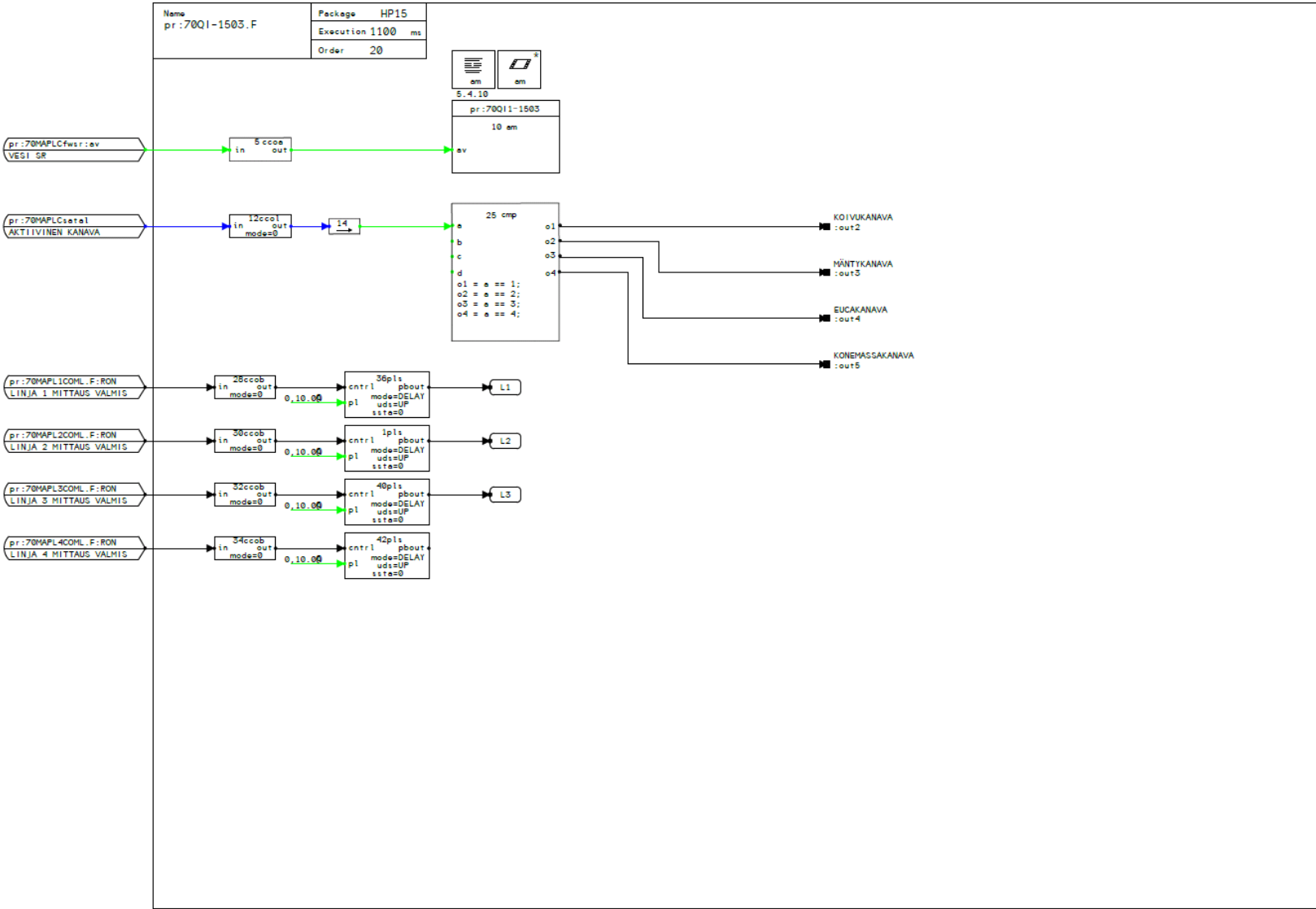


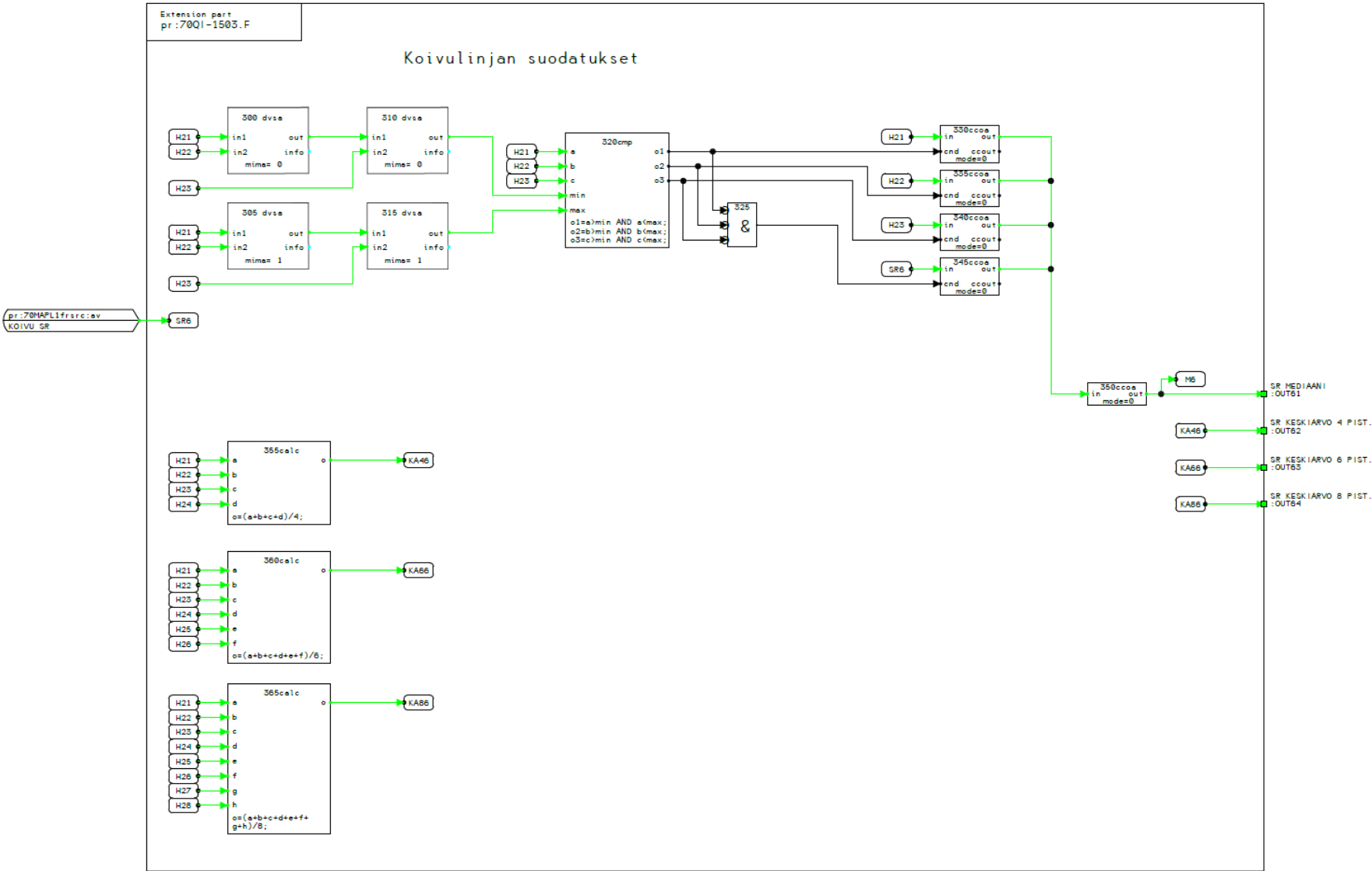
Eukalinjan SR 22.2.2015 12 tunnin ajalta alkaen klo 01:17. Kuvassa suodattamaton SR-mittaus ohuella mustalla viivalla ja mediaanisuodatettu SR paksulla punaisella viivalla.

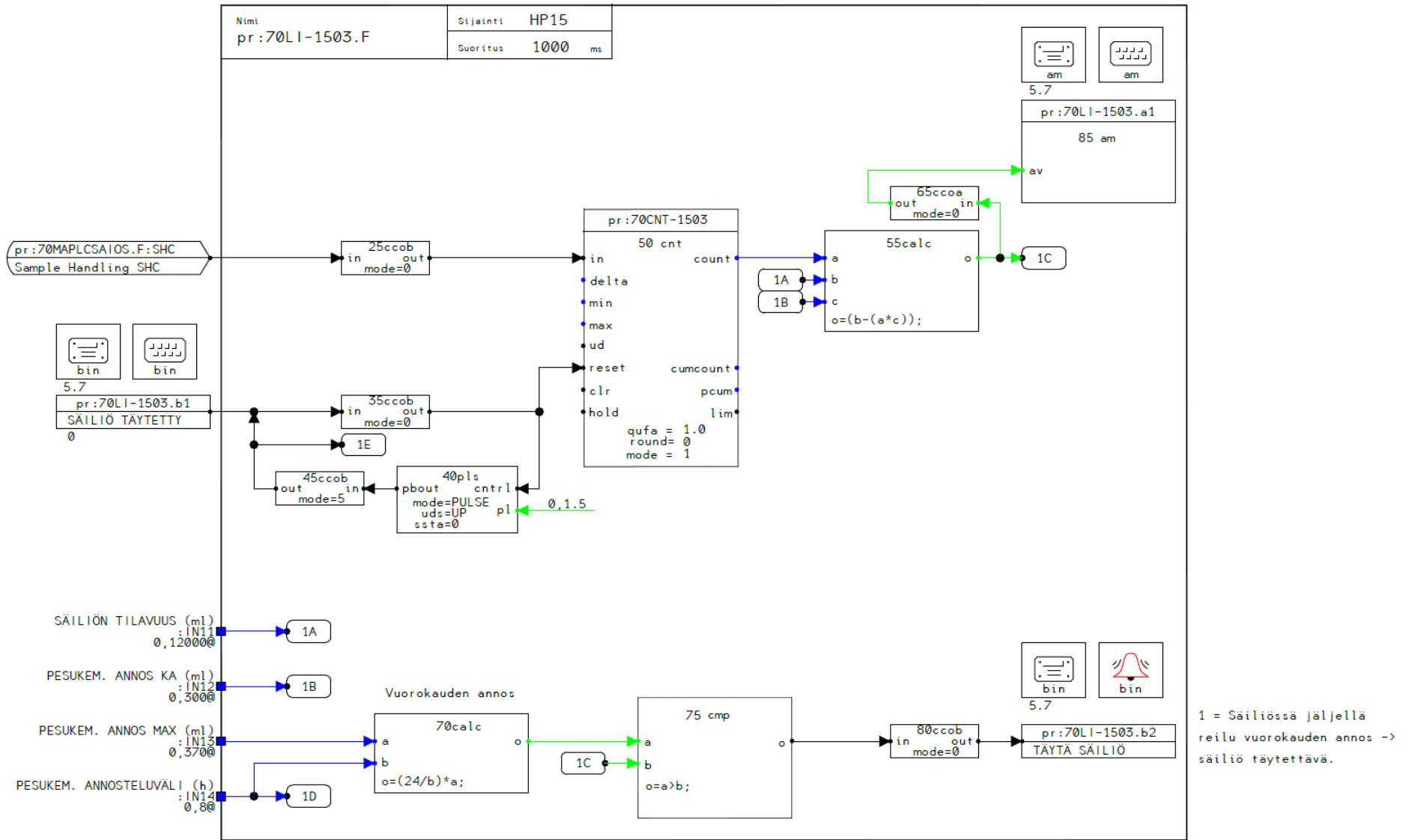


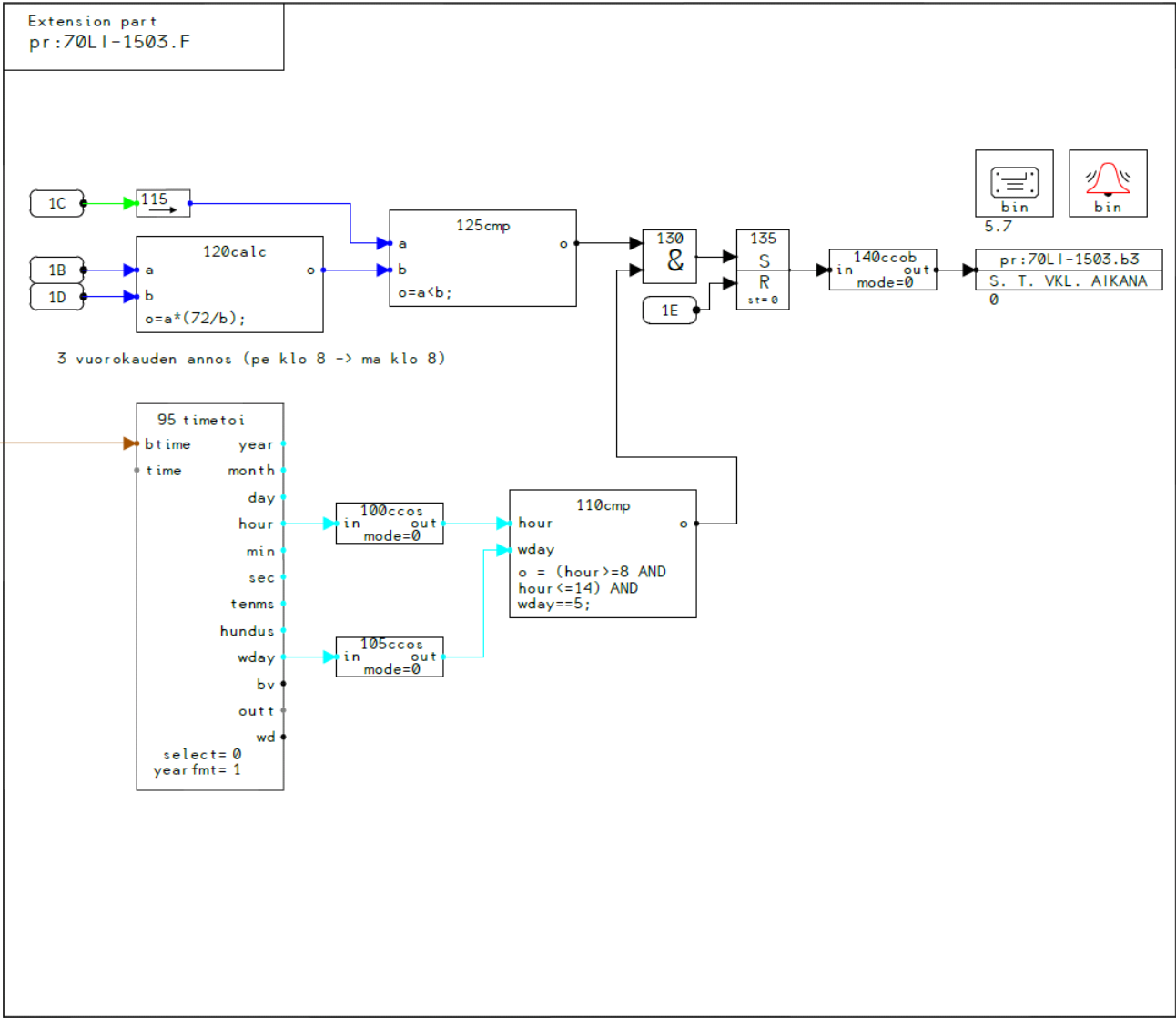


JAUHATUKSEN EOK:N HIENOSÄÄDÖN AUTOMAATIOMODUULI (KOIVULINJAN OSUUS)









1 = Pesukemikaalisäiliö tyhjenee viikonlopun aikana.