
VESIKATTILAN LIERIÖN PAINEEN SÄÄTÖ

Jani Pudas

Opinnäytetyö

Ammattikorkeakoulututkinto

Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala	
Koulutusohjelma Sähkötekniikan koulutusohjelma	
Työn tekijä Jani Pudas	
Työn nimi Vesikattilan lieriön paineen säätö	
Päiväys	24.11.2010
Sivumäärä/Liitteet	39/2
Ohjaaja Risto Rissanen	
Toimeksiantaja/Yhteistyökumppani Kari Tuomi, Rovaniemen Energia	
<p>Tiivistelmä</p> <p>Työn aiheena oli vesikattilan lieriön paineen ja sen säätämisen tutkiminen. Työ tehtiin Rovaniemen Energia Oy:lle ja se oli osa laajempaa vesikattilan prosessitutkimusta. Tarkoituksena oli saada tietoa vesikattilan lieriön painesäätimen käyttäytymisestä. Tavoitteena oli lieriön paineen mahdollisimman hyvä hallinta eri kuormitustilanteissa. Vesikattila on leijupetityyppinen. Polttoaineena kattilassa käytetään turvetta, haketta sekä öljyä. Lieriön painetta ohjataan PID-säätimellä.</p> <p>Työssä kerättiin tietoa lieriön paineen vaihtelusta, painesäätimen toiminnasta sekä lieriön paineeseen vaikuttavista tekijöistä. Tietoa kerättiin MetsoDNA CR -automaatiojärjestelmän Info palvelimen avulla. Tietoa analysoitiin graafisesti Aspen Process Explorer -ohjelmistolla. Kerättyä tietoa käytettiin matemaattisesti hyväksi MatLab-ohjelmistossa. MatLab-ohjelmistolla laskettiin prosessin siirtofunktio ja testattiin painesäätimen toimintaa virtuaalisesti. MetsoDNA CR -automaatiojärjestelmän suunnittelutyökalujen avulla lieriön painesäätimeen tehtiin muutoksia ja testattiin toimintaa käytännössä.</p> <p>Tallennetun tiedon sekä käytännössä tehtyjen kokeiden perusteella suunniteltiin säätimeen kompensointipiiri. Kompensointipiirillä haluttiin kumota polttoaineen laadusta sekä syötöstä aiheutuvat häiriöt. MatLab-ohjelmistolla suoritettujen prosessin mallinnusten ja simulointien avulla laskettiin lieriön painesäätimelle uudet parametrit.</p> <p>Tehtyjen käytännön kokeiden perusteella voidaan todeta lieriön paineen käyttäytyvän stabiilimmin. Lieriön paine pysyy paremmin asetusarvossaan polttoaineen ja kaukolämpötehon muutoksista huolimatta.</p>	
Avainsanat Lieriön paine, PID-säädin, MatLab, MetsoDNA CR	

Field of Study Technology, Communication and Transport			
Degree Programme Degree Programme in Electrical Engineering			
Author(s) Jani Pudas			
Title of Thesis Pressure Control of Water Boiler Plant Barrel			
Date	24 November 2010	Pages/Appendices	39/2
Supervisor(s) Risto Rissanen			
Project/Partners Kari Tuomi, Rovaniemi Energy			
<p>Abstract</p> <p>The purpose of this final year project was to survey the pressure and control of a water boiler plant barrel. The final year project was made for Rovaniemi Energy Ltd. Good controlling of the barrel pressure was the main goal of this final year project. In this case, good controlling means good pressure stability. In changing conditions, the barrel pressure should stay at its set point. The water boiler is of the BFB (bubbling fluidized bed) type of plant and it burns peat, wood chips and oil. Rovaniemi Energy Ltd. uses the MetsoDNA CR automation system. The pressure is controlled by a PID controller.</p> <p>The final year project was done by studying the behaviour of the barrel pressure and its control circuit. Information of the process was collected by the MetsoDNA CR automation system. Information was analyzed with Aspen Process Explorer, which is a graphic analysis tool. Mathematic calculation was made with MatLab. The transfer function of the barrel pressure was calculated with MatLab's System Identification Toolbox. The process model was made and simulated with MatLab's Simulink. Practical circuit designing was implemented with the MetsoDNA CR's designing tool.</p> <p>The result of the studies was a compensation circuit and new PID parameters. The compensation circuit was designed to repeal the interference caused by quality and feeding of the fuel. New PID parameters were calculated on the basis of process modelling and simulation. The results showed that the pressure is more stable and easier to handle.</p>			
<p>Keywords</p> <p>Boiler pressure, PID-controller, MatLab, MetsoDNA CR</p>			

SISÄLTÖ

1	JOHDANTO.....	7
2	VOIMALAITOS	8
2.1	Vesikattilalaitos.....	8
2.2	Polttoaineen syöttö	9
2.3	Kaukolämpö	10
2.4	Kaukolämpötehon suhde ruuvien nopeuteen.....	10
3	METSODNA CR AUTOMAATIOJÄRJESTELMÄ.....	12
3.1	Järjestelmän rakenne	12
3.2	Palvelimet.....	13
3.3	Damatic XD	13
4	SÄÄTÖTEKNIIKAN TEORIAA.....	15
4.1	Säädön hyvyys	15
4.2	Erilaisia säätötekniikoita	15
4.3	PID-säädin.....	17
4.3.1	PID-säätimen vitysmenetelmiä	17
4.3.2	MetsoDNA CR automaatiojärjestelmän PID-säädintoimilohko	17
5	ALKUPERÄINEN LIERIÖN PAINESÄÄDIN.....	19
5.1	Lieriön paineensäätömoduuli	19
5.2	Lieriön painesäätimen käyttäytyminen	19
6	SÄÄDÖN PARANTAMISESSA KÄYTETYT MENETELMÄT	21
6.1	Polttoaineen aiheuttamat häiriöt ja niiden kompensointi.....	21
6.2	MatLab-simulointi ja mallinnus.....	21
7	TOTEUTUS JA TULOKSET	23
7.1	Kompensointi.....	23
7.1.1	Kompensointipiirin rakenne	23
7.1.2	Kompensointipiirin vaikutukset	24
7.2	MatLab-ohjelmisto	27
7.2.1	Tiedon keruu prosessista ja sen hyödyntäminen	27
7.2.2	Siirtofunktioiden vertailu	27
7.2.3	Simulink-malli ja simulointi.....	32
8	LOPPUTULOSTEN ARVIOINTI JA JOHTOPÄÄTÖKSET	35
8.1	Lieriön paineen muutosnopeuden rajoittaminen kompensointipiirillä.....	35
8.2	Lieriön painesäätimen parametrimuutosten vaikutus	35
8.3	Johtopäätökset	38
	LÄHTEET.....	39

LIITTEET

- Liite 1 Alkuperäinen lieriön paineensäätömoduuli
- Liite 2 Nykyinen lieriön paineensäätömoduuli

1 JOHDANTO

Tämä opinnäytetyö käsittelee vesikattilalaitoksen lieriön paineen säätöä. Työ tehtiin Rovaniemen Energialle. Vesikattilalaitos sijaitsee Suosiolassa Rovaniemen kaupungissa. Opinnäytetyö oli osa vesikattilalaitoksen prosessitutkimusta. Kasvavien käyttö-tuntien myötä halutaan parantaa laitoksen käyttövarmuutta. Vesikattilan lisäksi Suosiolassa on 96 MW tehoinen voimakattila, jolla tuotetaan sähköä sekä kaukolämpöä. Vesikattila on leijupetityyppinen ja sillä tuotetaan kaukolämpöä Rovaniemen kaupungille. Polttoaineena laitokset käyttävät turvetta ja haketta sekä tukipolttoaineena öljyä. Laitoksen automaatiojärjestelmä on MetsoDNA CR.

Aiheeksi valittiin lieriön paineen säätö sillä se oli sopivan vaikea kohde säätötekniikan kannalta. Aihe antoi hyvän mahdollisuuden tutustua syvällisemmin säätötekniikkaan ja nykyaikaisiin säätöpiiriin suunnittelumenetelmiin. Työn tavoitteena oli lieriön paineen hyvä hallinta kaikissa mahdollisissa kuormitustilanteissa. Paineen säädössä olevia ongelmia olivat muun muassa paineen värähtely sekä polttoaineen laadusta johtuvat häiriöt.

Työssä käytettiin hyväksi Metson automaatiojärjestelmän tarjoamia työkaluja prosessin tutkimiseen ja säätämiseen. Tietoa prosessista kerättiin järjestelmässä olevalle Info-palvelimelle. Säätöpiiriin käytännön toteutus tehtiin automaatiojärjestelmän suunnittelutyökaluilla jotka ovat CAD-pohjaisia. MatLab-ohjelmistolla suoritettiin prosessin mallinnuksia ja simulointia järjestelmästä kerätyn tiedon perusteella. Prosessin siirtofunktion luomisessa käytettiin hyväksi MatLab:n System Identification Toolboxia. Säätöpiiriin simuloinnissa hyödynnettiin MatLab:n Simulink-ohjelmistoa.

PID-säätimen käyttö teollisuuden prosessien ohjauksessa on hyvin yleistä. PID-säädön tekee suosituksi sen kohtuullisen helppo käyttöönotto ja laitetoimittajien valmiit ratkaisut. PID-säätö sopii moneen tarkoitukseen ja sillä saadaan yleensä riittävän hyvät tulokset. Materiaalia säätötekniikasta ja PID-säätimen virityksestä löytyy paljon mm. kirjastosta.

2 VOIMALAITOS

2.1 Vesikattilalaitos

Vesikattilalaitos on nimellisteholtaan 27 MW. Laitos on rakennettu vuonna 1986 ja se sijaitsee Rovaniemen kaupungissa Suosiolassa. Kattilan on toimittanut Rauma-Repola Oy Witermo ja se on leijupetityyppinen. Leijupetikattilassa petihiekkaa leijutetaan kattilan alapuolelta puhallettavan ilman avulla. Laitos tuottaa kaukolämpöä Rovaniemen kaupungin tarpeisiin. Polttoaineena toimii jrsinturve, hake sekä ylösajossa Tempera 15 kevytpolttoöljy. Vesikattilalaitos on toiminnassa talvella sekä kesällä. Talvella laitosta käytetään, kun vuorokauden keskilämpötila on vähemmän kuin $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$. Kesällä laitosta käytetään, kun Suosiolassa oleva toinen lämpölaitos on vuosihuollossa. Vuosihuolto kestää noin kahden kuukauden ajan.

Vesikattila on alhaalta tuettu, höyrylieriöllä (kuva 1) varustettu luonnonkiertokattila. Luonnonkierrolla tarkoitetaan sitä, että tulipesän putkiseinissä virtaava vesi saa pumppausenergian sen ja lieriöstä lähtevissä laskuputkissa virtaavan veden tiheyseroista. Prosessissa ei siis välttämättä tarvita ulkopuolista pumppausenergiaa. [1, s.1]



Kuva 1. Vesikattilalaitoksen lieriö

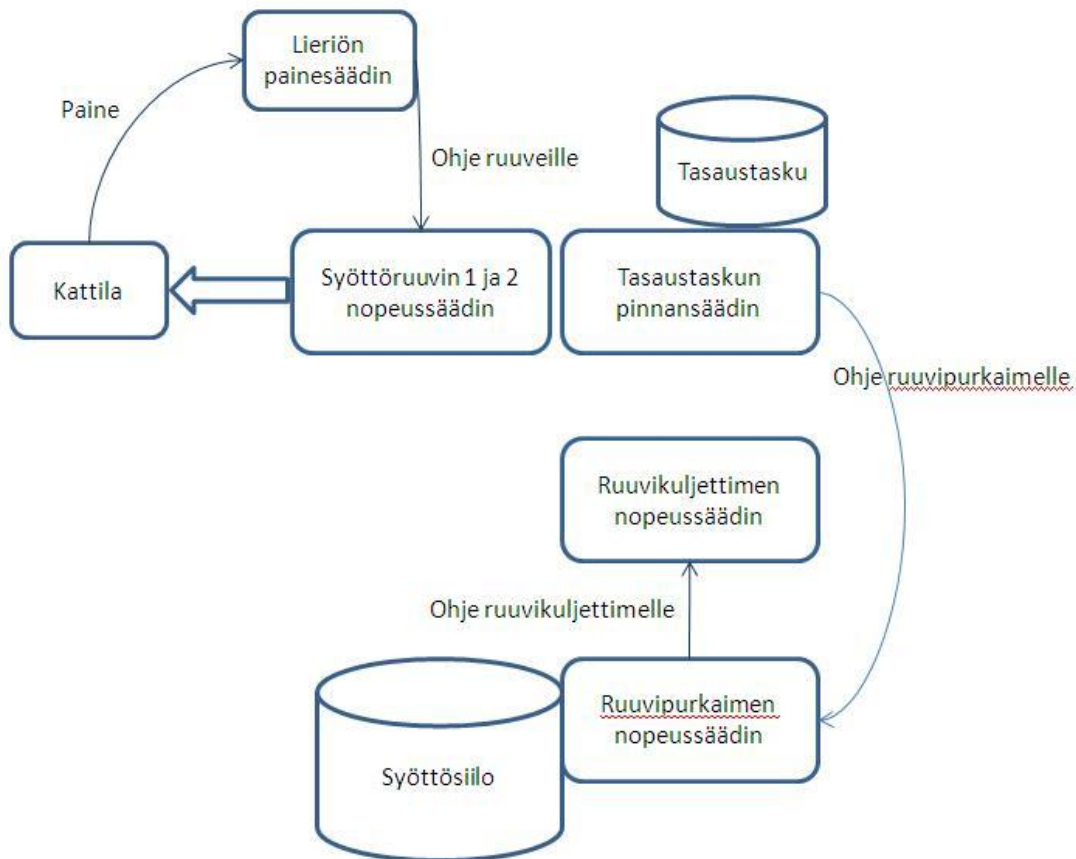
Kattilassa on hiekkapeti, joka takaa tasaisen palamisen polttoaineen laadusta riippumatta. Petihiekka lämmitetään starttipolttimilla ennen kiinteän polttoaineen syöttöä. Hiekkapetiä leijutetaan primääripuhaltimella, joka puhaltaa ilmaa pedin alapuolelta. Sekundääri-ilmapuhallin puhaltaa ilmaa pedin yläpuolelle. Pedin yläpuolelle syötettävällä ilmalla saadaan aikaan tehokkaampi palaminen. Palamisessa vapautuva energia varastoituu prosessiveteen. Prosessivedestä lämpöenergia siirtyy kaukolämpöve-teen lämmönsiirtimen avulla. Lisäksi kattilassa on suoraan kaukolämpöverkkoon kyt-etty ekonomaiserin avulla savukaasujen loppulämpötila voidaan pitää vakiona kattilan koko kuormitusalueella. Kun lämpöenergia on saatu talteen, savu-kaasut johdetaan sähkösuodattimelle. Sähkösuodattimella savukaasusta poistetaan epäpuhtaudet normien vaatimalle tasolle. Sähkösuodattimen jälkeen tulee savukaa-supuhallin. Savukaasupuhaltimen avulla kattilassa pidetään riittävä alipaine.

Vesijohtovesi käsitellään kemikaaleilla prosessiin sopivaksi. Prosessivesi syötetään kiertoon syöttövesisäiliöstä. Syöttövesisäiliötä käytetään myös prosessiveden epäpuhtauksien poistamiseen. Kattilan palotilassa on putkisto, jossa kiertävä prosessive-si lämpenee noin 180 °C. Kuuma prosessivesi menee palotilasta lieriöön, jossa on noin 10 baarin paine. Lieriön paine toimii prosessin pääsäätimenä. Lieriöstä tuleva kuuma prosessivesi pumpataan kattilapiiripumpulla kaukolämmönvaihtimelle. Kauko-lämmönvaihtimessa lämpöenergia siirretään prosessivedestä kaukolämpöve-teen. Palamistuotteena tuleva tuhka ja hiekka kerätään pedin pohjalta konttiin. Lentotuhka otetaan talteen sähkösuodattimella ja varastoidaan tuhksiiloon.

2.2 Polttoaineen syöttö

Polttoaineena käytetään jyrshinturvetta ja haketta. Öljyä käytetään ylösajossa kattilan lämmittämiseen sekä tukipolttoaineena tarvittaessa. Kiinteä polttoaine kuljetetaan vastaanottoasemalta varastosiiloihin ja edelleen syöttösiiloon. Syöttösiilossa on ruu-vipurkain, joka syöttää ruuvikuljetinta. Ruuvikuljettimella polttoaine siirretään tasaus-taskuun. Tasaustaskussa on kaksi syöttöruuvia, jotka syöttävät polttoainetta sul-kusyöttimille ja siitä edelleen kattilaan. Polttoaine syötetään kattilaan kahdesta eri pisteestä hiekkapedin yläpuolelta.

Lieriön painesäätimen ohjausviesti on syöttöruuvien 1 ja 2 nopeussäätimien ase-tusarvo. Tasaustaskun pinnansäätimen ohjausviesti on ruuvipurkaimen asetusarvo. Ruuvipurkaimen nopeus on ruuvikuljettimen asetusarvo, eli ruuvikuljetin seuraa ruu-vipurkainta. Polttoaineen syöttöketju on esitetty kuviossa 1.



Kuvio 1. Kiinteän polttoaineen syöttö

2.3 Kaukolämpö

Kaukolämpöteho lasketaan meno- ja paluuveden entalpiaerosta kerrottuna veden virtauksella. Energiankulutukseen ei voi vaikuttaa vaan se riippuu kuluttajista. Tästä johtuen myöskään kaukolämpöveden virtaukseen ei voi vaikuttaa, ainoastaan menoveden lämpötilaa voidaan säätää. Menoveden lämpötila säädetään ulkoilman lämpötilan mukaan. Mitä matalampi on ulkolämpötila, sitä korkeampi on menoveden lämpötila. Koska kaukolämpöteho määräytyy kulutuksen perusteella, tulkitaan se lieriön painesäädintä viritettäessä häiriöksi.

2.4 Kaukolämpötehon suhde ruuvien nopeuteen

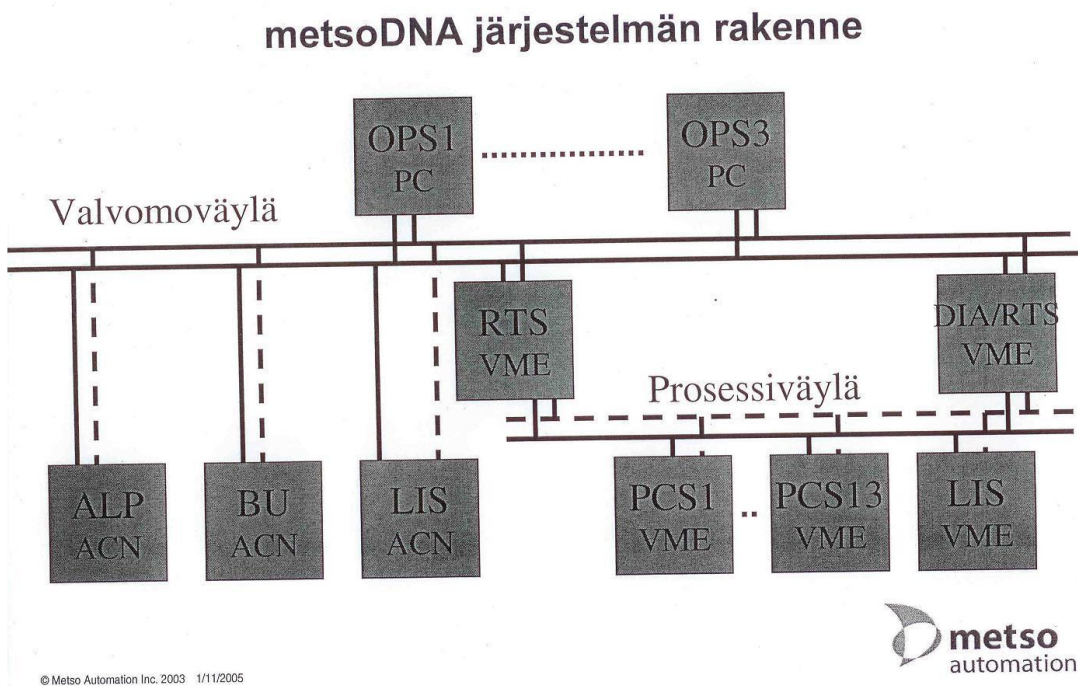
Käyttökokemusten perusteella voidaan arvioida, että 1 MW tehon nosto kaukolämmössä aiheuttaa noin 4 % noston syöttöruuvien nopeudessa. Jyrsinturpeen lämpöarvo on saapumistilassa noin 10,1 MJ/Kg ja hakkeen 6-10 MJ/Kg. Lämpöarvo kertoo kuinka paljon täydellisessä palamisessa vapautuu energiaa polttoaineen massaa

kohti. [2] 1 kWh on 3,6 MJ eli 1 MWh on 3600 MJ, mikä vastaa 356 Kg turvetta. 1 MW tehon nosto vastaisi 5,9 Kg/min lisäystä turpeen syöttöön jos hyötysuhde olisi 1.

3 METSODNA CR AUTOMAATIOJÄRJESTELMÄ

3.1 Järjestelmän rakenne

Rovaniemen Energialla on käytössä MetsoDNA CR -automaatiojärjestelmä. MetsoDNA CR -automaatiojärjestelmä koostuu valvomo- ja prosessiväylän muodostamasta lähiverkosta ja siihen liittyvistä palvelimista. Kuviossa 2 näkyy järjestelmän rakenne. [3]



Kuvio 2. MetsoDNA-järjestelmän rakenne

Järjestelmän väylät on kaapeloitu joko koaksiaali-, pari- tai valokaapeleilla. Yhteen väylään voidaan liittää korkeintaan 50 palvelinta. Palvelinten välinen kommunikointi on nimipohjaista. Väyläliikenteen nopeus voi olla joko 10 tai 100 Mbit/s. Valvomoväylä on toteutettu standardina Ethernet-väylänä. Prosessiväylä käyttää Ethernet standardiväylän komponentteja mutta determinististä liikennöintiprotokollaa. Deterministisen väylän tietoliikenteessä ei voi tapahtua törmäyksiä, sillä tiedonsiirto tapahtuu aikajakaisesti. Jokaiselle laitteelle on oma ajanhetki, jolloin tietoa lähetetään ja vastaanotetaan. Näin ollen myös vasteajat ovat tarkasti ennustettavissa. [3]

3.2 Palvelimet

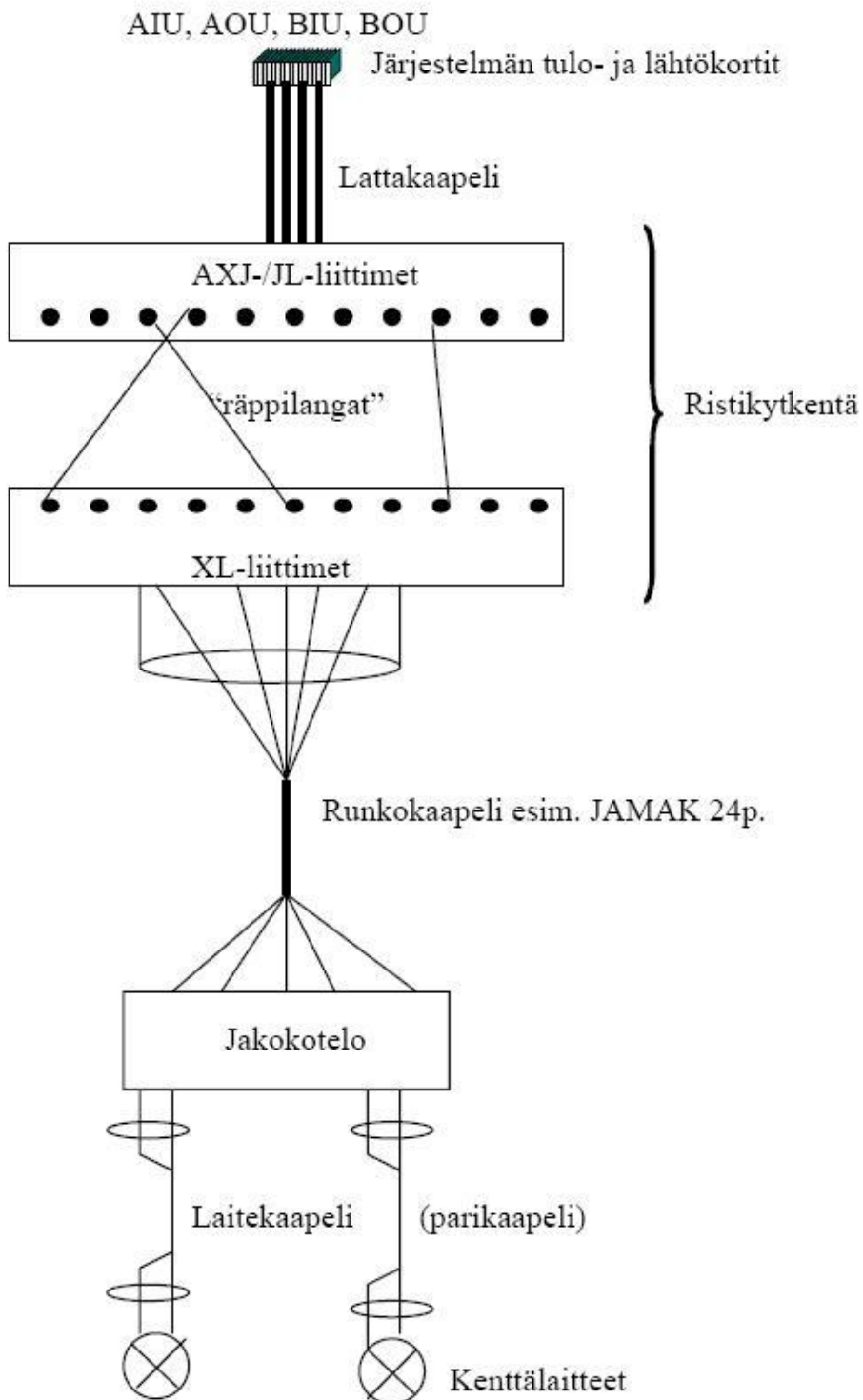
MetsoDNA CR -järjestelmässä käytetään palvelimia useaan eri tarkoitukseen. Ope-
rintipalvelinta eli OPS:ä (Operator Server) käytetään prosessin ohjaukseen. OPS
palvelee etupäässä käyttöpäivystäjiä antaen heille tietoa prosessista. Reititinpalvelin
eli RTS (Router Server) reitittää liikenteen valvomoväylän ja prosessiväylän välillä.
RTS:lle voidaan liittää maksimissaan neljä väylää. Reititys tapahtuu täysin automaat-
tisesti. Hälytyspalvelin eli ALP (Alarm Processor) kerää ja ylläpitää prosessin hälytys-
tietoja. ALP lähettää hälytystiedot OPS:n kautta operaattorille. Hälytystietoja voidaan
halutessa kerätä myös Info-palvelimen hälytystietokantaan. Info-palvelin kerää histo-
riatietoa prosessista. Historiatietoa voidaan kerätä mistä tahansa automaatiojärjes-
telmän pisteestä. Nopeimmillaan tietoa voidaan kerätä viiden sekunnin välein. [3]

Prosessipalvelin eli PCS (Process Server) liittää automaatiojärjestelmän ohjattavaan
prosessiin. PCS huolehtii perusohjauksista erilaisten I/O-liityntöjen kautta. Myös ryh-
mäohjaukset, sekvenssiohjaukset, reseptiohjaukset sekä vaativammat ylemmän ta-
son säädöt toteutetaan PCS:n avulla. Varmennuspalvelimen eli BU:n (Backup Ser-
ver) kovalevyllä on tallessa jokaisen järjestelmään liitetyn palvelimen konfiguraatio
sekä sovellus. Häiriötilanteen jälkeen BU käynnistää automaattisesti viallisen aseman
lataamalla sille tarvittavan konfiguraation. Kaikki järjestelmän sovellusmuutokset siir-
retään järjestelmään kohdeasemille aina BU:n kautta. Diagnostiikkapalvelin eli DIA
(Diagnostic Server) on tarkoitettu huolto- ja vianetsintäkäyttöön. Suunnittelu- ja ylläpi-
topalvelimella eli EAS:lla (Engineering and Maintenance Activity Server) on tarvittavat
työkalut sovellusten suunnitteluun, testaukseen ja ylläpitoon. EAS yhdistetään BU-
solmuun ja DIA-solmuun, jotka voivat olla joko VME- tai PC-pohjaisia. DIA:lla voidaan
tutkia sekä järjestelmää että sovelluksia. Liityntäpalvelimet (Interface Servers) ovat
muihin järjestelmiin liittymistä varten. Esimerkiksi logiikkaliityntäpalvelimella voidaan
liittyä erilaisiin ulkopuolisiin logiikoihin. [3]

3.3 Damatic XD

Damatic XD on Metson vanhempi automaatiojärjestelmä, joka on ollut käytössä myös
Rovaniemen Energiolla. Tuotantolaitoksille tyypillisesti, myös Rovaniemen Energian
automaatiojärjestelmä on sekoitus eri aikakausilla käytössä olleista versioista. Tutki-
muksen kohteena olevan vesikattilan ensimmäinen automaatiojärjestelmä oli Sie-
mensin Teleperm. Kuviossa 3 näkyy vesikattilan viestikaapeloinnin periaate. Kenttä-
laitteen laitekaapeli on yhdistetty jakokotelossa runkokaapeliin. Runkokaapelin toinen

pää on kytketty ristikytkenätilassa XL-liittimille. Ristikytkenän kautta viestit menevät järjestelmän tulo- ja lähtökortteille. [4]



Kuvio 3. Vesikattilan I/O:n kaapeloinnin periaate [4, s.27]

4 SÄÄTÖTEKNIIKAN TEORIAA

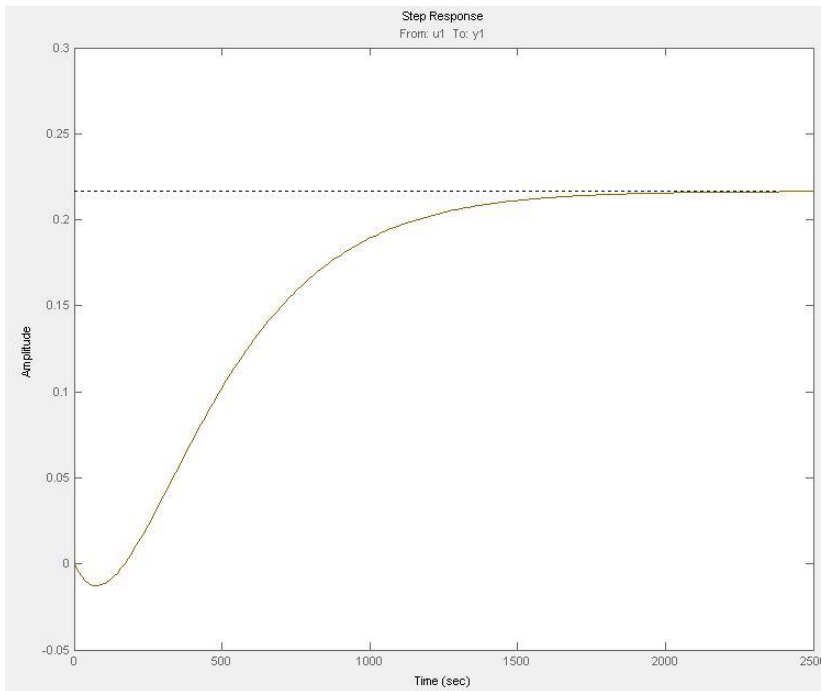
4.1 Säädön hyvyys

Säädön hyvyys tarkoittaa eri säätökohteissa hieman eri asioita. Hyvyys riippuu siitä mitä vaatimuksia säädettävälle kohteelle asetetaan. Perusvaatimuksena säädölle on, että se on rakenteellisesti stabiili. Rakenteellisesti epästabiilia systeemiä ei voi saada stabiiliksi millään viritysarvolla. Parametrien valinta suoritetaan niin, että systeemi saadaan stabiiliksi. Askelvasteita tarkastelemalla valitaan haluttu vaimennus. Lieriön paineen säädössä sallitaan vain vähän värähtelyä. Tämä tarkoittaa suurempaa vaimennusta, joka puolestaan tarkoittaa hitaampaa säätöä. [5]

Yleisimpiä säädön laatuksia ovat asettumisaika, nousuaika, ylitys, robustisuus, tarkkuus, nopeus jaksonaika ja vaimennussuhde. Asettumisaika on se aika vasteella menee asettumiseen pysyvästi tiettyjen rajojen sisälle, kun referenssisignaaliin tehdään askelmainen muutos. Nousuaika on aika vasteen ensimmäisestä muutoksesta tietyn prosentin (esimerkiksi 90%) saavuttamiseen tavoitearvostaan, kun referenssisignaaliin on tehty askelmainen muutos. Ylitys on, referenssisignaaliin tehdyn askelmaisen muutoksen jälkeen, vasteen ensimmäisen huipun ja tavoitearvon erotus. Robustisuus kuvaa säädetyin järjestelmän häiriönsietokykyä. Robusti järjestelmä sietää hyvin häiriöitä. Tarkkuutta mitataan muun muassa kustannusfunktioilla sekä pysyvän poikkeaman suuruudella, ja ne perustuvat säätövirheen integraaliin. Säätövirhe on referenssin ja säädettävän suureen ero. Nopeutta mitataan muun muassa asettumisajalla sekä nousuajalla. Säädettävä prosessi vaikuttaa suuresti nopeuteen. Jaksonaika on vasteen kahden peräkkäisen huipun välinen aika. Vaimennussuhde on vasteen kahden peräkkäisen huipun suhde. [6, s.4]

4.2 Erilaisia säätötekniikoita

Prosessin siirtofunktion askelvasteesta nähdään (kuviot 4), että lieriön paine on niin sanottu ei-minimivaiheinen prosessi. Paineen asetusarvoa nostettaessa, paine aluksi hieman laskee, ennen kuin se lähtee nousuun. Prosessin vaste ohjausmuutokseen on siis ensin päinvastainen verrattuna lopulliseen vaikutussuuntaan. Ei-minimivaiheinen prosessi on hankala säädettävä PID-säätimellä. PID-säädössä säädin on viritettävä hitaaksi, jotta se ei reagoisi liikaa prosessin ei-minimivaiheiseen vasteeseen. Eräs mahdollinen säätötekniikka on ennustava säätö, joka ottaa huomioon prosessin vasteen pidemmällä aikavälillä. [7]



Kuvio 4. MatLab:n System Identification Toolboxilla laskettu prosessin siirtofunktion askelvaste

Kaskadisäätö on säätötekniikka missä on kaksi peräkkäistä säätölohkoa. Sisemmällä säätimellä pyritään kompensoimaan ohjaussuureeseen summautuvat häiriöt. Sisempi säädin estää tällöin häiriöiden pääsyn itse säädettävään prosessiin. Ulommalla säätimellä säädetään itse prosessia. Kaskadisäädössä sisempi säädin on viritetty ulompa huomattavasti nopeammaksi. [8]

Adaptiivista säätöä käytetään voimakkaasti epälineaaristen prosessien säädössä. Useita menetelmiä voidaan kutsua adaptiiviseksi säädöksi. Muun muassa säätäjän parametrien taulukointi, itsevirittyvä säätäjä sekä autotuner ovat adaptiivisia säätäjiä. Säätäjän parametrien taulukoinnissa säätimen parametrit valitaan prosessin toimintapisteen perusteella. Parametrit voidaan asettaa joko käsin tai automaattisesti. Itsevirittyvä säätäjä mallintaa prosessia automaattisesti ja laskee parametrit mallin perusteella. Autotuner on säätäjän automaattinen viritystoiminto, joka on erikseen suoritettava. [9]

4.3 PID-säädin

4.3.1 PID-säätimen viritysmenetelmiä

PID-säätimen virittäminen on yleensä jossain määrin kokeellista. Perinteisimmät kokeelliset PID-säätöpiirin viritysmenetelmät ovat Ziegler-Nichols-askelvastemenetelmä ja -värähtelykoemenetelmä. Kokeita voidaan tehdä joko todelliseen prosessiin tai matemaattiseen prosessimalliin. Värähtelykoemenetelmää ei tässä tapauksessa voida käyttää todelliseen prosessiin sillä paineen vaihtelua ei sallita kovin paljoa. Käytännön askelvastekokeita voidaan tehdä ja niistä saatua tietoa käyttää hyväksi, vaikakaan suoraan askelvastekokeiden perusteella ei voida laskea mitään varmasti. Häiriöt vaikuttavat todellisessa prosessissa niin voimakkaasti, ettei lieriön paine (prosessin ulostulo) pysy läheskään vakiona, vaikka polttoaineen syöttöruuvien nopeus (säätimen ulostulo) olisi vakio. [6]

AMIGO-viritysmenetelmällä pyritään saamaan prosessista mahdollisimman robusti. AMIGO-viritysmenetelmä on kehitetty modernin säätöteorian avulla. Menetelmä käyttää hyväkseen prosessin herkkyyshankintoja sekä samoja perinteisiä koemenettelyjä kuin Ziegler-Nichols-viritysmenetelmät. AMIGO-viritysmenetelmässä käytetään suodatusta säätimen jokaisessa termässä. Perinteisesti suodatusta käytetään vain D-termässä. Derivoinnin suodatuksella tasoitetaan derivoinnin vaikutusta pidemmälle ajanjaksolle. Suodatuksesta johtuen myös säätimen yhtälö poikkeaa perinteisestä. [6]

IMC-viritysmenetelmä (Internal Model Control) käyttää hyväkseen prosessista tehtyä matemaattista mallia. IMC-säädössä säädin muodostuu prosessin käänteiskuvauksesta. Jos matemaattinen malli olisi niin tarkka, että se olisi prosessin täydellinen käänteiskuvaus, muuttuisi säätösilmukka epästabiiliksi. Siksi IMC-säädössä takaisinkytkennän suure on prosessin ulostulon ja mallin ulostulon erotus. IMC-viritysmenetelmällä voidaan hyödyntää, edellisistä menetelmistä poiketen, myös useamman kertaluvun malleja. [6]

4.3.2 MetsoDNA CR automaatiojärjestelmän PID-säädintoimilohko

MetsoDNA CR automaatiojärjestelmän PID-säädintoimilohko näkyy kuviossa 5. Tärkeimpiä tietoja lohkoissa on mittausarvo (me), aktiivinen asetusarvo (spa) ja ohjausviesti (con). Toimilohkon tarkoituksena on pitää mittausarvo asetusarvon suuruisena häiriöstä riippumatta ohjauksen avulla. Säätimen muita osia ovat muun muassa toimi-

laitteen asentotieto (pos), takaisinluettu ohjaus (conb), ohjauksen minimi- ja maksimirajoitusarvo (colmi ja colma), P-termin vahvistuskerroin (kp), integrointiaikavakio sekunteina (ti), derivointiaikavakio sekunteina (td), myötäkytkentäkanava (mff), myötäkytkentäkanavan vahvistuskerroin (kff), derivoinnin suodatusaikavakio (tdf), pakko-ohjaus (fc), pakko-ohjauksen suuruus (fcin), toimintatila käsi- tai automaattiohjaus (ma), pakkokäsiohjaus (fm), eroarvo (e). [10]

PID-säätimen peruskaavasta poiketen muodostetaan D-termi mittauksesta, ei erosuureesta, jolloin esimerkiksi asetusravon vaihto ei aiheuta ohjauks- viestiin hyppäystä, kuten tavanomaisella säätimel- lä. Periaatteellinen lähdön laskentakaava:

missä

= kp-veritystermi

= eroarvo

= suoritusväli

ti = Ti-veritystermistä riippuva kerroin

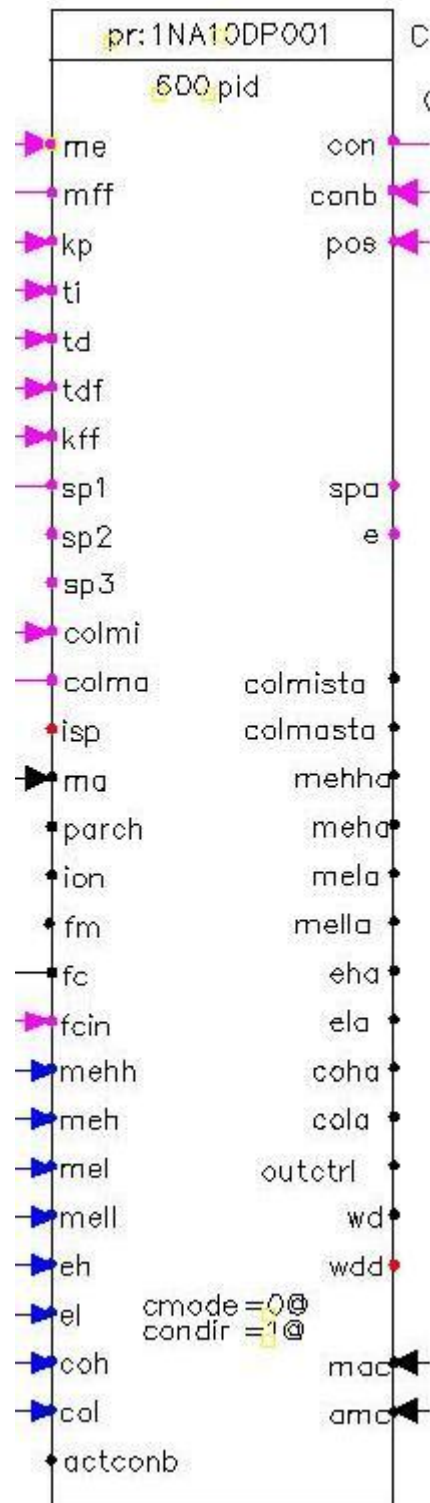
td = Td-veritystermistä riippuva kerroin

me = mittaus

= Kff-veritystermi

= myötäkytkentäkanavan tulo

bias = biasointiparametri [10]



Kuvio 5. MetsoDNA CR –automaatiojärjestelmän PID-säädintoimilohko [10]

5 ALKUPERÄINEN LIERIÖN PAINESÄÄDIN

5.1 Lieriön paineensäätömoduuli

Alkuperäinen lieriön painesäätömoduuli löytyy liitteestä 1. Lieriön paine pyritään pitämään kymmenessä baarissa. Painetta säädetään PID-säätimellä, jonka parametrit on viritetty kokeilemalla. Alkutilanteessa PID-säätimen parametrit olivat: $k_p = 1$, $t_i = 90$, $t_d = 30$, $t_{df} = 80$ ja $k_{ff} = 0,5$.

Lieriön painesäätimeen on lisätty erinäisiä rajoituksia vaaratilanteiden välttämiseksi. Ohjausviestin maksimiarvoa (colma) rajoitetaan silloin, kun lieriön paine menee yli 11,5 baarin tai alle 7,0 baaria ja petilämpötilojen keskiarvo on alle 620 °C. Ohjausviestin maksimiarvoa rajoitetaan myös tilanteessa, jossa savukaasun jäännöshappi on käynyt alle 0,1 %:n. Painesäätimen ohjausviestin maksimiarvoa rajoitetaan myös tilanteessa, jossa jokin seuraavista ohjausviesteistä on maksimiarvossaan: syöttöruuvien 1 ja 2 nopeussäädin, tulipesän painesäädin, primääri- tai sekundääri-ilman määräsäädin. Ohjausviestin maksimiarvon rajoitusten lisäksi ohjausviestiä rajoittavia ehtoja on myös myötäkytkentäkanavassa (mff). Myötäkytkentäkanava pienentää ohjausviestin arvoa, jos savukaasun jäännöshappi on alle 3,5 %, tulipesän paine on yli 0 Pa tai lieriön paine on yli 11 baaria. Säädin menee pakko-ohjaukselle, jos sekä lisäpoltin että molemmat sulkusyöttimet ovat poissa käytöstä. Pakko-ohjauksen suuruus on 2 %.

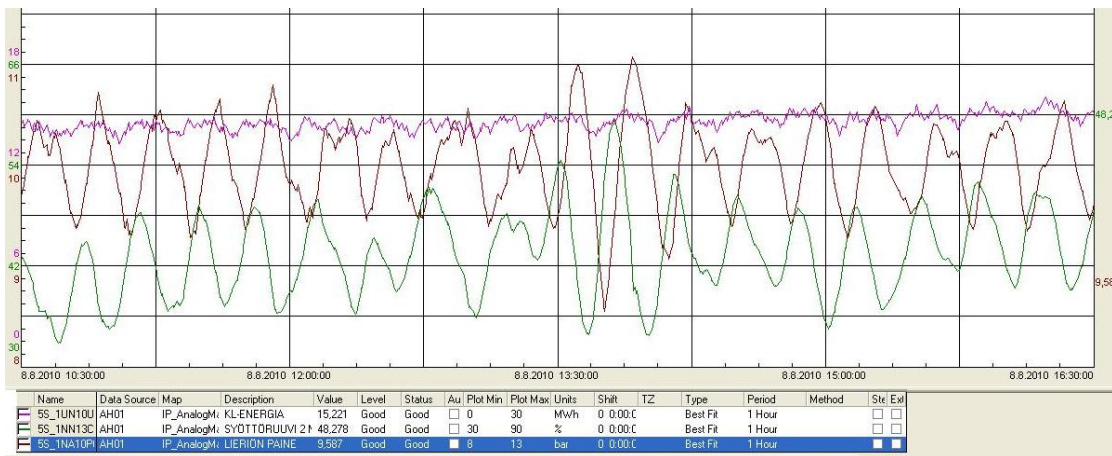
Lieriön painesäätimen moduuli sisältää mahdollisuuden säätää ruuvien suhteellista nopeutta. Jos petilämpötilat ovat epätasaiset kattilan eri osissa, voidaan ruuvien suhteellista nopeutta säätämällä saada petilämpötilat tasaisemmaksi.

5.2 Lieriön painesäätimen käyttäytyminen

Kuviossa 6 näkyy syöttöruuvi 2:n nopeus ja lieriön paine kaukolämpötehon ollessa noin 14,5 MW (kuvassa lukee KL-energia, mutta kysessä on KL-teho ja yksikkö on MW). Kuvassa on kuuden tunnin jakso 8.8.2010 klo.10.30 alkaen. Kaukolämpötehon tarve on ollut melko vähäinen eikä suuria vaihteluja tehontarpeessa ole tapahtunut. Kaukolämpöteho on pysynyt koko ajanjakson 13,5 ja 15,5 MW:n välillä.

Kuviosta 6 nähdään, että säädin värähtelee vakiotajuudella. Aallonpituus on eri mitauksissa ollut 16 - 23 minuutin välillä. Tässä kuvassa se on noin 20 minuuttia. Syöttöruuvi 2:n nopeuden amplitudi on noin 7 %. Lieriön paineen amplitudi on noin 0,6 baaria. Syöttöruuvin nopeuden muutos vaihtaa merkkiä eli kääntyy laskuun tai lähtee nousuun noin 130 sekuntia ennen kuin lieriön paine saavuttaa asetusravonsa. Lieriön paineen ollessa asetusravossaan on paineen muutosnopeus suurimmillaan. Ruuvin nopeus on melko lähellä aallon huippua paineen ollessa 10 baaria. Tämä ylläpitää paineen värähtelyä.

Vaihesiirto vasteen ja herätteen välillä on noin 5 minuuttia. Aallonpituus on keskimäärin 20 minuuttia eli vaihesiirto on noin 90 astetta.



Kuvio 6. Alkuperäinen PID-säädin. Kaukolämpötehon, syöttöruuvi 2:n nopeuden ja lieriön paineen kuvaajat aikatasossa

6 SÄÄDÖN PARANTAMISESSA KÄYTETYT MENETELMÄT

6.1 Polttoaineen aiheuttamat häiriöt ja niiden kompensointi

Häiriöiden kompensointi on nopea tapa parantaa prosessin hallittavuutta. Häiriö on sellainen tulosuure, johon ei voida vaikuttaa [8, s.11]. Häiriön vaikutus voidaan kuitenkin kompensoida myötäkytkennällä, jos häiriön suuruus, vaikuttavuus ja esiintymisen tunnetaan tai voidaan mitata [11, s.36]. Kompensoinnilla pyritään estämään häiriön vaikutus itse säätöpiiriin. Suurin yksittäinen häiriötekijä lieriön paineen säätämisessä on kiinteän polttoaineen laatuvaihtelu sekä syötön epätasaisuus.

Kattilan polttoaineena käytetään pääasiassa haketta ja turvetta sekä hieman sahaus tai muuta puujätettä. Ei kuitenkaan tiedetä, mitä polttoainetta kattilaan kulloinkin menee ja missä suhteessa. Muita vaihtuvia tekijöitä ovat muun muassa polttoaineen kosteus, koostumus ja lämpötila. Polttoaineen kosteus voi vaihdella suurestikin johtuen eri polttoainelaaduista sekä sääolosuhteista. Polttoaineen koostumus voi vaihdella, koska eri hakkureilla hakettu polttoaine on koostumukseltaan erilaista. Polttoaineen lämpötilavaihtelut, kosteus ja koostumus vaikuttavat sekä palamisprosessiin, että käyttäytymiseen polttoaineen syöttöjärjestelmässä. Polttoaineen syöttöä säädetään syöttöruuvien nopeutta säätämällä. Syötettävän polttoaineen määrä voi kuitenkin hieman vaihdella, vaikka nopeus olisi vakio. Syöttöruuvissa 2 on vaaka, joka ilmaisee määrän kiloina minuutissa. Vaakaa ei kuitenkaan käytetä hyväksi, sillä se on epätarkka.

6.2 MatLab-simulointi ja mallinnus

MatLab-ohjelmisto on suunniteltu laskennallisesti vaativien tehtävien ratkomiseen. Peruskokoonpanon lisäksi MatLabiin on saatavilla räätälöityjä työkaluja prosessin mallinnukseen sekä säätöpiirien suunnitteluun. System Identification Toolboxilla voidaan ratkaista systeemin siirtofunktio käyttämällä hyväksi prosessista kerättyä tietoa. Eri identifiointimenetelmiä käyttämällä voidaan luoda erilaisia prosessin siirtofunktioita. Siirtofunktioita voidaan vertailla muun muassa askelvasteiden, napa-nollakarttojen ynnä muiden graafisten esitysten perusteella.

MatLabin Simulink-ohjelmistolla voidaan suunnitella ja testata säätöpiirejä ennen varsinaisia käytännön kokeita. Matemaattinen mallinnus ja simulointi ovat nykyään yle-

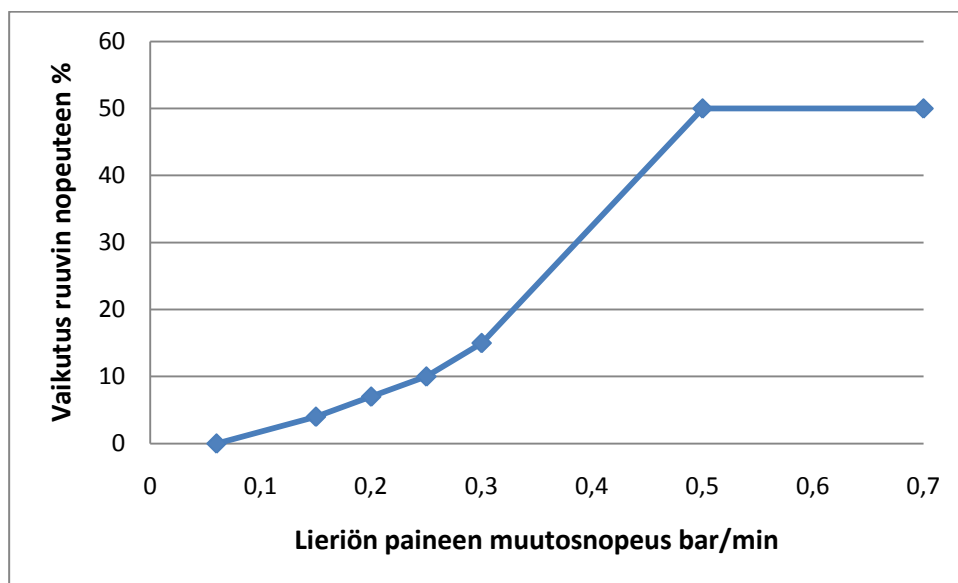
sesti käytettyjä menetelmiä. Simuloimalla voidaan testata asioita, joita käytännön prosessissa ei pystyittäisi testaamaan. Matemaattisia ohjelmistoja käytettäessä täytyy kuitenkin muistaa, että matemaattinen malli ei koskaan täysin vastaa todellisuutta. Mallia suunniteltaessa onkin pohdittava, mikä on riittävä tarkkuus, jolla saadaan luotettavia tuloksia.

7 TOTEUTUS JA TULOKSET

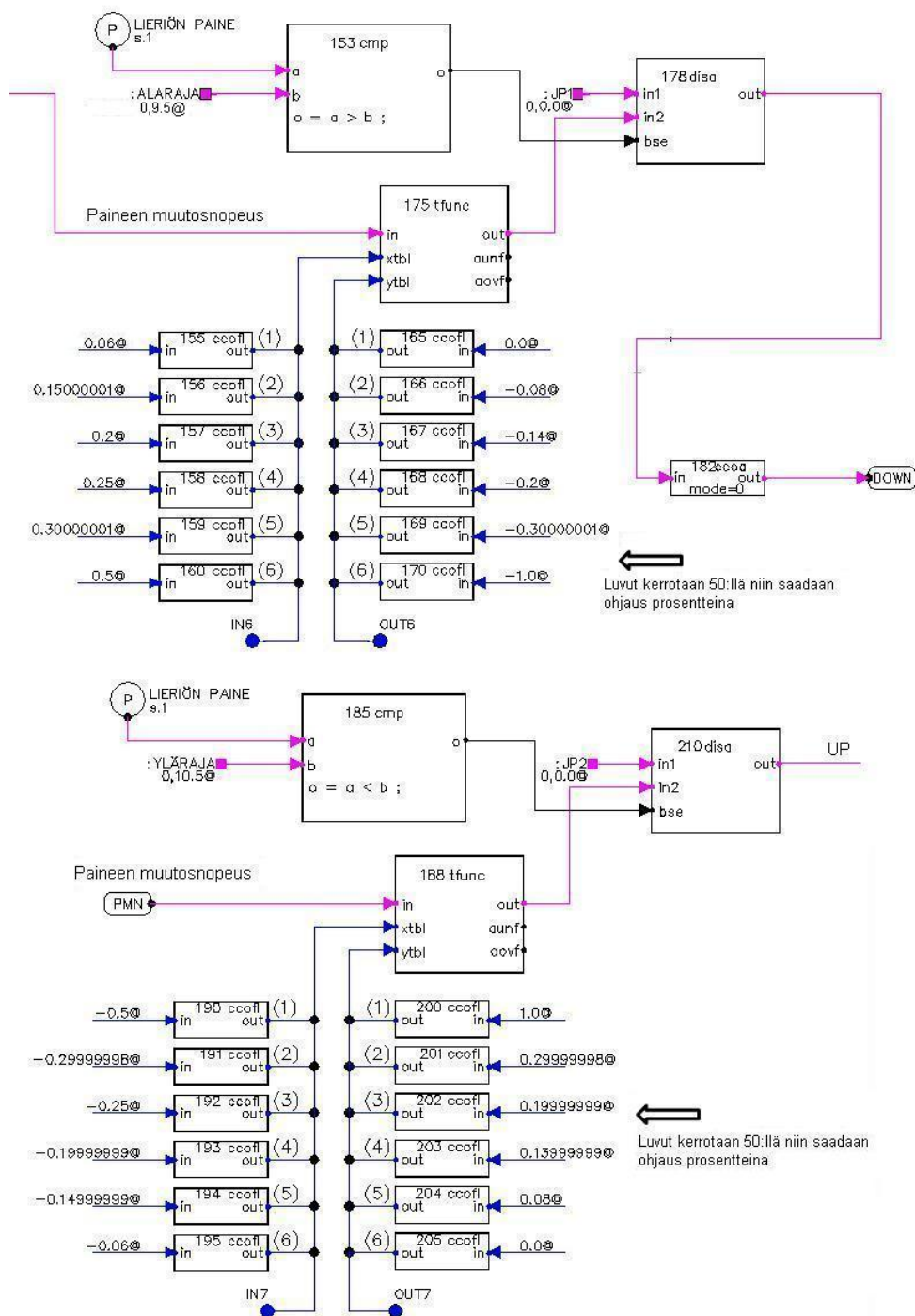
7.1 Kompensointi

7.1.1 Kompensointipiirin rakenne

Polttoaineen syöttöön ja laatuun liittyviä häiriöitä ei voida suoraan mitata. Välillisesti häiriöt kuitenkin näkyvät nopeissa lieriön paineen muutosnopeuden vaihteluissa. Rajoittamalla lieriön paineen muutosnopeutta syöttöruuvien nopeutta säätämällä saadaan samalla polttoaineeseen liittyvien häiriöiden vaikutusta rajoitettua. Kuviossa 8 näkyy polttoaineen häiriöitä kompensoiva piiri. Piiri voi rajoittaa syöttöruuvien nopeutta vain, jos lieriön paine on yli 9,5 baaria (lieriön paineen asetusarvo on 10 baaria). Vastavasti piiri voi lisätä ruuvien nopeutta vain, jos lieriön paine on alle 10,5 baarin. Syöttöruuvien nopeutta aletaan rajoittaa, kun lieriön paineen muutosnopeus menee yli +0,06 baarin minuutissa. Paineen muutosnopeuden ollessa +0,15 baaria minuutissa ruuvien nopeutta rajoitetaan 4 %, muutosnopeuden ollessa +0,2 baaria minuutissa ruuvien nopeutta rajoitetaan 7 % jne. Kuviossa 7 näkyy paineen muutosnopeuden vaikutus ruuvien nopeuteen. Suhde on sama sekä paineen kasvaessa että laskiessa. Piiri on kytketty PID-säätimen myötäkytkentäkanavaan. Myötäkytkentäkanavaan on kytketty myös turvallisuutta lisääviä tekijöitä, jotka ohittavat kompensoinnin tarvittaessa.



Kuvio 7. Lieriön paineen muutosnopeuden vaikutus syöttöruuvien nopeuteen

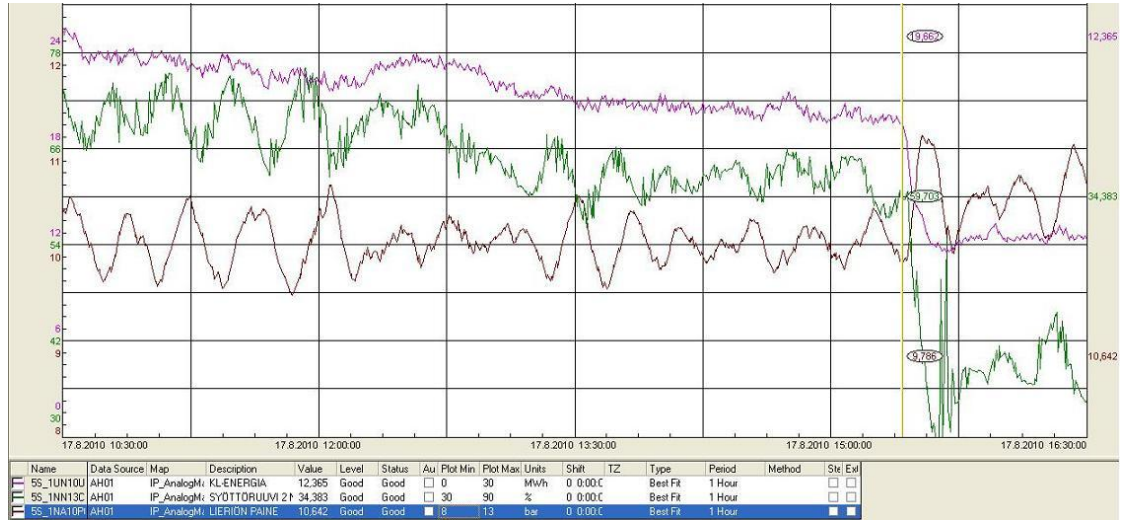


Kuvio 8. Lieriön paineen muutosnopeutta rajoittava piiri

7.1.2 Kompensointipiirin vaikutukset

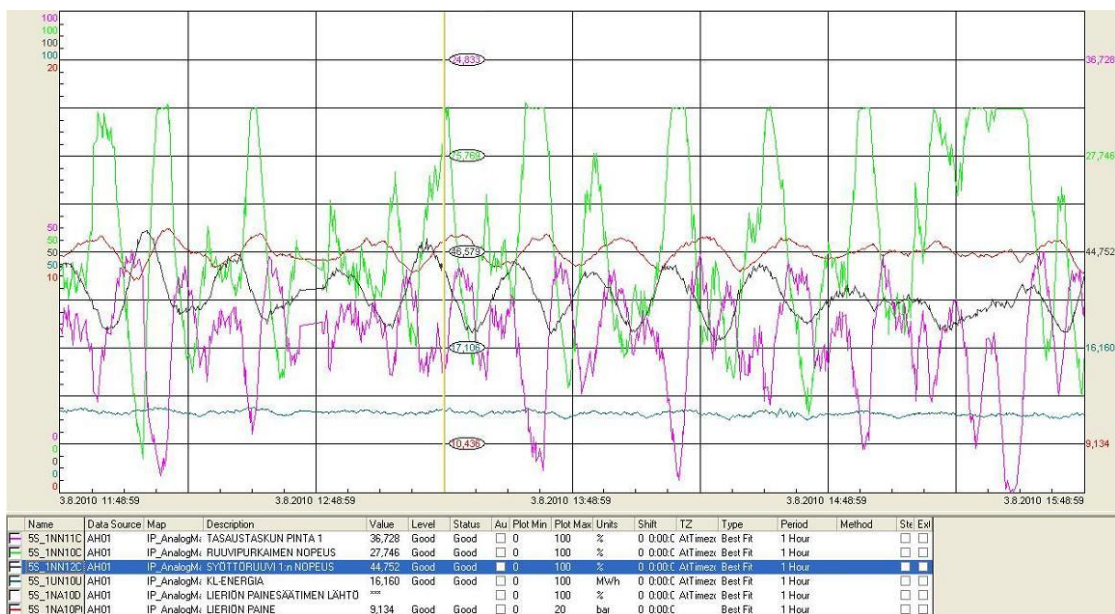
Kuviossa 9 on tilanne kompensointipiirin lisäyksen sekä derivointitermin poiston jälkeen. Kyseessä on siis PI-säädin, jonka myötäkytkentäkanavaan on kytketty kompensointipiiri. P- ja I-termien kertoimet ovat samat kuin alkuperäisessä säätimessä. Kuviota 9 voidaan suoraan verrata kuvioon 6. Kaukolämpöteho (kuviossa violetilla) on kuvion 9 tilanteessa noin 7MW suurempi kuin kuviossa 6. Tämän johdosta syöttö-

ruuvien nopeus on noin 24% suurempi kuviossa 9. Kompensointiin vaikutus syöttöruuvien nopeuteen (kuvassa vihreällä) näkyy käyrässä terävinä piikkeinä. Kun vertaillaan lieriön paineen käyriä huomataan, että värähtelyn taajuus on sama molemmissa kuvioissa. Värähtelyn amplitudi on kuitenkin pienentynyt noin 0,3 baaria.

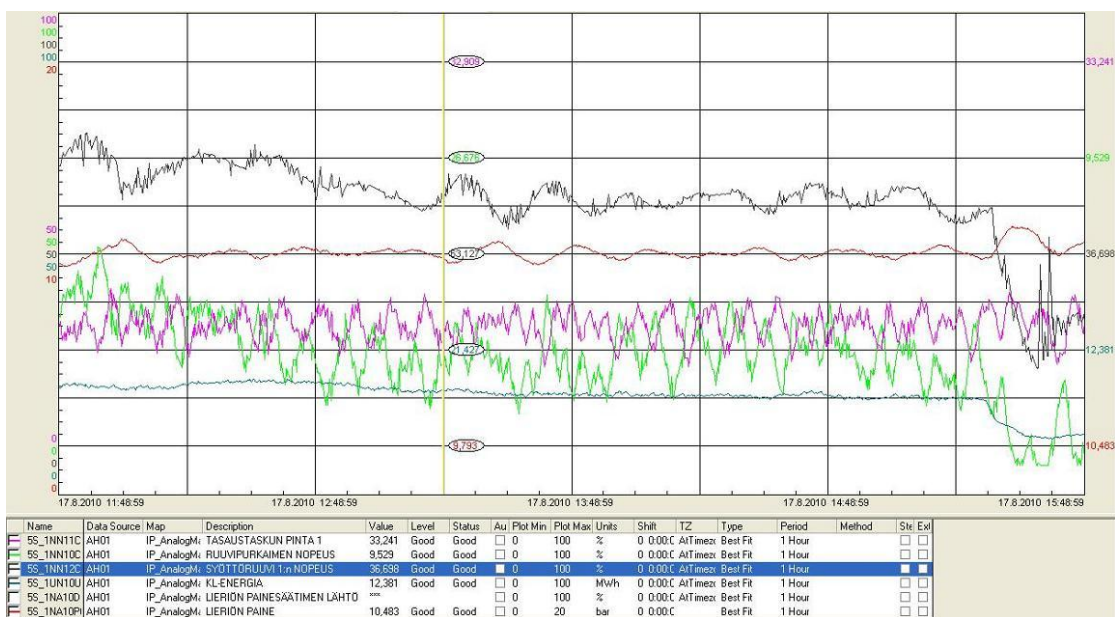


Kuvio 9. PI-säädin kompensoinnilla. Kaukolämpötehon, syöttöruuvi 2:n nopeuden ja lieriön paineen kuvaajat aikatasossa

Kuvioissa 10 ja 11 on lieriön paineen, syöttöruuvien nopeuden ja kaukolämpötehon lisäksi ruuvipurkaimen nopeus (vihreällä) sekä tasaustaskun pinta (violetillä). Tasaustaskun pintaa säädetään PI-säätimellä, jonka myötäkytkentäkanavaan on kytketty lieriön painesäätimen ohjausviesti. Tasaustaskun pinnan säätimen ohjausviesti menee ruuvipurkaimen asetusarvoksi. Näin ollen muutokset lieriön painesäätimessä vaikuttavat koko polttoaineen syöttöketjuun. Kuvista voidaan havaita, että muutokset ovat rauhoittaneet tasaustaskun pinnan sekä ruuvipurkaimen nopeuden vaihtelua huomattavasti.



Kuvio 10. Alkuperäinen PID-säädin. Kaukolämpötehon, syöttöruuvi 1:n nopeuden, lieriön paineen, tasaustaskun pinnan sekä ruuvipurkaimen nopeuden kuvaajat aikatasossa.



Kuvio 11. PI-säädin kompensoinnilla. Kaukolämpötehon, syöttöruuvi 1:n nopeuden, lieriön paineen, tasaustaskun pinnan sekä ruuvipurkaimen nopeuden kuvaajat aikatasossa.

7.2 MatLab-ohjelmisto

7.2.1 Tiedon keruu prosessista ja sen hyödyntäminen

Jotta prosessin siirtofunktio voidaan laskea, tarvitaan tietoa prosessista. Tietoa prosessista kerättiin MetsoDNA CR -automaatiojärjestelmän Info-palvelimen avulla. Kerätty tieto siirrettiin Info-palvelimelta MatLab-ohjelmistoon Excelin avulla.

Lieriön paineen siirtofunktion määrittelyssä käytettiin hyväksi kahta tietoa, lieriön painesäätimen lähtöä sekä lieriön painetta. Tietoa kerätessä täytyy paineensäätöpiirin olla avoin. Tämä tarkoittaa sitä, että säätöpiirissä ei saa olla takaisinkytkentää. Säätöpiiri saadaan avoimeksi asettamalla se käsisäädölle. Käsisäädöllä syöttöruuvien nopeutta säädetään manuaalisesti niin, ettei lieriön paine vaikuta syöttöruuvien nopeuteen.

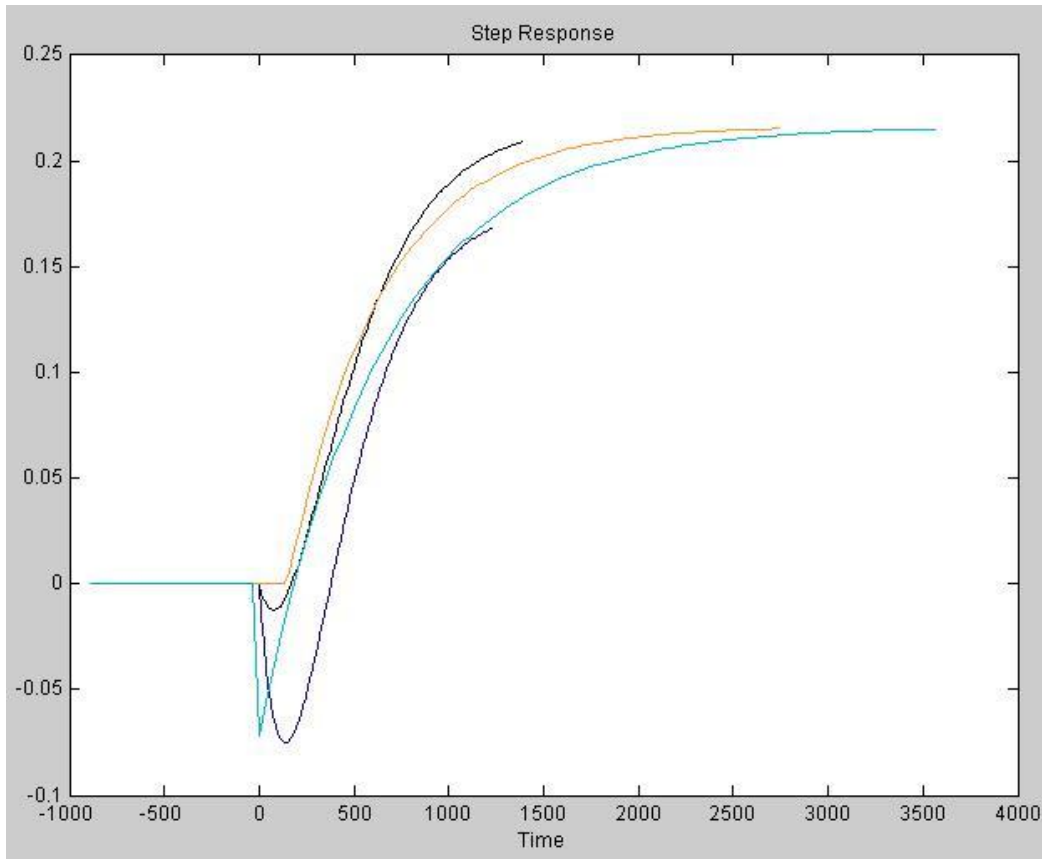
Todenmukaisen mallin luomiseksi tarvitaan prosessista mahdollisimman havainnollista tietoa. Tietoa prosessin dynamiikasta saadaan, kun tehdään painesäätimen lähtöön erilaisia muutoksia. Parhaita ja havainnollisimpia muutoksia ovat erisuuruiset askelmaiset muutokset, pulssimaiset muutokset sekä eri taajuiset sinimuotoiset muutokset.

Kerätyn tiedon perusteella luodaan prosessille siirtofunktio. Siirtofunktio luotiin MatLab-ohjelmistolla System Identification Toolbox -työkalulla. Prosessimallin siirtofunktiota luotaessa valitaan valikosta muun muassa napojen ja nollien määrä, viiveen suuruus, onko kyseessä integroiva prosessi ja niin edelleen. Luotuja siirtofunktioita voidaan vertailla keskenään erilaisilla graafisilla esityksillä, joista enemmän seuraa-
vassa kappaleessa.

7.2.2 Siirtofunktioiden vertailu

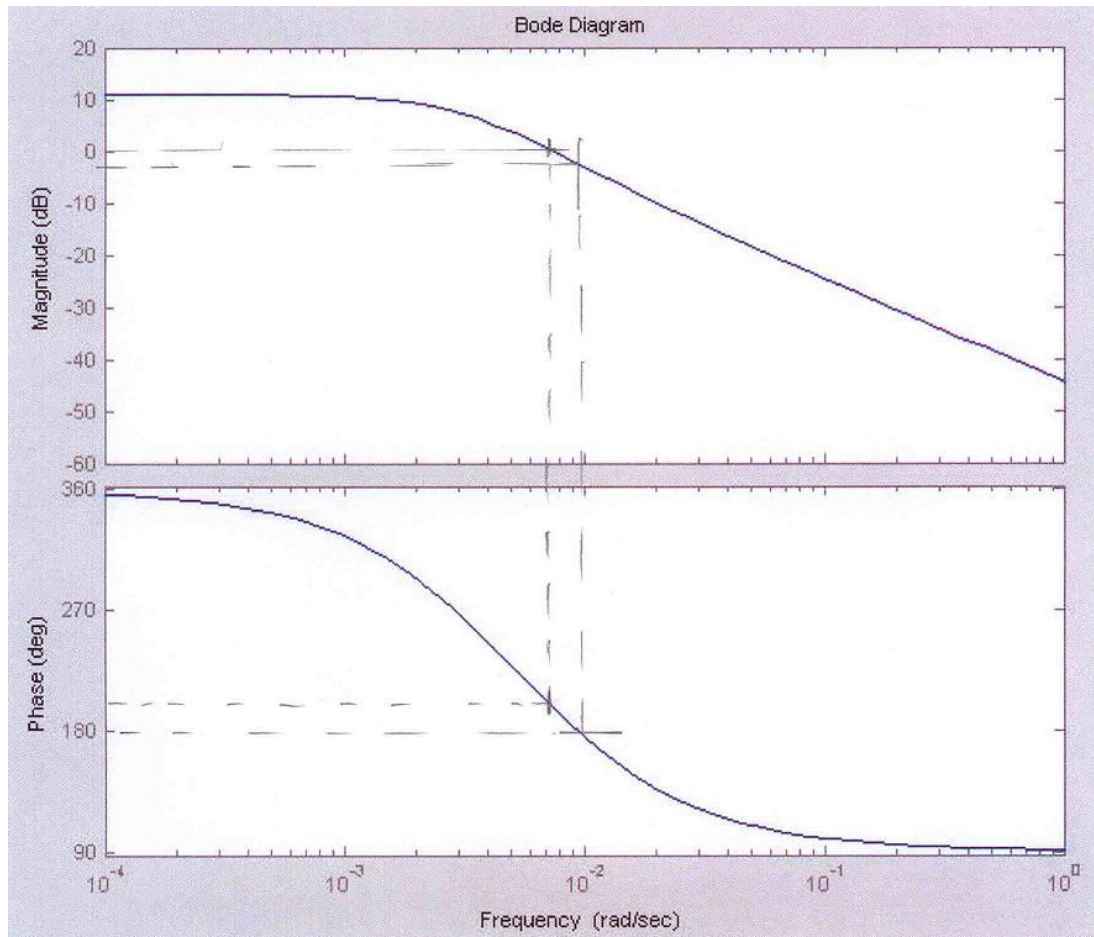
Siirtofunktion tulee vastata todellisuutta riittävän hyvin. Liian yksinkertainen malli ei sitä tee. Liian monimutkainen malli taas on matemaattisesti raskas ja vaikea hallita. System Identification Toolboxin antamiin tuloksiin pohjautuen valittiin simulointia varten siirtofunktio: _____

System Identification Toolboxissa voidaan siirtofunktioita vertailla muun muassa askelvasteiden avulla. Kuviossa 12 näkyy eri siirtofunktioiden askelvasteita. Valittu siirtofunktio mustalla.



Kuvio 12. System Identification Toolboxilla laskettujen siirtofunktioiden askelvasteita

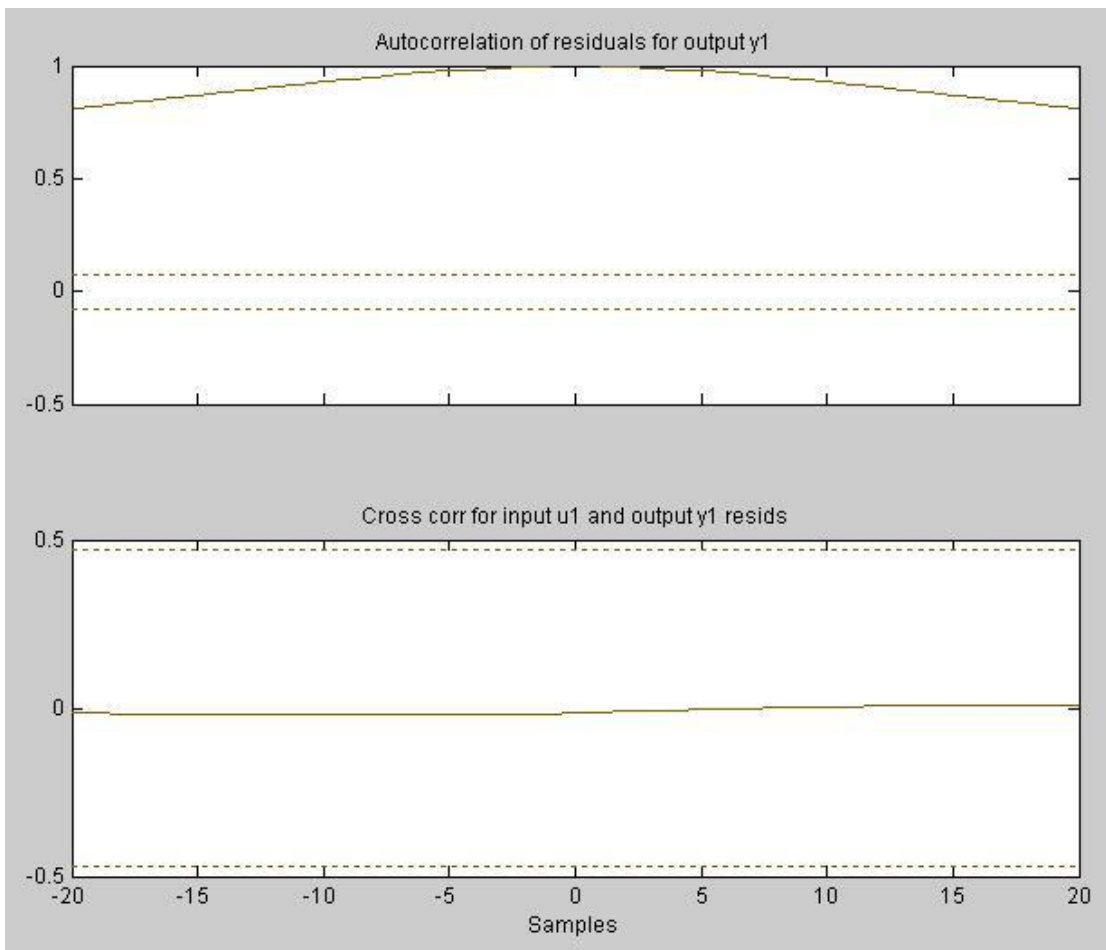
Kuviossa 13 näkyy valitun siirtofunktion Boden-diagrammi. Kuvioista saadaan laskettua vahvistusvaraksi 3dB ja vaihevaraksi 21°.



Kuvio 13. Valitun siirtofunktion Boden-diagrammi

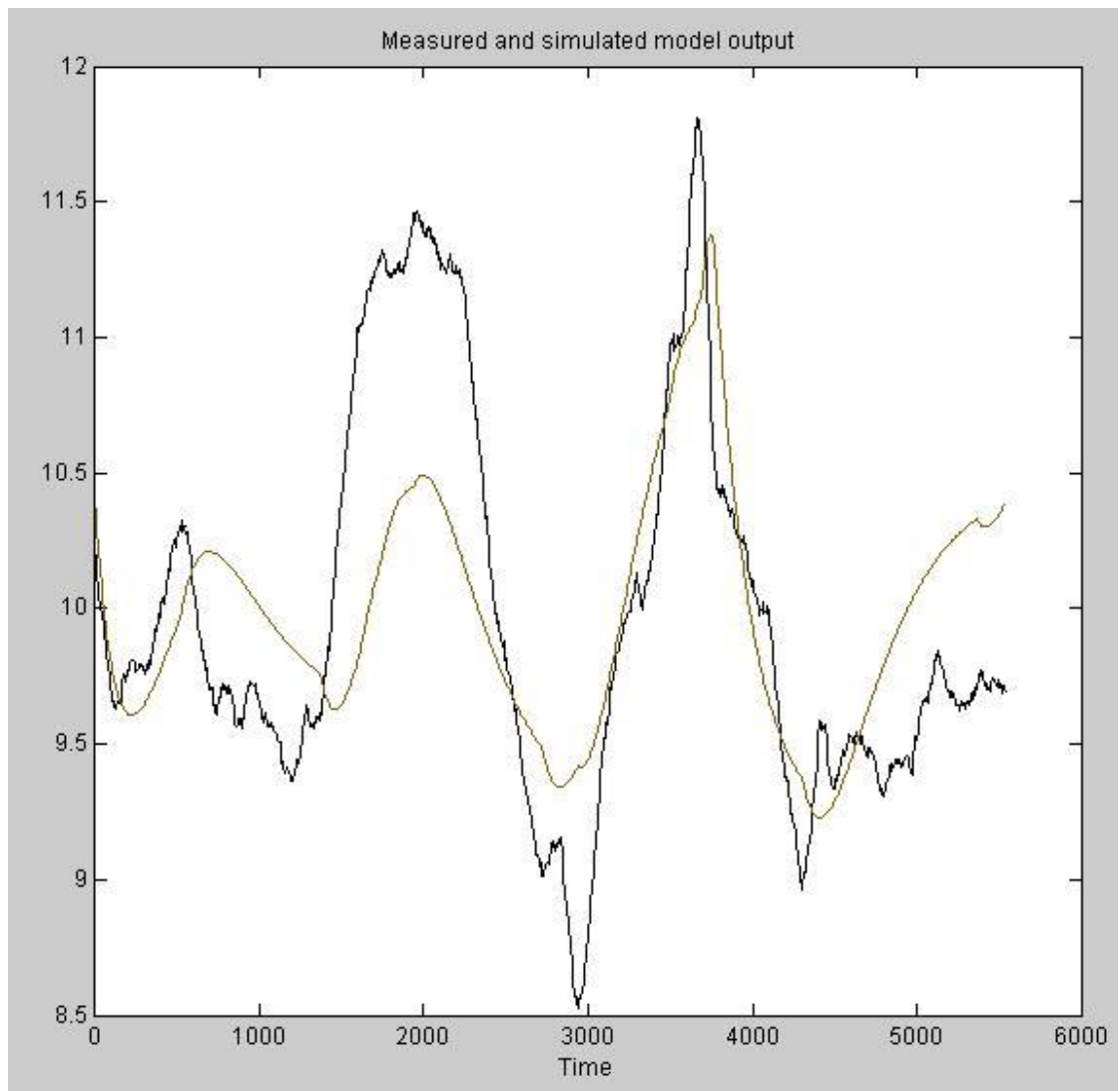
Kuviossa 14 näkyy autokorrelaatio sekä ristikorrelaatio. Autokorrelaatio kuvaa lähdön eli lieriön paineen ennustettavuutta. Jos käyrä on lähellä nollaa, paine on helppo ennustaa aiempien paineen arvojen perusteella. Käyrä sijaitsee lähempänä ykköstä, joten painetta on vaikea arvioida pelkästään aiempien paineen arvojen perusteella.

Ristikorrelaatio kuvaa tulon (painesäätimen lähdön) ja lähdön (lieriön paine) riippuvuutta. Jos käyrä on lähellä nollaa, kuten kuvassa, lähdön muutokset voidaan ennustaa tulon muutoksista. Tulo ja lähtö ovat siis hyvin riippuvaisia toisistaan.



Kuvio 14. Autokorrelaatio ja ristikorrelaatio

Kuviossa 15 on mallin todellinen mitattu lähtö (lieriön paine) mustalla ja System Identification Toolboxilla luodun siirtofunktion simuloitu lähtö ruskealla. Kuvioista nähdään kuinka hyvin System Identification Toolboxilla luotu siirtofunktio vastaa todellista lieriön paineen käyttäytymistä.

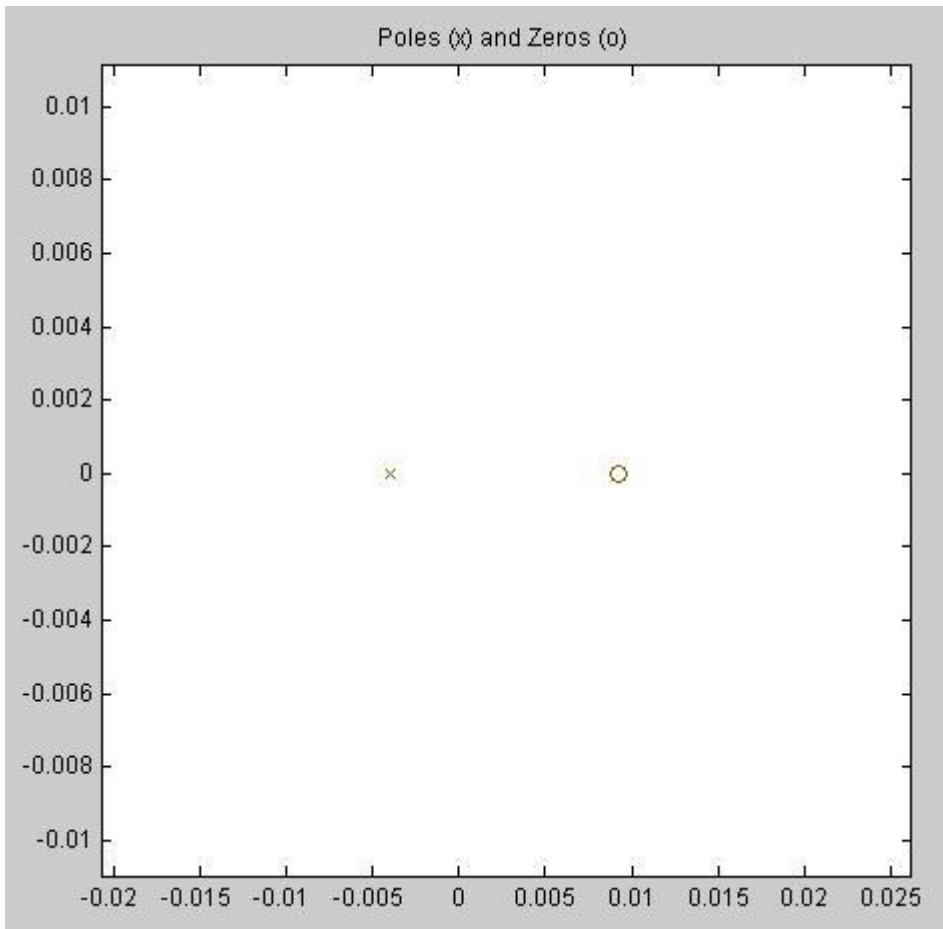


Kuvio 15. Mitattu ja simuloitu lieriön paine (output)

Kuviossa 16 on valitun siirtofunktion napa-nolla-kartta. Mitä kauempana imaginääriakselia (y-akseli) navat sijaitsevat sitä nopeammin systeemi saavuttaa loppuarvonsa. Mitä kauempana reaaliakselia (x-akseli) navat sijaitsevat sitä korkeataajuisempaa on värähtely. Valitun siirtofunktion navat sijaitsevat reaaliakselilla imaginääriakselin vasemmalla puolella lähellä nollapistettä. Napojen sijainti lähellä nollapistettä tarkoittaa, että systeemi saavuttaa asetusravonsa hitaasti. Koska navat ovat imaginääriakselin vasemmalla puolella on systeemi stabiili. Napojen sijainti reaaliakselilla tarkoittaa, että systeemi ei värähtele.

Valitun siirtofunktion nolla sijaitsee reaaliakselilla, lähellä nollapistettä, imaginääriakselin oikealla puolella. Imaginääriakselin oikealla puolella oleva nolla aiheuttaa vasteeseen, asetusravon muuttuessa, haluttua suuntaa vastakkaissuuntaisen muutoksen (Kuvio 5). Mitä kauempana imaginääriakselista nolla on, sitä suurempi vaikutus

vasteeseen. Nollan vaikutus näkyy vasteessa ainoastaan heti asetusarvon muutoksen jälkeen. Nollan sijainti ei vaikuta millään tavalla vasteen värähtelyyn.



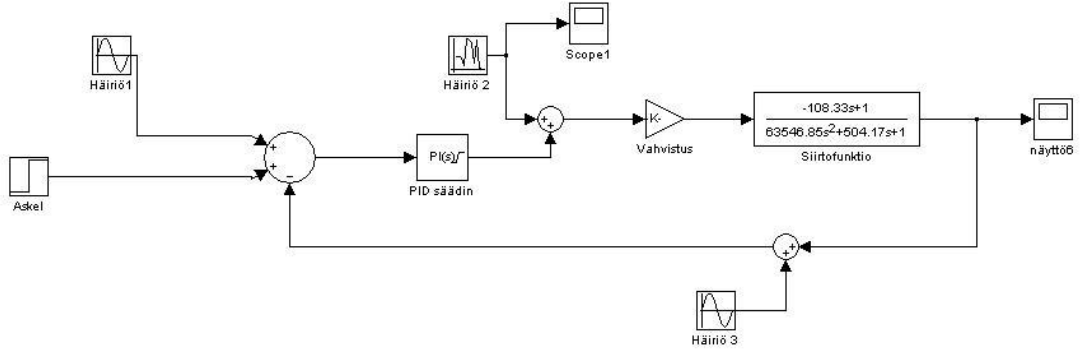
Kuvio 16. Valitun siirtofunktion napa-nolla-kartta

7.2.3 Simulink-malli ja simulointi

MatLab-ohjelmiston Simulink-työkalulla suunniteltiin prosessista matemaattinen malli (kuvio 17). Simulink on graafinen suunnittelutyökalu jossa on valmiita lohkoja muun muassa siirtofunktiolle ja PID-säätimille. System Identification Toolboxilla luotua siirtofunktiota voidaan käyttää suoraan hyväksi Simulink-mallissa. Mallia muokkaamalla ja testaamalla löydetään parhaat mahdolliset viritysparametrit. Simulinkistä löytyy apuvälineitä PID-säätimen parametrien virittämiseen.

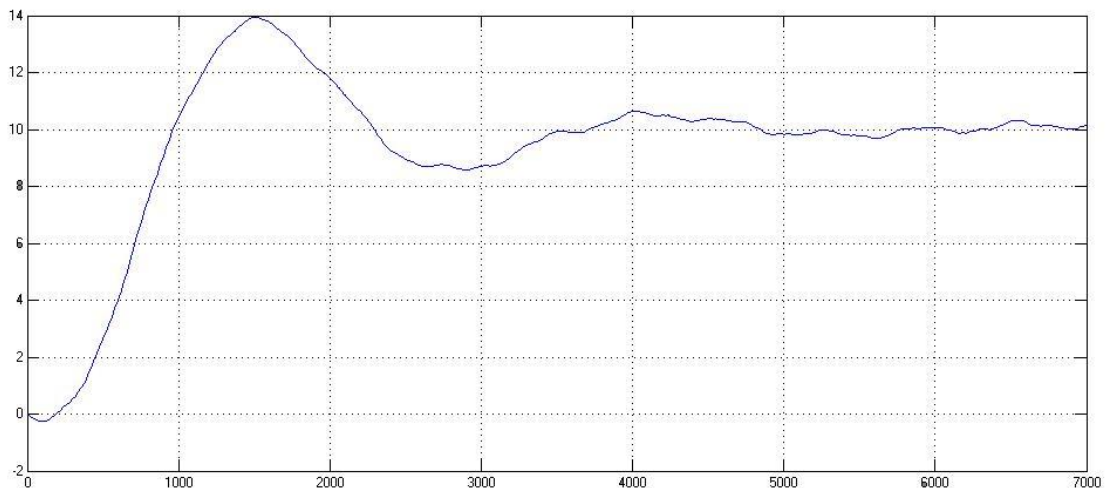
Kuviossa 17 on lieriön painesäätimen yksinkertaistettu Simulink-malli. Askel-lohko antaa askelmuutoksen nolasta kymmeneen ajanhetkellä nolla. Lieriön paineen asetusarvo on kymmenen baaria. Siirtofunktion lähdöstä on negatiivinen takaisinkytkentä PID-säätimelle. Systemin vahvistus on 0,21657. Systemiin syötetään häiriötä kol-

mesta pisteestä. Häiriö 1 on sinimuotoista, amplitudiltaan 3 ja taajuudeltaan 0,025 rad/s. Häiriö 2 syöttää systeemiin satunnaislukuja -3 ja 3 väliltä 20 sekuntia kerrallaan. Häiriö 3 on sinimuotoista ja amplitudiltaan 2 taajuuden ollessa 0,01 rad/s.

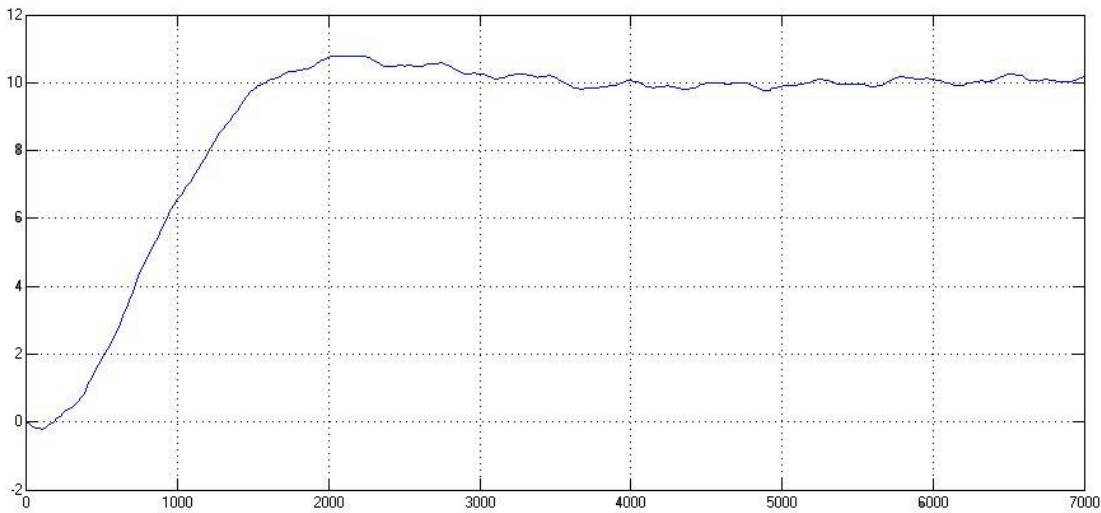


Kuvio 17. Lieriön paineensäätöprosessin Simulink-malli

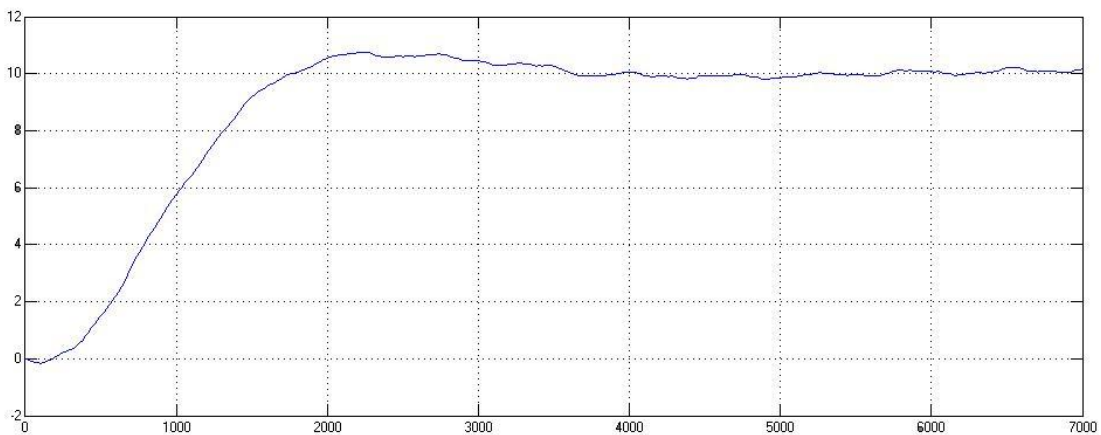
Mallia simuloitiin eri PI-säätimen (D-termi ei ole käytössä säädön hitauden vuoksi) parametreilla sekä eri suuruusluokkaa olevilla häiriöillä. Kuviossa 18 näkyy systeemin askelvaste säätimen alkuperäisillä parametreilla ($P = 1$ ja $I = 90$ s). Kuviossa 19 näkyy systeemin askelvaste säätimen parametrien ollessa: $P = 1$ ja $I = 169,73$ s. Kuviossa 20 systeemin askelvaste säätimen parametrien ollessa $P = 0,7038$ ja $I = 129,33$ s.



Kuvio 18. Prosessimallin askelvaste P-termin ollessa 1 ja I-termin ollessa 90s.



Kuvio 19. Prosessimallin askelvaste P-termin ollessa 1 ja I-termin ollessa 169,73s.



Kuvio 20. Prosessimallin askelvaste P-termin ollessa 0,7038 ja I-termin ollessa 129,33s.

Kuvio 18 on prosessimallin simuloitu askelvaste, jossa PID-säätimen parametrit ovat säätimen alkuperäiset parametrit. Kuviot 19 ja 20 ovat prosessimallin askelvasteita kun PID-säätimen parametrit on viritetty PID-säätimen viritystyökalulla. Kuvioissa 19 ja 20 säätimen parametrit on valittu niin, että säädin olisi hitaampi kuin alkuperäinen säädin. Kuten aiemmin on todettu, ei-minimivaiheisen prosessin säätäminen on PID-säätimellä hankalaa. Säädin kannattaa virittää hitaaksi, jottei alun päinvastainen vaste vaikuttaisi liikaa säätimen käyttäytymiseen.

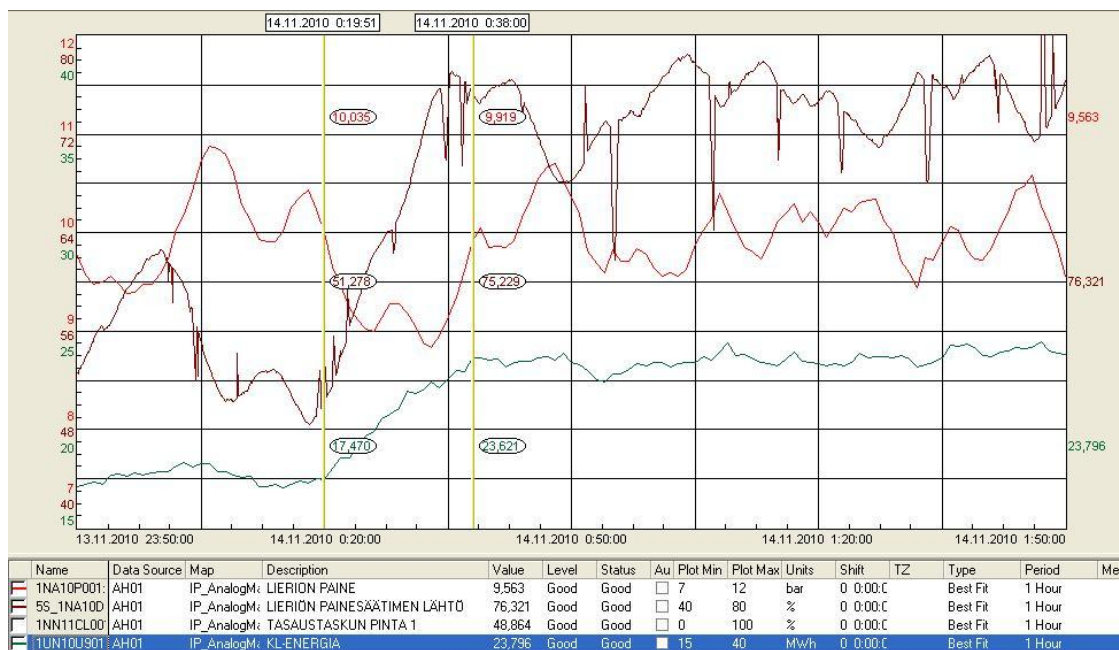
8 LOPPUTULOSTEN ARVIOINTI JA JOHTOPÄÄTÖKSET

8.1 Lieriön paineen muutosnopeuden rajoittaminen kompensointipiirillä

Käytännön kokeiden perusteella todettiin, että nykyisillä säätimen parametreillä ($P=1,02$ ja $I=170$) ei kompensointipiiriä välttämättä tarvita. Kompensointipiirillä on kuitenkin mahdollista saada lieriön paineen säätö nykyistä paremmaksi. Suunniteltua kompensointipiiriä täytyy kuitenkin muokata, sillä se ei sovellu sellaisenaan nykyiseen säätimeen. Kompensointipiirin ei tarvitse puuttua säätimen toimintaan niin herkästi kuin aluksi oli suunniteltu. Lieriön paineen muutosnopeutta ei tarvitse rajoittaa ennen kuin se ylittää arvon $\pm 0,25$ bar/min. Kun aseteltu raja ylittyy kompensointi astuu voimaan ja lisää säätimen lähtöön esimerkiksi $\pm 10\%$, riippuen siitä kumpaan suuntaan paine on menossa. Kun paineen muutosnopeus menee nolnaan, poistetaan kompensoinnin vaikutus säätimen lähdöstä. Näillä toimenpiteillä saadaan kompensointipiiri toimimaan harkitummin.

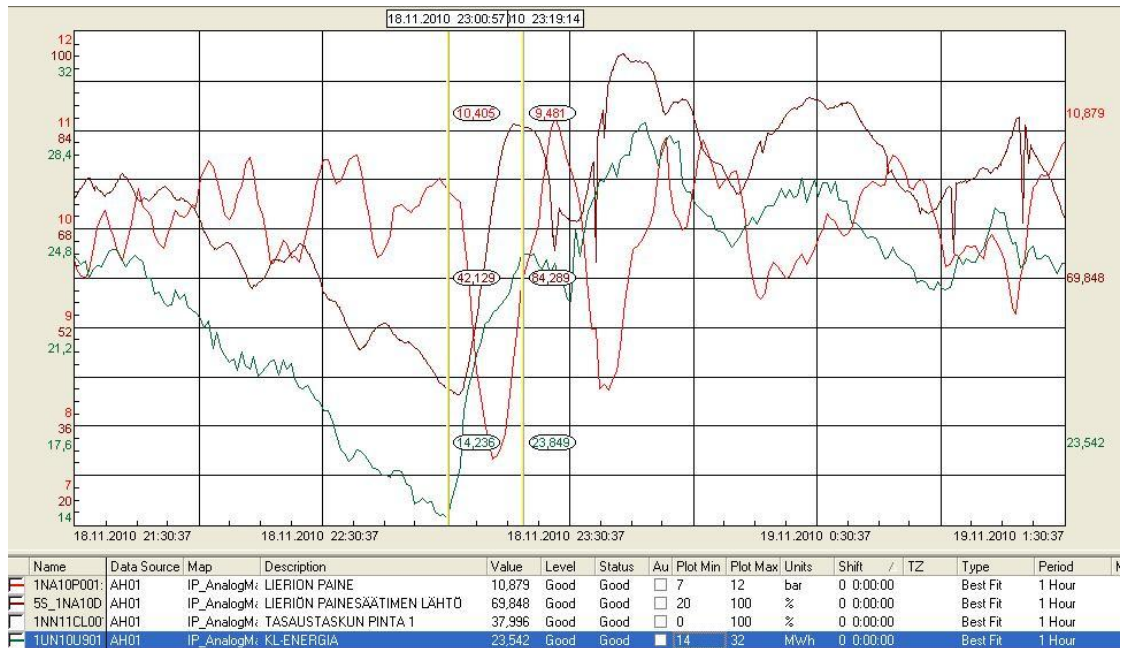
8.2 Lieriön painesäätimen parametrimuutosten vaikutus

Lieriön painesäätimen parametrit valittiin lopullisesti käytännön kokeiden perusteella. Simuloinnilla saatuja säätimen parametrejä vertailtiin käytännön kokeissa. PI-säätimen vahvistukseksi valittiin 1,02 ja integrointiajaksi 170 sekuntia. Lähtötilanteessa PID-säätimen vahvistus oli 1,0, integrointiaika 90 sekuntia ja derivointiaika 30 sekuntia. Nykyinen säädin on siis huomattavasti hitaampi kuin alkuperäinen säädin. Kuviossa 21 nähdään lieriön painesäätimen lähdön ja lieriön paineen käyttäytyminen, kun kaukolämpötehoa nostetaan. Kaukolämpötehoa nostettiin noin 6 MW (17,5 MW – 23,6 MW) 18 minuutin aikana. Kuvioista voidaan havaita, että lieriön painesäätimen lähtö seuraa hyvin kaukolämpötehon muutosta. Tehoa nostettaessa lieriön paine käy hieman alle 9 baarin. Kun 23,6 MW teho on saavutettu jatkaa lieriön paine nousua arvoon 10,7 baaria kunnes paine lähtee laskuun. Kuvion 21 perusteella voidaan päätellä, että systeemi on hieman alivaimennettu.



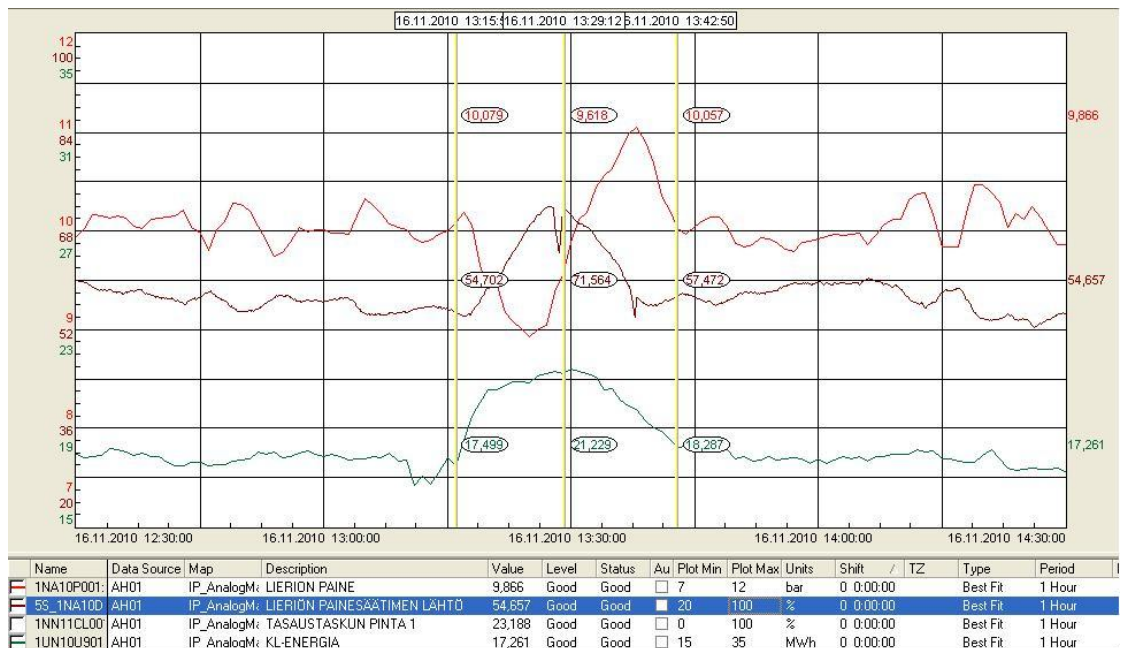
Kuvio 21. Lieriön paineen, lieriön painesäätimen lähdön ja kaukolämpötehon (kuviossa virheellisesti KL-energia) kuvaajat aikatasossa

Kuviossa 22 tehoa on nostettu 9,6 MW (14,2 MW – 23,8 MW) aikavälillä 23:01 – 23:19. Aikavälillä 23:01 – 23:50 on tehoa nostettu yhteensä 14,3 MW. Näin voimakas ja nopea tehon nosto on käytännössä harvinainen, mutta mahdollinen. Kuvioista nähdään, että lieriön paine käy alimmillaan 7,7 baarissa ja ylimmillään 11,2 baarissa. Lieriön paine ei saavuta 11,5 baarin rajaa jolloin syöttöruuvien nopeutta aletaan rajoittaa liian korkean paineen vuoksi. Kuvioista voidaan havaita, että lieriön paine värähtelee vain hieman kaukolämpötehoa nostettaessa.



Kuvio 22. Lierion paineen, lierion painesäätimen lähdön ja kaukolämpötehon (kuviossa virheellisesti KL-energia) kuvaajat aikatasossa

Kuviossa 23 on kaukolämpötehoa ensin nostettu 3,7 MW (17,5 MW – 21,2 MW) ja myöhemmin laskettu 2,9 MW (21,2 MW – 18,3 MW). Lierion painesäätimen lähtö seuraa hyvin kaukolämpötehon muutoksia eikä paine pääse juurikaan värähtelemään. Lierion paine käy alimmillaan noin 9 baarissa ja ylimmillään 11 baarissa.



Kuvio 23. Lierion paineen, lierion painesäätimen lähdön ja kaukolämpötehon (kuviossa virheellisesti KL-energia) kuvaajat aikatasossa

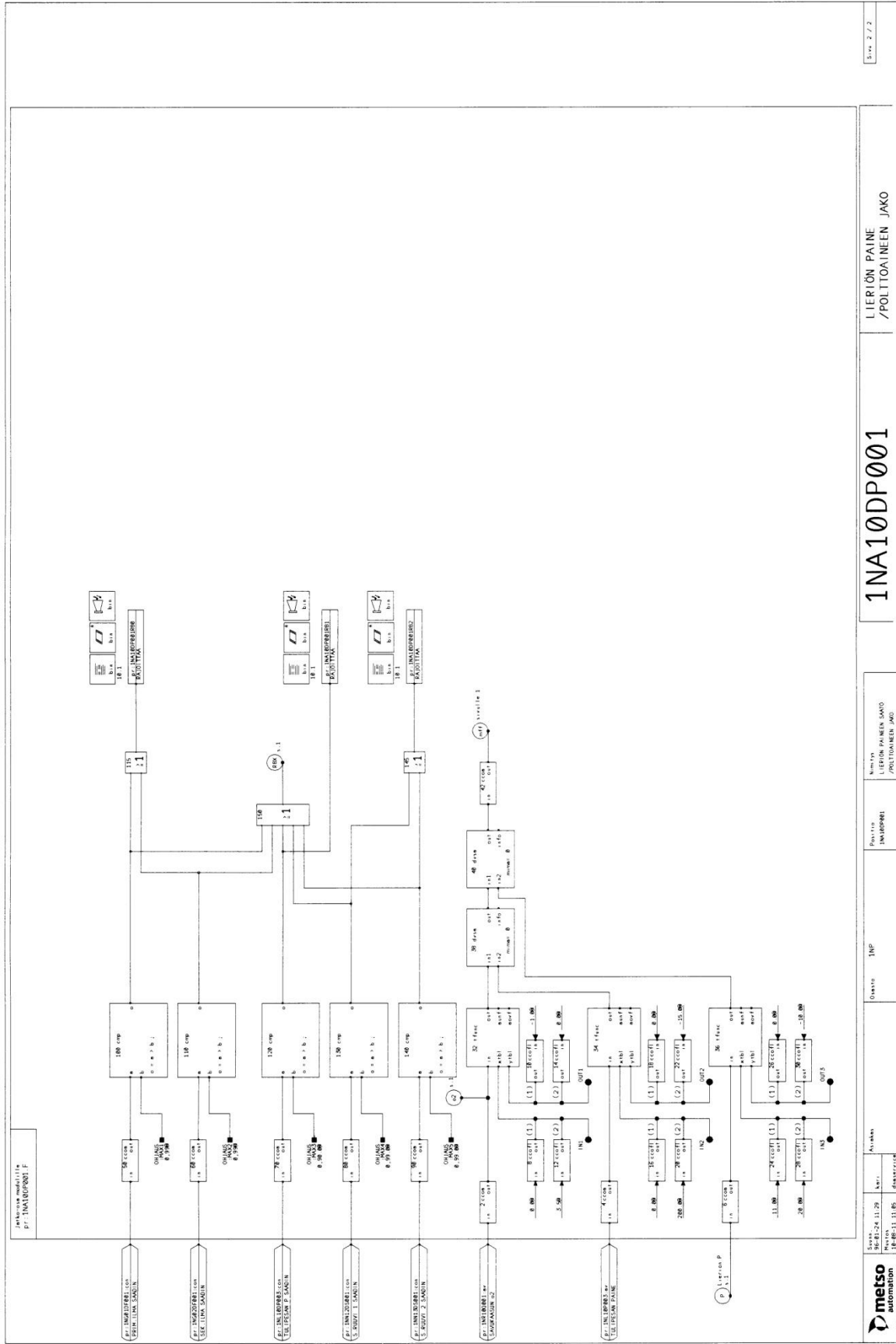
8.3 Johtopäätökset

Lieriön paineen säätäminen oli odotetusti haastavaa. Kiinteän polttoaineen polttoprosessissa on monia tekijöitä, jotka pitää ottaa huomioon säädintä suunniteltaessa. Säätimen suunnittelussa on pohdittava säätökohteeseen vaikuttavia tekijöitä sekä kohteen vaikutuksia muuhun prosessiin. Säädön virittäminen on kompromissien tekemistä ja kokonaisuudeltaan parhaan vaihtoehdon hakemista. PID-säätimellä ei voida yhtä aikaa maksimoida kaikkia ominaisuuksia.

Koska vesikattilalaitoksessa ei tuoteta höyryä, saavutetaan prosessissa riittävä tarkkuus yksinkertaisemmilla säätömenetelmillä. Lieriön paineen säätö PID-säätimellä on tällä hetkellä riittävän hyvä laitoksen tarpeisiin. Käytännön kokemusten perusteella voidaan todeta, että lieriön paine pysyy säätimen hallinnassa kohtalaisen hyvin. Ajettaessa laitosta pienillä ja keskisuurilla tehoilla säädin toimii erittäin hyvin. Suuremmilla tehoilla ajettaessa paineen vaihtelu on suurempaa, mutta testijakson aikana ei kertaakaan ylittänyt sallittuja rajoja. Liitteessä 2 on nykyinen lieriön paineensäätömoduuli. Jos lieriön paineen säätöä halutaan vielä parantaa, kannattaa harkita adaptiivista säätöä sekä lisäpanostusta polttoaineen syöttöketjuun.

LÄHTEET

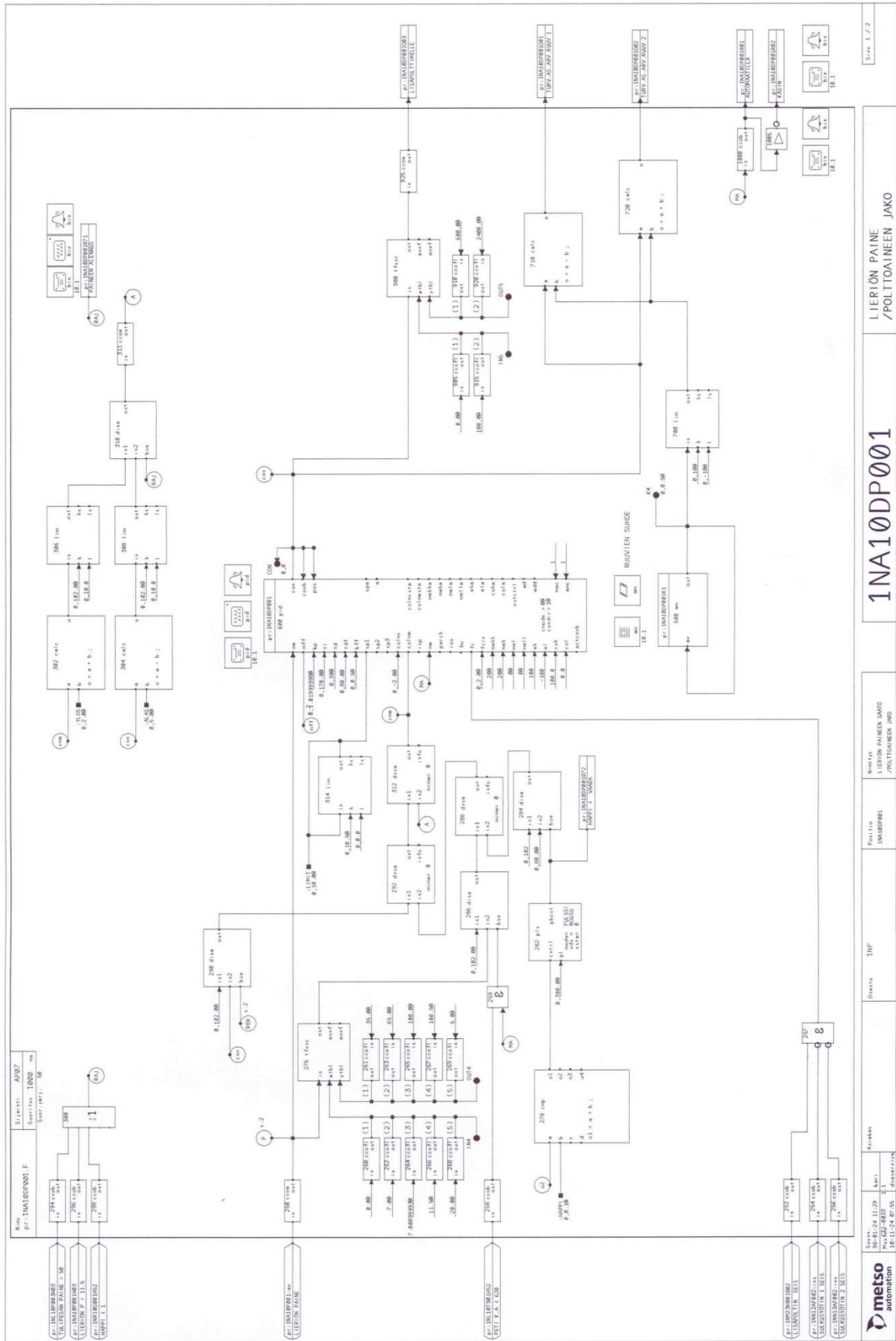
1. *Suosiolan turvekattilan käyttö ja turvallisuus ohjeet*. Rauma-Repola OY Witermo. M Lönnroth/MAr. 10.09.1986.
2. Energiateollisuus ry. *Kaukolämmön käsikirja*. Kaukolämpö. Kirjapaino Libris Oy 2006.
3. Metso Automation Oy:n jakama materiaali metsoDNA-huoltokurssilla Tampereella 2.6.2006.
4. Jukka Ylikunnari. *Oppimateriaali v.1.0.0 kurssiin TL6031 AUTOMAATIO-JÄRJESTELMÄT*. Oulun seudun ammattikorkeakoulu. Tekniikan yksikkö. Kevät 2003.
5. Urpo Kortela ja Jouko Virkkunen. *Säätötekniikan Perusteet*. Otakustantamo 1976.
6. AS-0.2230 Automaatio- ja systeemitekniikan laboratoriotyöt. *Työ 11 – PID-SÄÄTÖ*. Teknillinen korkeakoulu. Automaatio- ja systeemitekniikan laitos. https://noppa.tkk.fi/noppa/kurssi/as-0.2230/materiaali/AS-0_2230_tyo_11_tyoohje_2.pdf
7. Tero Joronen, Jenő Kovács ja Yrjö Majanne. *Voimalaitosautomaatio*. Suomen Automaatioseura ry. Copy-Set Oy, Helsinki 2007.
8. Jari Savolainen ja Reijo Vaittinen. *Säätötekniikan perusteita*. Opetushallitus. Gummerus Kirjapaino Oy 2003.
9. Yrjö Majanne. *Kehittyneet säätömenetelmät voimalaitossovelluksissa*. Energiatekniikan automaatio TKK 2007. <http://automation.tkk.fi/attach/AS-84-3134/kehittynytsaato.pdf>
10. metsoDNA CR Manuals. Collection 2009 Fi. V.12.1 build 1. 9.12.2009.
11. Asko K. Kippo ja Aimo Tikka. *Automaatiotekniikan perusteet*. Edita 2008.

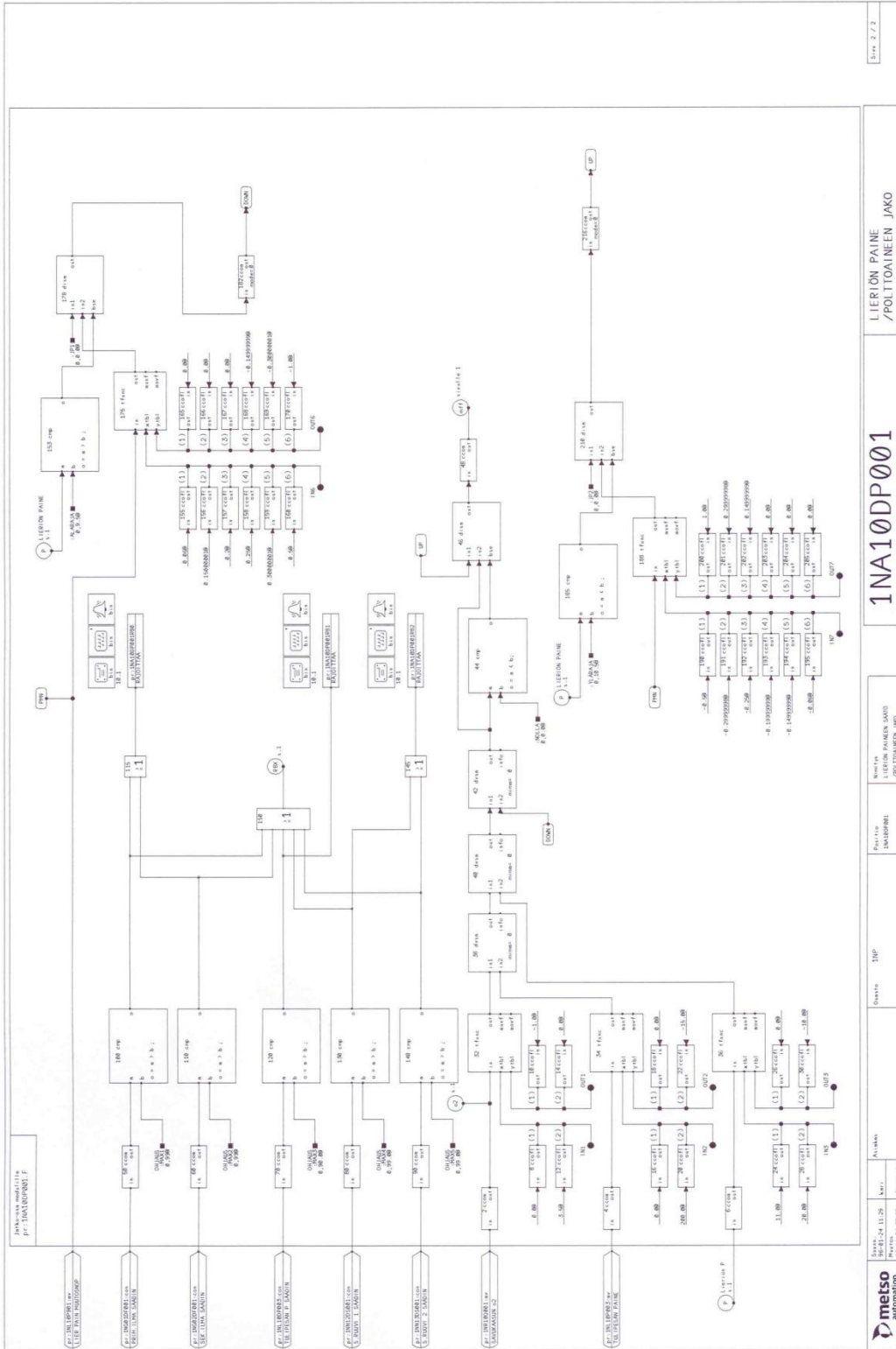


1NA10DP001



NYKYINEN LIERIÖN PAINENSÄÄTÖMODUULI





Sivu 2 / 2

LIIERION PAINE /POLTTOAINEN JAKO

1NA10DP001

Arkkitehti
LIIERION PAINEN JAOKO
KORTTILINNA PAIN

Projektori
SML000001

Quasito
TUP

Arkkitehti
SML000001
Paino
E=1124 Kf 05



Arkkitehti
SML000001
Paino
E=1124 Kf 05

www.savonia.fi

