

KYMENLAAKSON AMMATTIKORKEAKOULU

Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma / automaatiotekniikka

Seppo Immonen

KAUKOLÄMPÖLAITOKSEN RAPORTOINNIN KEHITTÄMINEN

Opinnäytetyö 2010

TIIVISTELMÄ

KYMENLAAKSON AMMATTIKORKEAKOULU

Kone- ja tuotantotekniikka

IMMONEN, SEPPO

Kaukolämpölaitoksen raportoinnin kehittäminen

Opinnäytetyö

45 sivua + liitesivu

Työn ohjaaja

DI Erkki Ristola

Toimeksiantaja

Vatajankosken Sähkö Oy

Marraskuu 2010

Avainsanat

voimalaitos, kaukolämpö, raportointi, automaatio

Kansainvälisen päästökaupan seurauksena turpeen käyttö maamme voimalaitoksissa tulee vähentymään ja vastaavasti puun poltto eri muodoissa lisääntyy. Tästä johtuen kattilan likaantumista ja nuohoustarvetta on seurattava entistä tarkemmin. Päästöjen kannalta kattilan kaikkien toimintojen seuranta on tärkeää. Vatajankosken Sähkö Oy:n Kankaanpään Kaukolämpölaitoksen raportoinnin ja tiedonkeruun kehittäminen käytönvalvonnan tehostamiseksi muodostui opinnäytetyöni aiheeksi.

Kankaanpään kaukolämpölaitoksessa pääautomaatiojärjestelmänä on Honeywell Total Plant Alcont, jolla ohjataan kattilalaitosta ja kaukolämmön jakelua. Lisäksi erillisellä kaukokäyttöjärjestelmällä operoidaan kaukolämpöverkoston apukattiloita. Opinnäytetyöhön liittyen pääautomaatiojärjestelmän laitteistoa päivitettiin, kahden prosessiase-
man prosessorikortit vaihdettiin uudempiin ja tehokkaampiin. Automaatiojärjestelmään tehtiin lausekieliohjelmaa energiavirtojen laskentaan höyryn ja lauhteen entalpioiden perusteella. Laitoksen raportointitietojen visualisointiin suunniteltiin graafinen näyttökaavio. Pitkän aikavälin tieto tallennetaan historiatietokantaan.

Raportointia ja tiedonkeruuta kehittämällä laitoksen häiriötöntä ja tehokasta toimintaa voidaan edistää. Historiatietojen sekä laskettujen tehojen ja häviöiden avulla laitoksen hyötysuhdetta voidaan tarkkailla ja ajettavuutta parantaa. Lisäksi tällä historiatiedon keruulla voidaan saada aikaan merkittäviä parannuksia säätöjen vireessä pysymiseen pitkällä aikavälillä. Ajoittaiset tai jaksottaiset poikkeamat löydetään helposti historiatietoja analysoimalla. Ongelmien aiheuttajiin päästään puuttumaan ajoissa, ennen tilanteen muuttumista vakavaksi, jolloin seurauksena olisi laitoksen alasajo.

ABSTRACT

KYMENLAAKSON AMMATTIKORKEAKOULU

University of Applied Sciences

Mechanical and Production Engineering

IMMONEN, SEPPO

Bachelor's Thesis

Supervisor

Commissioned by

March 2010

Keywords

The Development of Data Logging in a Power Plant

45 pages + one appendix

Erkki Ristola, M.Sc.

Vatajankosken Sähkö Oy

district heating power plant, monitoring, automation

Due to international emission trading, the use of peat will decrease, and the burning of wood in different physical states will increase. The monitoring of contamination and dust removing in boilers has to be followed. Thus, emissions tracing is important, and operations have to be improved. The development of monitoring and data logging at Vatajankosken Sähkö Oy Kankaanpää thermal power plant became my thesis work.

The main distributed control system (DCS) in the Kankaanpää thermal power plant is Honeywell Total Plant Alcont which controls the boiler unit and the district heating system. The district heating network is operated by a separate remote-drive operation station. The DCS hardware was updated in this project. The processor cards in two process modules were replaced by new ones. New high-level language applications for computing energy flows based on water steam enthalpy were programmed in the DCS. An HMI graphical display was designed to visualize the logged data of the plant. Long-term data is stored in the process history database.

Correct and cost-effective operations can be performed by developing the monitoring and data logging. The performance and runnability can be improved by history data considerations. The tuning of the control loops in longer term can be significantly improved by process data logging as well. By analyzing the history data, occasional or periodic variations can easily be located. The problem situations are identified early enough before the problems get worse, and the process might have to be shut down.

ALKUSANAT

Tämä opinnäytetyö on tehty Vatajankosken Sähkö Oy:n Kankaanpään kaukolämpölaitokselle. Haluan erityisesti kiittää voimalaitospäällikkö Pentti Korvalaa mielenkiintoisesta opinnäytetyön aiheesta ja suuresta perehdyttämisyavusta kaukolämpölaitoksella. Lisäksi haluan kiittää kaukolämpöpäällikkö Jorma Pihlajamäkeä sekä kunnossapito- ja valvomohenkilökuntaa asiantuntevasta opastuksesta laitoksella.

Lisäksi haluan kiittää työni ohjaajaa DI Erkki Ristolaa Kymenlaakson Ammattikorkeakoulusta. Samoin kiitokset ansaitsee yliopettaja Merja Mäkelä, joka myös osallistui työni ohjaukseen.

Seppo Immonen

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

1	JOHDANTO	6
2	KAUKOLÄMPÖLAITOKSEN TOIMINTA	6
	2.1 Hörykattila	8
	2.2 Sähkön tuotanto	9
	2.3 Kaukolämpöprosessi	9
3	LAITOKSEN AUTOMAATIO	11
	3.1 Pääautomaatiojärjestelmä	12
	3.2 Muut automaatiojärjestelmät	14
4	RAPORTOINNIN KEHITTÄMISTOIMENPITEET	17
	4.1 Nykyisten suureiden käyttö	18
	4.2 Uudet laskennat	19
	4.2.1 Kattilatehon laskenta	21
	4.2.2 Savukaasuhäviöiden laskenta	25
	4.2.3 Kattilan säteilyhäviöiden laskenta	28
	4.2.4 Ulospuhallushäviöiden laskenta	29
	4.3 Energiaraportin ulkoasu	30
	4.4 Raportoinnin hyödyntäminen	32
5	SÄÄTÖ- JA OHJAUSTOIMINTOJEN SUORITUSKYVYN SEURANTA	33
	5.1 Säättöpiirien suorituskykyindeksit	36
	5.1.1 Asettumisaika	36
	5.1.2 Virheintegraali	37
	5.1.3 Moodi	38
	5.1.4 Tilastolliset suureet	38
	5.2 Suunnitelma piirien seurantaan	39
6	JOHTOPÄÄTÖKSET	41
	LÄHTEET	44
	LIITTEET	

1 JOHDANTO

Kankaanpään kaukolämpölaitoksella puun ja muun kiinteän polttoaineen käyttö tulee lisääntymään. Tämä on seurausta kansainvälisestä päästökaupasta, joka ei suosi turpeen polttoa. Turve on suuri kasvihuonekaasupäästöjen aiheuttaja. Vaikka turve onkin kotimainen ja uusiutuva polttoaine, sen käyttö suhteessa muihin kiinteisiin polttoaineisiin verrattuna tulee vähenemään. Turve polttoaineena on tasalaatuista koostumukseltaan ja muutenkin hyvin polttokelpoista. Turpeen poltosta ei synny syövyttäviä yhdisteitä samalla tavalla kuin puupolttoaineista. Kun puun poltto eri muodoissa on lisääntynyt kattilassa, on sen sisäpintojen likaantuminen nopeutunut. Tämä puolestaan aiheuttaa kasvavaa nuohoustarvetta, että saataisiin kattila toimimaan riittävän hyvällä hyötysuhteella. (Korvala & Pihlajamäki 2010.)

Hyvän hyötysuhteen ylläpitämiseksi kattilalaitoksella on ilmennyt myös tarvetta käytönvalvonnan ja operoinnin tehostamiseen. Opinnäytetyön tarkoituksena on kehittää Kankaanpään kaukolämpölaitoksen raportointia ja tiedonkeruuta Honeywell Total Plant Alcont -pääautomaatiojärjestelmässä sekä siihen kytketyssä tiedonkeruujärjestelmässä. Kyseistä järjestelmää kutsutaan Process History Database (PHD). Opinnäytetyöhön kuuluu raportoinnin ensimmäisen vaiheen suunnittelu ja toteutus nykyisiin järjestelmiin. Lisäksi suunnitellaan valmiiksi tulevien vuosien kehitystarpeita automaatiojärjestelmissä.

Osana opinnäytetyötä on myös kerätyn tiedon jalostaminen ja hyödyntäminen laitoksen ja sen yksittäisten säätöjen pitkäaikaiseen vireessä pitämiseen. Käynnissäpidon parantaminen jatkuu tulevina vuosina. Vuoden 2010 tavoitteena on nimenomaan kattilan ja koko kaukolämpölaitoksen hyötysuhteen seurannan kehittäminen.

2 KAUKOLÄMPÖLAITOKSEN TOIMINTA

Höyryvoimalaitokset voidaan jakaa toimintaperiaatteensa perusteella vastapainevoimalaitoksiin ja lauhdutusvoimalaitoksiin. Vastapainevoimalaitoksissa turbiinista ulos tulevan höyryn paine on niin korkea, että sitä voidaan vielä hyödyntää. Kaukolämpölaitokset ovat juuri tällaisia tyypillisiä vastapainevoimalaitoksia, joissa kaukolämpöenergia saadaan matalapainehöyrystä turbiinin jälkeen. Lauhdutusvoimalaitoksissa turbiinin jälkeisen höyryn paine ja lämpötila ovat niin alhaiset, ettei niitä voida hyödyntää. (Huhtinen et al. 2008, 109 - 111.)

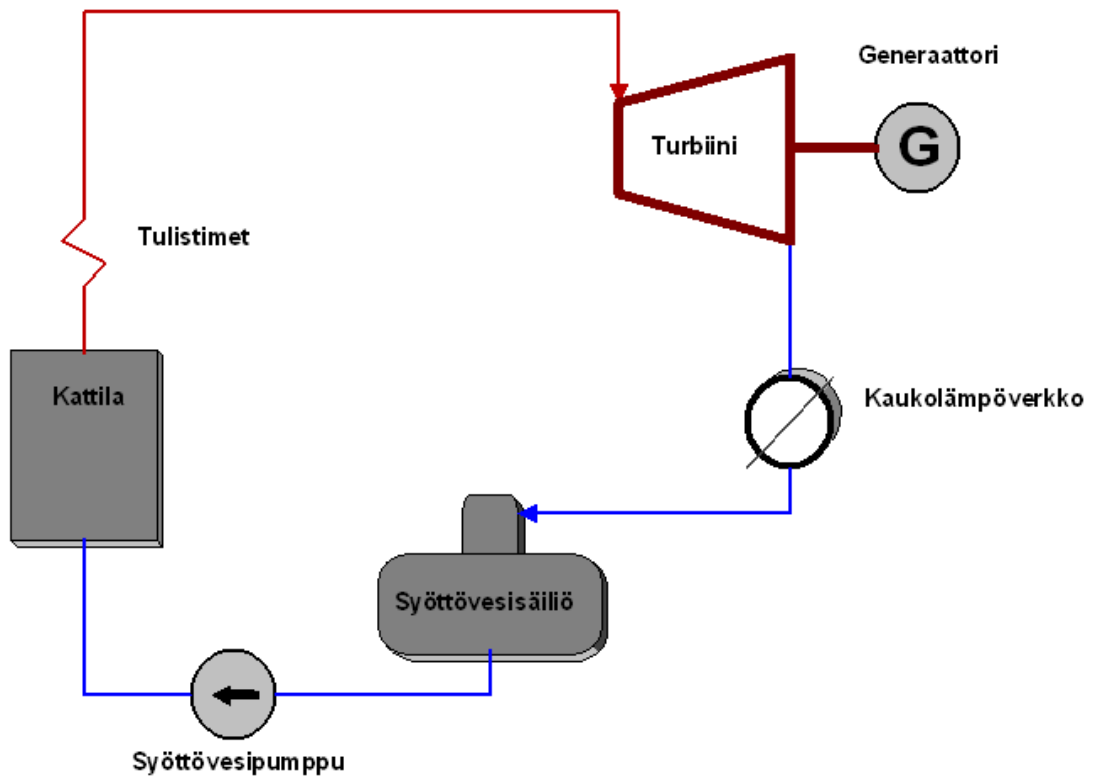
Vatajankosken Sähkö Oy:n Kankaanpään kaukolämpölaitoksen ensimmäinen vaihe on rakennettu 1982, jolloin otettiin käyttöön kaasutustekniikkaan perustuva lämpökeskus. Nykyiseen laajuuteen laitos on valmistunut 1992, jolloin rakennettiin uusi leijupetikatila. Laitoksen pääpolttoaine on jyrshinturve, mutta kattilassa voidaan polttaa myös muita kiinteitä polttoaineita, kuten palaturvetta, kuorta, haketta ja purua sekä myös pieniä määriä kauppakelvotonta viljaa. Polttoaineen vastaanottoasemalta polttoaine siirretään kuljetinjärjestelmällä kattilalle. Sytytyspolttoaineena käytetään kevyttä polttoöljyä starttipolttimissa.

Voimalaitosprosessin pääkomponentteja ovat kattila, turbiini, syöttövesisäiliö ja syöttövesipumput. Liitteessä 1 esitetään Kankaanpään kaukolämpölaitoksen prosessikaavio. Sen suorituskyvystä kertovat eri osien nimellistehot:

- kattilan lämpöteho 24,0 MW
- turbiinin sähköteho 6,0 MW_e
- kaukolämmönsiirrin (kaukolämmönvaihdin) 18,0 MW.

Tämän kokoluokan kaukolämpöä tuottavia sisarlaitoksia on Suomessa runsaasti. Pienhköjen kaukolämpölaitosten prosessikytkennät ovat selkeitä ja yksinkertaisia sekä taloudellisesti kannattavia toteuttaa. Suurehkoissa, 50 MW:n kaukolämpölaitoksissa on usein sähköntuotannon hyötysuhdetta parantavia ratkaisuja, kuten monivaiheinen kaukolämpöveden lämmitys, syöttöveden lämmitys väliottohöyryllä sekä turbiinihöyryn välitulistus (Huhtinen et al., 2008, 47).

Kankaanpään kaukolämpölaitoksen yksinkertaistettu prosessikaavio on esitetty kuvassa 1. Kattilassa tuotettu höyry johdetaan turbiinille sähkön tuotantoon. Turbiinin lauh-teesta otetaan energia kaukolämpöverkkoon ennen lauhteen palauttamista syöttövesisäiliön kautta takaisin kattilaan. Kaukolämpöverkko sisältää lisäksi pieniä kattilayksiköitä, joilla verkon tehoa voidaan tarvittaessa nostaa. Vaihtoehtoisesti näillä apukattiloilla voidaan ylläpitää verkon vaatima teho kesäaikana, pääkattilan huoltoseisokin aikana.



Kuva 1. Voimalaitoskattilassa tuotettu lämpöenergia johdetaan turbiinille sähkön tuotantoon ja sieltä kaukolämmönvaihtimella kaukolämpöverkkoon.

2.1 Höyrykattila

Kattilassa sinne syötetty vesi lämmitetään kiehumispisteeseen. Paineen alaisuudessa sitä edelleen höyrystetään ja edelleen lämmitetään eli tulistetaan. Kattilatoimittaja on ollut Ahlström, nykyinen Foster Wheeler. Kattilan tekniset tiedot valmistajan mukaan ovat:

- lämpöteho 24 MW
- suurin sallittu käyttöpaine 75 bar
- tulistetun tuorehöyryn paine 61 bar
- tulistetun tuorehöyryn lämpötila 510 °C
- höyrymäärä eli massavirta 7,9 kg/s (Värjy 2007).

2.2 Sähkön tuotanto

Kattilassa tuotetun höyryn energiasta osa muutetaan turbiinissa mekaaniseksi energiaksi ja siihen kytketyllä generaattorilla sähköksi. Höyryturbiinin on valmistanut Blohm+Voss Hampurissa Saksassa. Generaattorin on valmistanut ABB Strömberg Helsingissä. Voimalaitoksen tuottama nimellinen sähköteho on 6,0 MW. Kaukolämpölaitoksilla sähkön tuotanto on prosessin rakenteesta johtuen usein sidoksissa kaukolämmön tuotantoon. Kaukolämpöverkoston tehon tarve siis määrää kattilatehon ja siis myös turbiinille menevän tulistetun höyryn määrän.

Laitokselle on rakennettu jälkiasennuksena erillinen liuosjäähdytinlaitteisto, jolla kaukolämpöverkoston vesijärjestelmää voidaan jäähdyttää silloin, kun sähköä halutaan tuottaa, vaikka kaukolämpökuormaa ei olisikaan. Järjestelmää käytetään, jos sähkön tuotanto katsotaan kannattavaksi ja laitoksella myös muut toiminnalliset osat ovat valmiudessa eikä esimerkiksi huoltoseisokissa. Sähkön tuotannon aloituspäätökseen vaikuttaa sähkön pörssihinta, jota seurataan Energiameklarit Oy:n tuottaman palvelun välityksellä. Yhteistyössä asiantuntijayrityksen kanssa voimalaitoksella on käytettävissä päivittäin sähkön pörssihinta jokaiselle vuorokauden tunnille.

Kaukolämpölaitoksen sähköjärjestelmään on kytketty varavoimakone, jota käytetään sähkön tuotantoon poikkeustilanteissa. Varavoimakonetta käytetään saarekekäytössä, kun laitos ei ole kytkettynä valtakunnalliseen sähköverkkoon tai sitä käytetään muussa laitoksen sähköhäiriössä. Varavoimakoneen on valmistanut Dorman Diesel. Tyypikilven mukaan varavoimakoneen nimellisteho on 1450 kVA (1,2 MW). Varavoiman ohjausautomaatio on uudistettu 2000-luvulla ja sen on toimittanut Sisudiesel Nokialta. Varavoimakoneen koekäyttö ja testiajo suoritetaan ohjeistuksen mukaisesti säännöllisin väliajoin.

2.3 Kaukolämpöprosessi

Kankaanpään kaukolämpöjärjestelmä muodostuu laitoksen pääkattilasta ja useista pienistä yksiköistä kaukolämpöverkossa. Käytännön huipputeho koko verkossa on noin 35 MW. Voimalaitoksella tehosta voidaan tuottaa 18 MW. Muita vaihtoehtoja kaukolämmön tuottamiseen ovat seuraavat verkostoon kytketyt kohteet:

- Koskenoja on vanha turvekattila, joka sijaitsee samalla tontilla päärakennuksen kanssa. Se on muutettu toimimaan raskaalla polttoöljyllä (RÖ). Tätä käytetään lähinnä apukattilana, kun pääkattila on huollossa. Kattilan teho on 8 MW + 5 MW.
- Soikka otetaan käyttöön tarpeen mukaan. Tämän RÖ-kattilalaitoksen teho on 4 MW + 2 MW.
- Koulu otetaan käyttöön tarpeen mukaan. Tämän RÖ-kattilan teho on 8 MW.
- Niinisalo on noin 8 km päässä sijaitseva varuskunta. Siellä on kaksi kevytöljykattilaa (KÖ). 6 MW:n kattilaa käytetään lähinnä vikatilanteissa. Huippukuorimituksen aikaan, kovilla pakkasilla, voidaan käyttää 1,4 MW:n kattilaa.
- Kuntoutuskeskus on stand-by-kattila, joka käynnistyy aina automaattisesti tarvittaessa. Tämän KÖ-kattilan teho on 2 MW.
- Terveyskeskus on stand-by-kattila, joka käynnistyy aina automaattisesti tarvittaessa. Tämän KÖ-kattilan teho on 1,2 MW.
- Lisäksi samaan järjestelmään lasketaan kuuluvaksi 0,3 MW:n paikallisverkko erillisellä teollisuusalueella.

Kaikkia lueteltuja kattiloita ohjataan ja valvotaan keskitetysti kaukolämpölaitoksen keskusvalvomosta kaukokäyttöjärjestelmän avulla. Kaukolämpölaitoksen valvomossa ovat ohjauspäätteet ja -paneelit voimalaitosprosessin ja sähkön tuotannon sekä kaukolämmön tuotannon ja jakelun ohjausta ja valvontaa varten. Valvomossa seurataan videonäyttöiltä polttoainekuljettimien toimintaa sekä turvakameroiden näyttöjä. Yleiskuva voimalaitoksen valvomosta on kuvassa 2. Käynnin aikana laitoksella on jatkuva miehitys. Operaattorilla on käytössä graafiset käyttöliittymät sekä voimalaitosprosessien ohjaukseen että kaukolämpöjärjestelmän etäkäyttöön valvomosta. Osa ohjattavista kohteista laitoksella vaatii toki kentällä käyntiä ja paikallisten mittareiden tarkkailua sekä ohjausta paikallisista ohjauspaneeleista. Ohjeistuksen mukaisesti operaattorin varustukseen kuuluu turvapainike, jonka aktivointi välittää hälytystiedon vartijalle. Hälytyksen saatuaan vartija etsii hälytyskohteen.



Kuva 2. Kankaanpään kaukolämpölaitoksen valvomossa ohjataan Alcont-järjestelmällä voimalaitoskattilaa ja kaukolämmön tuotantoa. Videovalvonnalla seurataan mm. polttoainekuljettimia. Operaattorilla on ohjeistuksen mukainen turvapainike kaulassa.

3 LAITOKSEN AUTOMAATIO

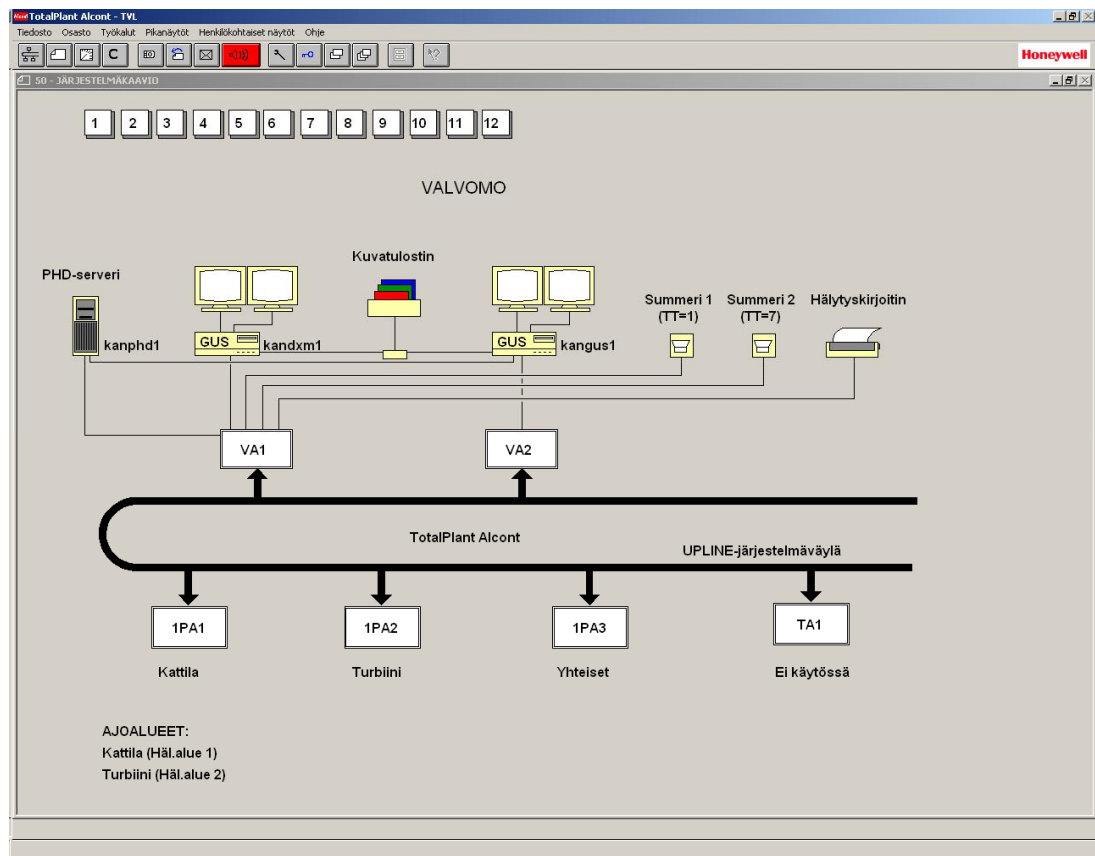
Muiden prosessien tapaan kaukolämpölaitoksia ohjataan, paitsi perinteisillä automaatiojärjestelmillä, myös ohjelmoitavilla logiikkajärjestelmillä. Suomessa tunnetuimmat prosessiautomaatiojärjestelmätoimittajat energian tuotannossa ovat Siemens, Metso, Honeywell ja ABB. Logiikkajärjestelmien markkinajohtaja on Siemens. Muita teollisuuden logiikkatoimittajia ovat esimerkiksi Mitsubishi ja Omron.

Kankaanpään kaukolämpölaitosta ohjataan keskitetysti valvomosta. Pääprosesseja ohjataan Honeywellin vuonna 1992 toimittamalla Alcont-automaatiojärjestelmällä. Järjestelmä on päivitetty Total Plant Alcont -järjestelmäksi vuonna 2004. Tässä yhteydessä kaikki ohjelmistot muuttuivat Windows-pohjaisiksi sovellusohjelmien ja käyttöliittymien osalta. Windows-ympäristössä monien tukisovellusten käyttö sujuu jouhevasti, yhteydet ulkomaailmaan ovat standardisoidut. Samassa päivityksessä Honey-

well toimitti laitokselle PHD-järjestelmän, jolla kerätään historiatietoa prosessista. Vuonna 2010 automaatiojärjestelmää on edelleen päivitetty vastaamaan tämän päivän vaatimuksia varsinkin raportoinnin kehityksen osalta. Prosessiasemille on vaihdettu tehokkaammat XPR -prosessorikortit.

3.1 Pääautomaatiojärjestelmä

Alcont-järjestelmällä ohjataan kattilan ja kaukolämmön prosesseja sekä joitakin oheisprosesseja, kuten esimerkiksi liuosjäähdytinlaitteistoa. Automaatiojärjestelmä sijaitsee kokonaisuudessaan valvomotiloissa. Operointipäätteet ovat ohjauspöydällä, johon on sijoitettu myös kaukokäyttöjärjestelmän ohjauspääte sekä kaikki valvontakameroiden näytöt ja niiden ohjaimet. Total Plant Alcont -automaatiojärjestelmä on avoin, hajautettu prosessinohjausjärjestelmä, jonka perustana ovat modulaariset laitteistot ja ohjelmistot. Järjestelmäkaavio on esitetty kuvassa 3. (Honeywell Oy 2004.)



Kuva 3. Kankaanpään kaukolämpölaitoksen automaatiojärjestelmän kokoonpanosta on tehty valvomon käyttöliittymään havainnollinen järjestelmäkaavio, jossa näkyy järjestelmän valvomolaitteet ja eri asemat sekä niiden väliset kytkennät.

Prosessien ohjausta ja valvontaa varten järjestelmässä on kaksi operoinnin työasemaa (Global User Station, GUS). Kumpikin GUS käsittää Windows XP -työaseman, kaksi näyttöä, näppäimistön ja hiiren. Operointiohjelmiston lisäksi toinen GUS sisältää myös ohjelmointityökalut (Design Module, DxM). Operointikäytössä oleva GUS on kytketty lisäksi PHD-serveriin, jolloin valvomoon saadaan myös pitkän ajan historiatidot. Operointipäätteiltä on yhteys värilasertulostimelle, johon voidaan tulostaa ajokaavioista ja raporttisivuista haluttuja ajotilanteita. Myös suunnittelun aikana ja vianhakutilanteissa voidaan tulostaa ohjelmalohkoja ja -listauksia.

Operointipäätteiden lisäksi valvomokalusteisiin kuuluu kaksi hälytyssummeria eritasoisia hälytyksiä varten. Hälytyskirjoitin tulostaa kaikki järjestelmän generoimat hälytykset sekä niiden poistumisen.

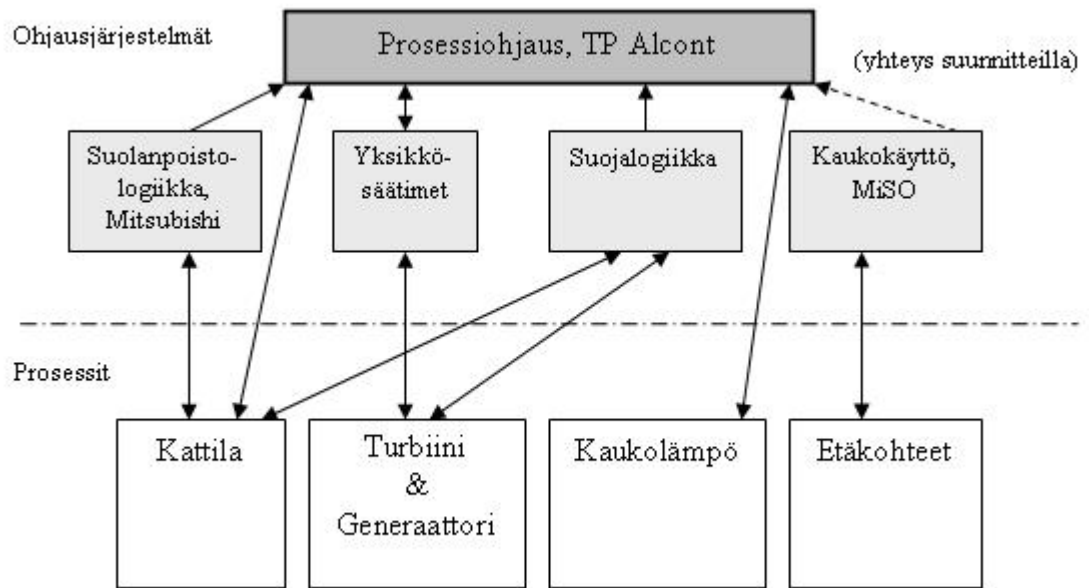
Varsinaiset järjestelmäkaapit sijaitsevat valvomon takaosassa. Kolmeen kaksipuoleiseen kaappiin on sijoitettu kaikki ohjauselektronikka ja kentälaitteiden liittynät ristikytkentärimojen kautta järjestelmän tulo- ja lähtöliityntäkorteille (Input- ja Output-korteille, IO-korteille). Tavanomaisia IO-korttityyppejä ovat analogiset tulot (Analog Input, AI), analogiset lähdöt (Analog Output, AO), binääriset tulot (Binary Input, BI) ja binääriset lähdöt (Binary Output, BO). AI-korteille voidaan kytkeä esimerkiksi painelähtimiä ja AO-korteille säätöventtiilejä. BI- ja BO-korteille kytketään esimerkiksi auki-kiinni-venttiilejä sekä moottorikontaktoreja. Automaatiojärjestelmä koostuu seuraavista pääkomponenteista, jotka kytkeytyvät toisiinsa Upline-järjestelmäväylällä:

- Valvomoasema 1 (VA1) sisältää sovellus- ja varusohjelmien varmuuskopiot. Nimensä mukaisesti valvomoasema hoitaa käyttöliittymän ohjattavan prosessin ja operaattorin välillä. Se huolehtii tiedonsiirtojen reitityksestä eri asemien välillä sekä hälytysten käsittelystä. VA1:lle on kytketty hälytyskirjoitin ja hälytyssummerit sekä toinen kahdesta GUS-käyttöliittymästä. Lisäksi PHD-tiedonkeruserverin kytkentä automaatiojärjestelmään on toteutettu VA1:n kautta.
- Valvomoasema 2 (VA 2) on valvomoasemaparin toinen osapuoli. Järjestelmäarkkitehtuuriin kuuluu yleensä aina kaksi valvomoasemaa, jotka ovat identtisiä ja varmentavat toinen toisensa. VA2:lle on kytketty toinen kahdesta GUS-käyttöliittymästä.

- Prosessiasema 1 (1PA1) hoitaa itsenäisesti **kattilan alueen** säätö- ja ohjaustoiminnot. Prosessiasemaan liittyy 19 kpl monikanavaisia IO-kortteja, joilla kenttälaitteet ovat yhteydessä järjestelmään.
- Prosessiasema 2 (1PA2) hoitaa itsenäisesti **turbiinin alueen** säätö- ja ohjaustoiminnot. Prosessiasemaan liittyy 19 kpl monikanavaisia IO-kortteja, joilla kenttälaitteet ovat yhteydessä järjestelmään.
- Prosessiasema 3 (1PA3) hoitaa itsenäisesti **yhteisten prosessialueiden** säätö- ja ohjaustoiminnot. Prosessiasemaan liittyy 15 kpl monikanavaisia IO-kortteja, joilla kenttälaitteet ovat yhteydessä järjestelmään.
- Tietoasema 1 (TA1) ei ole käytössä tällä hetkellä. Ennen järjestelmäpäivitystä se hoiti tiedonkeruuta ja -käsittelyä. PHD-tiedonkeruujärjestelmä on korvannut vanhentuneen tietoaseman.
- UPLINE-järjestelmäväylä yhdistää kaikki osaston omia tehtäviään hoitavat asemat toisiinsa. Se on häiriösietoinen HDLC-kehysrakenteisia sanomia välittävä kahdennettu koaksiaaliväylä, jonka nopeus on 1 Mbit/s tai vaihtoehtoisesti lyhyemmillä etäisyyksillä joko 2 tai 4 Mbit/s. (Honeywell Oy 2005.)

3.2 Muut automaatiojärjestelmät

Kaukolämpölaitoksella on Alcont-järjestelmän lisäksi muita pieniä ohjausjärjestelmiä eri kohteisiin. Näistä tärkeimpiä ovat suolanpoistolaitteistoa ohjaava erillislogiikka, kattilan suojalukituksia ohjaava relelogiikka ja turbiinin säätöjä ohjaava laitteisto. Kuvassa 4 on koottu eri osaprosessien ja ohjausjärjestelmien väliset yhteydet. Kaikki tiedonsiirto TP Alcont -pääautomaatiojärjestelmän ja prosessin välillä tapahtuu IO-korttien välityksellä. Osa tiedoista on johdettu logiikkajärjestelmien ja yksikkösäätimien kautta pääautomaatiojärjestelmään.



Kuva 4. Kankaanpään kaukolämpölaitoksen ohjausjärjestelmien ja prosessin eri osien väliset yhteydet on kuvattu suuntanuolien avulla.

Kattilaan syötettävän lisäveden suolanpoisto on toteutettu omana kokonaisuutenaan. Sen on toimittanut ruotsalainen Vattenteknik. Suolanpoistolaitteiston ohjaus on kokonaisuudessaan erillisessä Mitsubishi-logiikkajärjestelmässä, josta on välitetty vain hälytys-signaalit ja tärkeät käyttötiedot valvomoon pääautomaatiojärjestelmän välityksellä. Tulevaisuudessa suolanpoiston logiikkaohjaus tullaan uusimaan, jolloin logiikan ja pääautomaatiojärjestelmän välille saadaan sujuva tiedonsiirtoyhteys.

Laitteiden rikkoutumisen estämiseksi ja turvallisen käytön varmistamiseksi on suojalogiikassa joukko lukituksia ja pikasulkuja. Lukituksella ohjataan laite tai prosessin osa turvalliseen tilaan poikkeustilanteessa. Suurin osa lukituksista ja pikasuluista on toteutettu automaatiojärjestelmässä, mutta kaikkein tärkeimmät kattilasuojat on toteutettu langoitetulla relelogiikalla, kuparipuolella. Erillistä digitaalista turvalogiikkajärjestelmää ei ole. Vaaran arvioinnin voimalaitoksella ovat suorittaneet kaukolämpöpäällikkö Jorma Pihlajamäki ja voimalaitospäällikkö Pentti Korvala. Koko laitoksen toiminnan edellytyksenä ovat seuraavat suojalukitukset:

- relelogiikan ohjausjännitepiiri jännitteinen
- hätäseis-painiketta ei painettu (painikkeita yhteensä 7 kpl)
- palolaukaisu ei päällä (palokytкимиä 2 kpl ja palosulakkeita 3 kpl).

Laitostoimittajan dokumentoinnin mukaiset häiriöt, jotka aiheuttavat turbiinin pikasulun, ovat alla olevassa taulukossa 1. (Ahlstrom Boilers 1992.)

Taulukko 1. Turbiinin pikasulun aiheuttavat lukitukset.

Positio	Nimi	Lukitusraja
TZRA10T501	Tulohöyryn lämpötila alhainen	370 °C
PZASA10P501	Tulohöyryn paine alhainen	40 bar
PZSA10P504	Poistohöyryn paine korkea	1,3 bar
GIZSB11G501	Akselisiirtymä suuri	0,3 mm
PZSK10P501	Vaihteistoöljyn paine alhainen	1,2 bar

Kankaanpään vastapainelaitoksessa turbiini säättää höyryverkon painetta ohjaamalla turbiinin läpi menevää höyrymäärää vastaamaan kaukolämmönvaihtimen vaatimaa tehoa. Säädön toteuttaa digitaalinen, ohjelmoitava amerikkalaisvalmisteinen TRI-SEN TS310 -säädin. Turbiinin oheistoiminnoilla on lisäksi yksikkösäätimiä, jotka on valmistanut Hartmann & Braun. Turbiiniin kytketyn generaattorin ohjauksesta huolehtii ABB Strömbergin toimittama jännitesäädin GX 300 P ja generaattorisuoja SPAG 331 C (Lindstedt 2007, 11).

Muulla kuin voimalaitoksella olevia kaukolämpöverkon laitteita, esimerkiksi apukattiloita, ohjataan ja valvotaan kaukokäyttöjärjestelmällä. MiSO-kaukokäyttöjärjestelmä on mikkililäisen Mipro Oy:n kehittämä tuote vesi- ja energiahuollolle. Nykyinen Unix-pohjainen laitteisto on tarkoitus päivittää tulevaisuudessa Windows-ympäristöön, jolloin yhteydet muihin järjestelmiin voidaan toteuttaa uudenaikaisilla standardoiduilla ratkaisuilla. Historiatiedon keruu kaukokäyttöjärjestelmän alaisista prosesseista PHD-tietokantaan on lähitulevaisuuden haasteita. Kaukokäyttöjärjestelmän ohjauspääte näkyy kuvassa 5. Kaukokäyttöjärjestelmän verkostokaaviossa on esitetty kaikki kaukolämpöjärjestelmän kattilat niiden maantieteellisen sijaintinsa mukaan. Verkostokaavion lisäksi kaikista verkoston kattiloista on yksityiskohtaiset näytöt, joissa on esillä kaikki valitun kohteen käytettävissä oleva tieto. Kuvassa 5 on esillä koulukeskuksen lämpölaitoksen prosessinäyttö kaukokäyttöjärjestelmän työasemalla.



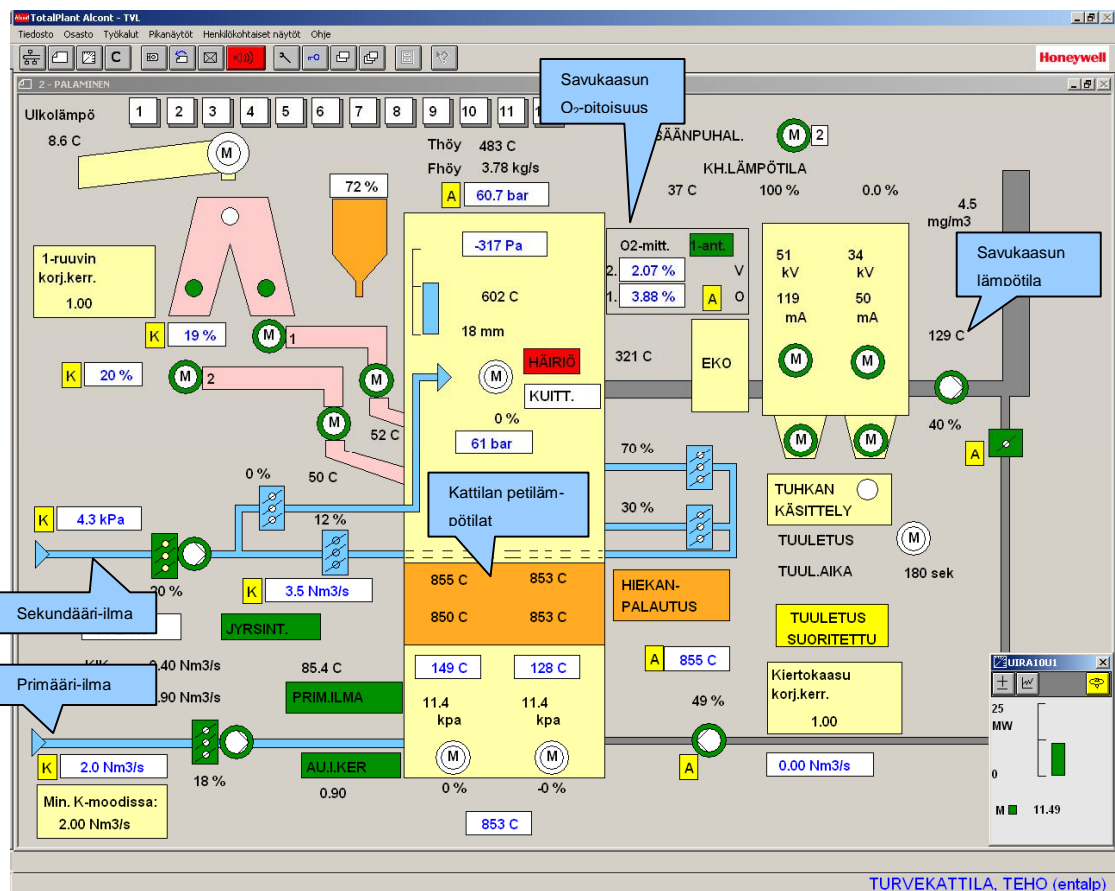
Kuva 5. Kankaanpään kaukolämpölaitoksen valvomossa etualalla on MiSO-kaukokäyttöjärjestelmän ohjauspäätte laitoksen ulkopuolella, kauempana olevien kohteiden valvontaa varten. Vasemmalla näkyvät laitoksen hätäseis-painikkeet ja taustalla ABB Strömbergin toimittama ohjaustaulu, josta generaattoria ohjataan.

4 RAPORTOINNIN KEHITTÄMISTOIMENPITEET

Tähän asti Kankaanpään kaukolämpölaitoksella prosessidatan keruu on ollut lähinnä Total Plant Alcont -järjestelmän prosessiasemien IO:n kautta tulevien analogisten mittaustietojen sekä tärkeiden moottoreiden ja venttiileiden tilatietojen siirtämistä PHD-tiedonkeruujärjestelmän tietokantaan. Historiatiedon keruu tapahtuu pääasiassa kahden minuutin syklillä. Hitaasti muuttuvien mitta-arvojen keruu tapahtuu kymmenen minuutin välein. Mittaustietoja voi olla tallennettuina useiden vuosien ajan. Kerättyä prosessidataa voidaan helposti tutkia taulukko- tai grafiikkamuodossa eri aikajännteillä. Datan analysointiin on myös työkalut PHD-järjestelmässä. Mittaustiedoista voidaan laskea tilastollisia suureita, esimerkiksi keskiarvoja ja -hajontoja määrättyltä aikaväliltä. Tiedon käyttötarpeen mukaan data voidaan siirtää johonkin muuhun järjestelmään, esimerkiksi Excel-tilaukuna.

4.1 Nykyisten suureiden käyttö

Menneinä vuosina prosessinohjaus on tapahtunut pelkästään senhetkisen tilanteen ja muistinvaraisten tapahtumien pohjalta. Tärkeitä, yksittäisiä suureita on toki kerätty käsin täytettyyn raporttiin. Vuosien ja vuosikymmenien kuluessa, kun tietotekniikka on kehittynyt, ovat tiedonkeruun ja raportoinnin mahdollisuudet kasvaneet. Kuvassa 6 on yksi kaukolämpölaitoksen näyttökaaviosta, jonka kaikki mittaustiedot kerätään historiatietokantaan. Tämän kattilakuvan tärkeimpiä seurantakohteita ovat muun muassa vasemmalla näkyvät primääri- ja sekundääri-ilmamäärät, kattilan petilämpötilat keskellä kuvaa sekä kattilasta poistuvan savukaasun O₂-pitoisuus ja lämpötila.



Kuva 6. Kankaanpään kaukolämpölaitoksen höyrykattilan toimintaa seurataan PALAMINEN-ajokaaviosta, josta ohjataan mm. polttoaineen ja ilman syöttö kattilaan. Mittaustiedot kerätään historiatietokantaan.

Kentälaitteilla mitattujen suureiden tiedonkeruu on ollut lähes ainoa tiedonkeruujärjestelmän tehtävä näihin päiviin saakka. Lisäksi on ollut laitoksen rakennusasteen las-

kenta ja sen seuranta hetkellisarvoina ja vuositasolla. Samoin kaukolämpöteho on laskettu veden ominaislämpökapasiteetin, virtauksen ja lämpötilaeron perusteella.

Rakennusaste on vastapainevoimalaitoksen toimintaa kuvaava luku. Termillä rakennusaste tarkoitetaan sähkön- ja lämmöntuotannon suhdetta. Tyypillinen rakennusaste on 0,2 - 0,4. Tässä Kankaanpään kaukolämpölaitoksessa rakennusastetta lasketaan automaatiojärjestelmässä jatkuvasti ja kerätään historiatietokantaan. Nimellistehojen mukaan rakennusaste on $6,0 \text{ MW} / 17,0 \text{ MW} = 0,35$. Hetkellinen rakennusaste laitoksessa normaaliajossa vaihtelee välillä 0,33 - 0,37, joka on tämän kokoluokan laitoksille tyypillinen (Huhtinen et al. 2008, 47). Kesäkuukausina pienen kaukolämpökuorman takia rakennusaste on selvästi pienempi, kuitenkin suurempi kuin 0,20.

4.2 Uudet laskennat

Muuttuneiden vaatimusten ja ajotapojen myötä on kattilan toiminnan seuranta tullut entistä tärkeämmäksi. Tämän takia on prosessin toimintaa kuvaavia laskennallisia suureita ruvettava seuraamaan entistä tarkemmin ja pitkäjänteisemmin. Uudet laskentaohjelmat on toteutettu kohteiden mukaisina piiripositioina TP Alcont -järjestelmän lohkoeditorilla. Piiritunnusten koodausjärjestelmän pohjana on AKS-koodijärjestelmä, joka perustuu pääosin DIN 40719 -standardiin (Suunnitteluohjeet 1988). Tämä koodausjärjestelmä pohjautuu pääasiassa laiteluokkiin, mutta piirin kaksi ensimmäistä kirjainta kertovat piirin suureen ja toiminnallisuuden. Muussa prosessiteollisuudessa käytetään usein standardin SFS-ISO 14617-6 mukaisia piiritunnuksia, jotka kuvaavat piirien toimintaa (SFS-ISO 14617-6 2004).

Energia raportointia varten tarvitaan pääkattilan ja öljykattiloiden sekä muiden osaprosessien tehot. Uusia teholaskentoja varten tässä työssä kehitettiin automaatiojärjestelmään sovellus, joka laskee höyry- ja lauhdetehoja virtaavan aineen entalpiaeroon perustuen. Lisäksi panostettiin savukaasuvirran määrittämiseen ja sitä kautta poistuvaan häviötehoon. Uudet teholaskentaohjelmat sisältävät myös energialaskennan aliohjelmat. Tällä ominaisuudella saadaan tuotettu energiamäärä megawattitunteina (MWh) näyttöön. Osaprosessien tehot, energiat ja energialaskureiden nollaukset on sijoitettu kaikki omaan popup-näyttöön, joka saadaan esille energiaraporttinäytöstä. Kuvassa 7 on popup-näyttö, jossa esitetään sellaisia energiaraportoinnin laskentojen arvoja, jotka eivät ole aktiivisessa seurannassa.

	Teho	Energia	Nollaus
Öljykattila 8 MW	-0.01 MW	0.2 MWh	<input type="checkbox"/>
Öljykattila 5 MW	0.00 MW	0.1 MWh	<input type="checkbox"/>
Turvekattila	7.96 MW	3509.3 MWh	<input type="checkbox"/>
SYVE lauhde	0.82 MW	341.2 MWh	<input type="checkbox"/>
KL-teho	6.36 MW	2816.2 MWh	<input type="checkbox"/>

Savukaasun virtaus		
Tehosta	6.0 m3/s	Laskennoissa käytetty arvo
Nopeudesta	8.9 m3/s	
Elvytysväli:	13 päivää	Aseta tähän käytössä oleva jaksotus

Kuva 7. Kankaanpään kaukolämpölaitoksen energiaraportointiin liittyvässä pop-up-näytössä voidaan seurata mm. kattiloiden tuotettuja energiamääriä.

Kattilan hyötysuhteen laskemiseen on kaksi menetelmää: suora ja epäsuora. Suoralla menetelmällä tarkoitetaan kattilasta saadun lämpövirran suhdetta tuotuun energiavirtaan. Epäsuora menetelmä perustuu kattilan häviöiden määrittämiseen ja hyötysuhteen määrittämiseen niiden kautta. Kiinteän polttoaineeseen sitoutunut energia vaihtelee paljon riippuen käytetystä polttoaineesta ja sen kosteudesta. (Huhtinen et al. 2000.)

Tässä kohteessa päädyttiin käyttämään epäsuoraa menetelmää, koska tuodun polttoaineen energian määrittäminen on vaikeaa jatkuvana laskentana. Hyötysuhteen määrittäminen epäsuoralla menetelmällä perustuu siihen, että kattilaan tuotu energia jakautuu hyödyksi saatavaan energiaan ja erilaisiin häviöihin. Kankaanpään kaukolämpölaitoksen tapauksessa kattilaan tuotu teho on sama kuin sen tuottaman höyryn ja häviöiden summa. Kattilaan tuotu energiavirta lasketaan kaavan (1) mukaisesti:

$$Q_{\text{tuotu}} = Q_{\text{hyöty}} + Q_{\text{häviö}} \quad (1)$$

Q_{tuotu} kattilaan tuotu energiavirta [kW]

$Q_{hyöty}$ kattilasta hyödyksi saatu lämpövirta [kW]

$Q_{häviö}$ kattilan häviöt yhteensä [kW].

Hyötysuhde saadaan kaavalla (2):

$$\eta = \frac{Q_{hyöty}}{Q_{tuotu}} = \frac{Q_{hyöty}}{Q_{hyöty} + Q_{häviö}} \quad (2)$$

η hyötysuhde.

4.2.1 Kattilatehon laskenta

Kankaanpään kaukolämpölaitoksen tapauksessa kattilatehon laskenta perustuu tuotetun höyryn ja syöttöveden entalpiaeroon, jonka syntyy polttoaineen palamisprosessin tuottaman energian vaikutuksesta. Kattilasta saatava hyötyteho lasketaan kaavalla (3):

$$Q_{kattila} = m_{syve} \cdot (h_{th} - h_{syve}) = Q_{hyöty} \quad (3)$$

$Q_{kattila}$ kattilan tuottama teho [kW]

m_{syve} kattilan syöttövesivirta (= valmistettu höyry) [kg/s]

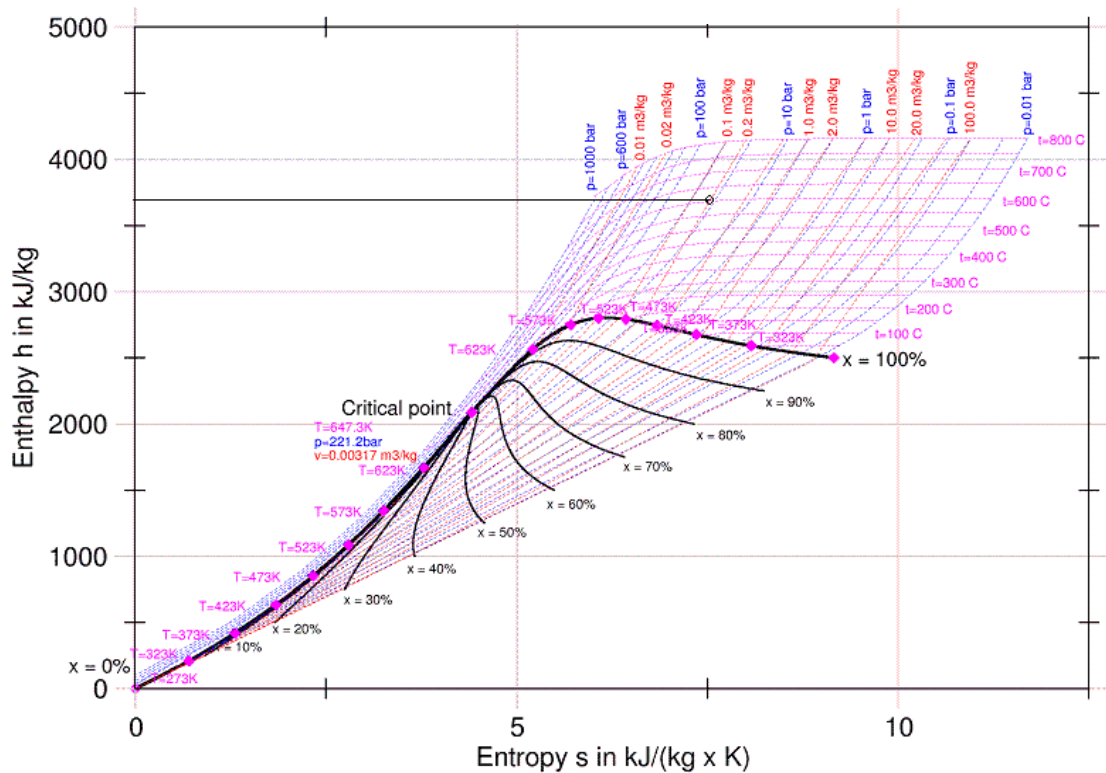
h_{th} tulistetun höyryn entalpia [kJ/kg]

h_{syve} kattilan syöttöveden entalpia [kJ/kg].

Kuvassa 8 esitetään perinteinen Mollier hs-piirros, joka kuvaa vesihöyryn olotilaa kahden muuttujan funktiona. Lämpösisältö (entalpia kJ/kg) kuvataan pystyakselilla ja siirtyneen lämpömäärän suhde absoluuttiseen lämpötilaan (entropia kJ/kgK) vaakakselilla. Tällainen hs-piirros on kattilalaitoksilla yleisessä käytössä, jopa valvomon seinällä ja se löytyy kaikista voimalaitostekniikan kirjoista. Tietyssä paineessa ja lämpötilassa olevan vesihöyryn entalpia voidaan määrittää tästä käyrästä. Graafisten

kuvaajien lisäksi vesihöyryn ominaisuudet löytyvät lukuisista taulukkokirjoista (Schmidt & Grigull 1989).

Mollier hs-diagram

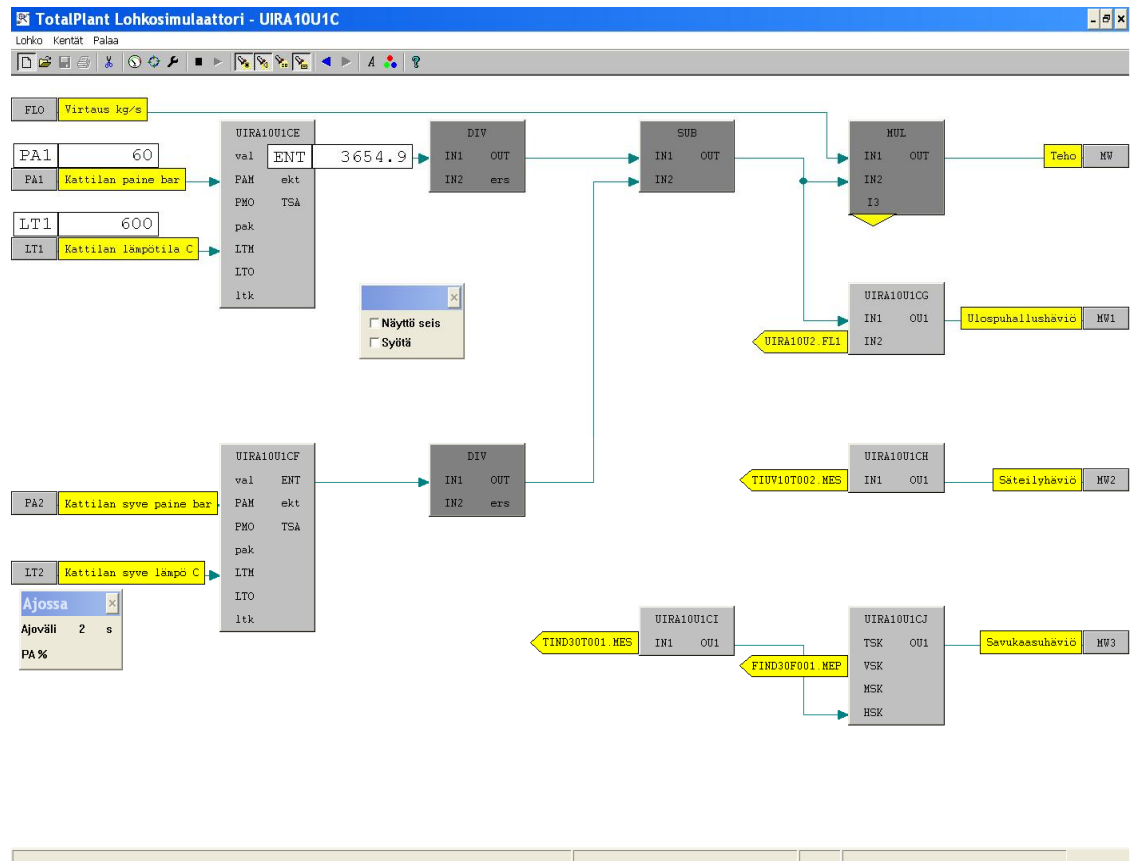


Kuva 8. Vesihöyryn lämpösisältö, entalpia, voidaan helposti määrittää hs-piirroksen avulla. Kuvaan on merkitty piste, jossa höyryn lämpötila on 600 °C ja paine 60 bar. Sen entalpia on n. 3650 kJ/kg. (Wikimedia Commons 2005.)

Automaatiojärjestelmään on suunniteltu ohjelmalohko, josta saadaan likimääräinen, hetkellinen entalpia hs-piirroksen tapaan. Ohjelmalohkoa varten hs-piirros on saatettu matemaattiseen muotoon eksponenttifunktioiden käyräsovituksilla. Matlab-ohjelmistossa on käytettävissä cftool-käyräsovitustyökalu, jolla entalpiaa kuvaava käyräparvi voidaan sovittaa funktiomuotoon. Salassapitosyistä sovitettujen eksponenttifunktioiden tarkkaa muotoa ei esitetä tässä opinnäytetyössä.

Entalpialaskennan ohjelmalohkossa valitaan laskenta joko höyryn tai lauhdeveden entalpialle. Ohjelmalohkoon sisään meneviä mittaustietoja höyrystä tai lauhteesta ovat painemittaus (bar, ylipainetta) ja lämpötila (°C). Lohkosta saadaan tuloksena prosessiaineen entalpia (kJ/kg).

Entalpien laskentaohjelma on toteutettu automaatiojärjestelmässä alilohkona teholas-
kentapiirissä. Kuvassa 9 entalpien laskentaohjelman lohkot esitetään sovellusaseman
simulointitestauksessa höyrylle, jonka lämpötila on 600 °C ja paine 60 bar. Lohkossa
UIRA10U1CE laskenta antaa entalpialle tuloksen 3654,9 kJ/kg. Tuloksen oikeellisuus
on tarkistettu perinteisen vesihöyryn entalpien määrittelykaavion, hs-piirroksen avulla,
joka on esitetty kuvassa 8. Kuvan 9 lohko-ohjelman oikeassa yläaidassa näkyy myös
kattilatehon laskenta, joka on toteutettu kaavan (3) mukaisesti.



Kuva 9. Kankaanpään kaukolämpölaitoksen höyrykattilan tehon laskenta on toteutettu
position UIRA10U1 alilohkossa. Lohkon simulaatiotilassa entalpien laskentatuloksena on
3654,9 kJ/kg, kun höyryn paine on 60 bar ja lämpötila on 600 °C. Tämän saman oh-
jelman yhteyteen on muodostettu myös laskennat ulospuhallushäviölle, säteilyhäviölle
ja savukaasuhäviölle.

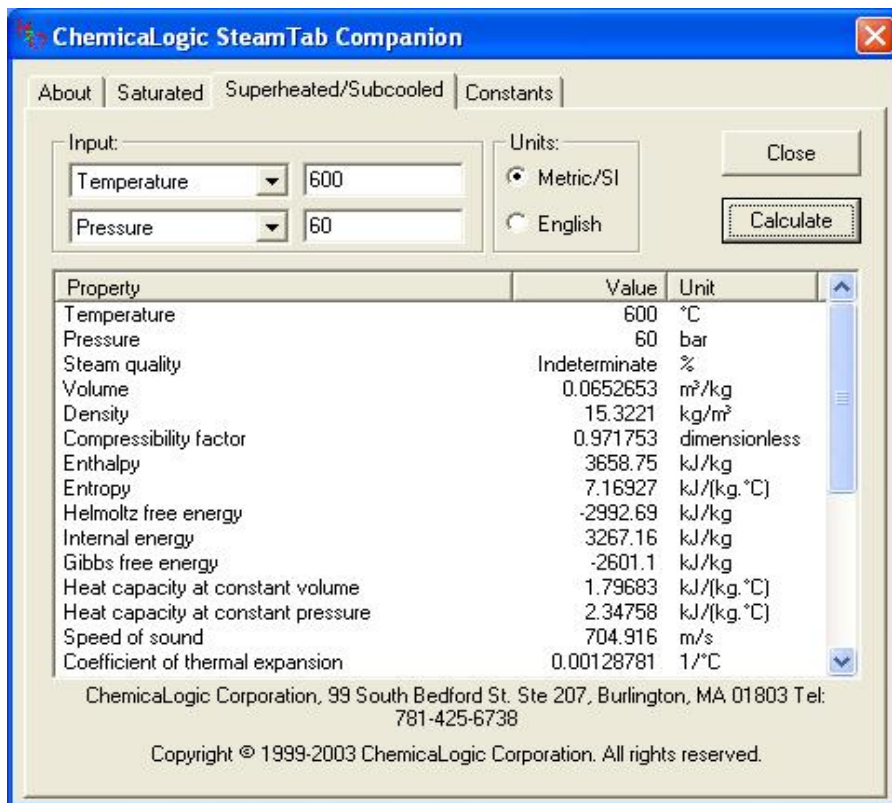
Entalpien laskennan validointiin eli kelpoistamiseen voidaan käyttää voimalaitossuun-
nittelun ammattilaisten tekemää Excel-ohjelmasovellusta (Nygaard & Delin 1997).
Tekijät ovat sallineet tämän ohjelmiston vapaan käytön, mutta eivät ota vastuuta mah-
dollisista virhetoiminnoista. Kuvassa 10 on käyttöliittymä Steamdat-ohjelmasta, jolla

on mahdollista laskea esimerkiksi vesihöyryn entalpia-arvoja eri olosuhteissa, kun lämpötila ja paine vaihtelevat. Höyryn paine 60 bar ja lämpötila 600 °C antavat entalpien arvoksi 3658,8 kJ/kg.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	Computer Program STEAMDAT_97 for Steam and Water Data									
2	Possible combinations of input and output data									
3										
4	General data, superheated steam or pressurized water									
5										
6	Temperature			600,0						
7	Pressure			60,000						
8										
9	Input data pair:			t-p	t-s	t-v	p-s	p-h	p-v	
10	Dyn viscosity	Pa.s		3,29E-05						
11	Enthalpy	kJ/kg		3658,8	3658,8		3658,8			
12	Entropy	kJ/kg.K		7,1692				7,1692		
13	Heat conductivity	W/m.K		0,0839						
14	Kappa	-		1,268				1,268		
15	Kappa-Down	-						1,268		
16	Kappa-Up	-						1,269		
17	Prandtl	-		0,921						
18	Pressure	bar(a)			60,000	60,000				
19	Sonic velocity	m/s		704,8						
20	Specific heat, Cp	kJ/kg.K		2,350						
21	Specific heat, Cv	kJ/kg.K		1,799						
22	Specific volume	m ³ /kg		0,06526				0,06526		
23	Steam quality	-		1,0000	1,0000		1,0000	1,0000		
24	Surface tension	N/m								
25	Temperature	°C					600,0	600,0	600,0	
26										

Kuva 10. Excel-sovelluksena toteutetun Steamdat-höyrylaskennan käyttöliittymään syötetään höyryn lämpötila (Temperature) ja paine (Pressure). Ohjelma laskee lähtöarvojen mukaiset tiedot taulukkoon, mm. höyryn entalpien kJ/kg.

Toisena hyödyllisenä lähteenä validointiin voidaan käyttää myös ChemicalLogic Corporation -yhtiön vapaasti Internetistä ladattavaa vesihöyryn laskentaohjelmaa. Kuvas-
sa 11 on avattuna käyttöliittymän välilehti, jossa SteamTab-sovellus laskee höyryn tunnuslukuja, kun syöttökenttiin on annettu höyryn lämpötila ja paine. Höyryn paineen ollessa 60 bar ja lämpötilan ollessa 600 °C saadaan entalpien arvoksi 3658,75 kJ/kg.



Kuva 11. Steam Tab -sovelluksen käyttöliittymä avattuna. Input-kenttiin syötetään lähtöarvoina höyryn lämpötila ja paine. Ohjelma laskee höyryn ominaisuudet käyttöliittymän ikkunaan.

Laskentaa testattiin kattilan toiminta-alueella useissa paine- ja lämpötilaolosuhteissa. Kun verrataan kahdella eri validointimenetelyllä saatuja entalpia-arvoja automaatiojärjestelmässä laskettuun, voidaan todeta automaatiojärjestelmän entalpialaskennan toimivan varmuusrajoissa ± 1 kJ/kg.

4.2.2 Savukaasuhäviöiden laskenta

Kattilan häviötehojen laskentaa varten tehtiin selvitys- ja laskentatyötä. Merkittävimmät häviöt tapahtuvat savukaasun mukana. Muita oleellisia häviöitä kattilalaitoksella ovat kattilan seinämistä tapahtuva säteilyhäviö ympäröivään tilaan ja kattilaveden jatkuva ulospuhallus lieriöstä.

Savukaasun lämpöhäviön laskenta on tehty perinteisesti hetkellisarvojen perusteella ja savukaasuhäviöiden laskentaan on olemassa kaava (Värjy 2007, 80). Samaa laskenta-algoritmia soveltamalla on automaatiojärjestelmään muodostettu jatkuva laskenta savukaasuhäviöistä kaavalla (4):

$$\phi_{sk} = \frac{m_{sk}}{M_{sk}} \cdot H_{sk} = \frac{\varphi_{sk} \cdot V_{sk}}{M_{sk}} \cdot H_{sk} \quad (4)$$

ϕ_{sk} savukaasuhäviöt [MW]

m_{sk} savukaasun massavirta [kg/s]

M_{sk} savukaasun kokonaismoolimassa [kg/kmol]

H_{sk} savukaasun kokonaisentalpia [kJ/kg]

φ_{sk} savukaasun tiheys [kg/m³]

V_{sk} savukaasun virtaus [m³/s].

Savukaasulaskennoissa kattilan nimellisteholla 24 MW ja hyötysuhteella 0,89 on saatu savukaasun tiheydeksi 0,8296 kg/m³ ja kokonaismoolimassaksi 28,1376 kg/kmol (Värjy 2007, 72 - 80). Näitä vakioarvoja käytetään savukaasulaskennassa.

Savukaasun hetkellisen virtausnopeuden määrittämiseksi automaatiojärjestelmään on tehty uusi mittaussiipi FIND30F001, jonka mittaustulona käytetään taajuusmuuttajalta saatua savukaasupuhaltimen tehoa 0 - 90 kW. Laitetoimittajan puhallinkäyrästä voidaan määrittellä puhallintehon ja virtausnopeuden keskinäinen riippuvuus (Fläkt 1991). Riippuvuus ei ole lineaarinen. Puhallinkäyrästä pistepareista lineaarisen interpoloinnin menetelmällä saadaan savukaasun tilavuusvirta tehon funktiona. Interpolointipiste-parit on esitetty taulukossa 2.

Taulukko 2. Savukaasupuhaltimen tehoja vastaavat savukaasuvirtaukset.

Piste nro	Teho [kW]	Savukaasuvirta [m ³ /s]
1	0,0	0,0
2	2,0	4,0
3	8,0	10,5
4	25,0	15,5
5	64,0	22,5

Savukaasun kokonaisentalpiaan vaikuttaa sen lämpötila. Kokonaisentalpia määräytyy savukaasun eri komponenttien entalpioiden summana moolimassojen suhteessa. Kun savukaasun lämpötila muuttuu, muuttuvat myös komponenttien entalpia-arvot (Värjy 2007, 79). Kokonaisentalpia lasketaan kaavalla (5) seuraavasti:

$$H_{sk} = x_{CO_2} \cdot H_{CO_2} + x_{H_2O} \cdot H_{H_2O} + x_{N_2} \cdot H_{N_2} + x_{O_2} \cdot H_{O_2} \quad (5)$$

x savukaasun pitoisuudet

- $x_{CO_2} = 0,1386$ (13,86 %)
- $x_{H_2O} = 0,1682$ (16,82 %)
- $x_{N_2} = 0,6523$ (65,23 %)
- $x_{O_2} = 0,0236$ (2,36 %)

H savukaasun komponenttien entalpia (MJ/kmol) Rytin taulukon perusteella (Värjy 2007, 76).

Pieni osa savukaasusta on palamatonta polttoainetta, mikä tarkoittaa sitä, että kaavaan (5) sijoitettujen komponenttien %-osuuksien summa on käytännössä alle 100 %. Entalpia-arvot savukaasun jokaiselle yksittäiselle komponentilla on saatu automaatiojärjestelmään ohjelmoidusta Rytin taulukosta. Excel-taulukko Rytin taulukosta on 2007 valmistuneessa opinnäytetyössä (Värjy 2007, 79). Kaukolämpölaitoksen Alcont-järjestelmässä Rytin taulukko toteutettiin interpolointiperiaatteella taulukon 3 perusteella. Taulukko on muodostettu Värjyn opinnäytetyön mukaisilla laskennoilla.

Taulukko 3. Savukaasupuhaltimen eri komponenttien entalpia-arvot lämpötilojen mukaan Rytin taulukosta.

Lämpötila [°C]	CO ₂ [MJ/kmol]	H ₂ O [MJ/kmol]	N ₂ [MJ/kmol]	O ₂ [MJ/kmol]
120	3,6200	3,1253	2,6923	2,7401
130	4,0325	3,4676	2,9847	3,0401
140	4,4487	3,8107	3,2773	3,3428
150	4,8684	4,1548	3,5702	3,6455
160	5,2916	4,4997	3,8634	3,9491

Koeajon aikana kattilan täydellä 24 MW:n teholla ajettaessa savukaasuhäviö automaatiojärjestelmän laskennan tuloksena oli 2,06 MW. Se vastaa 8,58 %:n osuutta kattilatehosta. Kattilatoimittajan ilmoittama savukaasuhäviö 19,1 MW:n teholle jyrksinturpeella on 7,48 % (Ahlstrom 1992, 15). Savukaasuhäviöiden suhteellinen osuus pienenee, kun kattilateho pienenee. Savukaasuhäviön ajonaikainen laskenta antaa samaa suuruusluokkaa olevan tuloksen kuin kattilatoimittajan ilmoittama arvo.

4.2.3 Kattilan säteilyhäviöiden laskenta

Kattilan lämpötila on huomattavasti ympäristön lämpötilaa korkeampi. Tämän johdosta lämpöä siirtyy ympäristöön, vaikka kattilat ovatkin hyvin eristettyjä. Kun tiedetään kattilan lämmönsiirtopinta-alat, kattilan ulkoseinän lämpötilan keskiarvo ja ympäristön lämpötila sekä lämmönsiirtokerroin, niin lämpöhäviöt voidaan laskea seuraavalla kaavalla (6). (Huhtinen et al. 2000, 110):

$$q_{lh} = (\alpha_k + \alpha_r) \cdot A \cdot (t_{seinä} - t_{ymp}) \quad (6)$$

q_{lh} kattilan lämpöhäviö (säteilyhäviö) [MW]

α_k konvektiivinen lämmönsiirtokerroin [$\text{W}/\text{m}^2\text{K}$]

α_r säteilyn lämmönsiirtokerroin [$\text{W}/\text{m}^2\text{K}$]

A kattilan ulkoseinän pinta-ala [m^2]

$t_{seinä}$ kattilan ulkoseinän lämpötila [K]

t_{ymp} ympäristön lämpötila [K].

Kankaanpään kaukolämpölaitoksen yhteenlaskettu säteilyyn ja johtumiseen perustuva lämmönsiirtokerroin on $200 \text{ W}/\text{m}^2 \text{ K} - 180 \text{ W}/\text{m}^2 \text{ K} = 20 \text{ W}/\text{m}^2 \text{ K}$. Kattilan mitattu ulkoseinäpinta-ala on 360 m^2 ja keskimääräinen ulkoseinän lämpötila on $50 \text{ }^\circ\text{C}$. Kattilahallin lämpötilasta on mittausspiiri TIUV10T002. (Korvala & Pihlajamäki 2010.)

Kankaanpään kaukolämpölaitoksen turvekattilan automaatiojärjestelmässä laskettu säteilyhäviö on noin 0,18 MW. Kattilan lämpöhäviöiden suhteellinen osuus kasvaa osakuormilla ajettaessa, koska häviöiden absoluuttinen määrä pysyy lähes vakiona. Kattilatoimittajan käyttöarvotaulukon mukaan tämän kattilan säteily- ja johtumishäviöt 19,1 MW:n teholla jyrshinturpeella on 1,19 % (Ahlstrom 1992, 15). Kattilan kuormalla 19 MW laskettu säteilyhäviö 0,18 MW vastaa 0,95 %:n osuutta, joka on hyvin lähellä kattilatoimittajan ilmoittamaa säteilyhäviötä.

4.2.4 Ulospuhallushäviöiden laskenta

Lieriökattiloissa ulospuhallus on osa vedenkäsittelyjärjestelmää. Kattilan toimintaperiaatteen mukaan syöttövesi höyrytetään johtamalle se lieriöön höyryn ja veden erottamiseksi ennen höyryn kulkua tulistimiin. Syöttöveden mukana tulleet epäpuhtaudet rikastuvat lieriössä, josta ne voidaan poistaa ulospuhalluksella. Vedenkäsittelykemikaaleilla saostetaan kalsium- ja magnesiumioneja lietteeksi, joka poistetaan prosessista ulospuhalluksella. (Ruokosalu 2010, 14.)

Ulospuhallushäviö on se osa tehosta, joka menee ulospuhallusveden mukana pois prosessista. Tämä teho ei ole mukana kattilan höyrytehosta. Ulospuhalluksessa poistunut vesi korvataan lisävedellä kattilan syöttövesijärjestelmään. Kattilan teho vaikuttaa ulospuhallusmäärään. Kankaanpään kaukolämpölaitoksella ei ole jatkuvaa mittausta ulospuhalluslinjassa, mutta ulospuhalluksen määrä on käytännössä sama kuin lisäveden valmistuksen määrä. Lisäveden valmistus on jaksottainen prosessi, jota ohjataan omalla logiikkajärjestelmällä. Lisävettä valmistetaan 8 - 24 m³/vrk.

Kankaanpään kaukolämpölaitoksella ulospuhallushäviö on laskettu erotuksena kattilaan tulevan syöttöveden ja lieriön vesihöyryn entalpioista seuraavalla kaavalla (7):

$$q_{UP} = m_{lisä} \cdot (h_1 - h_7) \quad (7)$$

q_{UP} kattilan ulospuhallushäviö [kW]

$m_{lisä}$ kattilan ulospuhallusvirta (= valmistettu lisävesi) [kg/s]

h_1 lieriön entalpia [kJ/kg]

h_7 kattilan syöttöveden entalpia [kJ/kg].

Laskentakaava automaatiojärjestelmässä antaa täydellä 24 MW:n kattilateholla ulospuhallushäviöksi 0,24 MW. Tämä yhden prosentin luokkaa oleva ulospuhallushäviö on tavanomainen tämän kokoluokan kattilassa (Korvala & Pihlajamäki 2010).

Tässä kappaleessa kuvattujen teho- ja häviölaskentojen perusteella automaatiojärjestelmässä on toteutettu kaavan (2) mukainen hyötysuhdelaskenta. Hyvä hyötysuhde kertoo kattilan moitteettomasta toiminnasta. Paras hyötysuhde kattilassa saavutetaan yleensä noin 60 %:n teholla. Suurilla tehoilla lämmönsiirtimet toimivat suuremmalla lämpötilaerolla ja savukaasujen lämpötila nousee. Vastaavasti pienillä tehoilla kattilan hyötysuhde huononee, koska kuormasta riippumattomien lämpöhäviöiden osuus kasvaa. (Huhtinen et al. 2000, 110.)

Kankaanpään kaukolämpölaitoksella kattilan hyötysuhde vaihtelee välillä 85 – 90 % kuormitustilanteen mukaan. Hyötysuhteen laskiessa normaaliarvoista käyttöhenkilöstön pitää selvittää syy tähän. Usein hyötysuhteen lasku kertoo kattilan nuohoustarpeen. Kattilatoimittajan käyttöarvotaulukon mukaan tämän kattilan hyötysuhde 19,1 MW:n teholla jysinturpeella on 90,36 % (Ahlstrom 1992, 15). Kattilan kuormalla 23,9 MW kattilan laskettu hyötysuhde on 89,58 %, joka vastaa hyvin kattilatoimittajan ilmoittamaa hyötysuhdetta.

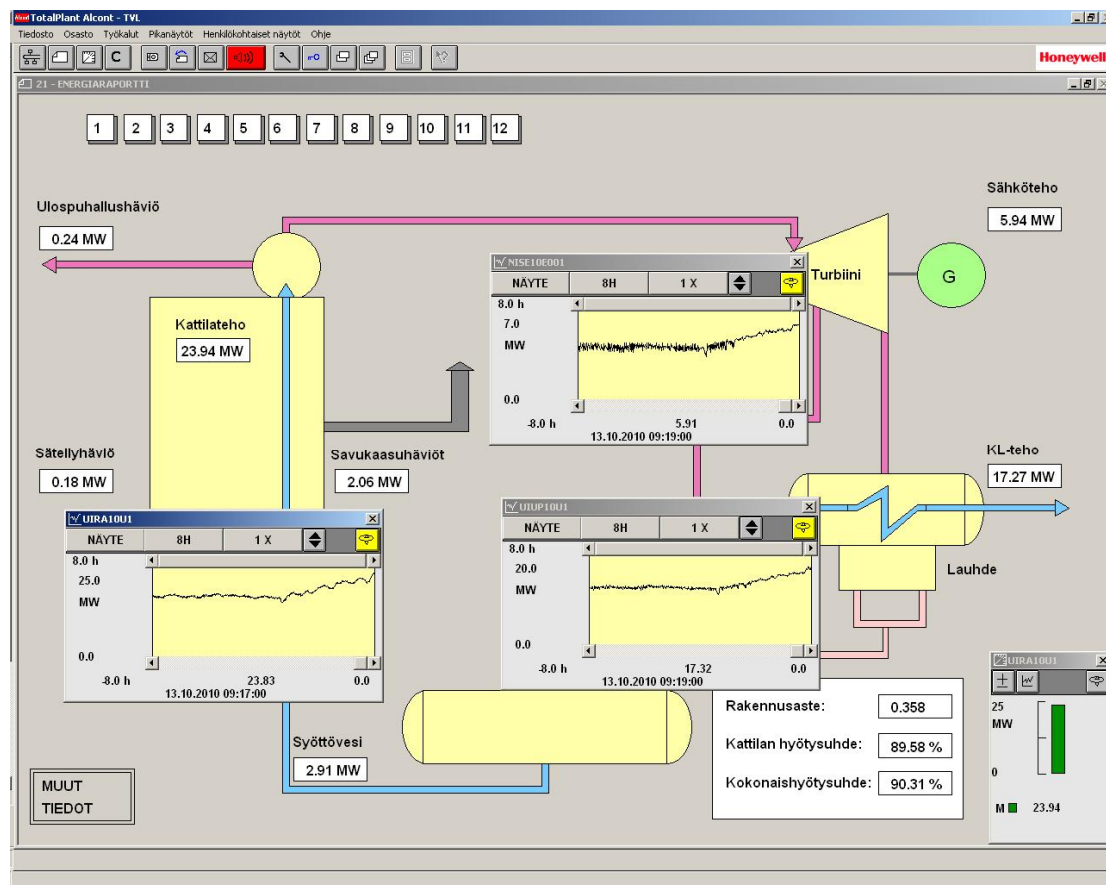
4.3 Energiaraportin ulkoasu

Energiaraportoinnin alkuvaiheessa käyttöliittymänä ja tietojen esitystapana oli perinteinen taulukkomuoto. Projektin aikana kuitenkin huomattiin, että graafinen esitystapa energiavirtojen esittämiseen on parempi kuin perinteinen ulkoasu. Kattilaan tulevat ja sieltä lähtevät energiat esitetään kaaviokuvan muodossa. Energialaskentojen grafiikkakuvan rakenne koostuu kaukolämpölaitosta kuvaavan prosessin pääkomponenteista, joita ovat kattila, turbiini, kaukolämmönvaihdin ja syöttövesijärjestelmä. Graafinen käyttöliittymä energiavirroista on kuvassa 12.

Energialaskentojen käyttöliittymäkaaviossa on esitetty kattilateho eli kattilan hyötyteho, jonka laskenta on esitetty kappaleessa 4.2.1 kaavalla (3). Laitoksesta saatavat hyötytehot, generaattorin tuottama sähköteho ja kaukolämmönvaihtimen verkkoon siirtämä kaukolämpöteho näytetään kaavion oikeassa laidassa.

Näyttökaaviossa kattilan läheisyydessä on esitetty laskennoilla saadut häviötehot. Savukaasuhäviön laskenta tehdään kappaleen 4.2.2 kaavalla (4). Kattilan säteilyhäviön laskenta on kappaleen 4.2.3 mukaisesti kaavalla (6). Jatkuva ulospuhallushäviö on kappaleessa 4.2.4 kaavan (7) mukainen. Lisäinformaationa kuvassa on myös laskettu arvo, joka näyttää kattilaan syöttöveden mukana menevän tehon.

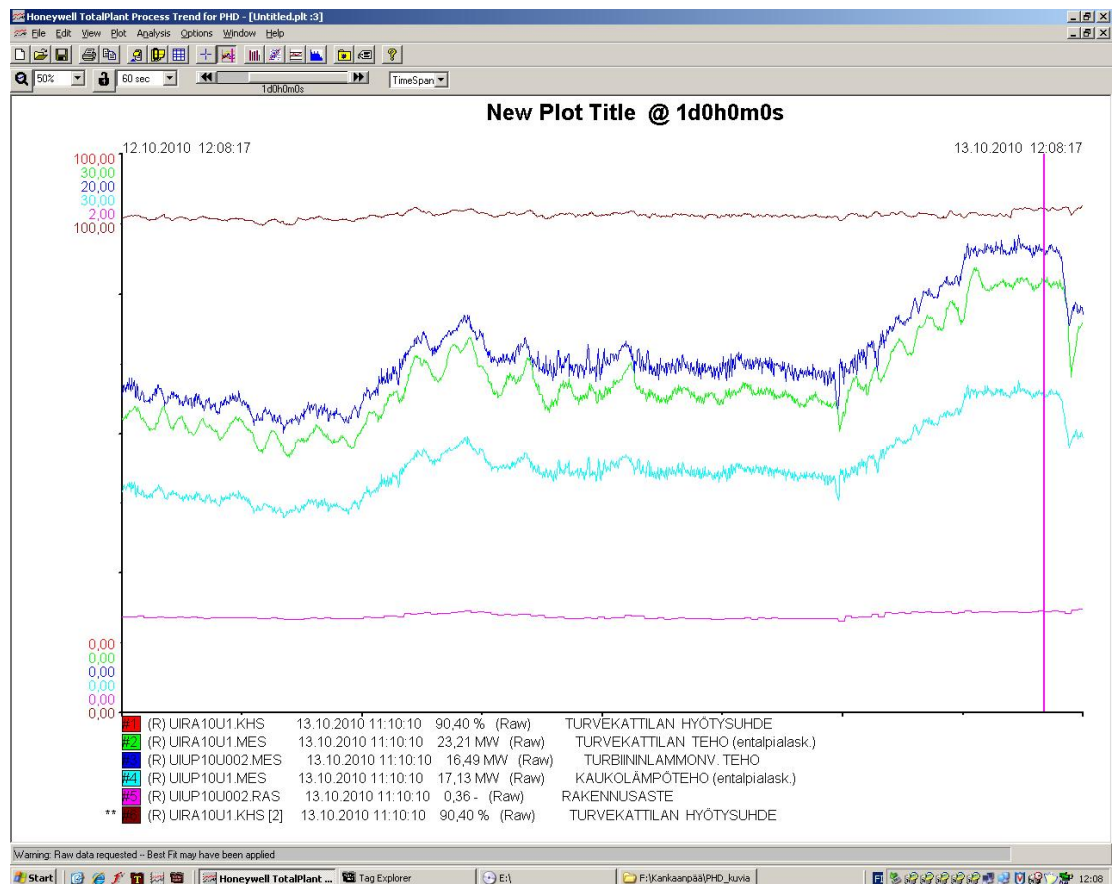
Energiavirtoja kuvaavan näytön oikeassa alakulmassa on esitetty tärkeät kattilan ja voimalaitoksen toimintaa ja hyötysuhdetta kuvaavat lukuarvot: rakennusaste, kattilan hyötysuhde ja koko kaukolämpölaitoksen hyötysuhde. Kattilan hyötysuhteen laskentamenetelmä on esitetty kappaleessa 4.2 ja toteutettu kaavan (2) mukaisesti. Koko laitoksen hyötysuhdelaskenta on toteutettu koekäytössä olevalla menetelmällä ja sitä tarkennetaan myöhemmin.



Kuva 12. Kankaanpään kaukolämpölaitoksen energiaraportointiin on tehty graafinen näyttökaavio, josta voi helposti hahmottaa kattilan energiavirrat. Kattila on koeeajassa täydellä teholla. Trendi-ikkunoista voi seurata kattilatehon kehitystä ja samoin sähkö- ja kaukolämpötehoa.

4.4 Raportoinnin hyödyntäminen

Kankaanpään kaukolämpölaitoksen energiaraportoinnin kehitys on vasta alkuvaiheessa. Sen lopullinen muoto ja kaikkinaisen hyödyntäminen ratkeavat vasta tulevina vuosina. Tällä hetkellä suurin mielenkiinto laitoksella keskittyy savukaasuhäviöiden määrään, koska ne ovat suurin yksittäinen kohde, jossa energiaa hukataan. Savukaasuhäviöt ovat merkittävin yksittäinen tekijä, kun lasketaan kattilan hyötysuhdetta.



Kuva 13. Kankaanpään kaukolämpölaitoksen PHD-järjestelmän trendinäytöstä voidaan tutkia historiatietoja, kuten esim. kattilan toimintaa kuvaavaa hyötysuhdetta.

Tällä hetkellä kaikki kattilan energiavirrat, tulevat ja lähtevät ovat jatkuvassa seurannassa omalla raporttisivullaan automaatiojärjestelmässä. Kuten kaikki mittaustiedot laitokselta, myös kaikki energiatiedot ja hyötysuhteet siirretään PHD-tietokantaan, jossa niiden pitkäaikainen tallentaminen on mahdollista. Historiatietoja voidaan tutkia perinteisinä trendinäyttöinä, kuten kuvassa 13 on esitetty. Kerättyä historiatietoa varten PHD-järjestelmässä on myös analysointityökaluja. Tilastollisten tunnuslukujen

määrittämisen lisäksi kerätyistä historiatiedoista voidaan tehdä regressioanalyysiä. PHD:n analysointia voidaan käyttää tilastolliseen prosessinohjaukseen (Statistical Process Control, SPC). Tämä tarkoittaa sitä, että hetkellisten prosessiarvojen sijasta prosessin ohjaukseen voidaan käyttää tilastollisesti käsiteltyä tietoa, kuten esimerkiksi mittausten keskiarvoja.

Tulevaisuudessa raportointia ja tiedonkeruuta kehitetään edelleen uusien laskentojen myötä. Myöhemmin on tarkoitus kytkeä uusia prosessialueita PHD-järjestelmän tiedonkeruuseen. Kaukokäyttöjärjestelmän uusinnan yhteydessä selvitetään eri vaihtoehtot sen mittaus- ja ohjaustietojen siirtämisestä PHD-tietokantaan. Kokonaisvaltaisen raportoinnin edellytyksinä ovat mahdollisimman kattavat datahistorian käytön edellytykset.

5 SÄÄTÖ- JA OHJAUSTOIMINTOJEN SUORITUSKYVYN SEURANTA

Voimalaitoksen toiminnan tehokkuuteen ja hyötysuhteeseen vaikuttavat ensisijaisesti prosessilaitteiden ja automaation kunto sekä käyttöhenkilökunnan toiminta. Leijupetikkatiloissa kiinteän polttoaineen laatu vaikuttaa myös suoraan prosessin toimintaan. Voimalaitos on monen muuttujan prosessi, jossa säädettävien suureiden välillä on lukuisia ristikkäisvaikutuksia. Perinteisesti automaatiolla korvataan yksinkertaisia opeointitoimintoja. Toisaalta tämän päivän voimalaitoksissa on tarvetta saada automaatiolta apua vaativaan prosessinohjaukseen, kun henkilökunnan määrää laitoksissa pyritään minimoimaan ja laitoksille asetetaan entistä suurempia vaatimuksia. Operaattorin vastuulle jää suuri joukko hallittavia kokonaisuuksia. Osana automaatiota ovat suljetut säätöpiirit, jotka mittaustensa perusteella pyrkivät korjaamaan automaattisesti prosessin toimintaa. Takaisinkytkettyä säätöä tarvitaan prosessitekniisten puutteiden ja prosessin häiriöiden korjaamiseen, mutta merkittäviä prosessipuutteita ei voida kompensoida millään säädöllä. Voimalaitoksen hallinnan kannalta on tärkeää, että myös säätöpiirit toimivat suunnitellusti ja luotettavasti kaikissa ajotilanteissa.

Millainen on hyvin toimiva säätöpiiri? Sen on pystyttävä korjaamaan prosessista muualta tulevat häiriöt säädettävään suureeseen kohtuullisessa ajassa. Suljetun säätöpiirin takaisinkytkentänä on säädettävän suureen mittaus, jonka perusteella ohjausarvoa muutetaan. Säätöpiirin tulee reagoida asetusarvomutoksiin ja häiriövaikutuksiin asetettujen vaatimusten mukaisesti. Vasteen asetusarvomutoksiin tai häiriöihin tulee olla

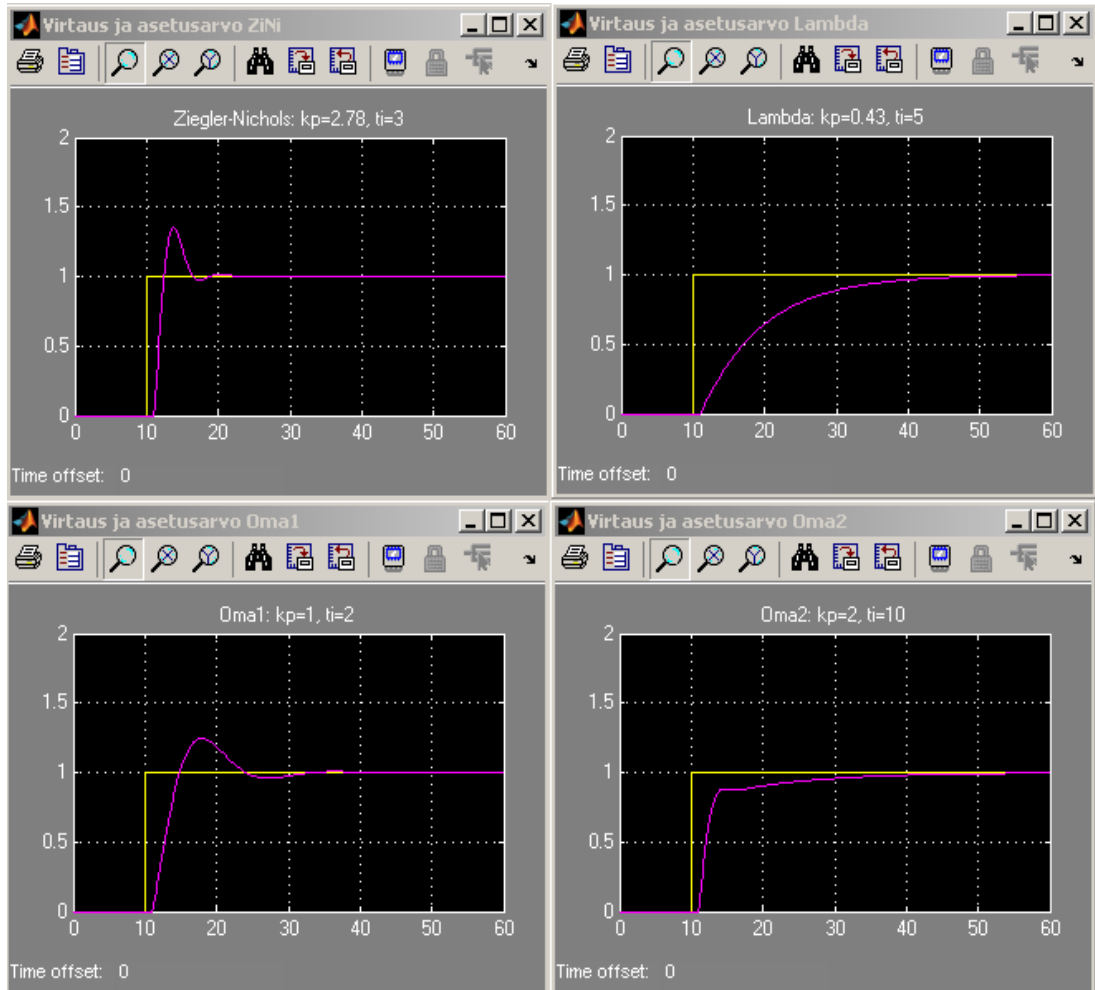
haluttu. Toisinaan tärkeää on vasteen nopeus, toisinaan taas ei voida sallia asetusarvon ylitystä ja säätöpiiri on viritettävä hitaaksi.

Säätöpiirin toimintaan vaikuttavat mittauksen suorituskyky, toimilaitteen hyvyys, säätöalgoritmin sopivuus ja säätöpiirin viritys. Säädön lopputulos ei voi olla parempi kuin mittauksen suorituskyky edellyttää. Usein säätöpiirien ongelmat saattavat johtua mitaustekniikasta. Mitta-anturin sijoituspaikka voi olla sopimaton tai mittaussympäristö voi olla häiriöllinen. Säädön toimilaitteista yleisimpiä ovat venttiilit, työsylinterit ja erilaiset sähkömoottorikäytöt. Säätimen antama ohjaus vaikuttaa toimilaitteen avulla säädettävään suureeseen. Hyvä toimilaitte toteuttaa säätimen ohjausviestin mahdollisimman luotettavasti ja tarkasti.

Prosessiteollisuuden säätöalgoritmeista valtaosa on perinteisiä PID-säätöjä. Kehittyneitä säätöalgoritmeja, kuten esimerkiksi malliprediktiivisiä tai sumeaan logiikkaan perustuvia monimuuttujasäätöjä, on alettu käyttää energiateollisuudessa 2000-luvulla. Usein lineaarisen PID-säätimen suorituskykyä parannetaan täydentämällä säätöalgoritmia lisälogiikkatoiminnoilla. PID on moniin kohteisiin erittäin hyvä säätöalgoritmi. Kehittyneiden säätömenetelmien soveltuvuutta rajoittavat monimutkaiset rakenteet ja lukuisat viritettävät parametrit. Säätimen viritysparametrien asettelulla saadaan säädin toteuttamaan säätöalgoritmin mukainen toiminta säädettävän kohteen mukaan, jolloin otetaan huomioon väliaineiden ominaisuudet ja prosessin sekä mitta- ja toimilaitteiden hitaus. Joskus avoin säätöpiiri eli asettelupiiri voi olla riittävä. (Majanne 2007.)

Kuvan 14 simuloinnissa tarkastellaan säätöpiirin virituksen vaikutusta sen toimintaan Matlab-Simulink-ohjelmiston avulla. Esimerkkinä on kattilan primääri-ilman virtaaman käyttäytyminen erilaisilla PID-viritysparametriyhdistelmillä. Tämän kaskadissa toimivan piirin ajon aikainen asetusarvo ei ole vakio. Asetusarvo saadaan laskennasta suhteessa polttoaineen syöttöön, jossa otetaan huomioon primääri- ja sekundääri-ilmojen suhteet sekä korjauskertoimet. Sopivia viritysparametreja määriteltiin ja testattiin prosessimallin avulla. Virtaussäätöpiiri on dynamiikaltaan tasaantuva, toisin sanoen puhaltimen ohjearvon muutos tuottaa tasaantuvan vasteen virtaukseen. Tällöin virtauksen suhdetta ohjearvoon voidaan kuvata yleisellä Laplace-tason yhden aikavakion ja viiveen mallilla, jonka parametrit saadaan käytännössä askelvastekokeella koeajotilanteessa. Virtaussäätöpiirin viritukseen sopii kaksi perinteistä menetelmää: Ziegler-Nichols ja Lambda (Harju & Marttinen 2001, 114 - 120). Simulointitulokset

askelvastemuutokselle esitetään kuvan ensimmäisessä neljänneksessä Ziegler-Nichols-irityksenä ja kuvan toisessa neljänneksessä Lambda-irityksenä. Kuvan alalaidassa on primääri-ilman virtaaman vasteet asetusarvomutoksille itse optimoiduilla irityksiparametreilla. Simulaatiossa on kaikissa tapauksissa valittu derivointiajaksi 0 s, mikä tarkoittaa sitä, että säädin on viritetty PI-säätimeksi, kuten vastaava piiri automaatiojärjestelmäsovelluksessa Kankaanpään kaukolämpölaitoksella.



Kuva 14. Matlab-sovelluksella on tehty koeajoja erilaisilla irityksiparametreilla säätimellä, joka vastaa primääri-ilman säätöä kattilaa.

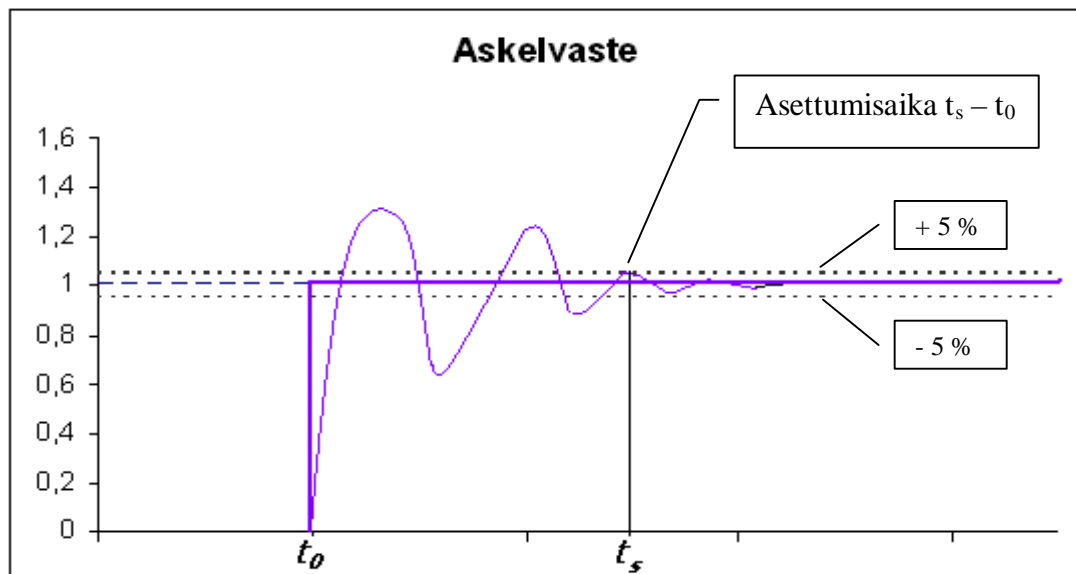
Kuten kuvan 14 näytteistä voidaan todeta, Ziegler-Nichols-menettelmä antaa PI-säätimelle irityksiparametrit, jolla saadaan nopea, mutta helposti värähtelevä vaste. On kuitenkin syytä muistaa, että värähtelevä vaste ei sovellu kaikkiin säätökohteisiin. Lambda-menettelmä puolestaan antaa Ziegler-Nichols-iritystä hitaamman vasteen. Omat irityksiparametrien arvot saavat säädön ominaisuudet asettumaan kahden edellä

mainitun välimaastoon. Käytännön viritysarvot laitoksella tällä hetkellä ovat $K_P = 0,2$ ja $T_I = 0,15$ min (9 sek) ja ne ovat hyvin lähellä Lambda-menetelmällä teoreettisesti saatuja viritysparametreja.

5.1 Säätopiirien suorituskykyindeksit

Säätopiirin suorituskyvyllä tarkoitetaan piirin kykyä selviytyä säätötehtävästään. Suorituskyky ilmaistaan mitattavilla indekseillä. Säätopiirien toimintaa voidaan periaatteessa tarkkailla monin eri tavoin. Toiminnan tarkkailuun on olemassa useita indeksejä, joilla säätopiirin toiminnan suorituskykyä pystytään kuvaamaan. Tässä työssä kuvataan sellaisia suorituskykyindeksejä, joita voitaisiin kohtuullisen helposti soveltaa käytäntöön Kankaanpään kaukolämpölaitoksella.

5.1.1 Asettumisaika



Kuva 15. Askelvasteen jälkeinen vaimeneva värähtely on asettumisaikan jälkeen saavuttanut loppuarvonsa halutulla tarkkuudella ± 5 %.

Säätopiirin asettumisaika kuvaa säädön kykyä palautua suunnitellusta tai suunnittelemattomasta muutostilanteesta. Asettumisaikalla kuvataan aikaa, jolloin mittaus on asettunut riittävän lähelle asetusarvoa. Eri säätopiireissä sallittu, hyväksyttävä toleranssi vaihtelee. Säädettävän suureen tavoiteltu asettumisaika on yleensä pienempi kuin viisi kertaa aikavakion suuruus lisättynä viiveellä. Kuva 15 esittää säätopiirin käyttäytymis-

tä suljettuna asetusarvon muutostilanteessa, jossa vaste saavuttaa loppuarvonsa asettumisajan jälkeen halutulla tarkkuudella $\pm 5\%$.

Asettumisajan laskenta ja mahdollinen hälytystieto maksimiajan ylityksestä voidaan toteuttaa Alcont-ympäristössä järjestelmän peruslohkoja käyttämällä. Käyttökelpoinen esitystapa asettumisajan ylityksestä on myös näyttöefekti ajokaaviossa. Ohjelmatoimilohkojen kuvaukset ja ajokaavioiden määrittelyohjeet löytyvät sovellussuunnittelun käsikirjasta. (Honeywell Oy 2005.)

5.1.2 Virheintegraali

Virheintegraali kuvaa säädettävän suureen poikkeamaa asetusarvosta ja tämä indeksi ottaa huomioon ajan, jolloin ollaan sallitun toleranssin ulkopuolella. Virheintegraali-indeksi kuvaa erosuuretta pinta-alana: indeksin arvo kasvaa niin kauan kuin säätöpoikkeama on sallitun toleranssin ulkopuolella. Säättöpiirin suorituskykyä kuvaava virheintegraali määritellään integraalilausekkeella aikavälillä $0 - T$, jossa T on piirin asettumisaika askelmuutoksen jälkeen. Virheintegraali-indeksi lasketaan kaavalla (8) seuraavasti:

$$IAE = \int_0^T |e(t)| dt \quad (8)$$

IAE virhemarginaali-indeksi (Integral of the Absolute magnitude of the Error)

T piirin asettumisaika mittauksen saavuttaessa asetusarvoa

$|e(t)|$ hetkellisen säätöpoikkeaman itseisarvo. (Dorf & Bishop 2005, 268)

Alcont-automaatiojärjestelmäsovelluksena virhemarginaali-indeksin laskenta on käytännössä säätöpoikkeaman itseisarvon summan laskentaa. Laskenta voidaan suorittaa esimerkiksi liukuvassa aikaikkunassa.

5.1.3 Moodi

Säätöpiireillä Honeywell Alcont -automaatiojärjestelmissä, kuten muissakin järjestelmissä, on moodi eli ajotaho (ohjaustaho) valittavissa joko manuaalinen (M), automaattinen (A) tai usein myös kaskadikytkentäinen (K) sekä tietokonelaskentaan perustuva (T). Sekä K- että T-moodi saavat ulkoisen asetusarvon, jota monissa automaatiojärjestelmissä sanotaan remote-moodiksi (R). M-moodissa operaattori antaa suoraan toimilaitteen ohjausarvon piirille. A-moodissa operaattori antaa piirille paikallisen asetusarvon, johon säätöpiirin mittaus halutaan asettuvan. K-moodissa piiri saa ulkoisen asetusarvon, joka voi olla laskennallinen tai ylemmän säätimen ohjaus. T-moodi tarkoittaa, että piirin ulkoinen asetusarvo saadaan erillisestä tietokonejärjestelmästä. Tällaisia tapauksia ei juuri ole voimalaitosympäristössä.

Normaalissa ajotilanteessa säätöpiirin tulisi olla aina A- tai mahdollisesti K-moodissa, jos asetusarvo tulee muualta. M-moodissa tai pois K-moodista oleva säädin ei toimi prosessin kannalta suunnitellulla tavalla. Säätöpiirien ajomoodeista kerätty tieto kertoo samalla säätöpiirien suorituskyvystä. Operaattorit saattavat ottaa piirin käsiajolle, jos säätö ei toimi halutulla tavalla tai siihen ei luoteta.

Honeywell Alcont -järjestelmissä ajomoodi usein näytetään ajokaavionäytössä. Näin tehdään myös Kankaanpään kaukolämpölaitoksella tärkeissä piireissä. Jossain tapauksissa trendinäyttö ja aikalaskenta säädön päällä olostä tai pois päällä olostä on hyödyllistä.

5.1.4 Tilastolliset suureet

Myös tilastollisilla suureilla voidaan kuvata säätöpiirin suorituskykyä. Näillä tarkoitetaan jonkin mittausarvon tai säätöpiirin erosuureen tunnuslukuja valitulta ajanjaksolta. Tilastollisia suureita ovat keskiarvo, varianssi ja keskihajonta. Keskiarvoja voidaan laskea kiinteältä aikaväliltä tai vaihtoehtoisesti liukuvan ikkunan keskiarvona. Varianssi on satunnaismuuttujan hajonnan mitta ja kuvaa, kuinka kaukana arvot ovat odotusarvosta. Keskihajonta puolestaan on varianssin neliöjuuri. Varianssiin verrattuna keskihajonta on helpompi tulkita, koska sen asteikko vastaa mittauksen asteikkoa.

Tilastollisia suureita voidaan esittää myös trendimuodossa. Käytännön työkaluna Honeywell-ympäristössä ovat operaattoreilla PHD-järjestelmän trendinäytöt, jotka anta-

vat riittävän pitkältä aikaväliltä hyvän yleiskuvan laitoksen toiminnasta. Tietokantaohjelmiston käyttöliittymä on helposti avattavissa samaan työasemaan kuin automaatiojärjestelmän ajokaaviotkin. Samaan koordinaatistoon on mahdollista piirtää useita kuvaajia prosessitiedoista. Skaalaamalla ja aika-akselia siirtämällä käyrästöstä on helppo tarkastella poikkeustilanteita.

Kunnossapitohenkilökunnalla kehittyneemmät työkalut saattavat joskus olla tarpeen. PHD-järjestelmässä on käytössä tilastollisia suureita varten keskiarvon, keskihajonnan ja varianssin funktiot. Muita hyödyllisiä ominaisuuksia on esimerkiksi tilastollinen prosessinohjaus (Statistical Process Control, SPC). Tilastollisessa prosessinohjauksessa käytetään tilastollisia arvoja hetkellisarvojen sijaan. Jotta tällaisia matemaattisia menetelmiä pystytään hyödyntämään tehokkaasti, vaaditaan koulutusta ja harjaantumista henkilökunnalta.

5.2 Suunnitelma piirien seurantaan

Tällä hetkellä suoraan automaatiojärjestelmässä esitettäviä suorituskykyä kuvaavia seikkoja ovat lähinnä hälytykset prosessi-arvojen ylityksestä tai alituksesta. Lyhyitä, 8 tunnin trendejä seuraamalla voi myös päätellä piirin ja prosessin suorituskykyä.

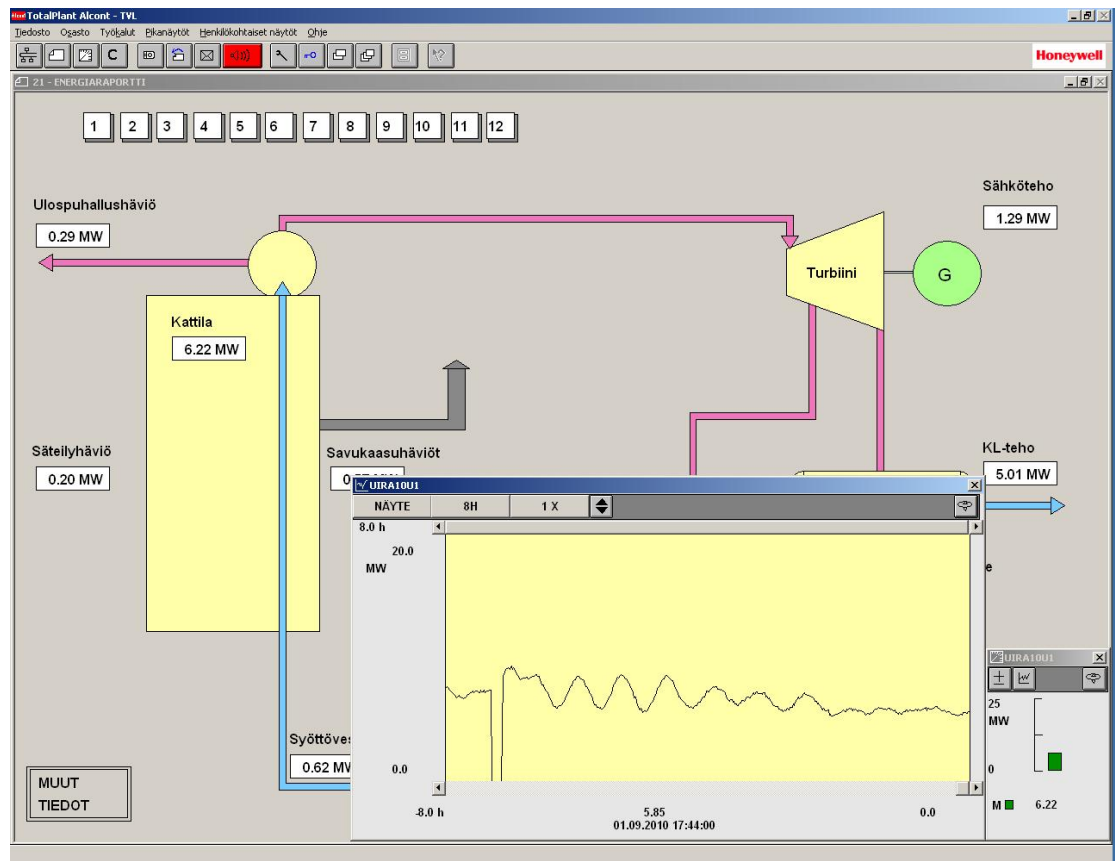
Automaatiojärjestelmän sovelluksena voidaan pienellä työllä lisätä säätöpoikkeamahälytyksiä. Tämä tarkoittaa käytännössä sitä, että lasketaan jatkuvasti mittaus- ja asetusarvon erotusta. Liian suuresta poikkeamasta ylös- tai alaspäin generoidaan hälytys sopivan viiveen jälkeen.

Säätöpiirien pitkän aikavälin seuranta voidaan toteuttaa Kankaanpään kaukolämpölaitoksella nykyisellä laitekannalla kohtalaisen tehokkaasti. Nyt PHD-järjestelmällä seurattavien prosessin mittaustietojen ja käyntitietojen lisäksi voitaisiin kerätä ja esittää tietoa myös piirien ajomoodeista. Myös tilastollisten suureiden hyväksikäyttö olisi helppo toteuttaa.

Säätöpoikkeamahälytysten vaihtoehtona on säätöpiirin virheintegraalin laskenta tai asettumisajan laskenta ja hälyttäminen raja-arvon ylityksestä. Näillä menetelmillä saadaan parempi kuva säädön asetusarvossa pysymisestä. Virheintegraalin laskenta sopii hyvin säätöpiireille, joilla on kiinteä asetusarvo, kuten lieriön pinnansäädöllä. Asettumisajan laskentaa voidaan käyttää myös säätöpiireissä, joissa on muuttuva asetusarvo.

Voimalaitosympäristössä primääri- ja sekundääri-ilmasäädöillä on muuttuvat, laskennalliset asetusarvot.

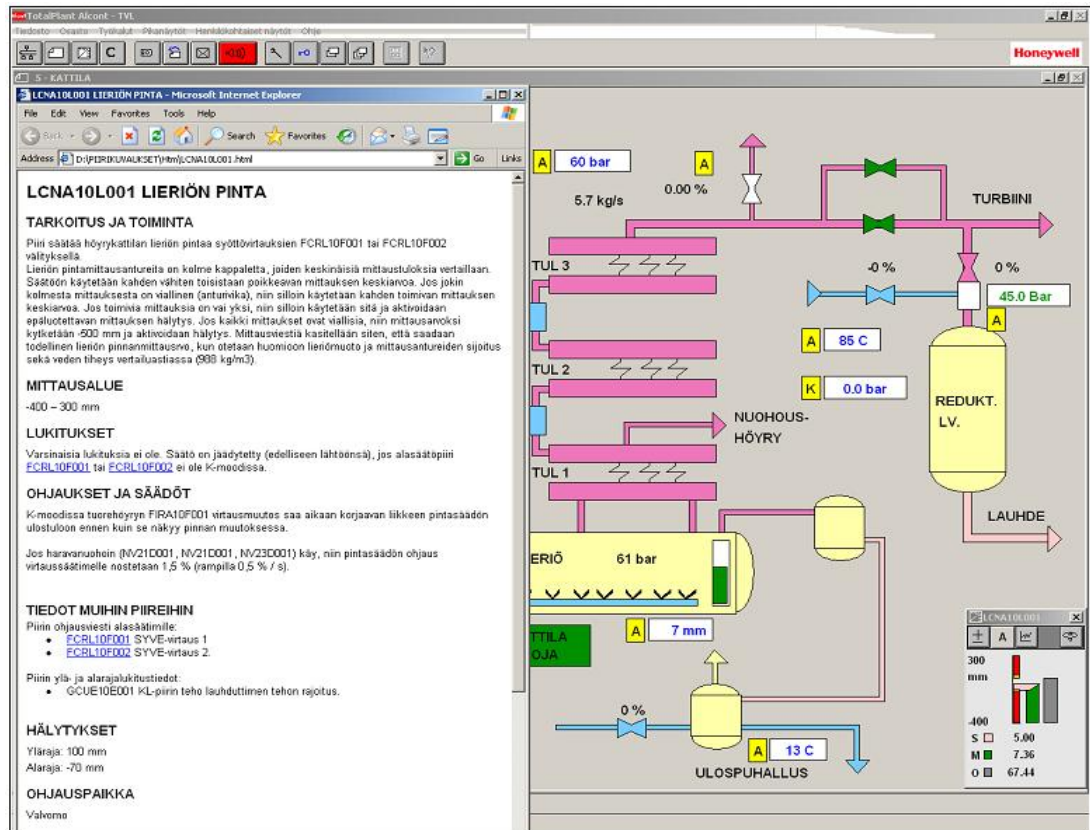
Vaikka ongelmallinen säätö saadaankin paikallistettua, vaatii sen korjaaminen usein ammattitaitoa ja kärsivällistä seuranta. Kuvan 16 tapaus on käytännössä osoittanut, että ongelma on löydetty, mutta ei vielä ratkaistu. Kattilatehon huojunnan korjaamiseksi tarvitaan todennäköisesti säätöalgoritmien täydentämistä tai laitteistorevisiota, koska kattilan kokonaistehossa näkyy turbiinisäätäjän säätöliikkeet.



Kuva 16. Kankaanpään kaukolämpölaitoksen kattilatehossa huomattiin pienillä kuormituksilla värähtelyä. Ongelman analysointi jätettiin tulevaisuuteen.

Piirikohtaiset toimintakuvaukset ovat tärkeä osa nykyaikaista automaatiojärjestelmää. Tämän päivän automaatioprojekteissa piirikohtaisten toimintakuvausten teko aloitetaan määrittelyvaiheessa ja kuvauksia täydennetään projektin edetessä. Vaihtoehtoisia tai täydentäviä dokumentteja piirikohtaisille toimintakuvauksille ovat säätö- ja ohjauskaaviot sekä logiikkakaaviot. Kaikki ymmärtävät tekstimuotoista toimintakuvausta. Kuvauksista operaattori voi lukea tekstimuotoisen selostuksen piirin toiminnoista, lukuksista ja hälytyksistä sekä kytkennöistä muihin piireihin. Uusissa automaatiojär-

jestelmissä operaattori voi avata selaimella piirikohtaisen toimintakuvauksen ohjauspääteelle. Ennen kuin tekstimuotoiset kuvaukset ovat operaattorin käytettävissä, ne on siirrettävä automaatiojärjestelmään kytketylle palvelimelle. Kuvassa 17 on avattu piirikohtainen toimintakuvaus, josta käyttökunta voi lukea piirin toiminnan automaatiojärjestelmässä.



Kuva 17. Automaatiojärjestelmän näytölle on avattu lieriön pinnan toimintakuvaus operaattorin avuksi.

Tällä hetkellä Kankaanpään kaukolämpölaitoksella on tehty osa kuvauksista lukituskaavioiden ja ohjelmasovellusten perusteella. Kuvauksia on valmiina kattilan osuudelta. Toimintakuvausten kirjoittaminen jatkuu tulevaisuudessakin osaprosesseittain, näyttökaavio kerrallaan käytössä olevien resurssien mukaan.

6 JOHTOPÄÄTÖKSET

Opinnäytetyön tavoitteena oli tutustua Kankaanpään kaukolämpölaitoksen automaatioon ja prosessista saatavan mittaustiedon keräämiseen sekä käytettävissä olevan tiedon jalostamiseen ja esittämiseen hyödyllisessä muodossa. Laitoksen pääautomaatio-

tiojärjestelmän työkaluilla muodostettiin sovellus, jonka avulla voimalaitoksen energiavirrat ja hyötysuhteet saadaan esille. Energiavirtojen laskennat perustuvat väliaineiden entalpiaerojen määrittämiseen. Vesihöyryn entalpian lausekielinen laskentasovellus kelpoistettiin kahdella menetelmällä, jotta voitiin olla varmoja sovelluksen luotettavuudesta.

Vaikka laitoksen automaatiojärjestelmän pääosa onkin lähes 20 vuotta vanha, se on edelleen revisiopäivitysten myötä ajanmukainen ja luotettava. Sovellusohjelmoinnin työkalut ovat nykyaikaiset. Ohjelmat tehdään graafisilla toimilohkoilla, jotka kytetään ohjelmallisesti toisiinsa. Vaativat sovelluskokonaisuudet tehdään lausekieliohjelmoinnilla, joka on Pascal-pohjainen. Graafiset ajokaavionäytöt ovat uusissa järjestelmissä selainpohjaisia ja joustavampia käyttää kuin järjestelmätoimittajan omat käyttöliittymäratkaisut.

Energia raportoinnin käyttöliittymän ulkoasua kehitettiin mahdollisimman käyttäjäystävälliseksi. Perinteisen taulukkomuotoisen raportin sijaan päädyttiin visuaaliseen, prosessia kuvaavaan graafiseen esitykseen. Ohjelmia ja varsinkin raportin ulkoasua suunniteltaessa otettiin huomioon, että sovellusta tullaan kehittämään tulevaisuudessa edelleen.

Kankaanpään kaukolämpölaitoksella nyt toteutettu energiaraportointi auttaa operaattoria seuraamaan kattilan toimintaa ja ilmaisee kattilan nuohoustarpeen suurentuneena savukaasuhäviönä. Koska kaikki data on kerätty myös historiatietokantaan, se hyödyttää myös energian kulutuksesta ja tuotannosta vastaavia henkilöitä. Historiatietojen analysointi paljastaa kunnossapitohenkilöille säätöpiirien toiminnan niin lyhyellä kuin pitkälläkin aikavälillä. Nyt tehdyillä sovelluksilla ei ole automaattisia ohjaustoimenpiteitä piiritason ohjelmiin. Myöhemmin voidaan kehittää sovelluksia kokonaisvaltaisen prosessin ajon optimoinnin suuntaan siten, että prosessin ohjausta korjataan automaattisesti jonkin laskennallisen parametrin liipaisemana. Tällaisia tilanteita voisivat olla esimerkiksi nuohouksen automaattinen käynnistyminen ennalta määrättyjen kriteerien täytyessä tai hälytys huonosti toimivasta säädöstä. Jopa säädön automaattinen itseviritys olisi mahdollista tietyissä rajoissa.

Piirien suorituskykyä ei seurata Kankaanpään kaukolämpölaitoksella suuressa mitta-kaavassa säännöllisesti. Automaatiojärjestelmän suorituskapasiteettia nostamalla on tietojen muokkaus saatu mahdolliseksi prosessiasemilla. Kun lisäksi väyläyhteyksiä

muihin osaprosesseihin saadaan valmiiksi, niin tietojen pitkäaikainen keruu PHD-tietokantaan on tehokasta ja hyödyllistä. Suorituskyvyn seuranta kaukolämpölaitoksella kannattaa lisätä ainakin ajomoodien osalta.

Omasta mielestäni tämä työ on täyttänyt sille asetetut tavoitteet ja luonut hyvän pohjan raportoinnin edelleen kehittämiseen Kankaanpään kaukolämpölaitoksessa. Myös toimeksiantaja on tyytyväinen työn lopputulokseen. Automaatiojärjestelmässä on kapasiteettia jäljellä, vain rajallinen aika ja resurssien määrä rajoittavat uusia kehityskohteita.

LÄHTEET

- Ahlström 1988. Suunnitteluohjeet: Ahlström Termoflow'n PI-kaavioiden koodausperiaatteet.
- Ahlstrom 1992. Käyttö- ja hoito-ohjeet. Kankaanpään Kaukolämpö Oy. Kaarina: Ahlstrom Oy.
- Ahlstrom Boilers 1992. Toimintakuvaus, Kankaanpään Kaukolämpö Oy.
- Dorf, C. & Bishop, R. 2005. Modern Control Systems. USA: Pearson Education Inc.
- Fläkt teollisuustuotteet 1991. Termoflow savukaasupuhallin KANVO HACP-112-143-cc-d-e.
- Harju, T. & Marttinen, A. 2001. Säätiipiirin virityksen perusteet. Espoo: Otamedia Oy.
- Honeywell Oy 2004. Järjestelmädokumentit, Kankaanpään Kaukolämpö Oy. Varkaus: Honeywell Oy.
- Honeywell Oy 2005, Laitteistokäsikirja ver. 671. Varkaus: Honeywell Oy.
- Honeywell Oy 2005, Sovellussuunnittelun käsikirja ver. 671. Varkaus: Honeywell Oy.
- Huhtinen, M., Kettunen, A., Nurminen, P. & Pakkanen, H. 2000. Höyrykattilatekniikka. Helsinki: Oy Edita Ab.
- Huhtinen, M., Korhonen, R., Pimiä, T. & Urpalainen, S. 2008. Voimalaitostekniikka. Keuruu: Opetushallitus.
- Korvala, P. & Pihlajamäki, J. 2010. Tiedonantoja. Vatajankosken Sähkö Oy
- Lindstedt, T. 2007. Generaattorin käytön, huollon ja kunnossapitotoimenpiteiden kartoittaminen. Opinnäytetyö. Pori: Satakunnan Ammattikorkeakoulu.
- Majanne, Y. 2007. Kehittyneet säätömenetelmät voimalaitossovelluksissa. Saatavissa: <http://automation.tkk.fi/attach/AS-84-3134/kehittynytasaato.pdf> [viitattu 16.11.2010].

Nygaard J. & Delin L. 1997. Program for Steam And Water Data. Saatavissa: http://www.af.se/upload/TJANSTER_SERVICES/Utdredning/Foldrar/Stemdat_nedladning%20av%20dok.pdf [viitattu 11.10.2010].

Ruokosalo, H. 2010. Voimalaitoksen vedenkäsittely; Sekaioninvaihtimen korvaaminen elektrodeionisaatiolaitteistolla. Opinnäytetyö. Tampere: Tampereen Ammattikorkeakoulu.

Schmidt, E. & Grigull, U. 1989 (ed.). Properties of Water and Steam in SI-Units. Berlin: Springer-Verlag.

SFS-ISO 14617-6 2004. Kaavioissa käytettävät piirrosmerkit, osa 6: mittaus- ja ohjaustoiminnot. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto.

Värjy, M. 2007. Kaukolämpöä tuottavan vastapainevoimalaitoksen leijupetikattilan toiminta Opinnäytetyö. Pori: Satakunnan Ammattikorkeakoulu.

Wikimedia Commons. File 2005. Mollier hs-diagram for water steam. Saatavissa: http://commons.wikimedia.org/wiki/File:HS-Wasserdampf_engl.png. [viitattu 4.10.2010].

