



TAMPEREEN
AMMATTIKORKEAKOULU

KAUKOLÄMPÖKESKUKSEN TOIMINNAN KEHITYS

Lahti Energia Oy Keskikankaan lämpökeskus

Sami-Pekka Virtanen

Opinnäytetyö
Toukokuu 2016
Automaatioteknologia



TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tekniikan ylempi ammattikorkeakoulututkinto
Automaatioteknologia

SAMI-PEKKA VIRTANEN
Kaukolämpökeskuksen modernisointi
Lahti Energia Oy Keskikankaan lämpökeskus

Opinnäytetyö 56 sivua, joista liitteitä 10 sivua
Toukokuu 2016

Tämän kehitystyön tavoitteena oli löytää ideaali ratkaisu vara- ja huippulämmöntuotannossa toimineen lämpölaitoksen nykyaikaistamiseen ja toiminnan kehittämiseen. Tavoitteena oli löytää toiminnaltaan luotettava ja nykyaikainen ratkaisu, jossa on huomioitu henkilöturvallisuus, energiatehokkuus sekä laitoksen käytettävyys.

Teoriaosuudessa käydään lyhyesti lävitse Keskikankaan lämpölaitoksen historia, jonka jälkeen perehdytään kaukolämmöntuotannon periaatteisiin, energianlaskentaan ja säätötapoihin. Kaukolämpölaitoksesta käydään läpi sen päälaitteet ja järjestelmät, kuten kattila, polttimet ja automaatio.

Sopivinta ratkaisua lämpölaitoksen kehittämiseen haettiin asettumalla laitoksen kehityshankkeessa mukana työskentelevien henkilöiden rooleihin, yrittäen nähdä asioita mahdollisimman laaja-alaisesti. Kehitystyöosuudessa päälaitteiden, instrumentoinnin sekä automaatiojärjestelmän modernisointia on käyty yhdessä lävitse suunnittelijoiden, myyjien, asiantuntijoiden, kunnossapito mestareiden sekä kunnossapitohenkilöstön kanssa.

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences, Master's Degree
Degree programme in Automation technology

Sami-Pekka Virtanen
Modernization of district heating plant
Lahti Energia Oy, Keskikangas district heating plant

Bachelor's thesis 56 pages, appendices 10 pages
May 2016

The purpose of this master thesis is to find ideal solution how to modernize and develop functionality of heating plant which has worked as emergency and assistive plant for district heating network. The goal was to find function reliability and modern solution which has also taken notice personal safety, energy efficiency and user-friendliness.

At the theoretical part briefly goes through history of Keskikankaa district heating plant which after there is induction to principals of district heating, energy calculating and control methods of district heating network. District heating plant is examined through its main equipment and systems, such as boilers, burners and automation.

The most convenient solution for the development is tried to find by stepping in the role of several experts working among the project, trying to view problems as widely as possible. Development section of the master thesis modernization of the main equipment, instrumentation and automation system are thought in cooperation with electrical designers, technical sellers, specialists, masters of maintenance and operators.

Key words: heat plat, district heating

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	6
2	KESKIKANKAAN LÄMPÖLAITOS.....	7
3	KAUKOLÄMMÖNTUOTANTO.....	8
4	LÄMPÖLAITOKSEN PÄÄLAITTEET JA JÄRJESTELMÄT.....	10
4.1	Tulitorvi-tuliputkikattila	10
4.2	Polttimet.....	11
4.3	Lukitus- ja suojausjärjestelmät sekä instrumentointi.....	13
4.4	Sähkömoottorikäytöt ja mitoitus.....	13
4.5	Automaatio.....	16
4.5.1	Turvalogiikka	17
4.5.2	Käynnistys- ja pysäytysohjelma.....	17
4.6	Kaukokäyttö ja viestiliikenne	19
5	KAUKOLÄMPÖJÄRJESTELMÄN SÄÄDÖT	21
5.1	Lämpötilan säätö.....	21
5.2	Painetason säätö.....	22
6	ESISUUNNITTELU	23
7	POLTTIMET	25
8	INSTRUMENTOINTI	26
8.1	Happimittaus	26
8.2	Lämpötilanmittaus	27
8.3	Kuivakiehunta	28
8.4	Energianmittaus	29
8.5	Maakaasun vuodonvalvonta	30
9	MOOTTORIKÄYTÖT	31
9.1	Kaukolämpöpumput.....	31
9.2	Palamisilmapuhaltimet.....	32
10	AUTOMAATIOJÄRJESTELMÄ.....	34
10.1	Siemens	35
10.2	Valmet DNA	37
11	SÄÄDETTÄVYYS	40
12	POHDINTA.....	41
	LÄHTEET.....	43
	LIITTEET	44
	Liite 1. PI-kaavio, lähtötilanne	44
	Liite 2. PI-kaavio, lopputilanne	47
	Liite 3. Kulutuspiesteluettelo	50

Liite 4. Instrumentoinnin mittapisteluettelo 53

1 JOHDANTO

Tässä opinnäytetyössä käsitellään Lahti Energia Oy:n omistaman Keskikankaan lämpölaitoksen automaation ja käytettävyyden kehittämistä. Lahti Energia Oy on 100% Lahden kaupungin omistama energiayhtiö, jonka päätuotteita ovat kaukolämpö ja sähkö.

Suurin osa kaukolämmöstä tuotetaan Kymijärven voimalaitoksella, josta kaukolämpöä jaetaan 700 km pituista kaukolämpöverkkoa pitkin Lahden lisäksi Hollolaan, Nastolaan ja Asikkalaan. Peruskuormalaitoksen lisäksi Lahti Energialla on yli 20 huippu- ja varatuotanto laitoksena toimivaa lämpökeskusta. Teoksessa käsiteltävä Keskikankaan lämpökeskus sijaitsee Hollolan kaukolämpöverkon alueella toimien huippu- ja varatuotantolaitoksena.

Työssä käydään läpi lämpölaitoksen automaatiota niin käytetyn logiikan, säätöperiaatteiden kuin käyttöliittymänkin osalta. Työn tarkoituksena on suunnitella ja toteuttaa kokonaisuus, joka toteuttaa projektille annetut tavoitteet, joista yksi tärkeimmistä on kattiloiden käynnistymisen ja sammuttamisen nopeuttaminen. Erityisesti pitkä jälki-käyntiaika on tuottanut ongelmia verkon ajettavuuden kannalta. Työssä tutustutaan teoriassa kaukolämmön tuotantoon ja siirtoon sekä muihin käytettyihin tekniikoihin ja pohditaan erilaisia ajomalleja kaukolämpöpumpuille ja kattiloiden vuoroajoille sekä kattiloiden rinnanajomalleja.

Parhaan mahdollisen tuloksen löytämiseksi pyrin asettautumaan toimintatutkimuksen muodossa työskentelemään yhteistyössä laitoksen käyttöön ja modernisointiin liittyvien henkilöiden kanssa aina suunnittelijasta mekaaniseen asentajaan saakka.

2 KESKIKANKAAN LÄMPÖLAITOS

Keskikankaan lämpökeskus sijaitsee Hollolan kunnassa Salpakankaan teollisuusalueella. Laitos toimii kaukolämmöntuotannossa huippu- ja varalämpökeskuksena. Laitos on miehittämätön ja sitä ohjataan etävalvomosta. Lämpökeskus muodostuu kahdesta eri rakennuksesta, joissa molemmissa on 12 MW:n tehoinen lämminvesikattila. Vuosina 1988 ja 1991 käyttöön otetut kattila ovat kummatkin tyypiltään tulitorviputkikattiloita ja niissä on pyöriväkuppiset yhdistelmäpolttimet. Pääpolttoaineena on maakaasu ja varapolttoaineena on kevyt polttoöljy. Öljysäiliö on tilavuudeltaan 480m³ ja se on laitosten yhteiskäytössä. Varapolttoaineena on aikaisemmin toiminut raskaspolttoöljy, jonka käytössä tarvittavia laitteita on yhä laitoksessa asennettuna. Kattiloilla on yhteinen, 45m korkea ja ulkohalkaisijaltaan 2 m leveä piippu. Kummalakin kattilalla on 0,7m halkaisijaltaan oleva hormi. Lämpölaitoksen maksimi energiantuotanto on 85 GWh/a ja maksimikäyttötuntimäärä 7100 h/a. Todellinen käyttömäärä normaalikäytössä on alle 50 % maksimimäärästä. Pääpiirteissään Keskikankaan lämpökeskuksen komponentit ovat:

- kaksi tulitorvi-tuliputki kattilaa
- maakaasu- ja öljypolttimet
- polttoaineputkistot
- maakaasun pääsulkuventtiili
- savupiippu
- lisävesisäiliö
- paineenpitojärjestelmä
- kaukolämpöveden kiertopumput
- sekoituspumppu
- lähtevän veden lämpötilan säätöautomaatiikka
- poltinautomaatiikka
- sähköpääkeskus
- ilmanvaihto, mukaan lukien palamisilman tuonti

3 KAUKOLÄMMÖNTUOTANTO

Vesikaukolämmityksessä lämpö siirtyy putkissa kiertävän veden mukana. Järjestelmä muodostuu kokonaisuudesta, jonka pääosina ovat lämmityslaitokset, kaukolämpöverkko ja asiakkaiden laitteet. Vettä lämmitetään voimalaitosten lämmönsiirtimissä tai lämmityslaitosten kattiloissa ja se saadaan liikkeelle lämmityslaitosten pumppujen avulla. Veden jäähtyminen tapahtuu asiakkaiden lämmönsiirtimissä tai lämmönkulutuskojeissa, joista se palaa lämmöntuotantolaitoksiin uudelleen lämmitettäväksi. (Energiateollisuus ry 2006, 43.)

Kaukolämpöteho vaihtelee ulkolämpötilan mukaan. Suurimmat kaukolämpötehon tarpeet ajoittuvat talvelle huippupakkasten aikaan ja pienimmillään tehontarve on kesällä, jolloin kaukolämpöä kuluu lähinnä käyttöveden lämmitykseen ja lämpöhäviöihin. (Huhtinen, Korhonen, Pimiä ja Urpalainen 2013, 12.) Voimalaitokset rakennetaan yleensä niin, että sen teho on noin 50 % kaukolämmön huipputehosta. Tällä tavoin isolle voimalaitosinvestoinnille saadaan pitkä käyttöaika. Pääosa energiasta saadaan tuotettua edullista polttoainetta käyttävällä voimalaitoksella pienin käyttökustannuksin ja vain pieni osa energiasta tuotetaan kalliimpaa polttoainetta käyttävillä huippulämpökeskuksilla. Näin saadaan energiantuotantokustannukset minimoitua. (Huhtinen ym. 2013, 14.)

Kaukolämmön tuotantokapasiteetti mitoitetaan siten, että asiakkaille voidaan toimittaa lämpöä riittävän luotettavasti. Toimitusvarmuuden tarpeet vaihtelevat asiakastyypistä riippuen. Asuinrakennusten lämmityksen kannalta lyhytaikainen toimituskatko ei ole yleensä suuri ongelma, koska lämpö varautuu rakenteisiin useiksi tunneiksi. Käyttökohteet, joissa vastaavaa varastoitumista ei tapahdu, kuten lämpimän käyttöveden valmistus eivät saa tarvitsemansa tehoa mikäli lämmöntoimitus verkosta keskeytyy. Erikoiskohteissa, esimerkiksi sairaaloissa ja julkisissa rakennuksissa lämmöntoimituksen luotettavuuden vaatimus voi olla korkeampi. Kulutuksen vaihdellessa vuodenaikojen mukaan myös mitoitustilanteessa on oltava käytettävissä riittävä varateho häiriöiden varalta. Samoin muissa käyttötilanteissa varatehon on oltava käynnistettävissä tarpeen mukaisesti. Toteutukseltaan varateho voi olla huipputehon kaltainen tai yhdistettynä siihen. (Energiateollisuus ry 2006, 326.)

Kaukolämmön energian mittari on laite, joka mittaa lämmönsiirtopiirissä luovutettua lämpöenergiaa. Lämpöenergia mittari on joko itsenäinen laite tai yhdistetty laite joka koostuu virtausanturista, lämpötila antureista meno- ja paluuputkessa sekä laskurista. Prosessissa lämpöenergia saadaan mitattua integroimalla hetkellinen meno- ja paluuvien lämpövirtojen ero ajan funktiona. Kulutetun kaukolämmön määrän selvittämiseksi lasketaan lämpövirta (ϕ) ennen kuluttajia menoputkessa (ϕ_m) ja kuluttajien jälkeen paluuputkessa (ϕ_p).

$$\phi = c * m * T$$

c = kaukolämpöveden ominaislämpökapasiteetti vakiopaineessa (4,2kJ/kg, °C)

m = veden massavirta (kg/s)

T = veden lämpötila (°C)

Tietyinä tarkastelujaksona hetkestä t_1 hetkeen t_2 kulunut lämpöenergia (Q) on meno ja paluupuolen lämpövirtojen erotuksen aikaintegraali,

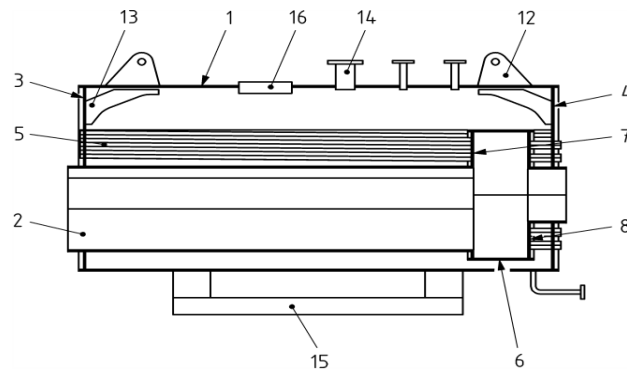
$$\int_{t_2}^{t_1} (\phi_m - \phi_p) dt$$

Laitoksella olevaa lämpöenergianmittausta hyödynnetään verkoston taselaskennassa, asiakkaiden kokonaislaskutuksen oikeellisuuden ja verkostohäviöiden valvonnassa. (Energiateollisuus ry 2006, 114.)

4 LÄMPÖLAITOKSEN PÄÄLAITTEET JA JÄRJESTELMÄT

4.1 Tulitorvi-tuliputkikattila

Tulitorvi/tuliputkikattiloissa savukaasut virtaavat tulitorvessa ja tuliputkissa sisäpuolel- la. Kattilasta riippuen tulitorvia voi olla yksi tai kaksi. Kattila kuuluu suurvesikattiloi- hin, jonka teho on maksimissaan 15 MW yhtä tulitorvea kohden, paineen ollessa alle 20 bar. (Jalovaara, Aho, Hietämäki ja Hyytiä 2003, 22.) Tulitorvesta, jossa syötettävän polttoaineen palaminen tapahtuu, johdetaan kuumat savukaasut kattilan perällä olevan kääntökammion kautta pienempiin tuliputkiin, jotka johtavat savukaasut takaisin katti- lan etuosaan. Kattilan etuosasta savukaasut johdetaan tuliputkissa kattilan peräpäähän liitettävään savukaasukanavaan tai ekonomaiseriin eli syöttöveden esilämmittimeen. (KPA Unicon, 8.) Tulitorvea ja tuliputkia ympäröi vesi, johon prosessin lämpö siirtyy. Kattilassa lämpöteho siirtyy veteen n. 50-prosenttisesti tulipesässä ja loput konvek- tiopintojen kautta. Tulipesän pinta-ala on kokonaislämpöpinta-alasta 10–20 %. Kattilan säteilyhäviöt ympäristöönsä ovat 1-2 % kattilan nimellistehosta ja pysyvät absoluuttisi- na arvoina käy kattila millä teholla hyvänsä. Mikäli siis kattilan säteilyhäviö on 2 % nimellisteholla, on sen häviö puolella teholla 4 %. (Perttula 2000, 170).



Selite

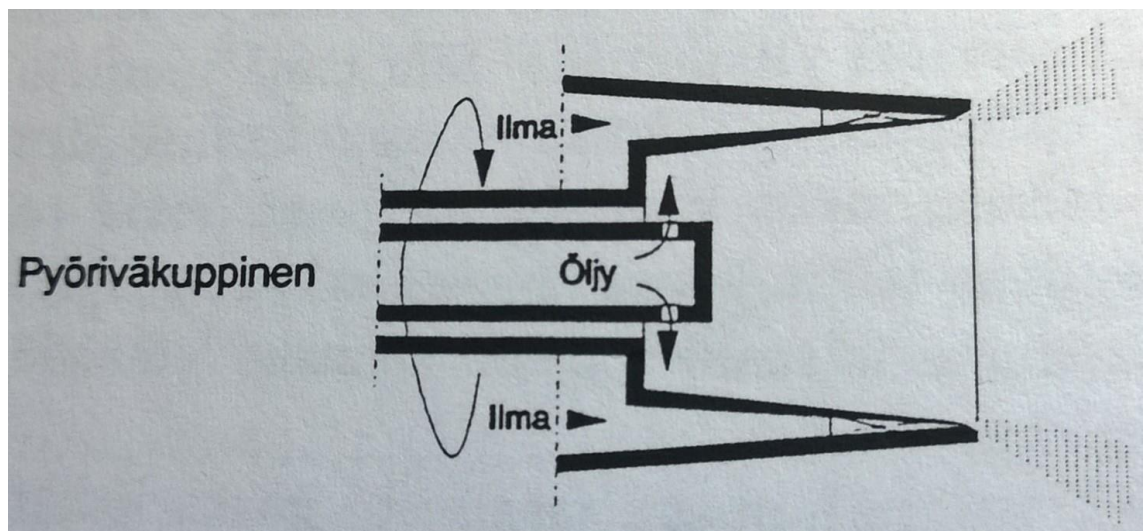
- 1) Lieriömäinen vaippa
- 2) Tulitorvi (1. veto): esimerkiksi suora tai poimutettu tai varustettu jäykistepaljein
- 3) Kattilan etuputkilevy (tai etulevy riippuen kokoonpanosta)
- 4) Kattilan takalevy (tai takaputkilevy riippuen kokoonpanosta)
- 5) Tuliputket (2. veto tai 3. veto) (mahdollisesti sideputkilla tai ankkuritangoilla)
- 6) Lieskakammio (kääntökammion vaippa)
- 7) Lieskakammion putkilevy
- 8) Lieskakammion takaseinä (märkäperäinen kattila)
- 12) Nostokorvat
- 13) Polvilevyt
- 14) Yhteet
- 15) Tuet
- 16) Tarkastusaukko

HUOM. Painetta kantavat pääosat ovat ne osat, jotka muodostavat paineenalaisen kuoren, ja ne osat, jotka ovat oleellisia kattilan kestävyyskannalta.

Kuva 1 Tulitorvikattilan tyypilliset rakenneosat (SFS-EN 12953-1, 10)

4.2 Polttimet

Laitoksen nykyiset polttimet ovat tyypiltään pyöriväkuppisia yhdistelmäpolttimia. Pyöriväkuppisia polttimia käytetään kiinteistöjen, aluelämpökeskusten sekä teollisuus- ja laivakattiloiden polttimina. Näillä voidaankin polttaa kaikkia polttoöljyalaatua, mutta yleensä ne ovat raskasöljykäytössä. Poltin tyyppi on saanut nimensä siihen kuuluvasta pyörivästä hajotuskartiosta, jolla öljy saatetaan pyörivään liikkeeseen ja sumutetaan ensiöilmaa apuna käyttäen. Hajotuskartiion pyörimisnopeus on noin 6000 r/min. Ensiöilma muodostaa täydellä teholla noin 10 % tarvittavasta polttoilman kokonaismäärästä. Loput 90 % kuljetetaan alemmalla paineella polttimen toisioilmarekisterin läpi. (Energialoudellinen Yhdistys 1989, 57). Pyöriväkuppisilla polttimilla päästään yleensä parempaan palamistulokseen ja pienempiin kiintoainepäästöihin kuin painehajoitteilla polttimilla. Polttimen säätöalue on laaja, jopa 1:8 (Huhtinen ym. 2013, 123.)



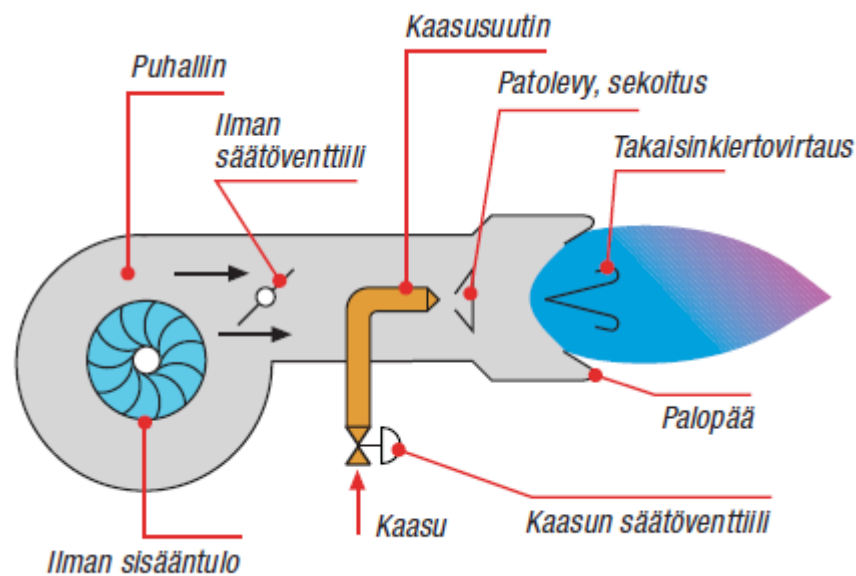
Kuva 2 Pyöriväkuppinen öljynsumutus (Huhtinen ym. 2013, 122)

Öljyn lisäksi yhdistelmäpolttimilla voidaan polttaa siis myös maakaasua. Kaasupoltin voi olla kaasulaitteeseen kiinteästi rakennettu osa tai siihen erikseen liitettävissä esimerkiksi puhallinpolttimen ja lämmityskattilan yhdistelmä, jotka kumpikin katsotaan kaasulaitteeksi ja niiden on siten täytettävä kaasulaitteasetuksen olennaiset vaatimukset. (Suomen Kaasuyhdistys ry 2010, 73.)

Erilaisia poltinmalleja ja rakennelmia on olemassa lukematon määrä erilaisia käyttötarkoituksesta riippuen. Polttimia voidaan kuitenkin jakaa palamisilman syöttötavan mu-

kaisesti. Palamisilma voidaan syöttää puhaltimella, tällöin on kyseessä puhallinpoltin tai luonnonvedon avulla ja näin ollen puhutaan atmosfääripolttimesta. Jakoa voidaan tehdä myös polttoaineen ja ilman sekoitustavan perusteella. Diffuusiopolttimissa kaasu ja palamisilma kohtaavat vasta lähellä liekkiä tai vasta liekissä. Esisekoituspolttimissa kaasu ja palamisilma esisekoitetaan ennen liekkiä. Monet polttimet ovat käytännössä välimuotoja, joissa osa palamisilmasta sekoittuu kaasuun ennen poltinpäästä ja loput täydelliseen palamiseen tarvittavasta ilmasta ohjataan liekkirintamaan. Esisekoituksella ja palamisilman vaiheistuksella sekä poltinpään muotoilulla vaikutetaan liekin ominaisuuksiin kuten sen muotoon, pituuteen ja säteilyominaisuuksiin. Myös päästöihin voidaan vaikuttaa palamisilman sekoitustavalla. (Suomen Kaasuyhdistys ry 2010, 73.) Sääto- ja turvallisuuslaitteiden mukaan kaasupolttimet jaetaan seuraaviin ryhmiin. (Kattilalaitosten turvallisuuskomitea 1993, 5.)

1. Automaattiset polttimet, jotka on varustettu automaattisella käynnistyksellä, pysäytyksellä, palamissäädöllä sekä liekinvalvonnalla pikasulkulaitteineen.
2. Puoliautomaattiset polttimet, joissa käynnistys- ja pysäytyskäskyt annetaan käsin, mutta muut toiminnot ovat automaattiset kuten kohdassa 1.
3. Käsikäyttöiset polttimet. Kaikki toiminnot tapahtuvat käsin polttimen luota pitäen liekinvalvonta pikasulkulaitteineen, jonka on oltava automaattinen.



Kuva 3 Puhallinpoltin (Suomen Kaasuyhdistys ry 2010, 73)

4.3 Lukitus- ja suojausjärjestelmät sekä instrumentointi

Lukitus- ja suojausjärjestelmien tarkoituksena on suojata laitos ja sen henkilökunta es-tämällä väärät käyttötoimenpiteet tai suorittamalla tarpeelliset pysäytystoimenpiteet, kun käyttötilanne tulee vaaralliseksi. Mikäli automatiikka ei suorita kaikkia tarpeellisia toimenpiteitä, laitoksen hoitajan on voitava riittävän instrumentoinnin avulla täydentää turvallisuustoimenpiteiden suoritusta. (Kattilalaitosten turvallisuuskomitea 1993, 6.)

4.4 Sähkömoottorikäytöt ja mitoitus

Sähkömoottorikäytön mitoitus on syytä tehdä harkiten ja huolella, sillä hyvän mitoitus-sen seurauksena voidaan saavuttaa merkittäviä kustannussäästöjä. Mitoitus edellyttää järjestelmän tuntemusta. Käytettävän laitteen ominaisuudet ja prosessin vaatimukset on huomioitava, samoin syöttöverkon jännite ja sen taajuus sekä ympäristöolosuhteet. (ABB Oy 2001, 5.)

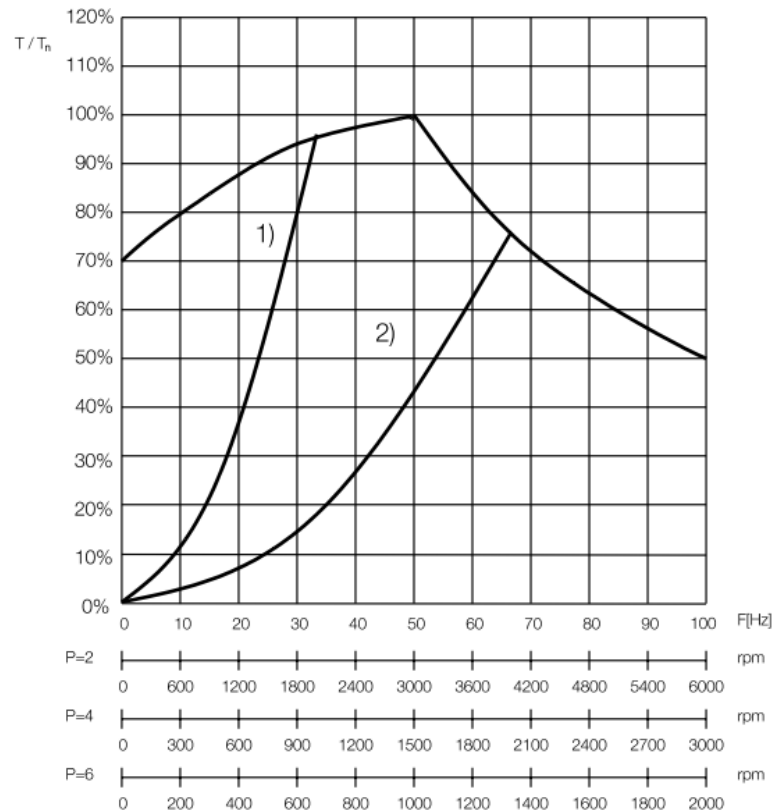
Pumppu- ja puhallinkäyttöjen mitoituksen ensimmäinen vaihe on kierrosalueen tarkis-taminen sekä tehon laskeminen korkeimmalla mahdollisella kierrosluvulla, minkä jäl-keen tarkistetaan käynnistysmomentin tarve. Moottorin koko riippuukin tarvittavasta vääntömomentista eli tehon ja pyörimisnopeuden suhteesta. Seuraava vaiheessa valitaan moottorin napaluku sekä moottoriteho niin, että teho on käytettävissä maksimikierros-luvulla. (ABB Oy 2001, 24.) Moottorin terminen kuormitettavuus on otettava huomi-oon, sillä se määrittelee moottorin pitkäaikaisen maksimikuormitettavuuden. Kun moot-toria kuormitetaan alhaisilla kierrosluvuilla, varustetaan moottori erillisellä jäähdytyk-sellä (ABB Oy 2001, 23). Moottoritehon valinnan jälkeen valitaan taajuusmuuttaja. Taajuusmuuttaja valitaan pumppu- ja puhallinarvoja käyttämällä mikäli ne ovat saata-villa, muutoin taajuusmuuttaja valitaan moottorivirran mukaan. (ABB Oy 2001, 24).

Esimerkki pumppukäytön moottorin ja taajuusmuuttajan valitsemisesta Mitoi-tusesimerkki on esitetty ABB Oy:n laatimassa teknisessä oppaassa.

Esimerkissä tiedetään että pumpulla on 150 kW kuormitus kierrosluvulla 2 000 rpm. Käynnistysmomenttia ei tarvita. Ensin on laskettu tarvittava momentti kierrosluvulla 2000 rpm käyttäen kaavaa.

$$T = \frac{60 * P}{2\pi * n} = \frac{60 * 150000}{2\pi * 2000} = 716Nm$$

Koska on tiedossa tarvittava pyörimisnopeus, lähdetään tarkastelemaan kaksi- ja nelinapaisen moottorin valintaa.



Kuva 4 Moottorin kuormitettavuuskäyrät pumppu- ja puhallinsovelluksissa. 1) 2-napaiset ja 2) 4-napaiset moottorit. (ABB Oy 2001, 25)

Kuormitettavuuskäyrää hyödynnetään siten, että kaksinapaisen moottorin tapauksessa ($P=2$) vaaka-akselilta nähdään kierrosluvun 2 000 rpm olevan kohdassa 33,3 Hz. Vaaka-akselin ollessa 33,3 Hz, kaksinapaisen moottorin tapauksessa luetaan kuormitettavuuskäyrältä 1), joka on noin 95 prosenttia.

Kuormitettavuuden ollessa 95 prosenttia, moottorin nimellismomentin T_n on oltava vähintään.

$$T_n \geq \frac{716}{0,95} Nm = 754Nm$$

Nimellismomentin avulla voidaan johtaa vähintään vaadittu moottorin nimellisteho 95 prosentin kuormituksella P_k .

$$P_k \geq \frac{2\pi * 754 * 3000}{60} = 237kW$$

Valitaan nimellisteholtaan 250kW (400V, $I_n=431A$, 50Hz, 2975 rpm ja 0,87) moottori. Moottorin nimellismomentti T_n on.

$$T_n = \frac{60 * 250000}{2\pi * 2975} Nm = 803Nm$$

Moottorivirta i_m kierrosluvulla 2000 rpm (vakiovuoalue) on noin.

$$i_m = \frac{T_k}{T_n} * I_n = \frac{716}{830} * 431A = 384A$$

Taajuusmuuttajan jatkuva virta on silloin 384 A.

Nelinapaisen moottorin tapauksessa ($P=4$) vaaka-akselilta nähdään kierrosluvun 2000 rpm olevan kohdassa 66,7 Hz. Vaaka-akselin ollessa 66,7 Hz, nelinapaisen moottorin tapauksessa luetaan kuormitettavuus käyrältä 2), joka on noin 75 prosenttia. Kuormitettavuuden ollessa 75 prosenttia, moottorin nimellismomentin T_n on oltava vähintään.

$$T_n \geq \frac{716}{0,75} Nm = 955Nm$$

Vastaavasti moottorilta vähintään vaadittava teho P_k .

$$P_k \geq \frac{2\pi * 955 * 1500}{60} kW = 150kW$$

Valitaan nimellisteholtaan 160 kW (400 V, I_n 305A, 50Hz, 1480rpm ja 0,81) moottori. Arvioitu moottorivirta kierrosluvulla 2 000 rpm (66,7 Hz) on noin.

$$I_m = \frac{P_k}{P_n} * I_n = \frac{150}{160} * 305A = 286A$$

Tarkka virta tulisi laskea, jos valitun taajuusmuuttajan nimellisvirta on lähellä arvioitua moottorivirtaa. 4-napainen moottori vaatii tässä tapauksessa vähemmän virtaa pumpun toimintapisteessä ja on siten luultavasti 2-napaista moottoria taloudellisempi valinta.

4.5 Automaatio

Kaukolämpöjärjestelmä on luonteeltaan teollinen prosessi, jonka hallinnassa säädöt ja ohjausautomaatiikat ovat keskeisessä asemassa. Prosessin valvonnassa on pääpaino mittauksilla ja yksittäisohjauksia on vähän. Hallittavat muutosilmiöt ovat hitaita ja viiveet suuria. (Energialoudellinen Yhdistys 1989, 72).

Automaatiosovellusten kannalta kaukolämpöprosessi jaetaan kolmeen omaan osaan, mutta keskinäisessä vaikutussuhteessa olevaan osajärjestelmään: Lämmönkuluttajat, Siirtoverkko ja Lämpöenergian hankintalähteet, joihin muun muassa lämpökeskukset kuuluvat. Huippukuormalaitokset, joilla tuotetaan 20–40% vuosienenergiasta, käynnistys- ja pysäytyskertojen lukumäärä on huomattava. Tarvitaan myös nopeaa ylösajokykyä. Näiden laitosten kaukokäytettävyys ja sekvenssikäynnistys on perusteltua. (Energialoudellinen Yhdistys 1989, 72).

Ohjelmoitavat logiikat, jotka kehitettiin 80-luvulla perustuvat puolijohde tekniikkaan. Niiden avulla voidaan hoitaa säädöt, ohjaukset, on-off toiminnat jne. Ne toimivat vertaamalla jatkuvasti prosessista tulevia tietoja ja säätö- ja ohjausparametrien muutos käskyjä ohjelmamuistissa oleviin asetuksiin. Logiikka suorittaa laskelmat säätökäskyjä ja asetusarvojen korjausta varten. Keskusyksikkö lukee tulojen tilaa ja vertaa sitä ohjelmamuistiin kirjoitettuihin ehtoihin. Kun ohjelmamuistista löytyy tuloja täyttävä vastaus, logiikka kytkee lähdön päälle. Lähdöllä tarkoitetaan impulssia toimilaitteelle tai pysäytys- tai käynnistyskäskyä. (Huhtinen ym. 2013, 276.) Ohjelmoitavien logiikoiden ohjelmien kiertonopeus riippuu ohjelmamuistin koosta, käskyjen tavumäärästä ja käskyjen laadusta. Myös tulopiirin viive hidastaa logiikoiden toimintaa. (Huhtinen ym. 2013, 276.) Näihin ensimmäisiin ohjelmoitaviin logiikkoihin lukeutuu myös laitoksessa ny-

kyisellään käytössä oleva AEG modicon logiikka. Tämän tutkielman kirjoittamisen aikana kattilalla K1 oleva AEG modicon logiikkayksikkö hajosi ja tulikin konkreettinen esimerkki siitä, kuinka vaikeaa tähän oli löytää tilalle varaosa, tietokone varustettuna tarpeeksi vanhalla käyttöjärjestelmällä sekä ohjelmointityökaluilla. Varaosien ja tietokoneen jälkeen vielä järjestelmän osajallakin oli hankaluuksia saada logiikka ajettua sisälle logiikkaan.

4.5.1 Turvalogiikka

Kattilalaitoksissa automaatiojärjestelmä on tavanomaiseen säätöön ja ohjaukseen tarkoitettu järjestelmä eikä siihen kuulu turvallisuuteen liittyviä järjestelmiä. Turvalogiikka on osa kattilalaitoksen turvallisuuteen liittyvää järjestelmää (TLJ), joka estää kattilan joutumisen vaaralliseen tilaan, tai ohjaa vaarallisessa tilanteessa olevan kattilan turvalliseen tilaan. (Kattilalaitosten turvallisuuskomitea. 2000, 77.)

Kattilalaitosten turvallisuuskomitean laatima ohje turvallisuuteen liittyvästä automaatiosta on tarkoitettu rekisteröitäville kuumavesikattiloille, joiden teho ylittää 15MW. Kuitenkin on selkeyden kannalta järkevää suunnitella ja toteuttaa laitokselle turva-automaatiojärjestelmä. Turvalogiikkana Lahti Energian lämpölaitoksissa on käytetty Himatrix turvalogiikkaa tai Phoenix Contactin ohjelmoitavaa turvarelettä Trisafe, johonka on koottu kaikki määritellyt turvapiirit. Pienemmissä laitoksissa Trisafe on yksinkertaisempi ja kustannustehokkaampi ratkaisu. Turvareleeltä saadaan laukaisutiedot potentiaalivapaana esimerkiksi poltinlogiikkaan, maakaasuventtiilille, paloilmapuhaltimille, polttoainepumpuille. Olivatpa turvatoiminnot sitten ohjelmoitavassa releessä tai turvalogiikassa niin selkein vaihtoehto aina suunnittelupöydältä kunnossapitoon on malli, jossa turvatoiminnot on koottu keskitetysti yhteen paikkaan, eikä pitkin laitosta. Vaihtoehtoinen tapa on sijoittaa turvalogiikka poltinautomaation yhteyteen, mutta tällöin laitteiston omistaja ei pysty tekemään turvalogiikkaan mitään lisäyksiä, muutoksia, päivityksiä tai komponenttien vaihtoa ilman poltin toimittajaa, vaikka muutokset eivät mitenkään liittyisi polttimen toimintaan. (Valkeajärvi 2015.)

4.5.2 Käynnistys- ja pysäytysohjelma

1. Käynnistetään savukaasupuhaltimet, ilmapuhaltimet, kiertopuhaltimet ja ilmanesilämmittimet.
2. Järjestelmä täytetään kaasulla avaamalla tuuletusventtiilit, pääkaasuventtiili, pääputkenpikasulkuventtiili tai sen ohitusventtiili sekä virtauksen säätöventtiili.
3. Kaasutila tuuletetaan ennen sytytyspolttoaineen sytytystä vähintään 2 minuuttia ja vähintään puolta kuormaa vastaavalla ilmavirralla ellei kattilan valmistaja ole määrännyt tehokkaampaa tuuletusta. Mahdollinen poltinjärjestelmän tiiviyskoe suositellaan suoritettavaksi tuuletuksen aikana.
4. Suljetaan virtauksen säätöventtiili.
5. Avataan kaasun käynnistyspaineen säätöventtiili. Venttiilin aukaiseminen ylläpitää polttimilla vakiopaineen sytytyksen aikana. Tuuletusventtiilejä avataan tarvittaessa aikaansaamaan riittävä virtaus säätöventtiilin läpi.
6. Sytytyspoltin käynnistysvalmiuteen
7. Säädetään ilmavirtaus käyttöohjeen mukaiseen arvoon sytytettävässä polttimessa
8. Käynnistetään sytytyspoltin. Ensimmäinen sytytysyritys on tehtävä 10 minuutin kuluessa tuuletuksen päättymisestä. Jos sytytyspoltin ei syty varmuusaikansa kuluessa, suljetaan polttoaineventtiili ja sähkö kytketään pois. Poistetaan syy epäonnistumiseen. Uusinta tuuletus ei ole tarpeellinen. Uusia sytytysyrityksiä saa tehdä viidenminuutin aikana.
9. Kun sytytysliekki palaa vakaasti, käynnistetään pääpoltin. Jos sytytys ei tapahdu varmuusajan kuluessa, on pääpolttimen ja sytytyspolttimen pikasulkuventtiilien sulkeuduttava. Tulipesä tuuletetaan uudestaan ja syy epäonnistuneeseen sytytykseen poistetaan. Jos muita polttimia tai polttoaineita on käytössä, ei tarvitse tuulettaa uudestaan, elleivät kattilan valmistajan ohjeet sitä edellytä. Jos jokin polttimen pikasulkuventtiiliryhmän venttiileistä ei toimi oikeaan aikaan, on tästä saatava hälytys ja jokin pikasulkuventtiilin edessä olevista sulkulaitteista on mahdollisimman pian suljettava.
10. Kun liekki palaa vakaasti, säädetään ilmarekisteri tai pelti hitaasti ajoasentoon.
11. Pysäytetään sytytyspoltin.
12. Suljetaan mahdollisesti auki olleet tuuletusventtiilit, kun kaasun virtaus polttimilla on riittävä hyvän säädön aikaansaamiseksi.
13. Soveltuvin osin noudatetaan samaa ohjelmaa, kun lisää polttimia otetaan käyttöön. Kaasun ja ilman virtauksen automaattinen säätö on saatava toimintaan niin pian kuin mahdollista käynnistyksen edistyessä.

Katilaa pysäytettäessä, on kuorma ensin vähennettävä minimiin. Säättötoimenpiteen jälkeen kytketään palamisilmasäätö pois ja polttoaine- sekä ilmasäädöt asetetaan kuten ennen käynnistystä. Pysäytys tehdään pääpiirteittäin käännettyssä järjestyksessä käynnistykseen nähden. (Kattilalaitosten turvallisuuskomitea 1993, 6.)

4.6 Kaukokäyttö ja viestiliikenne

Kaukokäytön tarkoitus on valvoa ja ohjata kaukolämpöverkon ja lämpökeskusten toimintaa, parantaa asiakastytyväisyyttä lämmön laatua valvomalla, varmistaa lämmöntoimitusta sekä vähentää ja ennakoida vaurioita. Kaukokäyttöjärjestelmä siirtää ja tallentaa verkon sekä lämpökeskusten prosessitietoja niitä tarvitseville. Järjestelmällä voidaan ohjata venttiilejä ja pumppuja sekä seurata tuotannon tilaa. (Energiateollisuus ry 2006, 345.)

Kaukokäyttöjärjestelmä sijoitetaan yleensä joko jatkuvasti tai ajoittain miehitettyyn valvomoon, jossa voidaan päivittää ja ylläpitää ohjelmistot. Varsinainen valvonta ja järjestelmän muu hyödyntäminen voidaan hajauttaa useisiin valvontapisteisiin ja hoitaa siirrettävillä päätteillä. Järjestelmän toiminnot hoidetaan eri valvontapisteisiin sijoitettujen ala-asemien avulla joita ovat muun muassa paine-eroasemat, venttiiliasemat, pumppaamoasemat ja lämpökeskusasemat. (Energiateollisuus ry 2006, 345.)

Kaukokäytön viestiliikennettä hoidetaan usein omissa tai vuokratuissa kaapeliverkoissa. Viestiliikenne voidaan hoitaa myös puhelin- tai ISDN-verkon välityksellä. Johdottomina yhteyksinä voidaan käyttää kaapeliverkon rinnalla GSM/GPRS verkkoa, radioverkkoa tai radiolinkkiyhteyksiä. (Energiateollisuus ry 2006, 345.)

Lahti Energian lämpölaitokset, joiden kaukokäyttö on suoraan Netcon järjestelmässä, viestiliikenne on toteutettu radioteitse. Salpakankaan sähköasemalla on tukiasema, joka hoitaa pollaamalla kyselyn lämpölaitosten tilasta. Yhteys tukiasemalle tulee Lahti Energian pääkonttorilla Kauppakadulla Lahdessa NFE32-liikennöintiyksiköltä viestiverkon modeemiyhteyden kautta.

Liikennöintiyksikkö NFE32 on Netcotrolin valmistama sarjaliikenneprotokollamuunnin, joka käsittää LAN-portin ja 32 sarjaporttia. Portteihin voidaan mää-

ritellä eri liikennöintinopeuksia sekä eri liikennöinti-protokollia. LAN-portti kytketään Scada-järjestelmän kytkimeen ja hoitaa näin liikennöinnin NFE-link sovelluksen kautta tietokantaan, johon ala-asemalta tarvittavat I/O-pisteet on määritelty.

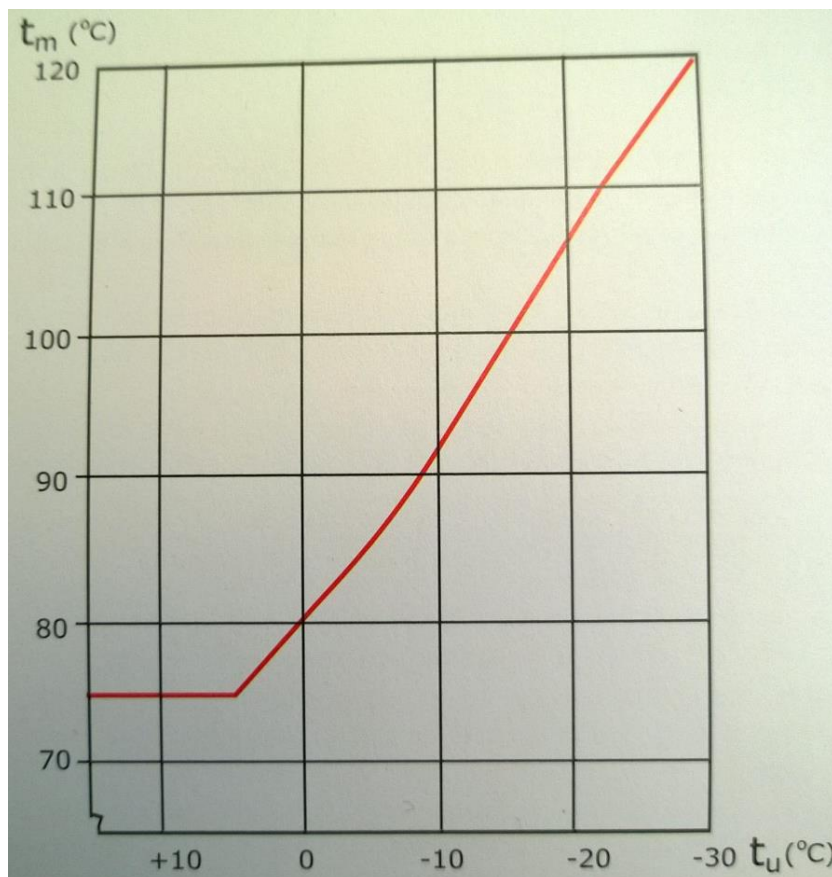
Keskikankaan radioliikenne lähetetään Salpakankaan sähköasemalla sijaitsevalle tukiasemalle Nokian valmistamalla 2WLL-modemilla nopeudella 2400 bps. Liikennöinti-protokollana käytetään modbus protokollaa. Tukiaseman liikennöinnissä on kuusi lämpökeskuksen logiikkaa, joille jokaiselle on annettu oma yksilöllinen osoite, station address. Tarkasteltavana olevassa Keskikankaan lämpökeskuksessa on kaksi logiikkaa, jolloin sille on pitänyt varata kaksi osoitetta liikennöintiä varten, station 1 ja 2.

Radiomodeemit tukiasemalla ja ala-asemalla ovat Englantilaisia RDT:n valmistamia ja toimivat 500mW:n lähetysteholla ja 406.8 MHz:n taajuudella. Antenneina käytetään tukiasemalla Aerialin valmistamaa AV1915 ja ala-asemalla saman valmistajan AV1467 mallia.

5 KAUKOLÄMPÖJÄRJESTELMÄN SÄÄDÖT

5.1 Lämpötilan säätö

Kaukolämpöverkoston lähtevän veden lämpötilaa muutetaan ulkolämpötilan mukaan siten, että lähtevänveden lämpötila on kylmimpinä aikoina talvella 115 °C ja kesällä 70 °C. (Huhtinen ym. 2013, 14.) Menolämpötilan alarajan määrää asiakkaiden kaukolämpölaitteiden mitoitus, käyttöveden lämmityksen riittävyys, prosessien mitoitus, lämpöhäviöt sekä verkon siirtokyky. Menolämpötilan ylärajaa määrää lähinnä verkon suunnittelulämpötila ja lämpöhäviöiden minimoiminen pitämällä menolämpötila mahdollisimman alhaisena. Näiden vaatimusten pohjalta on haettu säätökäyriä tuotantolaitoksille menolämpötilaksi eri ulkolämpötiloilla. Menolämpötilan säätökäyrä haetaan mahdollisimman alhaiseksi asiakkaiden lämmönoimituksen siitä kärsimättä. (Energiateollisuus ry 2006, 336.) Menolämpötilan nostaminen lisää lämpöhäviöitä putkistossa. Lämpötilan lasku puolestaan kasvattaa lämmön siirtämisen tarvittavaa virtausta, mikä lisää tarvittavaa pumppaustehoa. (Kettunen 2016).



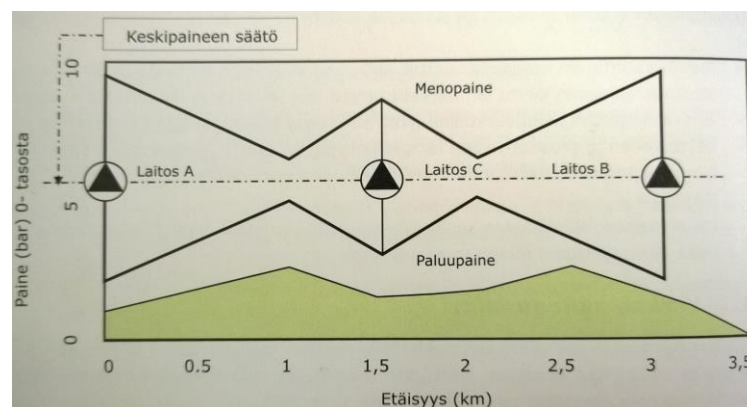
Kuva 5 Menolämpötilan säätökäyrä ulkolämpötilan mukaan (Energiateollisuus ry 2006, 336.)

Kaukolämpöverkon lämpörasitusten välttämiseksi on menolämpötilan säätönopeutta rajoitettu. Ohjearvona normaalitilanteessa pidetään 1-2 astetta C/6min. Samaa verkkoa syöttävien tuotantolaitosten menolämpötilojen ero saa normaalitilanteessa olla enintään 10 astetta C. (Energiateollisuus ry 2006, 336.)

5.2 Painetason säätö

Kaukolämpöverkostossa pitää olla tietty minimipaine, ettei vesi pääse höyrystymään. Paineenpito toteutetaan paineenpitopumpuilla, joita on yleensä kaksi rinnan. Pumput voivat toimia esimerkiksi painekytkimen ohjaamina. Paineenpitopumput pumpaavat vettä lisävesisäiliöstä kaukolämpöverkoston paluuputkeen. Pumpuilla pumpataan lisävettä esimerkiksi paikkaamaan vuotojen kautta tapahtuvaa hävikkiä tai jos lämmöntuotannon häiriön vuoksi verkosto alkaa jäähtyä ja paine sen vuoksi laskea. (Huhtinen ym. 2013, 14.) Mikäli paluuputkessa on liian pieni imupaine saattaa vesi höyrystyä pumpuissa pieniksi kupliksi, jotka juoksupyörän siiven alapuolelle joutuessaan räjähdysnomaisesti tiivistyvät vedeksi aiheuttaen siiven pintaan iskuja, jotka pilaavat nopeasti juoksupyörän siivenreunat. Paluuputkessa imupaineen onkin oltava vähintään 0,5 bar ja menoputkessa 120 °C vedellä vähintään 3 bar. (Huhtinen ym. 2013, 14.)

Painetason säätöä kutsutaan yleisemmin keskipaineen säädöksi, koska painekuvaajassa meno- ja paluupaineiden keskiarvo muodostaa keskipainetason. Suurissa verkoissa keskipainetasoa ei haluta muuttaa kuormituksen mukaan. Tällöin säädetäänkin paineen ylläpitolaitteilla nimenomaan keskipainetta. (Energiateollisuus ry 2006, 338.)



Kuva 6. Painekuvaaja ((Energiateollisuus ry 2006, 338.)

6 ESISUUNNITTELU

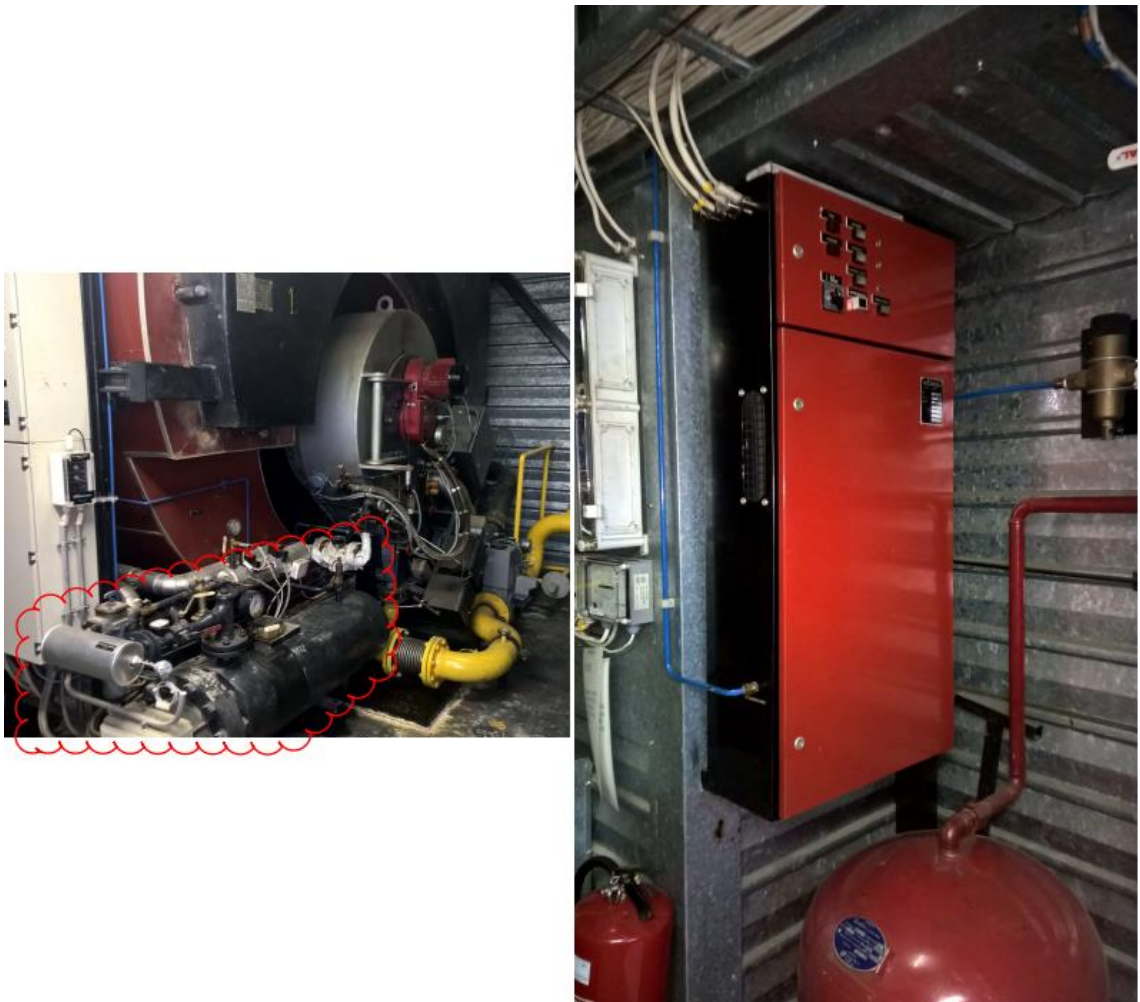
Lämpölaitoksen modernisoinnissa tasapainotellaan useiden eri tekijöiden välillä mutta yksi suurimmista vaikuttavista tekijöistä on kustannushyöty. Lämmön vara- ja huippulaitoksen tuottamaa hyötyä on hankala ennustaa. Laitos seisoo suurimman osan vuodesta käyttämättömänä eikä seisoessaan tuota yhtiölle tulosta. Toisaalta huippupakkasjaksojen aikana laitos takaa asiakkaille riittävän lämmöntuotannon ja tuottaa tulosta, toki peruskuormalaitosta huonommin kalliimman polttoaineen johdosta. Peruskuormalaitoksen vikaantuessa varalaitoksen toimintavarmuus on ensiarvoisen tärkeää.

Kyseessä olevan laitoksen esisuunnittelu vaiheessa kartoitettiin useampia vaihtoehtoja laitoksen uudistamiseen. Pohdinnassa oli vaihtoehto, jossa polttimet, automaatio sekä tarvittava instrumentointi uudistettaisiin. Laitoksen polttimet ovat suunniteltu raskaalle polttoöljylle ja ne ovatkin jälkikäteen modifioituja kaasukäytölle. Kattilalla K1 sijaitsevan vanhemman Petro merkkisen polttimen palamistapahtuma ei ole optimaalinen, johon juuri siitä että poltin on alun perin suunniteltu raskaalle polttoöljylle. Nyt polttimen liekki ei pyörtele oikein ja väärän mallisen liekin vuoksi palotapahtuma jää epätäydelliseksi tuottaen savukaasuja. Polttimen sytytysliekki on öljyllä, mikä uudemmissa mallissa on myös kaasulla. Kattilan K2 polttimella joudutaan suorittamaan työtä paikan päällä haluttaessa vaihtaa kaasu ja öljykäytön välillä ja tässäkin mallissa sytytysliekki on aina öljyllä. Polttimien uusimisen myötä sytytysliekit olisivatkin kaasulla ja palamisesta saataisiin täydellisempää, mikä parantaa kattiloiden energia taloudellisuutta sekä ympäristöystävällisyyttä. Kummallakin kattilalla palamisilman säätö tapahtuu johtosiipisäätöisillä puhaltimilla. Johtosiipisäätöisten puhaltimien vaihtaminen taajuusmuuttajilla säädettyihin puhaltimiin olisi myös energiataloudellisesti kannattavaa. Olemassa oleva instrumentointi kartoitettiin ja todettiin kelpaavan suurelta osin hyödynnettäväksi. Lopullisessa ratkaisussa päädyttiinkin tutkimaan ratkaisua, jossa uusitaan laitoksen automaatio tarvittavine kaapelointineen sekä kummatkin polttimet, vanhaa olemassa olevaa instrumentointi mahdollisilta osilta hyödyntäen.

Laitoksen modernisoinnin uusinta aloitettiin laitoskierroksella, jonka aikana verrattiin laitoksen instrumentointia olemassa olevaan PI-kaavioon, Liite 1. Mukana arvioimassa laitoksen kehitettävyyttä oli Rejlers pääsuunnittelija Ville Valkeajärvi. PI-kaavio ei täy-

sin pitänyt paikkaansa ja samalla tehtiinkin punakynä versio vastaamaan todellista tilannetta.

Laitos on muutettu raskaalta polttoöljyltä kevyelle, jolloin joitakin laitteita on jäänyt tarpeettomaksi. Raskasta polttoöljyä käyttäneessä laitoksessa on ollut käytössä öljyn juoksevana pitämisen varmistamiseksi polttoaineen esi- ja jälkilämmitys. Raskaan polttoöljyn palamisprosessissa syntyvien NO_x-päästöjen vähentämiseksi tarkoitettu vesiemulsiolaitteisto vesilinjoineen on jäänyt myös tarpeettomaksi. Vanhojen laitteiden poistaminen selkeyttäisi laitoksen ulkonäköä sekä pienentäisi virheen mahdollisuutta tutkittaessa tai seurattaessa eri putkistojen reittejä sekä vähentäisi kunnossapidettävien eli mahdollisten vika kohteiden määrää.



Kuva 7. Käytöstä poistettuja asennuksia kattilalla K1: vasemmalla raskaanpolttoöljyn jälkilämmitys, oikealla vesiemulsiolaitteisto.

7 POLTTIMET

Oilonin öljy-, kaasu- ja yhdistelmäpolttimet ovat täysin automaattisia ja ne soveltuvat lämmin- ja kuumavesikattiloihin, höyrykattiloihin, kuumailmakehittämiin ja erilaisiin prosessilämmityslaitteisiin. Polttimien suunnittelussa ja valmistuksessa on pyritty ajattelemaan taloudellisuutta, turvallisuutta sekä huolto- ja ympäristöystävällisyyttä. Kaasupolttimet täyttävät standardin EN 676, öljypolttimet standardien EN 230 ja EN 267 ja yhdistelmä- polttimet kaikkien edellä mainittujen standardien vaatimukset. Laitokselle valittavat polttimet GKP-yhdistelmäpoltin, joka on suunniteltu toimimaan kaasulla sekä kevyellä polttoöljyllä. (Puro 2016.)

Polttimet valmistetaan ruostumattomasta terässeoksesta, palopää ja liekkilevy kestävät n. 1200 °C lämpötilan. Ilmanvirtausta palopäässä säädetään automaattisesti optimipalamisarvojen saavuttamiseksi koko tehoalueella. Liekintarkkailua varten poltin on varustettu lasipäällysteisellä aukolla. Liekki on valvottu automaattisesti poltinlogiikassa UV-kennon avulla. Liekinvalvonta katkaisee kaasunsyötön, mikäli liekkiä ei havaita. Polttimen imupuolella sijaitseva ilmansäätöpellistö toimii säätömoottorilla säätäen automaattisesti polttoaineen ja ilman määrää tehontarpeen mukaan. Säätömoottorin ajoaika on 60 sekuntia / 90°. Polttoaineiden säätöventtiilit ja ilmapelti ovat joko akselilla toisiinsa yhdistettynä ja varustettu pistesäätöyksiköllä tai ne voidaan varustaa kukin omilla säätömoottoreilla, jolloin käytetään elektronista suhdessäätöä. (Puro 2016.)

Polttimien ohjausautomaatiikka on rakennettu erilliseen ohjauskaappiin, jossa sijaitsevat mm. ohjelmarele, merkkilamput, tehonsäätöyksikkö ja käyttökytkimet. Ohjelmarele suorittaa polttimen kaikki toimintavaiheet automaattisesti. Häiriötilanteissa polttimen automaatiikka huolehtii polttimen pysäyttämisestä automaattisesti. Moduloivat polttimen ollessa kyseessä toimitetaan ohjausautomaatiikka tehonsäätöyksiköllä varustettuna. (Puro 2016.)

8 INSTRUMENTOINTI

8.1 Happimittaus

Valtioneuvoston asetuksessa alle 50 megawatin energiatuotantoyksiköiden ympäristösuojeluvaatimuksissa on määrätty että toiminnanharjoittajan on seurattava palamisolosuhteita varmistaakseen palamisen hyvyyden ja sitä kautta pienet päästöt. Happipitoisuutta ja lämpötilaa on seurattava jatkuvatoimisilla mittalaitteilla uusilla ja peruskuormayksiköillä. (Finlex, 750/2013, 2016.) Lahti Energialla vakiintuneena mittalaitteena on käytetty ABB:n valmistamaa palokaasun happianalysaattoria Endura AZ20, jonka toimivuus on ollut hyvä. Laite on myös juuri uusittu, minkä vuoksi se voidaan hyvin hyödyntää saneerauksessa. (Tapio Hätilä 2016.) Ilmaisim toimii zirkoniumoksidisella kennolla, joka on asennettu anturin päähän. Anturi asennetaan kaasukanavaan. Heti paikalla otettavat mittaukset takaavat arvojen tarkan ja nopean käsittelyn polttoprosessin hallintaan ja päästöjen seurantaan. (ABB Oy 2016.)



Kuva 8. Endura AZ20 happianalysaattori.

8.2 Lämpötilanmittaus

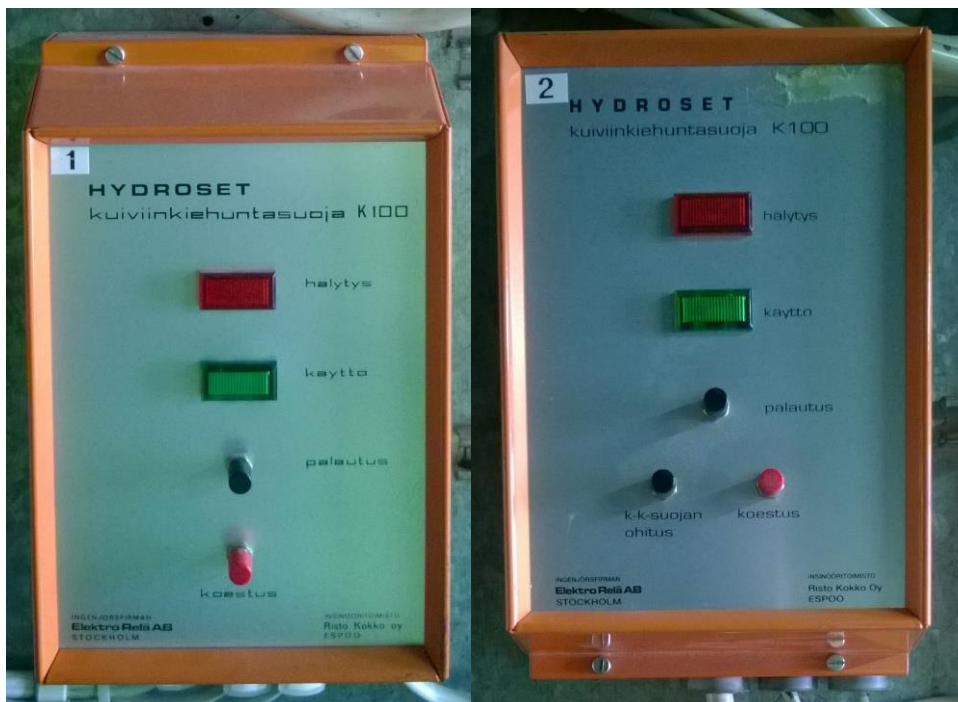
Lämpötilan mittauksia laitoksella käytetään useassa kohteessa termostaattien sekä lähetimien muodossa. Mittauksia on muun muassa kaukolämmön menoputkessa, joiden tehtävänä on säätää polttimen tehoa, avata shunttiventtiiliä tai lähettää tietoa automaatiojärjestelmään. Kattilalta lähtevässä kaukolämpövesiputkessa on lisäksi kaksi rajoitin termostaattia, jotka katkaisevat lämmöntuotannon mikäli lämpötila putkessa nousee liikaa. Paikan päällä kuitattavien rajoitin termostaattien aika alkaa olla vanhentunutta tekniikkaa ja laitoksia modernisoitaessa nämä usein uusitaankin lämpötilalähettimiin. Vakiintunut käytäntö, Lahti Energian modernimmissa lämpökeskuksissa, on käyttää kolmea lämpötilalähetintä sarjassa, joista kaksi toimii lämpötilan rajoittimena ja yksi osallistuu polttimen säätöön ja lämpötilan tiedon keruuseen. Rajoitin termostaattien valvonta on etänä käytännössä mahdotonta, mikä on jo hyvä peruste päivittää modernisointien yhteydessä nämä lähettimiin. (Tapio Hätilä 2016.)



Kuva 9. Uusittavia lämpötilalähettimiä.

8.3 Kuivakiehunta

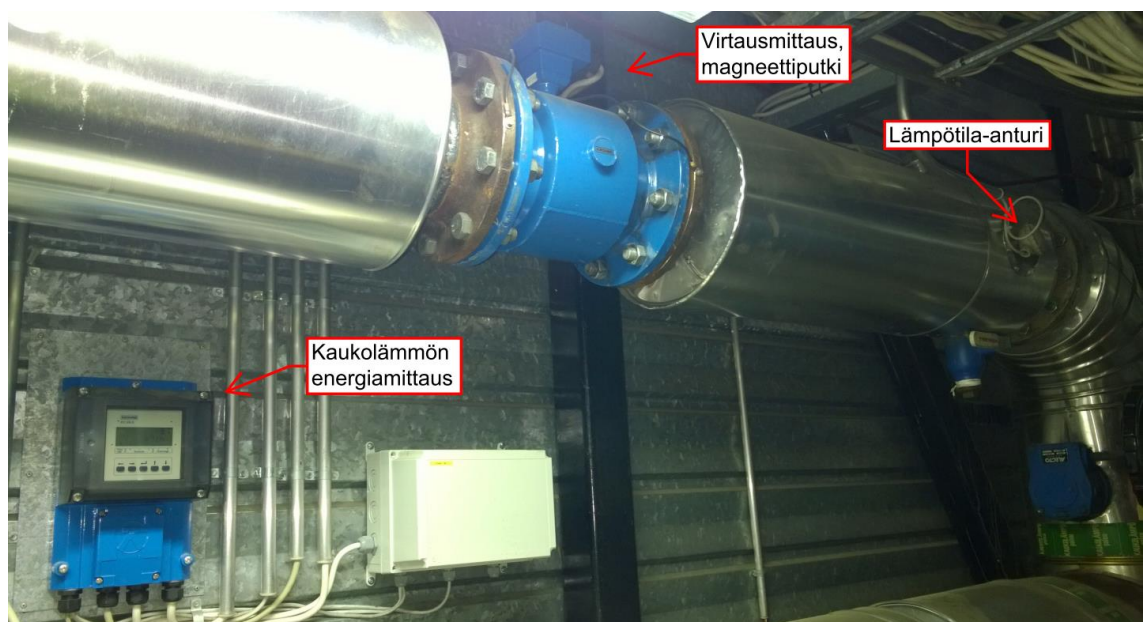
Kuivakiehuntasuojina kuumavesikattiloilla Lahti Energialla on tyypillisesti käytetty Kokko Control:in valmistamaa Hydroset K100 kuivakiehuntasuojaa. Suoja tunnustelee kattilaveden pinnankorkeutta elektrodin välityksellä hyödyntäen kattilaveden sähköjohtavuutta. Suoja muodostaa virtapiirin elektrodin ja kattilan rungon välille. Elektrodi on erotettu kattilan rungosta teflon tiivisteellä. Elektrodin ollessa vedessä elektrodin ja elektrodilaipan välinen jännite on 0-5 V ja elektrodin ollessa ilmassa jännite on 15-35V Tilanteen ollessa normaali vihreä ”käyttö” merkkivalo palaa. Kuivakiehunta suoja laukeaa, mikäli laitteella on yli 10 sekuntia kestävä jännitekatko tai kattilaveden pinta on alarajan alapuolella, tällöin palaa punainen ”häiriö” merkkivalo. Elektrodi pyritään sijoittamaan kattilan korkeimpaan kohtaan, joka on yleensä kattilalta lähtevä kaukolämmön menoputki ennen shuntti venttiiliä.



Kuva 10. Hydroset K100 kuivakiehuntasuojia.

8.4 Energianmittaus

Lämpölaitosten kaukolämmön tuotannon energiamittausta on Lahti Energialla toteutettu hieman eri variaatioilla, laitteiston ollessa pääpiirteissään sama. Kaukolämmön veden virtaus laitoksilla pyritään mittaamaan paluuputkessa, jolloin mittarin läpi virtaavan veden lämpötila on alhaisempi. Matalampi lämpötila pienentää mittalaitteen hankintahintaa sekä pidentää elinkaarta, mitoituslämpötilan ollessa alhaisempi. Mittalaitteena on käytetty magneettisia virtausantureita. (Tapio Hätilä 2016.) Magneettisen virtausanturin toiminta perustuu induktiolakiin, jonka mukaan johteen liikkuaessa magneettikentässä ja leikatessa vuoviivoja siihen indusoituu jännite. Jännite on suoraan verrannollinen virtausnopeuteen. Magneettisen mittauksen edellytyksenä kaukolämpöveden johtokyvyn täytyy olla riittävä. (Energiateollisuus ry 2006, 338.) Lahti Energian käytössä magneettiset virtausanturit ovat osoittautuneet luotettavuudeltaan hyviksi (Tapio Hätilä 2016). Kokemus on osoittanut että energiamittauksessa kannattaa valita laite, joka itse suorittaa energialaskennan. On havaittu että automaatiojärjestelmässä suoritettu energialaskennassa on ollut poikkeamia. Suoritettaessa laskentaa hyväksytyllä mittalaitteella on kunnossapitäjä vakaamalla pohjalla energiantuotantoa tarkasteltaessa. (Tapio Hätilä 2016.)



Kuva 11. Kaukolämmön lämpöenergian mittauslaitteistoa.

8.5 Maakaasun vuodonvalvonta

Maakaasun vuodonvalvonnalla varmistetaan kohteen turvallisuutta mittaamalla kaasun pitoisuutta ilmassa. Keskikankaan lämpölaitoksella käytössä on Sensorex Oy:n valmistama jatkuvatoiminen vuotokaasun valvontajärjestelmä, jotka on varustettu vuotokaasun ilmaisimilla (CH₄). Itse keskus sijaitsee kattilan K2 rakennuksessa ja kummassakin laitoksessa on asennettuna kaksi vuotokaasuilmaisinta maakaasupolttimien läheisyyteen. Maakaasun vuototapauksessa järjestelmä sulkee maakaasun pääsulkuventtiilin. Keskus on yhä käyttökelpoinen ja helposti liitettävissä releulostulojen avulla mihin tahansa automaatiojärjestelmään, minkä vuoksi tätä ei ole tarpeen uusien saneerauksen yhteydessä.



Kuva 12. Vuotokaasuvuonon keskusyksikkö.

9 MOOTTORIKÄYTÖT

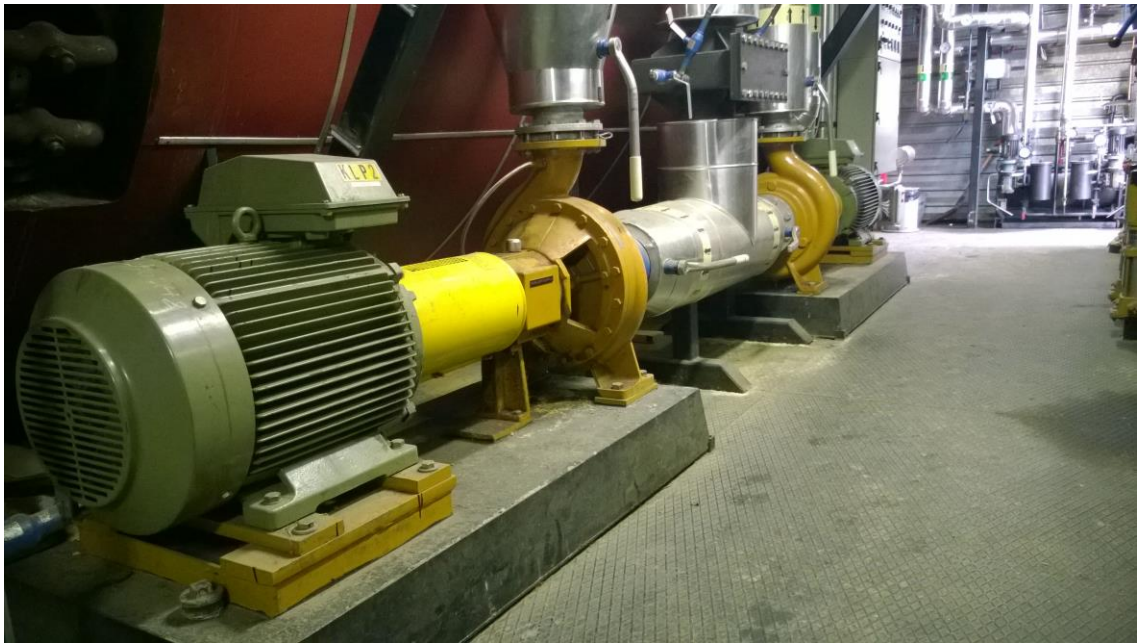
9.1 Kaukolämpöpumput

Laitoksella on kaksi kappaletta 55 kW kaukolämpöpumppua, jotka toimivat rinnankytkettynä taajuusmuuttaja ohjattuina. Pumpuilla ei ole automaattisesti toimivaa vuorokäyttöä vaan ensin käynnistyvä pumppu valitaan valintakytkimellä paikanpäällä. Pumpujen toimintaa voidaan parantaa miettimällä automaation toteutuksen uudelleen. Pumpuilla olisikin järkevä olla vuorottelu automatiikka, jolloin huoltojen ajoitus saadaan samalle ajankohdalle lämmityskauden ulkopuolelle, mikä tässä tapauksessa on järkevä vaihtoehto sillä laitoksen käyttö lämmityskauden ulkopuolella on erittäin epätodennäköistä.



Kuva 13. Kaukolämpöpumppujen valintakytkimet.

Pumppujen toimintakuvaus kuuluisi seuraavanlaisesti. Kaukolämpöpumppujen käynnistysvaiheessa ainoastaan yksi pumppu käynnistyy. Toinen pumppu käynnistyy vasta, kun ensin käynnistyneen pumpun kierrokset ovat vähintään minuutin ajan yhtä suuret tai suuremmat kuin 80%. Tämän jälkeen pumput ajavat samalla kierrosnopeudella. Myöhemmin käynnistynyt pumppu pysähtyy, kun pumppujen kierrokset ovat alle 40% vähintään minuutin ajan.



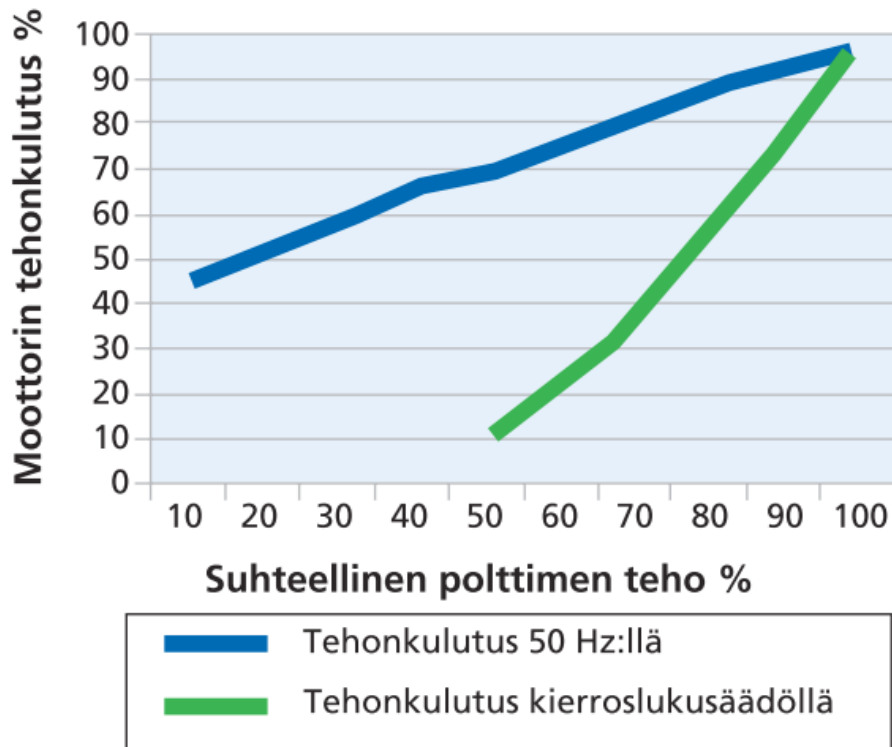
Kuva 14. Kaukolämpöpumput.

9.2 Palamisilmapuhaltimet

Uudet polttimet voidaan varustaa erillisillä palamisilmapuhaltimilla, jolloin puhutaan duoblock- polttimesta tai puhallin voi olla suoraan polttimessa kiinni ja tällöin puhutaan monox-polttimesta. 13MW saakka kokonaisuutena edullisemmaksi ratkaisuksi muodostuu monox-poltin, lähinnä mekaanisen työn vähenemisen myötä. Palamisilmapuhaltimen ollessa kiinteästi polttimessa erillisiä ilmakehänavia ei tarvitse asentaa sekä liitännät automaatiojärjestelmään tapahtuu asennuspaikalla pistokeliitännöin. Vanhan palamisilmapuhaltimen säästäminen ei onnistu sillä ilmamäärän tuotto on uudemmille polttimille liian vähäinen. (Puro 2016.)

Nykyiset palamisilmapuhaltimet ovat tähti-kolmio käynnistimellä varustettuja 45kW johtosiipisäätöisiä puhaltimia. Näiden vaihtaminen taajuusmuuttajaohjatuiksi, ilmapelleillä tapahtuvan kuristus säädön tilalle synnyttää kustannus säästöjä käytettävän sähköenergian kautta. Oletetaan laitosta käytettävän 240 tuntia vuodessa nykyisellä puhallinteholla 45 kW, tulee energian kulutukseksi puhaltimella tehokulutuksen avulla arvioitaessa noin 7560 kWh,. Tämä tarkoittaa rahallisesti noin 756€. Mikäli käytetään taajuusohjattua palamisilmapuhallinta ja oletetaan että poltin käy 60% koko käyttöikänsä on energiankulutus saman tehoisella puhallinmoottorilla 2160kWh, mikä rahallisesti on noin 215€. Huomataan että taajuusohjatuilla puhaltimella säästetään lämmitys-

kaudessa 541€. Rahallisen säästön lisäksi kierrosluku säädetyllä puhaltimella myös ääni taso laskee matalammilla tehoilla, puhaltimen pyörimisnopeuden pienentyessä.

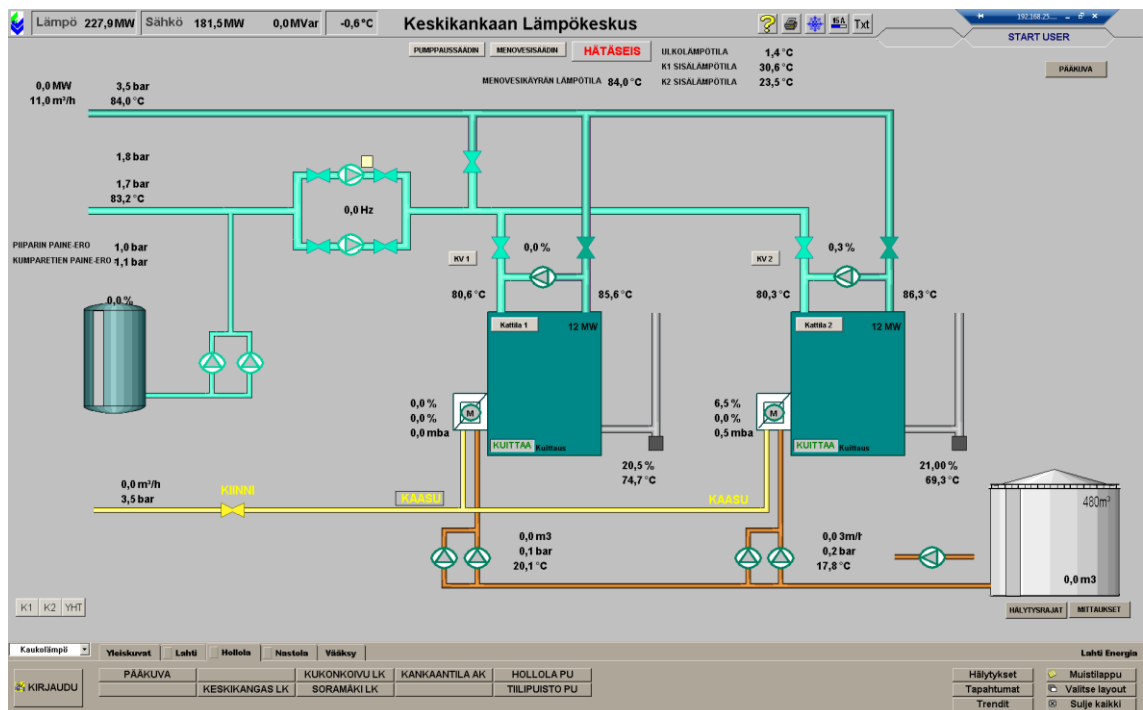


Kuva 15. Moottorin tehonkulutus n. 5MW:n polttimella (Oilon Oy, 2016.)

10 AUTOMAATIOJÄRJESTELMÄ

Automaatiojärjestelmän valinta rajautuu kahteen vaihtoehtoon Siemens S7 tai Valmet DNA, joista kummatkin ovat luotettavuudeltaan erinomaisia sekä työskentelevälle henkilökunnalle entuudestaan tuttuja. Keskikankaan lämpölaitoksella olevat kaukolämpöpumput ovat jo aikaisemmin päivitettyinä Siemensiin. Valmet DNA, järjestelmä on Lahti Energialla kaukokäyttöjärjestelmänä Netcontrol järjestelmän rinnalla sekä omaa valta aseman Lahti Energia Oy:n lämpölaitosten automaatiojärjestelmänä.

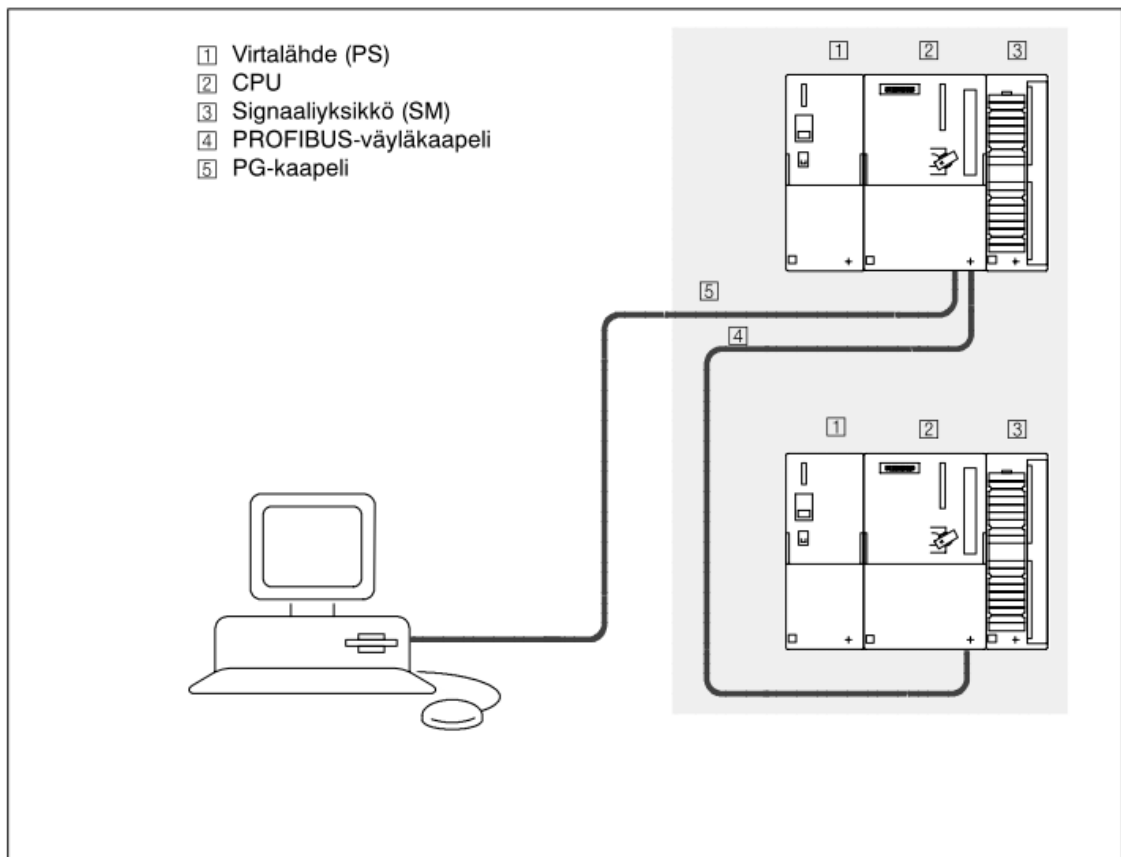
Laitosten operointia voidaan suorittaa kahden järjestelmän kautta, Valmet DNA sekä Netcontrol, joiden välillä tietoa siirretään OPC-liittymän avulla. Valmet DNA järjestelmään ei ole tehty muiden, kuin Valmet DNA automaatiojärjestelmien operointimahdollisuus. Netcontrol järjestelmään taas on linkitetty myös Valmet DNA laitosten tärkeimmät tiedot, kuten käyntiin ja seis käskyt, ajotavan valinnat sekä tuotettava lämpöteho ja verkoston paineet. Nykyisellään Keskikankaan lämpölaitos on operoitavissa siis ainoastaan Netcontrol järjestelmästä.



Kuva 16. Netcontrol, operointinäyttö (Lahti Energia Oy, 2016.)

10.1 Siemens

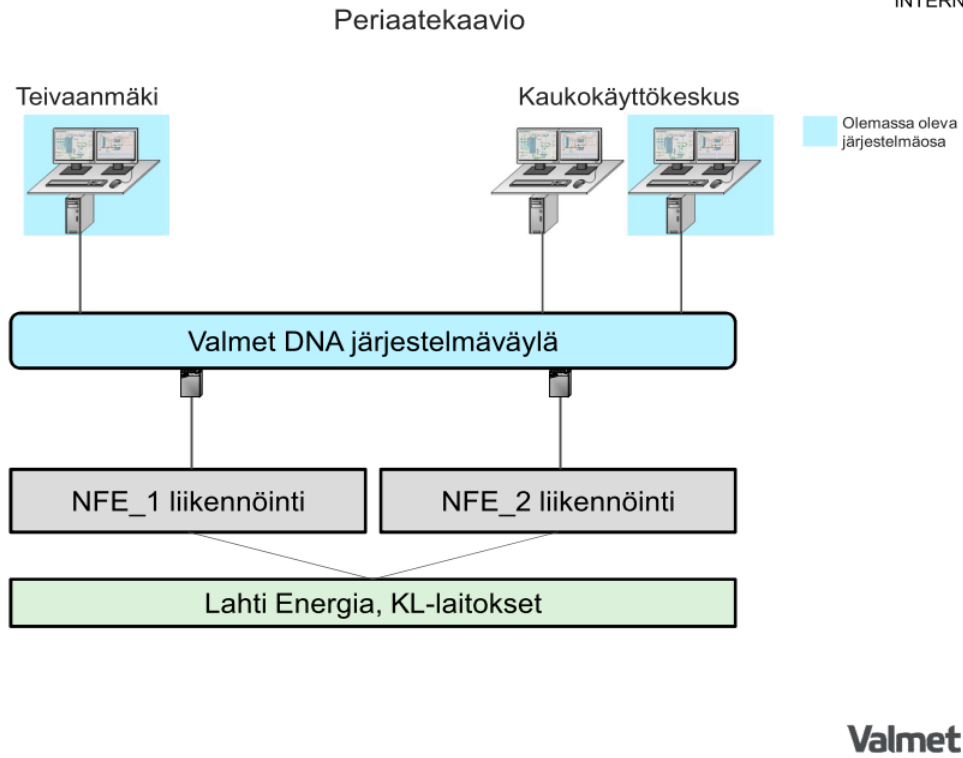
Laitoksen kattilan K1 rakennuksessa sijaitsevat kaukolämpöpumput, joiden automaatio on päivitettyä Siemens simatic ST-300 logiikkaan. Valinta on ollut hyvä, koska malliltaan modulaarinen logiikka on helposti päivitettävissä ja laajennettavissa. Mikäli logiikka päivitetään siemens:iin, voidaan olemassa olevia komponentteja osittain hyödyntää. Nykyinen CPU 313 joudutaan uusimaan, sillä siinä ei ole profibus väylämahdollisuutta. Cpu:n uusinnan lisäksi, kattiloiden sijaitessa eri rakennuksissa on kaapeloinnin minimoimiseksi kannattavaa rakentaa toiseen kattila rakennukseen hajautuskehikko, joka yhdistetään profibus väylällä pääkehikkoon. (Valkeajärvi 2015). Siemens automaatiojärjestelmänä edellyttää OPC-liitännän ylläpitämistä Netcontorl operointijärjestelmään. Logiikkaan liittyvien laitteiden lisäksi laitoksella tulisi olla operointi pääte, josta voidaan lukea oloarvoja sekä operoida laitosta paikallisesti mahdollisen yhteysvian sattuessa.



Kuva 17. Eräs mahdollinen kahden S7-300-laitteen rakenne (Siemens Oy, automaatiojärjestelmä S7-300. 2001, 1-2.)

Mikäli halutaan operointi Valmet DNA kaukokäyttöjärjestelmään, on mahdollisuuksia kaksi. Modbus TCP/IP tiedonsiirto-protokollan avulla liitytään Valmet DNA:n liityntä- asemaan (LIS), joko suoraan Siemensin automaatiosta tai Netcon järjestelmän al- asemista. Suora liityntä Valmet DNA järjestelmään vaatii tietoliikenneyhteyksien muu- tosta, koska Valmet DNA tukee ainoastaan Modbus TCP/IP liitintä (Hyvönen 2016). Muutos ethernet pohjaiseen tietoliikenteeseen mahdollistaa suuremman datamäärän keräämisen ja siten myös tiedonkeruun historia trendeihin. (Hyvönen 2016). Liityttäessä Netcon ala-asemien kautta, ei tiedonsiirtojärjestelmään tarvitse tehdä muutoksia ja täl- löin myös Netcontrol ja Valmet DNA:n operointijärjestelmien päällekkäinen käyttö on mahdollista, mutta historiankeruuta ei voida suorittaa ja vain yksinkertaiset käyntiin ja seis käskyt ovat mahdollisia.

Mitä useampia järjestelmiä on liitytetty toisiinsa, sitä hankalampaa on järjestelmä- muutosten toteuttaminen. Muutos paikallisautomaatiossa saattaa johtaa myös tiedonsiir- to ja operointi järjestelmien tiedonsiirtorekistereiden muutoksiin. Useamman eri järjes- telmän vaihtoehdossa onkin punnittava tuleeko laitoksella tapahtumaan muutoksia vai onko toteutettava ratkaisi useita vuosia samanlainen. Mikäli laitosta tullaan kehittämään lähiaikoina lisää, ei ole kustannustehokasta rakentaa laitosautomaatiota kaukokäyttöjär- jestelmästä poikkeavaan automaatiojärjestelmään. Kaukokäyttöjärjestelmästä poikkeava paikallislogiikka aiheuttaa välillisiä kustannuksia jouduttaessa käyttämään erillisiä lait- teita automaatioiden välisessä tiedonsiirrossa.



Kuva 18 Kaukokäytön periaate kaavio liittyessä Netcon ala-asemien kautta Valmet DNA järjestelmään.

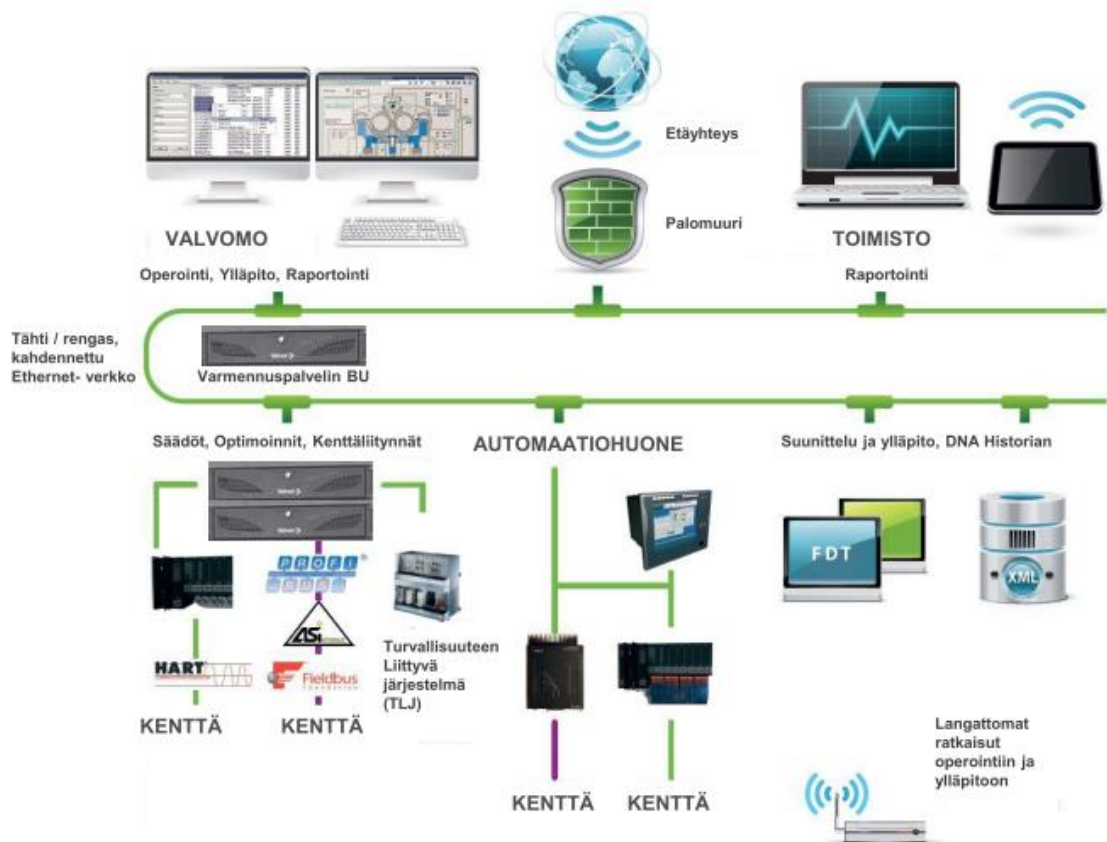
10.2 Valmet DNA

Siirryttäessä käyttämään Valmet DNA automaatiojärjestelmää, tulee kaikki järjestelmä-laitteet uusia. Kuten Siemensin tapauksessa on kannattavinta, kaapelointikustannusten sekä kaapelointityön vähentämiseksi, asentaa pää ja hajautuskehikko, joiden välinen liikennöinti hoidetaan profibus väylän kautta.

Valmet DNA automaatiojärjestelmän pienimmän prosessinohjaimen, ACN SR1, I/O kapasiteetti on maksimissaan 200 I/O:ta. Laitoksen I/O määrä tulee pysymään todennäköisesti alle 100 joten ACN SR1 valikoituisi tähän laitokseen. Prosessiohjaimen lisäksi kehikkoon tulee virtalähde sekä tarvittava määrä tulo- ja lähtökortteja.

Merkittävin ero Valmet DNA:n ja Siemensin logiikoita vertailtaessa keskenään on se että Valmet DNA on tässä tapauksessa kaukokäyttöjärjestelmä ja Siemens paikallislogiikka, joka tulisi edelleen liittää johonkin kaukokäyttöjärjestelmään. Valmet DNA järjestelmä kokonaisuutena sisältää valtavan määrän erilaisia palvelimia ja järjestelmiä.

- Operointipalvelin, Operator Server, jonka kautta operaattori saa tietoa prosessista ja voi ohjata prosessia.
- Hälytyspalvelin, Alarm server. Palvelin ylläpitää ja kerää prosessin hälytystietoja. Palvelin lähettää hälytystiedot operointipalvelimen kautta operaattorille.
- Historiapalvelin, Info Server, kerää prosessi-, operointi- ja hälytystietoja
- Prosessinohjauspalvelin, Process Control Server, liittää Valmet DNA järjestelmän ohjattavaan prosessiin. Prosessipalvelin huolehtii perusohjauksista erilaisien kenttäliityntöjen kautta.
- Liityntäpalvelimet, Interface servers, ovat muihin järjestelmiin liittymistä varten. Liityntäpalvelimia on useita erilaisia.
- Suunnitteluympäristö muodostuu suunnittelupalvelimesta ja yhdestä tai useammasta suunnittelutyöasemasta ja niitä yhdistävästä verkosta.
- Varmennuspalvelin, jonka kautta kaikki järjestelmän sovellusmuutokset siirtyvät järjestelmään kohdeasemille. Varmennuspalvelimen levymuistilla on tallessa jokaisen järjestelmään liitetyn palvelimen sovellus. Häiriöiden jälkeen varmennuspalvelin käynnistää automaattisesti viallisen aseman lataamalla sille tarvittavat sovellukset.



Kuva 19. Valmet DNA rakenne.

Kaikki luetellut järjestelmät ovat Lahti Energialla jo käytössä, joten näiden edusta pääsee nauttimaan, mikäli ratkaisuna on Valmet DNA. Ominaisuuksien tarpeellisuudesta on useita toisistaan eroavia näkemyksiä. Vanhastaan vain muutamiin hälytystietoihin tottunut henkilöstö ei niinkään arvosta laitokselta saatavaa tarkempaa informaatiota.

11 SÄÄDETTÄVYYS

Laitoksen säädettävyys, sekä nopea ylös ja alas ajaminen ovat kaukolämpöverkon ope-roinnin kannalta tärkeitä ominaisuuksia. Kattilan maksimitohon määrittää kattilan mitoi-tus arvo, joka tässä tapauksessa on 12MW. Polttimien säätösuhde määrittää laitoksen minimitehon. Polttimien säätösuhde voi hyvinkin olla vaikka 1/10, mikä tarkoittaisi minimitehona 1,2MW. Keskikankaan lämpölaitoksen polttimien nykyinen säätösuhde on 1/5 eli minimiteho on 2,4MW kattilaa kohden. Polttimien uusiminen nykyaikaisiin olisi perusteltua siis ainakin säädettävän tehoalueen kasvattamisen puolesta.

Lämpölaitoksen alasajon säätämisessä periaatteena on ajaa kattilan lämpötila lähelle menoveden lämpötilaa. Usein lämpötila, jossa kaukolämpöpumput sammutetaan, asetel-laan 5 astetta menoveden lämpötilaa korkeammaksi. Tehoa tahdotaan ajaa mahdolli-simman paljon verkkoon, jolloin kattilassa oleva varastoitunut energia ei mene hukkaan. Koska Keskikankaan lämpökeskus toimii vara- ja huippulaitoksena voidaan mielestäni energiatehokkuudesta tässä tapauksessa hieman tinkiä säädettävyyden kustannuksella. Kaukolämpöpumput voitaisiinkin sammuttaa esimerkiksi 10 astetta korkeammassa läm-pötilassa menoveden lämpötilaan verrattuna. Alasajon jäähdytystä saadaan myös no-peutettua määrittelemällä kaukolämpöpumpulle jäähdyttely vaiheessa kohtuullisen kor-kea pyörimisnopeus, jolloin tehoa tuotetaan enemmän. Mikäli jäähdytys vaiheessa pumput ajavat paine-eron mukaan saatetaan päätyä tilanteeseen, että verkolla ei ole ku-lutusta ja pumput jäävät pyörimään minimi kierroksilla ja laitoksen alasajo pitkittyy. Edellä mainittujen ajotapojen yhdistelmän käyttäminen on myös vakavasti harkittava toiminta tapa. Ajetaan kaukolämpöpumpuilla paine-eroajolla, mikäli pumput pyörivät yli 30% teholla. Pumppujen teho pyynnin pudotessa alle 30% siirrytään ajamaan vakio-tehoa.

12 POHDINTA

Pienitehoisten kaasu- ja öljykäyttöisten lämpölaitosten tekniset ratkaisut alkavat olla tänä päivänä hyvinkin kehittyneitä paketteja. Laitoksen modernisointia ja automatisoinnin kehittämistä ajatellen kannattaakin tarkastaa polttimien käyttökelpoisuus ja palamisprosessi, jonka parantaminen lisää ympäristöystävällisyyttä. Mikäli olemassa oleva poltin on edelleen käyttökelpoinen, keskitytään laitoksen muun automaation ja kenttälaiteiston päivittämiseen. Poltinvalmistajat ovat luoneet omille polttimilleen ja niiden säädöille oman automaatiojärjestelmän, jossa on huomioitu polttimien mallikohtaisia eroavaisuuksia. Pienemmissä laitoksissa, joissa päädytään polttimien vaihtoon, kannattaakin tyytyä jättämään poltin toimimaan omalla automaatiollaan ja rakentaa polttimen ulkopuolisille toiminnoille oma automaatio järjestelmä sekä mahdollisesti tarvittava turvallisuusautomaatio, jotka ohjaavat polttimen päälle pois päältä tai muutoin turvalliseen tilaan.

Sähkökäytöissä parannuksia voidaan tehdä lähinnä kaukolämpöpumpuissa ja palamisilmapuhaltimissa päivittämällä näitä taajuusmuuttaja ohjatuiksi, mikä tässä tapauksessa kaukolämpöpumppujen osalta on jo tehtykin. Vanhemmissa laitoksissa sähkökeskukset ovat usein 4-johdin järjestelmällä toteutettuja. Sähköpääkeskuksen uusiminen parantaa turvallisuutta, koska tällöin saadaan vikavirtasuojaus käyttöön.

Laitosten automaatiojärjestelmien osalta kannattaisi pyrkiä noudattamaan järjestelmille annettuja elinkaari malleja. Mikäli laitoksella oleva automaatiojärjestelmä on elinkaarensa siinä vaiheessa että sen varaosien tuottaminen on lopetettu ja niiden hankinta on erittäin hankalaa, on ehdottoman perusteltua uusia järjestelmä nykyaikaisemmaksi. Vanhentunut järjestelmä onkin suuri riski laitoksen toimintavalmiudelle.

Lämpölaitoksilla tapahtuu niiden elinkaarien aikana useita modernisointi ja muutos töitä, käytettävien polttoaineiden vaihtuessa, sähkökäyttöjä päivitettäessä jne. Muutoksia tehtäessä, toteutettiin ne miten tahansa, tärkeimpänä asiana tulee pitää vanhan käytöstä pois jätettävän tekniikan purkaminen ja laitokselta poistaminen sekä dokumenttien päivittäminen vastaamaan muutoksen jälkeistä tilannetta. Tilanne, jossa laitoksella ei ole ylimääräistä laite kantaa sekä dokumentit ovat ajan tasalla, on ideaali laitosta käyttävälle henkilöstölle sekä helpottaa kokemattomammankin käyttäjän perehtymistä.

Laitoksen parhaasta modernisointi tyylistä on jokaisella oman alueensa asiantuntijalla oma kirkas visionsa. Jokaisella on esittää omia ratkaisujaan, joita tulisi tehdä parhaan lopputuloksen saavuttamiseksi. Poltin tekniikan myyjä investoisi parhaaseen mahdolliseen tekniikkaan, mikä on saatavilla, perustellen ratkaisunsa energian säästöllä ja ympäristöystävällisyydellä. Laitoksen kunnossapitäjä haluaisi pysytellä tutummassa teknologiassa, mikä on käytössä todettu toimivuudeltaan luotettavaksi, vaikka energiatehokkuudesta jouduttaisiinkin hieman tinkimään. Suunnittelijan näkemys on eniten automaatiopainotteinen ja varsinkin halu hyödyntää turvallisuuteen liittyvää automaatiota on korkea. Keskikankaan kohdalla, laitosta käytettäessä ainoastaan vara- ja huipputuotannossa on mielestäni hyvä pitäytyä hyvin tunnetuissa ja hyväksi todetussa laitekannassa sillä tappio energiataloudessa on hyvin marginaalinen, laitokselle kertyessä vuodessa vain vähän käyttötunteja. Turvallisuuteen liittyvistä järjestelmistä kuten ohjelmoitavasta TLJ-releestä en lähtisi tinkimään sillä sen toimivuus on osoittautunut luotettavaksi, eikä näin ollen ole riski laitoksen toiminnan kannalta.

LÄHTEET

Huhtinen, M. & Korhonen, R. & Pimiä, T. & Urpalainen, S. 2013. Voimalaitostekniikka

SFS-EN 12953-1. 2012. Tulitorvikattilat. Osa 1: Yleistä. Helsinki. Suomen standardisoimisliitto SFS.

Jalovaara, J. & Aho, J. & Hietamäki, E. & Hyytiä, H. 2003. Paras käytettävissä oleva tekniikka (BAT) 5-50MW:n polttolaitoksissa Suomessa.

Siemens Oy. 2001. Automaatiojärjestelmä S7-300.

Perttula, J 2000. Energia tekniikka.

Energiataloudellinen Yhdistys. 1989. Kaukolämmityksen käsikirja.

Energiateollisuus ry. 2006. Kaukolämmityksen käsikirja.

Suomen Kaasuyhdistys ry. 2010. Maakaasu käsikirja.

Kattilalaitosten turvallisuuskomitea. 1993. Kattilalaitosten turvallisuusohjeet KAA-SUNPOLTTO.

ABB Oy. 2001. Sähkökäytön mitoitus.

Kattilalaitosten turvallisuuskomitea. 2000. Kattilalaitosten turvallisuuteen liittyvä automaatio.

Ville Valkeajärvi, Vastaavasuunnittelija, Rejlers Oy. 2015. Lämpölaitosten modernisointi.

Tero Kettunen, Kaukolämpöestari, Lahti Energia Oy. 2015. Kuumavesikattiloiden toiminta.

Matti Saira, Tietoliikenteen järjestelmäasiantuntija, Lahti Energia Oy. 2016. Lämpölaitosten viestiliikenne

Tapio Hätilä, Automaatiomestari, Lahti Energia Oy. 2016. Lämpölaitosten instrumentointi.

Kari Puro, Oilon Oy. 2016. Maakaasu- ja öljypolttimet.

ABB Oy. 2016. Luettu 25.1.2016.

<http://www.abb.com/product/seitp330/291bee57c9c13120c1257742001cdfc1.aspx>

