



Satakunnan ammattikorkeakoulu

Markku Santikko

MP-ESILÄMMITTIMEN AJOTAPA-ANALYYSI SÄHKÖN- JA
LÄMMÖNTUOTANNON OPTIMOIMISESSA

Satakunnan Ammattikorkeakoulu

Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma

Automaatio- ja kunnossapitotekniikan suuntautumisvaihtoehto

2007

MP-ESILÄMMITTIMEN AJOTAPA-ANALYYSI SÄHKÖN- JA
LÄMMÖNTUOTANNON OPTIMOIMISESSA

Santikko Markku

Satakunnan ammattikorkeakoulu

Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma

joulukuu 2007

Maunuksela Jyri

UDK: 621.311, 621.316.1

Sivumäärä:56

Asiasanat: energiantuotanto, lämpövoimakoneet, höyryturbiinit, höyryvoima, energiasäästö.

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli etsiä vaihtoehtoja Pori Energia Oy:n Aittaluodon voimalaitoksen turbogeneraattori viiden mp-esilämmittimen eri ajotavoille sähkön ja lämmöntuotannon optimoimisen kannalta. Työn mahdollistamiseksi oli tuotantoprosessia ajettava normaalista ajomallista poiketen. Ohjeistus ajotapamalleista laadittiin yhteistyössä Aittaluodon voimalaitoskäytön kanssa. Mallinuksista laadittiin ohjeistus prosessikaaviomuodossa, sekä vaiheistettuna ohjeena.

Pori Energia Oy:n eri toiminnoista kerrottiin yleisellä tasolla ja Aittaluodon voimalaitosprosessin kuvaus oli laajamittaisempi, siinä kerrottiin mm. voimalaitosalueen höyrykattiloista ja niissä käytettävistä polttoaineista. Laaduntarkastelua tehtiin eri polttoainetyyppien osalta, kuten niiden lämpöarvojen vaikutuksesta hyötysuhteeseen.

Työn suorittamiseksi tehtiin manuaalisia prosessisuureiden mittauksia, joita käytettiin prosessitietojärjestelmästä saatujen tietojen kanssa yhdessä vertailuun eri ajotapojen välillä.

Ohjeistetuista ajotavoista toteutettiin kaksi vaihtoehtoa, mp-esilämmitin normaalissa käytössä sekä ohitettuna.

Mittaustulosten perusteella voitiin perustellusti esittää milloin esilämmitintä voitaisiin käyttää.

Tarkastelun yhteydessä havaittiin muitakin asioita ja todettiin tarkastelun vaativan lisää mittauksia. Pitempiaikaisia mittaustuloksia vertaamalla voitaisiin vasta ryhtyä mahdollisiin korjaaviin toimenpiteisiin.

LOW PRESSURE PREHEATER DRIVING ANALYSIS IN OPTIMIZATION OF ELECTRICITY AND HEAT GENERATION

Santikko Markku
Satakunta University of Applied Sciences,
Technology Pori
Mechanical and Production Engineering
Automation Engineering and Maintenance Technology
December 2007
Maunuksela Jyri
UDC: 621.311, 621.316.1
Number of Pages: 56

Key: power production, thermal power equipment, steam turbine, steam power, energy conservation

The purpose of this Bachelor's thesis was to look for different possibilities to optimize the electricity and heat generation for the turbogenerator five mp-preheater in Pori Energia Oy Aittaluoto power plant.

To enable this work, the manufacturing process had to be deviating from the normal process.

The instructions of how to drive were built in co-operation with Aittaluoto power plant. Instructions were drawn up of modelling as a process flow chart and a phased guide.

The operations in Pori Energia Oy were described on a general level and the description of the Aittaluoto power plant process was explained on a larger scale, e.g. the steam boilers and the fuel used in the power plant area were explained more in detail. A quality inspection was made of usage of different fuel types, such as the impact of the thermal value on the efficiency.

To carry out the work, there were made manual measurements of process quantities which were used in a comparison between the different ways to drive and information gained from the process data system. Two alternatives were executed of the instructed ways to drive the mp-preheater in normal use and outstripped. On the basis of the measuring results it could be fairly presented when the preheater could be used.

In connection with the study additional matters were discovered and further measurements are needed.

By long-term measurement results, possible corrective actions could be started.

SISÄLLYS

| | | |
|-------|--|----|
| 1 | JOHDANTO..... | 6 |
| 2 | PORI ENERGIA OY..... | 6 |
| 2.1 | PORI ENERGIA OY AITTALUODON VOIMALAITOS | 7 |
| 2.1.1 | Yleistä | 7 |
| 2.2 | RT-kattila..... | 8 |
| 2.2.1 | R-kattila..... | 10 |
| 2.2.2 | Apukattila..... | 11 |
| 2.3 | Prosessikuvaus | 12 |
| 3 | POLTTOAINEET | 13 |
| 3.1.1 | Voimalaitoksen polttoaineet..... | 13 |
| 3.1.2 | Polttoaineen kosteuden määrittäminen | 15 |
| 3.1.3 | Puu polttoaineena | 17 |
| 3.1.4 | Turve polttoaineena..... | 17 |
| 3.1.5 | REF polttoaineena | 18 |
| 3.1.6 | Öljy polttoaineena | 19 |
| 4 | AITTALUODON SÄHKÖN TUOTANTO..... | 19 |
| 4.1 | Turbogeneraattori TG5 | 19 |
| 4.2 | Turbogeneraattori TG4 | 21 |
| 5 | MP-ESILÄMMITIN | 23 |
| 5.1 | Normaaliajo | 23 |
| 5.1.1 | Mp-esilämmitin | 25 |
| 5.1.2 | Lämmönvaihtimet LV5 ja LV6..... | 26 |
| 5.1.3 | Syöttövesisäiliöt | 26 |
| 5.1.4 | Apujäähdytin | 27 |
| 6 | KOEAJOT | 28 |
| 6.1 | Ajettavien prosessien ohjeistus koeajoa varten | 28 |
| 6.1.1 | Havainnollistetut vaihtoehdot | 29 |
| 6.2 | Höyryn jakaantuminen prosessissa..... | 30 |
| 6.2.1 | Syöttöveden ja TG5 lauhteen esilämmitys..... | 30 |
| 6.3 | Prosessitietojärjestelmän mittauspisteiden data (PTJ)..... | 31 |
| 6.3.1 | Mittaus TG5:n pätötehosta..... | 32 |
| 6.3.2 | TG4:n ja TG5:n pätötehojen laskenta | 32 |
| 6.3.3 | Mp-esilämmittimen teho | 33 |
| 6.3.4 | Prosessitietojärjestelmä (PTJ) laskentatapa | 37 |

| | | |
|-------|---|----|
| 7 | AJOTAVAT | 38 |
| 7.1 | Yleistä | 38 |
| 7.2 | Ajotapa 1 (mp-esilämmitin käytössä) | 39 |
| 7.3 | Ajotapa 2 (mp-esilämmitin ohitettuna) | 39 |
| 8 | AJOTAPOJEN ANALYYSOINTI | 40 |
| 8.1 | Ajotapa MP-esilämmittimellä, kun TG4:n ei riittävästi kuormaa pysyäkseen tuotannossa. | 40 |
| 8.2 | Ajotapa, kun TG5: kuorma on maksimissaan ja mp-esilämmitin otettuna pois käytöstä | 40 |
| 8.2.1 | TG5 kaukolämpötehon muutos | 41 |
| 8.2.2 | TG5 sähkötehon muutos | 43 |
| 8.2.3 | TG5:n höyryn massavirta | 44 |
| 9 | JOHTOPÄÄTÖKSET | 45 |
| 10 | TOIMENPIDE-EHDOTUKSET | 46 |
| | LÄHTEET | 48 |
| | LIITTEET LIITELUETTELOSSA | |

1 JOHDANTO

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on tutkia Pori Energia Oy:n Aittaluodon voimalaitoksen turbogeneraattori 5:n (TG5) matalapaine-esilämmittimen ajotapoja sähkön- ja lämmöntuotannossa ja esilämmittimen ajotapojen vaikutusta turbogeneraattori 4:n (TG4) tuotantoon.

2 PORI ENERGIA OY

Pori Energia Oy on Porin kaupungin omistama kaukolämmön, höyryn, sähkön, paineilman ja prosessivesien tuotantoa harjoittava energia-alan yritys. Voimalaitokset sijaitsevat Aittaluodossa, Pihlavassa ja Kaanaassa sekä Harjavallan Suurteollisuuspuistossa. Lisäksi Pori Energia Oy:llä on osuutensa mm. Meri-Porin ja Raahen Tuulipuistoissa.

Pori Energia Oy on perustettu vuonna 2006 jolloin silloinen Porin Lämpövoima Oy osti Porin Kaupungin energialaitoksen osakekannan ja uuden yhtiön nimeksi tuli Pori Energia Oy. Vuonna 2006 Pori Energia Oy:n liikevaihto oli 73 M€.

Voimalaitoksilla tuotetaan vuosittain energiaa noin 1,5 TWh, mikä jakaantuu yhteiskunnan ja teollisuuden tarpeisiin. Suurin osa Porin Kaupungin tarvitsemasta kaukolämmöstä tuotetaan tällä hetkellä Aittaluodon voimalaitoksella. Pihlavan ja Harjavallan voimalaitosten tuotannosta pääosa menee prosessihöyrynä teollisuusasiakkaille. Kaikissa voimalaitoksissa tuotetaan sähköä, kaukolämpöä rakennusten lämmitykseen, prosessihöyryä teollisuuden tarpeisiin sekä vettä eri puhtausasteissa. Harjavallan voimalaitos tuottaa myös paineilmaa teollisuusalueen yrityksille.

Toiminnan tunnusluvut ovat kuvattuina taulukossa 1.

Taulukko 1. Pori Energia Oy:n toiminta numeroin

| | 1-9/2006 | 1-9/2007 |
|-----------------------------|----------|----------|
| Liikevaihto (M€) | 67,1 | 72,9 |
| Tulos (M€) | -1,7 | 0,3 |
| Investoinnit (M€) | 8,9 | 8,8 |
| Sijoitetun pääoman tuotto % | 3,1 | 2,8 |
| Omavaraisuusaste | 13,8 | 9,6 |
| Vakinainen henkilöstö | 247 | 245 |

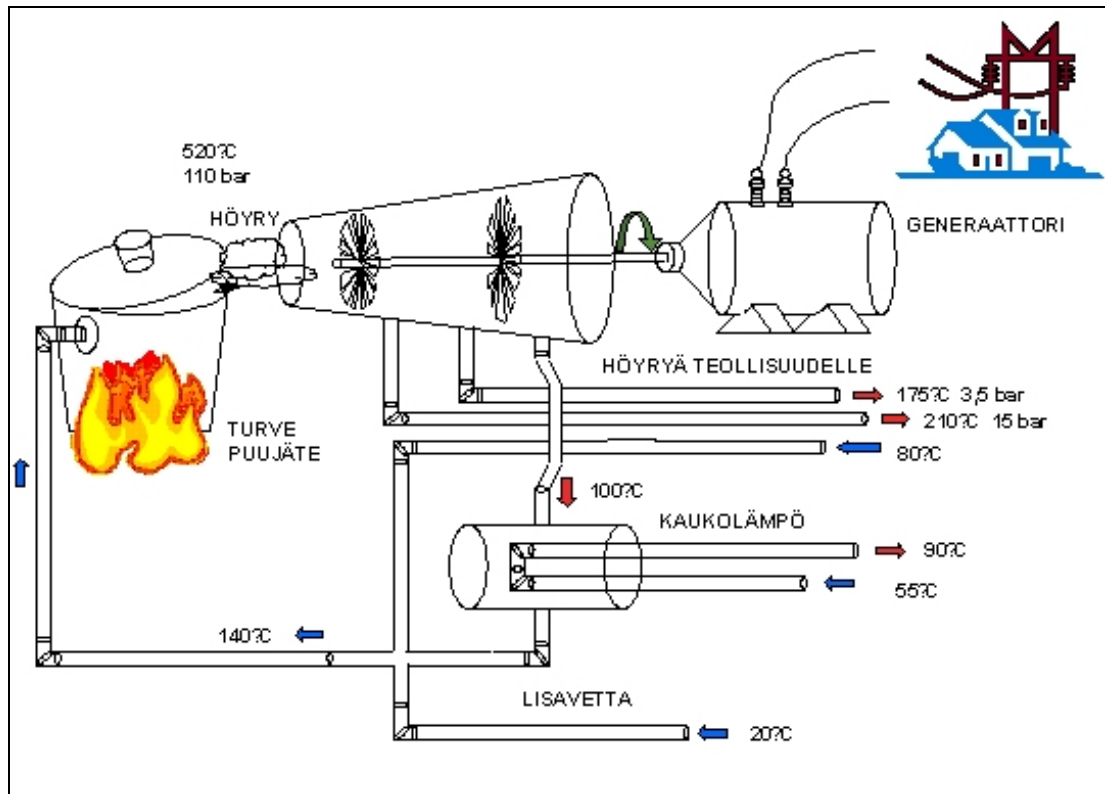
Pori Energia Oy:n toiminta on nousujohteista, kuten tuloksesta voidaan osavuositarkastuksen todeta.

2.1 PORI ENERGIA OY AITTALUODON VOIMALAITOS

2.1.1 Yleistä

Aittaluodon voimalaitos tuottaa energiaa vuodessa n. 1000 GWh, josta noin puolet on kaukolämpöä ja puolet prosessihöyryä ja sähköä. Kuvassa 1 tyypillinen CHP-laitoksen¹ periaate.

¹ CHP tyypillinen voimalaitos tuottaa sähköä, prosessi- ja kaukolämpöä.



Kuva 1. on kuvaus yleisestä energiantuotannosta (kuva Roni Vahamäki)

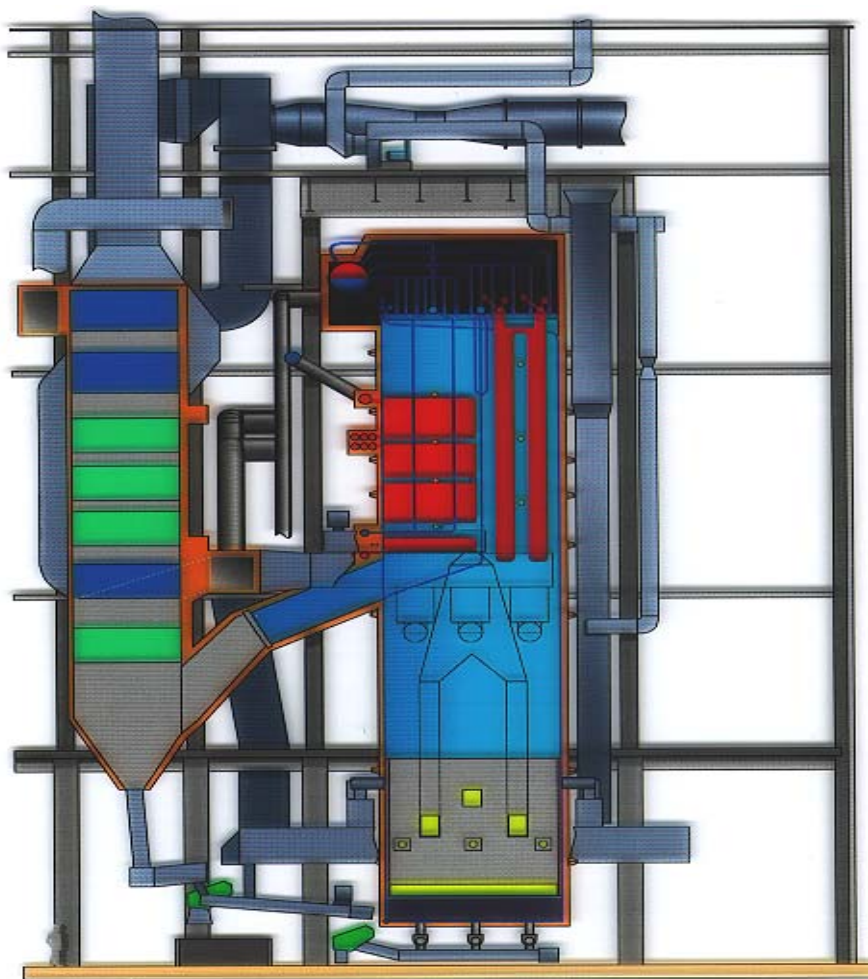
Aittaluodon voimalaitoksella on kaksi leijupetikattilaa, joiden yhteislämpöteho on 206 MW. Sähköä tuotetaan kaukolämpöturbiinilla ja vastapaineturbiinilla (prosessilämpöturbiini), joiden yhteenlaskettu teho on 55 MW. Prosessihöyryteho 35 MW ja kaukolämpöteho 115 MW. Lisäksi matalapaine-höyrylämmönsiirtimiä 90 MW.

2.2 RT-kattila

RT-kattila on otettu käyttöön 1981 arinakattilaksi ja se on muutettu leijukerroskattilaksi vuonna 1996. Taulukossa 1 on esitetty RT-kattilan tekniset tiedot, ja rakennekuva kuvassa 2.

Taulukko 1. RT-kattilan tekniset tiedot

| | |
|--------------------------|------------------------------|
| Valmistaja | Oy W.Rosenlew AB, Pori |
| Leijukerrosmuutos | Kvaerner Pulping Oy, Tampere |
| Tuorehöyryn paine | 113 bar |
| Höyryn kehitys | 44 kg/s |
| Tuorehöyryn lämpötila | 525 °C |
| Leijukerroksen lämpötila | 700-950 °C |
| Kattilateho | 116 MW |



Kuva 2 RT-kattilan halkileikkaus (kuva Kvaerner Pulping)

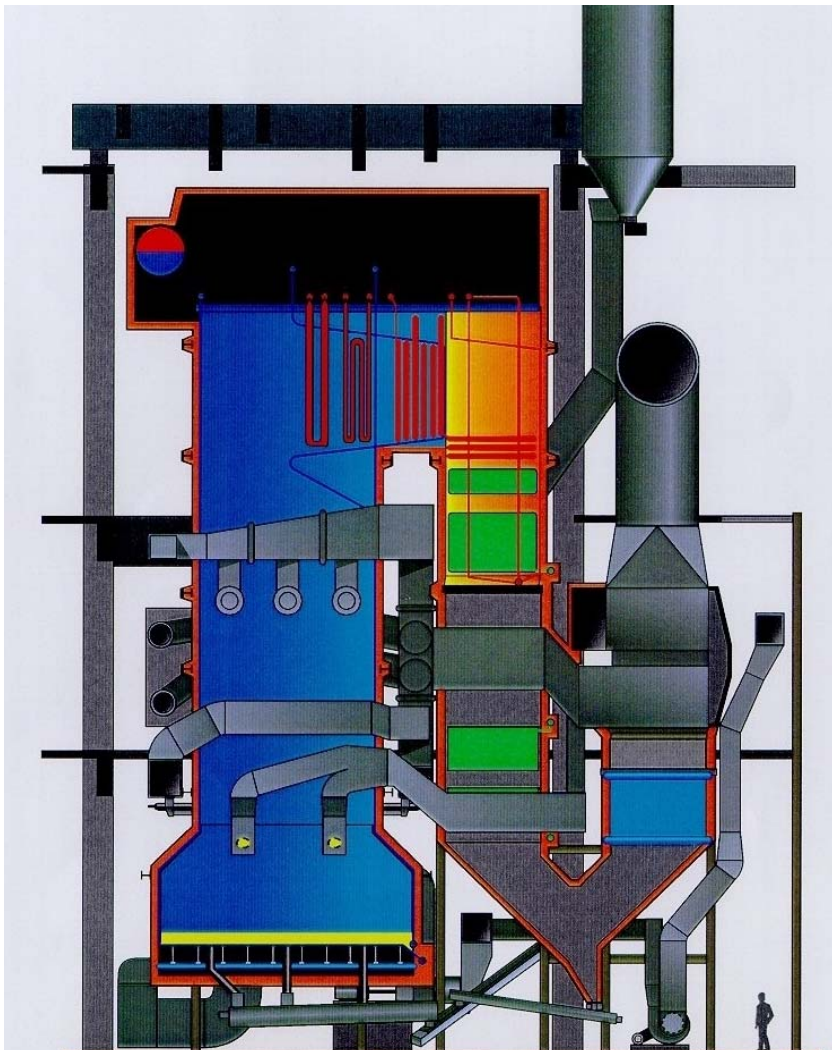
2.2.1 R-kattila

R-kattila otettu käyttöön arinakattilaksi vuonna 1968, mutta se on muutettu vuonna 1994 leijukerroskattilaksi. Taulukossa 2 on esitetty R-kattilan tekniset tiedot.

Taulukko 2. R-kattilan tekniset tiedot

| | |
|--------------------------|------------------------------|
| Valmistaja | Oy W.Rosenlew AB, Pori |
| Leijukerrosmuutos | Kvaerner Pulping Oy, Tampere |
| Tuorehöyryn paine | 112 bar |
| Höyryn kehitys | 32 kg/s |
| Tuorehöyryn lämpötila | 525 °C |
| Leijukerroksen lämpötila | 700-950 °C |
| Kattilateho | 90 MW |

R-kattilan on Aittaluodon vanhempia käytössä oleva leijupetikattila.



Kuva 3 R-kattilan halkileikkaus (kuva Kvaerner Pulping)

2.2.2 Apukattila

KPA Unicon Oy:n toimittama 46 MW vara- ja huippukuormakattila kattilalaitos sijaitsee vanhassa voimalaitosrakennuksessa. Kattila hyödyntää seuraavia voimalaitoksen olemassa olevia järjestelmiä, jotka ovat kattiloiden yhteiskäytössä:

- Lauhdejärjestelmä
- syöttövesisäiliö ja kaasunpoisto
- öljysäiliö ja siirtopumput
- paineilmajärjestelmä
- apujäähdyttimen jäähdytysvesikierto
- sähkönjakelu uutta kattilalaitosta syöttävien kiskostojen osalta sekä toiminnassa olevien vanhan laitoksen järjestelmien osalta.

Kattilalaitoksen rakentamisella varauduttiin kasvavaan kaukolämmön kysyntään ja Aittaluodon vanhimman voimakattilan poistamiseen käytöstä vuonna 2009. [/2/](#)

Taulukko 3. Apukattilan teknisiä tietoja.

| | |
|----------------------|--------------------------------|
| Polttoaine | |
| Tyyppi | Teboil 420 /5/ |
| Tehollinen lämpöarvo | 41 MJ/kg |
| Tiheys (15 °C) | 987 kg/m ³ |
| Palamisilma | |
| Lämpötila | +25 °C |
| Suhteellinen kosteus | 50 % |
| Höyry | |
| Lämpötila | 220 °C |
| Paine | 16 bar |
| Virtaama max. | 70,3 t/h |

Apukattila poikkeaa käyttöominaisuuksiltaan muista Aittaluodon höyrykattiloista, esimerkiksi kattila käyttää polttoaineenaan raskasta polttoöljyä.



Kuva 4. Apukattilan rakennusvaiheen kuvia kesältä 2007 (kuvannut Markku Santikko)

Projekti-insinööritoimisto KPA Unicon Oy rakensi 45MW apukattilan Aittaluodonteollisuusalueelle, missä jo aiemmin rakennetut R- ja RT- kattilatkin olivat. Kattilalohkojen paikalleen asennus suoritettiin yläkautta nosturilla, painavimmat lohkot olivat noin. 18t painoisia. Kuvassa 4 vasemmalla asennetaan savupiippua ja oikeanpuoleisessa kuvassa kattilan lohko-osaa.

2.3 Prosessikuvaus

Kattilalaitoksella kehitetty lämpöenergia siirretään putkistojen kautta kulutuskohteisiin. Siirtoaineena toimiva höyry on valmistettu raakavedestä (jokivedestä) vedenkäsittelylaitteistolla ja kemikalikoimalla siten, että syöttö- ja kattilavedelle asetetut kattilan paineluokkaa vastaavat laatuvaatimukset täyttyvät.

Aittaluodon kattilaveden raja-arvot on merkitty liitteeseen (Liite 1).

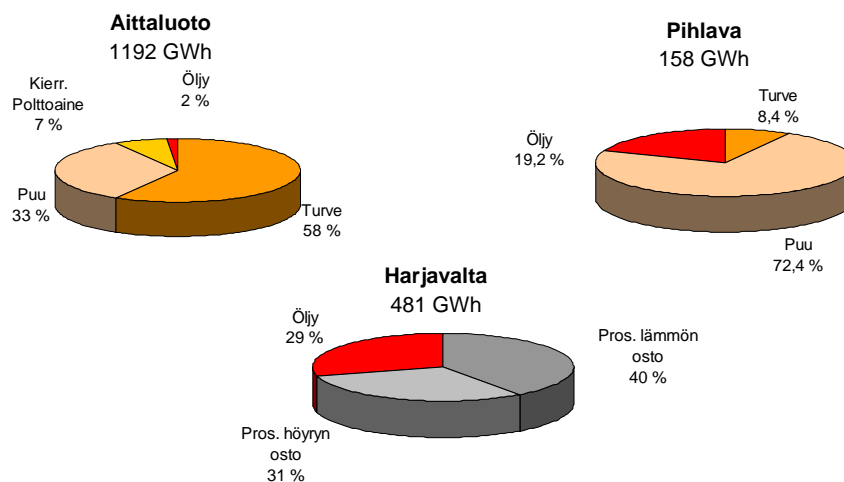
3 POLTTOAINEET

3.1.1 Voimalaitoksen polttoaineet

Polttoaineina ovat jyrshinturve, puuperäiset polttoaineet, peltopolttoaineet sekä REF II luokan polttoaineet. Ylösajoissa ja häiriötilanteissa leijupetikattiloissa polttoaineena käytetään myös raskasta polttoöljyä (tällä hetkellä TEBOIL 420).

Polttoaineen energiasisältöön vaikuttavia tekijöitä ovat sen lämpöarvo, kosteus, tuhkapitoisuus. Polttoaineen tuhkan sulamislämpötila sekä mm. rikki- ja klooripitoisuus vaikuttavat kattiloiden käytettävyyteen.

Polttoainejakauma 2006



Kuva 5 Pori Energia Oy:n voimalaitosten polttoainejakautuma v. 2006 (kuva Pori Energia Oy yleiskalvot)

Prosentuaalisesti tarkasteltuna polttoaineista poltettiin noin 65% Aittaluodon voimalaitoksella. Tämän työn tarkasteluhetkellä on Aittaluodossa käytössä raskasöljykäyttöinen 46 MW:n apukattila, joten polttoainekäytön % - osuus Aittaluodon osalta tulee kasvamaan nykyisestä tilanteesta toteutuneiden kulutuksien mukaan.

Tärkein polttoaineen ominaisuus on sen lämpöarvo, joka ilmaisee polttoaineesta saatavan energian, yksikkönä MJ/kg. Toinen tärkeä ominaisuus on kosteus, joka

vaikuttaa polttoaineen saapumistilan lämpöarvoon, savukaasumäärään ja savukaasujen kosteuteen.

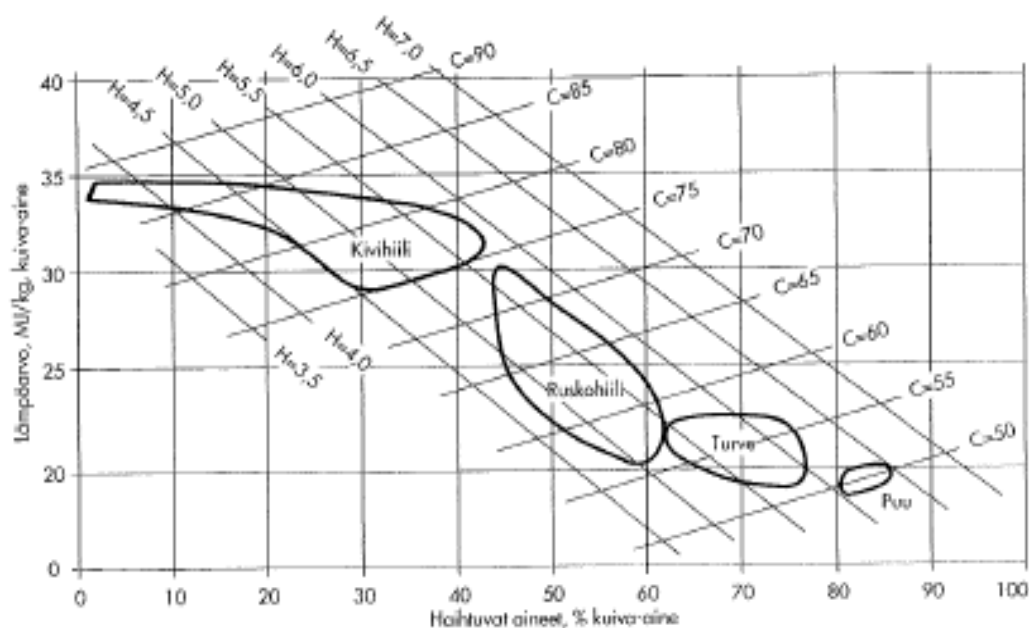
Polttoaineen lämpöarvon kannalta puhutaan joko kalorimetrisestä eli ylemmästä lämpöarvosta tai tehollisesta eli alemmasta lämpöarvosta. Kalorimetrisessä lämpöarvon määrittämisessä on otettu huomioon veden höyrystymislämpö. Tehollinen lämpöarvo lasketaan vähentämällä ylemmästä lämpöarvosta kalorimetrisessä tiivistyneen veden lauhtumislämpö. Alempi eli tehollinen lämpöarvo vastaa paremmin todellisia käyttöoloja, missä vesihöyryn lämpösisältöä ei pystytä hyödyntämään. Polttoaineen myynnissä käytetään tehollista lämpöarvoa. [\[2\]](#)

Lämpöarvo laskenta määritetään seuraavasti

$$H_{u(kostea)} = H_{u(kuiva)} * (1 - x_{vesi}) - l_{25} * x_{vesi} \quad \text{(Kaava 1)}$$

| | | |
|-----------------|---|---|
| $H_{u(kostea)}$ | = | polttoaineen tehollinen lämpöarvo |
| $H_{u(kuiva)}$ | = | kuiva-aineen tehollinen lämpöarvo |
| x_{vesi} | = | veden osuus kosteassa polttoaineessa |
| l_{25} | = | veden höyrystymislämpö (2,443 MJ/kg, kun $t=25\text{ °C}$) |

Polttoaineen iän perusteella voidaan karkeasti todeta iäkkäiden polttoainelaatujen sisällön olevan hiilipitoisempaa ja vetytitoisuus vastaavasti pienentynyt., mistä johtuu myös haihtuvien aineiden väheneminen. Tavanomaisten polttoaineiden vertailu esitetty on esitetty kuvassa 6.



Kuva 6 Kiinteiden polttoaineiden laadullinen vertailu (Lähde Ekman, E, Kiinteiden polttoaineiden koostumus ja muut ominaisuudet. Valtion teknillinen tutkimuskeskus, Tiedonanto 23, Edpoo 1979, 23p.)

Kuvassa 6 vetyttöisyys merkitty H:lla ja hiilipitoisuus C:llä.

Polttoaineiden poltossa syntyy ympäristölle haitallisia päästöjä. Muun muassa polttoaineen sisältämät hiili, rikki, typpi ja kloori ovat keskeisimpiä ympäristölle haitallisia aineita. /3/

3.1.2 Polttoaineen kosteuden määrittäminen

Kosteus on tavanomainen ja merkittävä kiinteille polttoaineille määritelty ominaisuus. Kosteusmäärittäminen johtuu sen suorasta vaikutuksesta poltossa vapautuvaan lämpöenergiaan eli teholliseen lämpöarvoon.

Polttoaineiden kosteuden määrittely perustuu pääosin ISO 589 – menetelmään, jota käytetään kotimaisten polttoaineiden analyysihin. Muita menetelmiä ovat SS187184 (Biobränslen och torv) ja kivihiilelle käytettävä DIN 51718 – menetelmä Nestemäisten polttoaineiden mm. bioöljyjen määrittämiseen käytetään ASTM E 203 ja ASTM D 1744 - menetelmiä

Kosteusnäytteiden koko määräytyy käytettävän punnitustarkkuuden sekä polttoaineen palakoon mukaan. Punnitustarkkuuden ollessa 0.01 g punnitaan

vähintään kaksi 30 - 100 g suuruista polttoainenäytettä. Punnitustarkkuus on 0.1g punnitaan kaksi 200 – 400 g suuruista polttoainenäytettä.

Näytteet kuivataan ilmastoidussa lämpökaapissa 105 ± 2 °C lämpötilassa vakipainoon. Useimmiten 16 tunnin kuivatusaika on riittävä, kun näyte on enintään 30mm paksuisena kerroksena kuivatus alustalla. Näytteitä ei saa kuivat yli 24 tuntia. Kuivatuksen jälkeen näytteiden jäähtyminen tapahtuu eksikaattorissa huoneen lämpötilaan ja niiden punnitsimen suoritetaan välittömästi sen jälkeen.

Näytteiden kosteus lasketaan kuvatuksen aikana tapahtuvasta massanmuutoksesta seuraavaa kaavaa noudattaen.

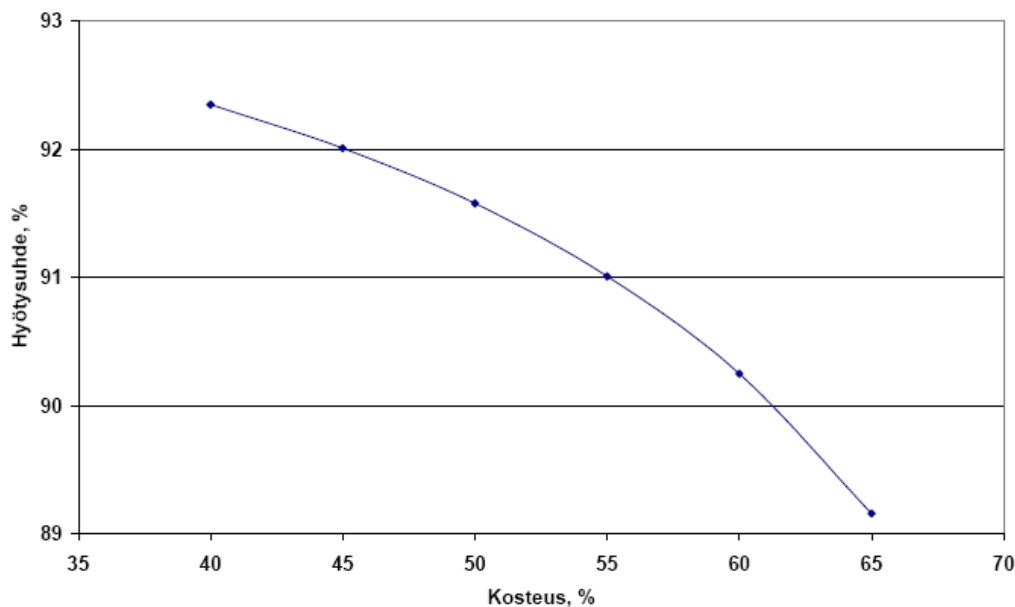
$$M_{ar} = \frac{m_1 - m_2}{m_1} \times 100 \quad \text{(Kaava 2)}$$

missä M_{ar} on märkäpainoa kohti laskettu kosteus saapumistilassa (%)

m_1 on märän näytteen massa (g)

m_2 on kuivatun näytteen massa (g)

[/14/](#)



Kuva 7. Polttoaineen kosteuden vaikutus kattilahyötysuhteeseen (Lähde VTT tutkimuslöstus, PR02/6095/03, 10.03.04)

Kiinteällä polttoaineella 10 % - yksikön muutos vaikuttaa hyötysuhteeseen laskennallisesti 1 – 2 prosenttiyksikköä polttoaineen mitoituskosteuden mukaan. Hyötysuhteen ohella kosteus vaikuttaa kattilan tehoon./13/

Useimmiten kiinteissä polttoaineissa on suuri vesipitoisuus. Kotimaisissa biopolttoaineissa, kuten puussa ja turpeessa on vesipitoisuus suuri noin. 55-60%.

3.1.3 Puu polttoaineena

Aittaluodon voimalaitoksella käytetään polttoaineena puuta; sahanpurua, metsätähdettä, kuorta, kutteria ja puhdasta kierrätyspuuta. Puu on kotimainen polttoaine ja hiilidioksidipäästöjen kannalta ympäristöystävällinen, sillä poltossa syntyvän hiilidioksidin katsotaan sitoutuvan kasvavaan puustoon. Puupolttoaineiden hinta on kilpailukykyinen, lisäksi puulle on annettu verohelpotuksia, mikäli sitä käytetään sähköntuotantoon. Puun kuivan-aineen tehollinen lämpöarvo on yleensä 18 - 19,5 MJ/kg eli 5 - 5,4 kWh/kg.

Päästökaupan mukaantulo on viimeaikoina kuitenkin korottanut puupolttoaineen hintaa mikä sinänsä on epäterve ilmiö.

3.1.4 Turve polttoaineena

Turve syntyy kosteissa ja vähähappisissa oloissa soilla biomassasta. Turve on kotimainen polttoaine ja soveltuu hyvin leijukerrospolttoon sekä seospolttoaineeksi yhdessä muiden polttoaineiden kanssa. Turpeen poltossa käytetään pääasiassa jyrshinturvetta ja palaturvetta.

Turve luokitellaan päästökaupassa fossiiliseksi polttoaineeksi.

3.1.5 REF polttoaineena

REF (Recycled Fuel) polttoaineella tarkoitetaan kierrätyspolttoainetta, joka on kaupan ja yritysten polttokelpoisista, kuivista, kiinteistä ja syntypaikoilla lajitelluista pakkausjätteistä valmistettua polttoainetta. Aittaluodossa on sallittu seruaavien REF-laatuojen poltto on esitetty taulukossa 4.

Taulukko 4. Aittaluodon voimalaitoksella ympäristöluvan mukaan sallitut REF- polttoaineet ja niiden määrät

| Jätenimike | EWC-koodi ² | Määrä t/a |
|--|------------------------|-----------|
| Yhdyskuntajätteet | 200101,200138, 200139 | 0-35000 |
| Paperin ja kartongin valmistuksessa syntyvä jäte | 030305,030307,030310 | 4000-8000 |
| Rakentamisen ja purkamisen jätteet | 170201, 170203 | 0-35000 |
| Termisissä prosesseissa syntyvät jätteet | 100101§ | 0-800 |
| Pakkausjätteet | 150101, 150102, 150103 | 0-15000 |
| Puhdistetut jäteöljyt | 130206 | 0-5000 |

Kierrätyspolttoaine [REF tai SRF (Solid Recovered Fuel)] Kierrätyspolttoaineella tarkoitetaan mm. yhdyskuntien ja yritysten polttokelpoisista, kiinteistä ja syntypaikoilla lajitelluista jätteistä valmistettua polttoainetta. [/1/](#) Kierrätyspolttoainetta käytetään Aittaluodon voimalaitoksella yhdessä puuperäisen polttoaineen ja turpeen kanssa. Kierrätyspolttoaineen osuus kokonaispolttoainemäärästä saa ympäristöluvan mukaan olla maksimissaan 15% polttoon tulevan polttoaineen hetkellisestä kokonaisenergiämäärästä.

² European Waste Catalogue, luettelo vaarallisista ja vaarattomista jätteistä.

3.1.6 Öljy polttoaineena

Leijukerroskattiloiden ylösajoissa tarvitaan öljyä petihiekan lämmitykseen, jotta kiinteän polttoaineen syöttö mahdollistuu. Öljyä tarvitaan myös silloin, jos kiinteän polttoaineen syötössä ilmenee häiriötä tai jos kiinteän polttoaineen energiasisältö on niin pieni, ettei se riitä pitämään kattilan tehoa riittävällä tasolla. Apukattilassa käytetään yksinomaan raskasta polttoöljyä (TEBOIL 420).

4 AITTALUODON SÄHKÖN TUOTANTO

Aittaluodon voimalaitos on lämmitysvoimalaitos eli ns. CHP-laitos (Combined Heat and Power), missä turbogeneraattorien turbiinin läpi kulkevan höyryn sisältämä energia siirretään joko kauko- tai prosessilämmöntuotantoon jolloin samalla tuotetaan myös sähköä. Tämä yhdistetty tuotantomuoto nostaa laitoksen kokonaishyötysuhdetta verrattuna esim. lauhdelaitokseen. Aittaluodon voimalaitoksen hyötysuhde on noin 82 prosenttia.

4.1 Turbogeneraattori TG5

Höyryturbiini ABB-Lang (TG5) otettiin käyttöön vuonna 1991. Sähkön nimellistuotto maksimissaan 37.5MW, joka saavutetaan kun turbiiniin johdetaan maksimissaan 42kg/s 110bar:sta ja 520°C höyryä R-ja/tai RT-kattiloista. Turbiinille tulee vuosittain noin. 6900-7100 käyttötuntia

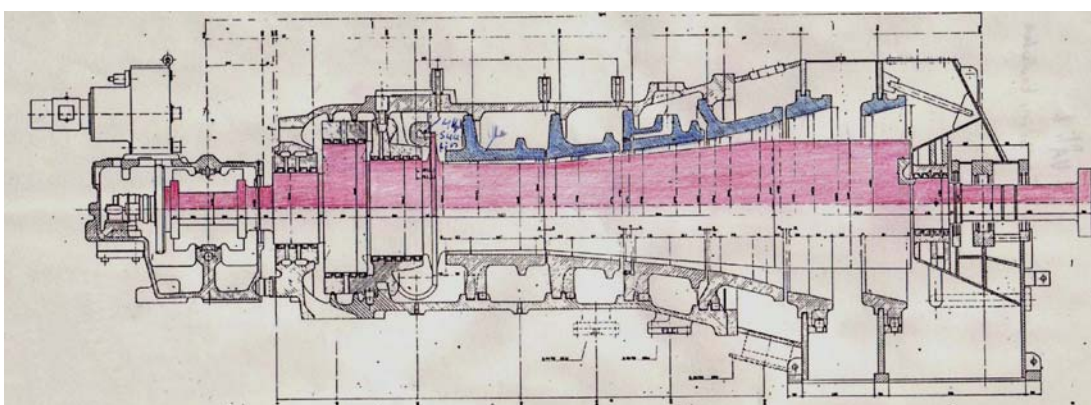
Turbiinissa on yksi avoinna oleva väliotto matalapaine-esilämmittimelle lauhteen esilämmitykseen ja loppuosa höyrystä paisuu kaukolämmön vastapaineeseen,

luovuttaen noin 78MW tehostaan kaukolämpöveden lämmönvaihtimien 5 (lv5) ja 6 (lv6) kautta. Turbiinilauhteen loppulämpötila noin 120 °C matalapaine-esilämmittimen jälkeen.



Kuva 8. TG5 höyryturbiini Aittaluodossa (kuvannut Markku Santikko)

Kuvassa 8 näkyvät TG5:n Paaksauslaitteisto ja pikasulkuventtiilit (2kpl) sijaitsevat turbiinin korkeapainepäässä.



Kuva 9. Tasapaineturbiini TG5 räjäytyskuva. (IVO koulutusmappi TG5 väli 8)

Turbiinin juoksusiipiosuus on merkitty punaisella ja johtosiiven kantimet on väritetty siniseksi kuvassa 9

4.2 Turbogeneraattori TG4

Höyryturbiini AEG (TG4) on kaksiportainen vastapaine väliottoturbiini, joka on otettu käyttöön v.1968. Turbiiniin johdetaan tuorehöyryä maksimissaan 32 kg/s. Väliottojen ollessa käytössä sähkötehoa saadaan noin 17,5MW. Turbiinin jättöpään höyryn vastapaine on 4.5ata ja väliottopaine 14,5 ata. Kone toimii lähinnä prosessihöyryä tuottavana (myös kaukolämpöä ajettavissa lv7:n ja lv 8:n kautta). Prosessihöyryä käytetään teollisuusalueen höyryntarpeeseen ja kaukolämmön tuotantoon. Koneen kautta tulee myös voimalaitoksen tarvitsemat omakäyttöhöyryt, joista tässä mainittakoon syöttöveden esilämmitys.

Turbiinin väliotoista saadaan säädettävällä väliotolla höyryä n. 8,3 kg/s jota toimitetaan Corenso United Oy Ltd:lle, Oy Sinebryhoff Ab:lle, Satamaito Osuuskunnalle ja omaan käyttöön.

Välipaineista höyryä voidaan tuottaa myös suoraan apukattilalla (öljykattila valmistunut käyttöön v. 2007), sekä redusoimalla sitä R- ja RT-kattiloiden tuorehöyrystä (110/15 bar).

Höyryn virtaus turbiiniin tapahtuu kahden, turbiinin molemmille puolille järjestetyn hydraulisen pikasulkuventtiilien kautta, vastaavanlaisesti kuin TG5:llä. Molemmat venttiilit on varustettu siivilöillä, jotka estävät vieraiden esineiden pääsyn turbiiniin.

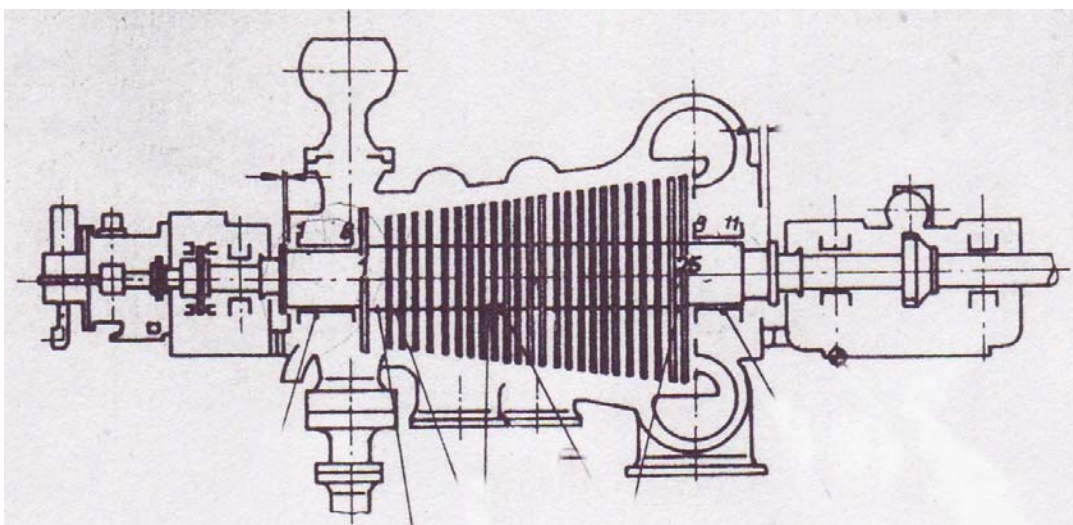
Pikasulkuventtiilit on asennettu huoltoystävälliseen paikkaan. Ohjaushydrauliikka pitää pikasulkuventtiilit joko auki tai kiinni ilman väliasentoja.

Pikasulkuventtiileistä höyry pääsee turbiinipesän yläosan venttiilipesään säätöventtiileille, joita on viisi kappaletta ja sieltä höyry kulkeutuu suutinryhmien kautta säätövyöhykkeelle. Kuormitustilanteesta riippuen on säätövyöhyke aina osittain avattu ja höyry pääsee säätöventtiileiltä turbiinin juoksupyörälle ja em. väliottojen jälkeen loppuhöyry virtaa vastapaineverkkoon./15/



Kuva 10. Väliotto-vastapaineturbiini TG4.(kuva Markku Santikko)

Aikaisemmin turbiinin ympärillä oli suoja, mikä esti ilmanepäpuhtauksien pääsyn turbiiniin ja samalla vaimensi melua ko. turbiinista. Nyt suoja on poistettu, kuten kuvasta 10 voidaan havaita ja ilman epäpuhtaudet on suodatettu jo tuloilmapuhaltimissa. Turbiinihallin tilavuus on 1300m^3



Kuva 11. TG4 räjäytyskuva (Kuva TG4 käyttöohje mappi 4)

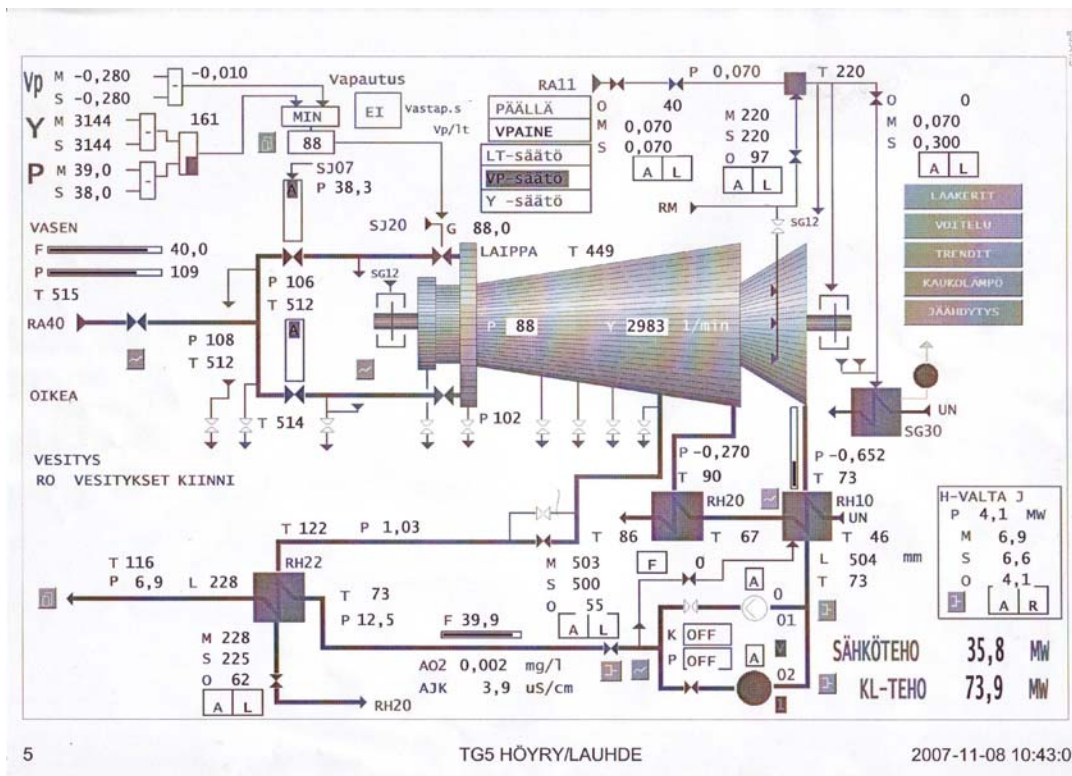
Curtispyörän jälkeen on 24 vyöhykettä joiden läpi höyry virtaa ja luovuttaa paisuessaan jokaiseen vyöhykkeeseen liike-energiastaan osan, joka muuntuu mekaaniseksi energiaksi roottorille ja edelleen roottorilta generaattoriin.

5 MP-ESILÄMMITIN

Turbogeneraattori TG5:n käydessä mp-esilämmitin on normaalisti päällä ja esilämmittää turbiinin lauhdetta ennen syöttövesisäiliöihin pumppaamista. Esilämmitetyn lauhteen lämpötila esilämmityksen jälkeen on riippuvainen turbiinin kuormituksesta.

5.1 Normaaliajo

Turbogeneraattori TG5 väliotosta höyryä johdetaan mp-esilämmittimelle. Kuvan 12:n tilanteessa ko. vaihtimen läpi virtaavan lauhdeveden lämpötila ennen vaihdinta on 73°C ja vaihtimen jälkeen 116°C, jolloin lämpötilaero vaihtimen yli on 43 °C. Tätä tapahtumaa kutsutaan endotermiseksi reaktioksi lauhteen suhteen. Lämpöä sitoutuu lauhteeseen lämmittävästä väliaineesta, tässä tapauksessa mp-esilämmittimeen tulevasta höyrystä. Endotermisessä prosessissa systeemiin virtaa lämpöä. Systeemin potentiaalienergia on lopussa suurempi kuin alussa. Jos endotermisen prosessi tapahtuu vakiopaineessa, systeemin entalpia eli energiasisältö suurenee eli $\Delta H > 0$. [/10/](#)



Kuva 12 TG5:n normaali ajotilanne 5.11.2007 klo 15:12 prosessiohjausjärjestelmän tietokonenäytöltä. (kuva prosessiohjausjärjestelmä Aittaluoto)

Lämpöä vapauttavaa reaktiota sanotaan eksotermiseksi reaktioksi. Eksotermisen reaktio on tapahtuma, joka vapauttaa lämpöä. Eksotermisessä reaktiossa systemistä virtaa lämpöä ympäristöön. Systemin potentiaalienergia on lopussa pienempi kuin alussa. Jos eksotermisen prosessi tapahtuu vakiopaineessa, systemin entalpia eli energiasisältö pienenee eli $\Delta H < 0$.

Käytännön esimerkkinä on veden jäätyminen, jolloin siinä vapautuu lämpöä eli tapahtuu eksotermisen reaktio. [/11/](#)

Kuvan 12 tapauksessa on kyseessä reaktio, missä väliottohöyry mp-esilämmitimessä luovuttaa lämpöä lauhdeveteen. Lämpötilaero (Δt) vaihtimen yli ei keräänny prosessitietojärjestelmään, vaan se on määritettävä erikseen asennettavalla tilapäisellä lämpötila mittauksella, kuten lauhteen virtausmittauskin. Näillä mittauksilla voidaan määrittää mm. ko. vaihtimen asteisuus ja lauhdutusteho.

Kokonaisvirtaus vaihtimen yli lauhteen lämmityksessä ei ole sama kuin väliottohöyryn määrä. Lauhteen kokonaisvirtaus muodostuu TG5:lle syötettävän höyryn kokonaismäärästä, joka on tarkasteluhetkellä 40kg/s lauhteen määrän ollessa sama, vaikka kuvassa (kuva 12) lauhteen kokonaisvirtaus on 0.1 kg/s pienempi verrattuna syötetyn tuorehöyryn määrään. Ero johtuu viiveestä höyryn syötön ja lauhteen pumppauksen välillä.

Sähkö- ja kaukolämpöteho TG5:llä on tarkasteluhetkellä luettavissa kuvan 12 oikeasta alanurkasta ja ko. tehot ovat 35.8MW_e ja 73.9MW_{kl}.

5.1.1 Mp-esilämmitin



Kuva 13. Matalapaine-esilämmitin Aittaluodossa (kuvannut Markku Santikko

Mp-esilämmitin on valmistettu Lang Maschinen-fabrik:n tehtaalla Budapestissa Unkarissa kesäkuussa 1990. Ennen ko. painesäiliön valmistuksen aloittamista Suomen Teknillinen tarkastuskeskus on tarkastanut rakennussuunnitelmat paineastialain suunnittelusta ja valmistuksesta annetun kauppa- ja teollisuusministeriön päätöksen (391/84) 6§ mukaisesti Teknillinen tarkastuskeskus on paineastia-asetuksen muuttamisesta annetun asetuksen (257/84) 13§ ja 13a§ nojalla hyväksynyt paineastian rakennesuunnitelman RS 5200-90 mukaisesti.[/6/](#)

Mp-esilämmitin on tyypiltään rekuperatiivinen eli energia siirtyy siinä höyryvaipasta putkiseinämän läpi lauhdeveteen

5.1.2 Lämmönvaihtimet LV5 ja LV6

| | LV5 | LV6 |
|------------------------------|----------|----------|
| Pituus [mm] | n.13200 | n.12800 |
| Halkaisija [mm] | 2100 | 1900 |
| putkiluku [kpl] | 1694 | 1528 |
| putkimitat [mm] | 22 x 1.2 | 22 x 1.2 |
| lämpöpinta [m ²] | 1245 | 1084 |
| suurin käyttöpaine [bar] | 16 | 16 |
| (vesipuoli) | | |

Taulukko 5 Lämmönvaihtimien LV5 ja LV6 teknisiä ominaisuuksia taulukossa

Lämmönvaihdin 5 ja 6:sta on tulpattu 50kpl:tta rikkoutuneita putkia. Putkien yhteinen lukumäärä LV5:ssä ja LV6:ssa on 3222 kpl, prosenteissa tulpattuja putkia

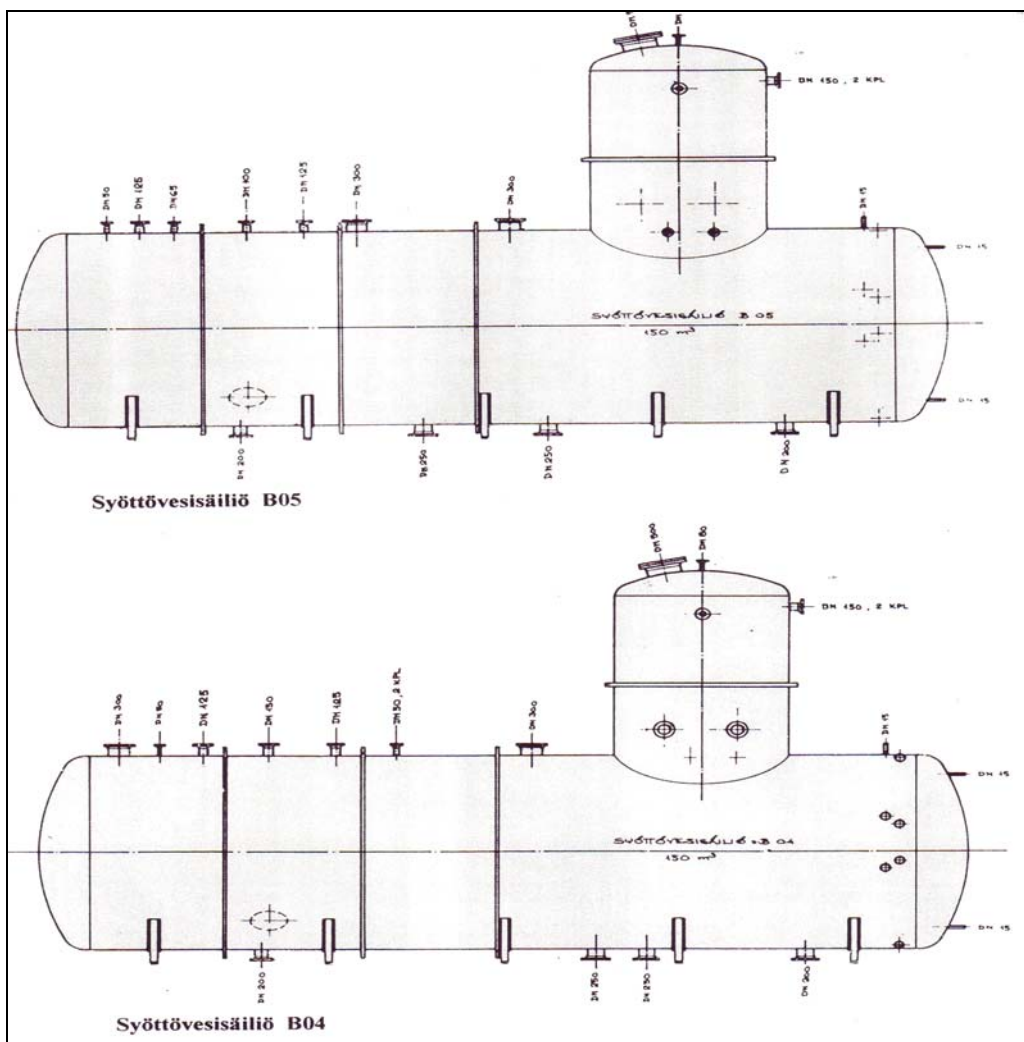
on $\frac{50\text{tulpattua}}{3222\text{kokonaismäärä}} \times 100 = 1.55\%$ eli lämpöpintaa on pois käytöstä noin 36m²

ja jokaisen tulppauksen jälkeen lämpöpinta pienenee 0.72m² / tulpattu putki, mikä vastaa 3‰ koko vaihdinpinnasta.

5.1.3 Syöttövesisäiliöt

Syöttövesisäiliöt sijaitsevat voimalaitoksen ylimmässä eli 7 kerroksessa 40m korkeudella RT- ja R-kattiloilla on omat syöttövesisäiliöt, joiden lämmitykseen ja kaasunpoistoon käytetään 3,5 bar tukilta saatavaa höyryä. Syöttövesisäiliöt ovat

normaalisti yhteiskäytössä. RT-kattilan syöttövesisäiliön tilavuus on noin 150 m³ ja R-kattilan noin 150 m³. Syöttövesisäiliössä pidetään normaalikäytön aikana noin 3 bar:in ylipaine, jolloin syöttöveden lämpötila säiliöissä on noin 140 °C /2/.



Kuva 14. Syöttövesisäiliöt B04 ja B05

Syöttövesisäiliöistä johdetaan vesi syöttövesipumpuilla höyrykattiloihin

5.1.4 Apujäähdytin

Apujäähdyttimen avulla saadaan aikaan tuotetun sähkötehon lisääntyminen, kun sen avulla lisätään kaukolämmön tuotantoa. Apujäähdyttimellä kannattaa tuottaa sähköä tapauksissa, jolloin ostosähkön hinta ylittää apujäähdyttimellä tuotetun sähköhinnan.

Apujäähdyttimeen johdettu lämpö menee kokonaan hukkaan ja sen avulla tuotetun sähköntuotannon hyötysuhde on pieni noin 40 - 50%

Apujäähdyttimen käyttöaste kaukolämpökuorman sen salliessa määräytyy lähes suoraan sähkön, polttoaineen ja päästöoikeuksien hinnan mukaisesti. /9/

6 KOEAJOT

6.1 Ajettavien prosessien ohjeistus koeajoa varten

Mp-esilämmittimen käyttömahdollisuuksien testausajo suoritettiin kolmella eri tavalla.

Tapa 1

- Mp-esilämmitin normaalisti ajossa ja TG5 väliottohöyryllä lämmitetään lauhdevettä ko. lämmittimessä.

Tapa 2

- Mp-esilämmitin mukana kuten tavassa 1, mutta TG5:n ajoa suoritetaan minimi- ja maksimikuormalla.

Tapa 3

- Mp-esilämmitin on ohitettuna ajo normaalisti, minimikuormalla ja maksimikuormalla. Syöttöveden lämmitys hoidetaan kokonaan TG4:n 3.5bar höyryllä.

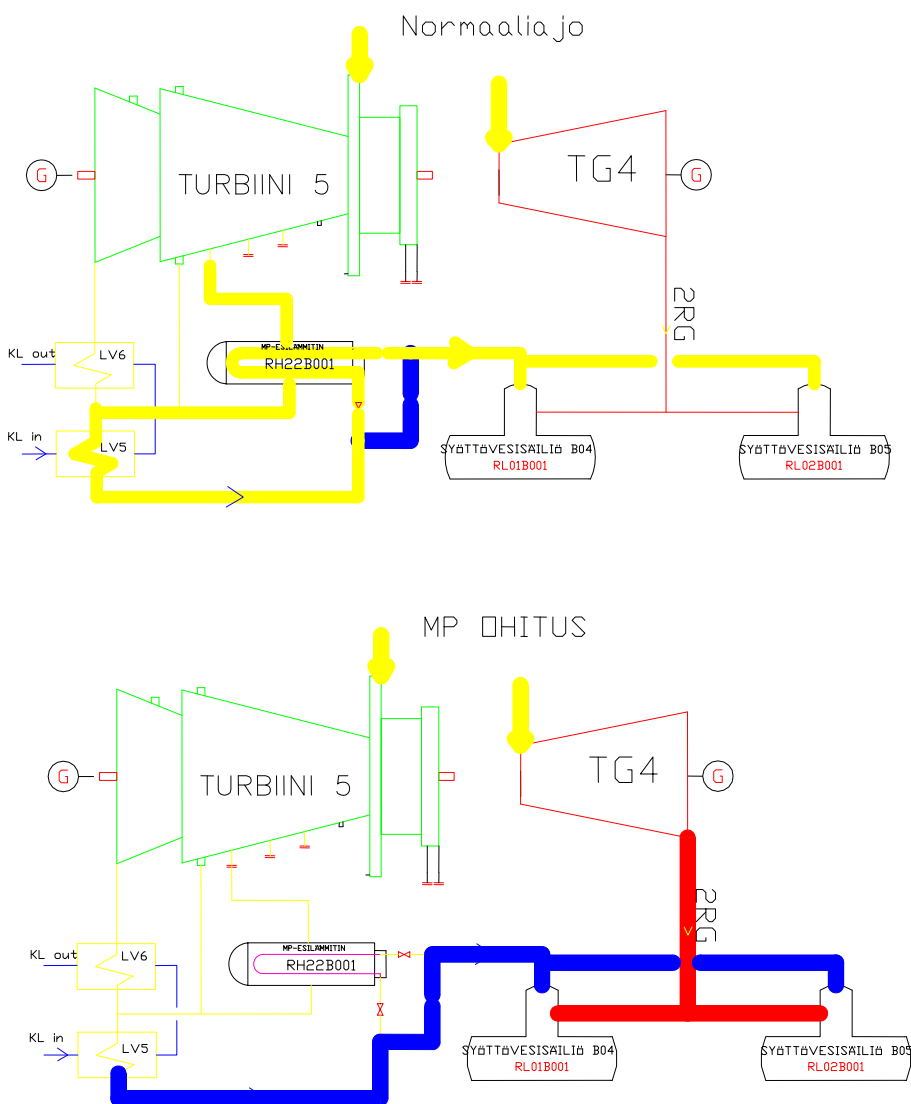
Ajotapaohjeistus on tehty Aittaluodon voimalaitoskäytölle ym. koekäyttöjä varten. Prosessitietojärjestelmästä (PTJ) saadaan kaikki muut suureet opinnäytetyön aiheen mukaisiin vertailuihin, paitsi mp-esilämmittimen lauhteen määrä, joka mitataan erikseen asennettavalla loggerilla RN02 putkilinjaan. Ko. linja näkyy PI-kuvassa 00136.

Kokonaishavainnollistamisen tehostamiseksi on 6:sta PI-kuvasta tehty A1 ja A0 kokoa oleva paperiversioyhdistelmä missä testattavien ajotilanteiden putkilinjat on

korostettu , tämä PI kuva on nimetty mp-esilämmitin koeajo 2007 liitteessä (Liite 2), sekä lisäksi kirjallinen ohjeistus ajotavasta liitteessä. (Liite 3)

6.1.1 Havainnollistetut vaihtoehdot

Normaalissa ajotavassa TG5:n käydessä, johdetaan väliottohöyry mp-esilämmittimeen lämmittämään kaukolämmönvaihtimien lauhdetta. TG4:n vastapainehöyryllä (3.5bar) lämmitetään ja paineistetaan syöttövesisäiliöiden vesi asteisuuden mukaiseksi.



Kuva 15. Yksinkertaistettu piirikaavio putkijohdoista mp-esilämmittimellä (kuva Markku Santikko)

Normaalissa ajotavassa virtaus putkistoissa tapahtuu ylemmän kuvan esittämällä tavalla eli turbiinin lauhde lämmitetään mp-esilämmittimessä. Alemmassa kuvassa

lauhde on johdettu mp-esilämmittimen ohi ja sitä lämmitetään syöttövesisäiliöissä TG4:lta saatavalla 3,5bar höyryllä.

6.2 Höyryn jakaantuminen prosessissa

Tulistettu korkeapaineinen vesihöyry johdetaan kattiloista turbiineille. Turbiinin läpi virratessaan höyryn paine ja lämpötila muuttuvat ja osa höyryn sisältämästä lämpöenergiasta muuttuu turbiinia pyörittäväksi mekaaniseksi energiaksi. Turbiinin akselilla sijaitsee generaattori, jossa mekaaninen energia muuttuu sähköenergiaksi.

6.2.1 Syöttöveden ja TG5 lauhteen esilämmitys

Kattilan paineen noustessa, nousee myös höyrystymislämpötila, jolloin kattilaprosessin toimivuuden ja veden laatutavoitteen johdosta (Liite 1) syöttövesi on lämmitettävä kattilalaskennan edellyttämälle tasolle.

Prosessin normaalikäytön (tapauksessa, jolloin turbogeneraattori 5 ei ole täydessä kuormassa) optimaalisen ajon kannalta sähköntuotanto paranee, kun turbiiniprosessista poistuva lauhde (=lv5 ja lv6 lauhde) lämmitetään mp-esilämmittimen avulla (mp-esilämmittimen höyryn paine on pienempi eli n. 1 bar kuin TG4:n vastapainehöyryn paine).

Lauhteen eli syöttöveden esilämmitys väliottohöyryllä (mp-esilämmittimelle menevä höyry) lisää höyrymäärää turbiinin alkupäähän, jolloin turbiinin rakennusaste ja sähköntuotto parantuu.

6.3 Prosessitietojärjestelmän mittauspisteiden data (PTJ)

Mittauspisteiden tiedot kerääntyvät prosessitietojärjestelmään eri prosessisuureiden paikallismittauksista ja laskenta tapauksissa on dynaamista.

Mp-esilämmittimen testiajon valmistelu aloitettiin 9.11.2007 klo 14:00 asentamalla mittaustaitteisto paikoilleen RN02 putkilinjaan, joka on DN80 (88.9 x 3.2) kokoista ja siinä on materiaalina st.35.8 III hiiliteräs.



Kuva 16. Virtaus- ja lämpötilamittauspisteet RN02 putkilinjassa (kuva Markku Santikko)

Vertailu käsimittauksen ja prosessitietojärjestelmän samantahtisuudesta kellomerkinän suhteen oli määritettävä tässä vaiheessa taulukossa 6.

Taulukko 6. Manuaalimittauksen aikojen synkronointi

| Laite | aika |
|----------------|-------|
| Loggeri | 21:00 |
| Virtausmittari | 20:54 |
| Valvomo | 20:22 |
| reaaliaika | 20:08 |

Tiedonkeruu mp-esilämmittimen lauhteesta tapahtui beamex MC5 loggerilla ja Controlotron stormmeterin avulla. Anturointi putkistoon on esitetty kuvassa 17.

Virtaus – ja lämpötila mittauspisteet RN02 putkilinjassa. Beamex MC5 loggeri on tarkoitettu mm. lämpötila, -elektroniikka- ja paineinstrumenttien kalibroitiin.



Kuva 17. Tiedonkeruuvälineet (kuva Markku Santikko)

6.3.1 Mittaus TG5:n pätötehosta

Vaihtovirtapiireissä pätöteho (tunnus P) on piirissä todellisuudessa kulutettu teho. Pätöteho on varsinaista työtä tekevä (esim. vastuskuormassa lämmöksi muuttuva) teho. Sen SI-yksikkö on watti. Jos vaihtovirran jännite U ja virta I eivät ole samassa vaiheessa, pätöteho on pienempi kuin näennäisteho.

Näennäisteho² = pätöteho² + loisteho² eli $S^2 = P^2 + Q^2$, näennäistehoa ei käsitellä tässä työssä, joten olkoon se yleissivistävänä tietona mukana.

Pätöteho voidaan laskea tehollisen jännitteen, tehollisen virran ja tehokertoimen $\cos\varphi$ tulona: [/8/](#)

PTJ:llä tunnuksella SP10E003:av on laskettu muuttujien keskiarvona pienellä aikavälillä pätöteho seuraavalla kaavalla $P = \sqrt{3} \times U \times I \times \cos\varphi$, tiedonkeruupisteet, kuten jännite [U], virta [I] ja $\cos\varphi$ mitataan generaattorin eri mittauspisteistä.

6.3.2 TG4:n ja TG5:n pätötehojen laskenta

Sähkötehon laskentaperiaatteet laskukaavoina:

Höyry sähkötehoksi lasketaan kaavalla:

$$P_{\text{sähkö}} = \phi_{\text{turbiini}} \times \eta_{\text{mek}} = \dot{m}_{\text{höyry}} \times (h_1 - h_2) \times \eta_{\text{mek}} \quad (\text{Kaava 3})$$

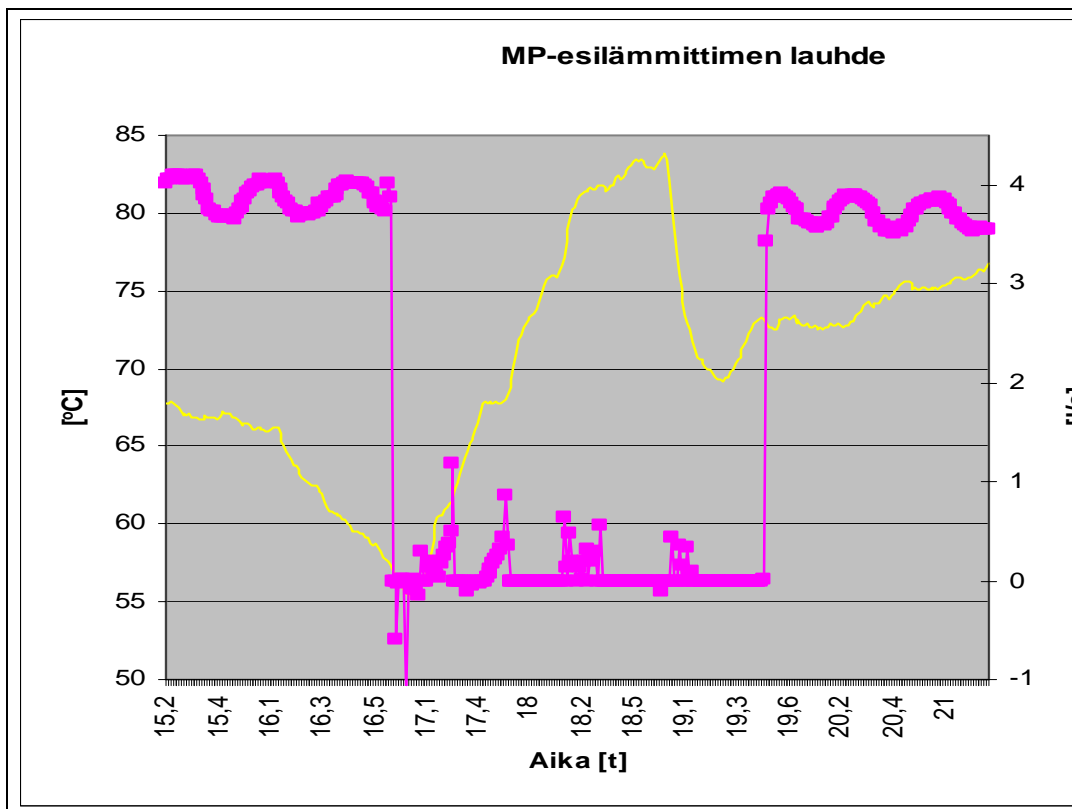
Prosessitietojärjestelmästä saadaan sähkötehotieto kaavalla:

$$P = \sqrt{3} \times U \times I \times \cos \varphi \quad (\text{Kaava 4})$$

Mittaus ER-3462:av TG4:llä ja SP10E003:av TG5:llä PTJ:ssä ilmoittaa sähkötehon reaaliajassa, mittauspisteet sijaitsevat generaattoreilla.

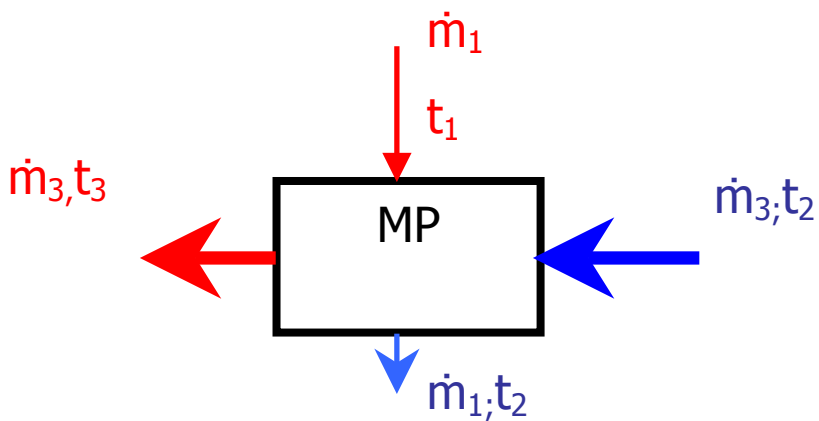
6.3.3 Mp-esilämmittimen teho

Mp-esilämmittimessä TG5:n väliottohöyry lauhtuu ja kulkeutuu lauhdelinjaa RN02 pitkin lauhteen kokoojatukkiin RN02B001. Mittauspiste asennetaan venttiiliin RN02S203 ja kokoojatukin RN02B001 väliin, sillä kaikki lauhde kulkee tätä reittiä ja määrältään se on samansuuruinen kuin väliottohöyryn määrä TG5:ssä. Toistaiseksi PTJ ei kerää tästä dataa, pysyvän mittauspisteen puuttuessa tilavuusvirta (q_v) mitataan tässä pisteessä käsiasennettavalla ultraäänimittarilla ja tieto kerääntyy dataloggeriin. Mp-esilämmittimen jälkeinen lauhteen lämpötila on mitattava myös manuaalisesti, jolloin vaihtimen jäähdytysteho on laskettavissa, kun tulohöyryn lämpötila on tiedossa.



Taulukko 7. Manuaalimittauksella kerätty data mp-esilämmittimen lämmityshöyryn lauhteesta.

Mp-esilämmittimen tehon laskenta esimerkin avulla kuvan 12 ajotilanteesta ja taulukon 7 mitattuihin tietoihin perustuen.



Kuva 18. Lämpövirrat mp-esilämmittimessä (kuva Markku Santikko)

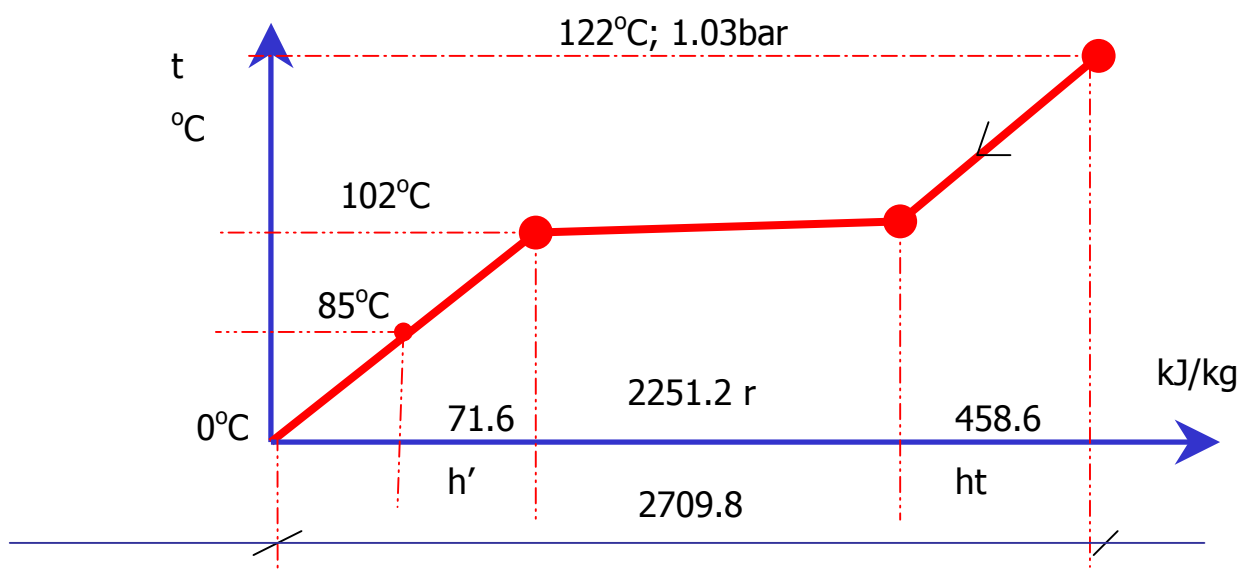
$$\phi_1 = \phi_2 = \phi_3$$

(Kaava 5)

$$\bar{t} = \frac{73^\circ\text{C} + 116^\circ\text{C}}{2} = 94.5^\circ\text{C} \rightarrow \varphi_{97} = 960.49 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \rightarrow c_p = 4.2099 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \quad (\text{Kaava 6})$$

Lauhteen keskimääräinen ominaislämpökapasiteetti 94.5°C :ssa

$$\begin{aligned} \phi_1 &= \phi_{\text{vesi}} = \dot{m} \times c_{\text{vesi}} \times \Delta t \Rightarrow \varphi_{\text{vesi}} \times q_v \times c_v \times (t_4 - t_3) \\ \phi_1 &= 39.9 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \times 4.21 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \times (116 - 73)^\circ\text{C} \approx 7.2 \text{MW} \end{aligned} \quad (\text{Kaava 7})$$



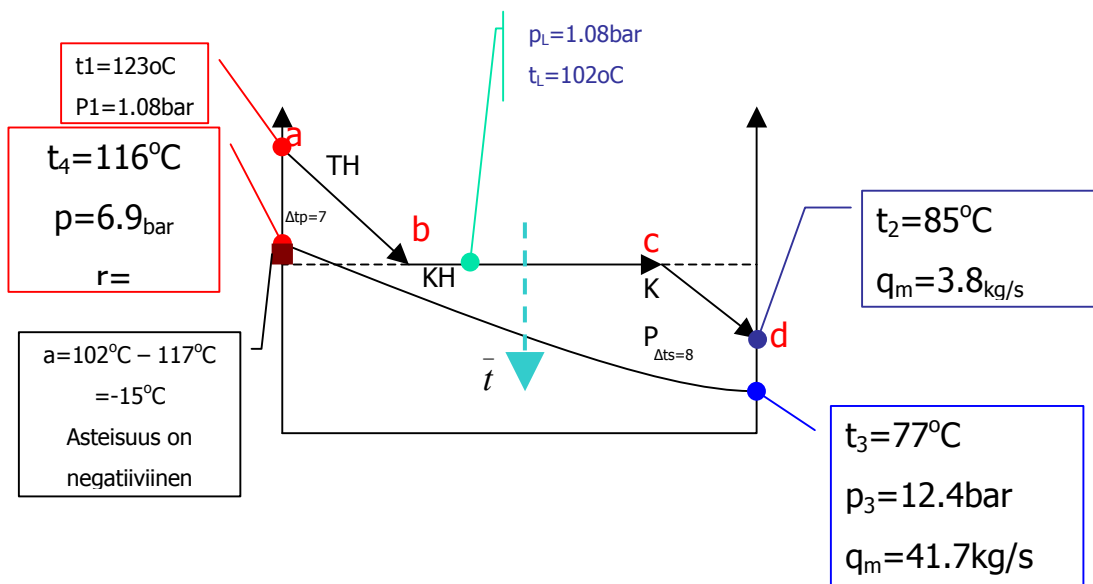
Kuva 19. Höyryenergian muuttaminen vedeksi. (Kuva Markku Santikko)

$$\phi_2 = \dot{m} \times (h' + r + h_t) \Rightarrow 3.8 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \times (71.6 + 2251.2 + 458.6) \approx 10.6 \text{MW} \quad (\text{Kaava 8})$$

Lasketaan kaavan 7 tehon mukaan, koska $>10 \text{MW}$ teho liian suuri verrattuna ϕ_1 :een. Tarkastetaan kaavan 6 keskimääräisen lämpötila-arvoilla massavirran suhteen.

$$7.2\text{MW} = \dot{m} \times (71.6 + 2251.2 + 458.6) \Rightarrow \dot{m} = 2.59 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \quad (\text{Kaava 9})$$

Virtausnopeus lauhteen arvoilla antaa saman arvon, kuin mitä lämmitettävällä syöttövedelläkin on.



Kuva 19. Mp-esilämmittimen asteisuus (kuva Markku Santikko)

Vesihöyryn Mollier h,s-piirroksesta saadaan vaihtimen läpikulkevien fluidien entalpiat ajanhetkellä, jolloin kuva 12 on otettu liitteenä (Liite 4). Mp-esilämmittimen lämmityshöyryn lauhteen vastaavien suureiden arvot saadaan liitteenä olevasta Excel-taulukosta (Liite 5). ja niiden entalpiat h,s piirroksesta liitteestä (Liite 4).

$$\phi_3 = k \times A \times \Delta t_m = G \times \Delta t_m = G \times \frac{\Delta t_s \times \Delta t_p}{\ln \frac{\Delta t_s}{\Delta t_p}} = \quad (\text{Kaava 10})$$

$$G \times \frac{8-7}{\ln \frac{8}{7}} = G \times 7.49^\circ\text{C} = 7.2\text{MW} \Rightarrow G = \frac{7.2\text{MW}}{7.49^\circ\text{C}} = 0.964 \text{MW}/^\circ\text{C}$$

Vaihtimen konduktanssi saadaan kaavasta 10, joka on tehon muutos suhteessa lämpötilan muutokseen.

6.3.4 Prosessitietojärjestelmä (PTJ) laskentatapa

Prosessitietojärjestelmään kertyy tietoa ja sen laskentaan käytetään eri prosessisuureiden mittaustietoa. Esimerkkinä puretaan C++ ohjelman suorituskomento höyry mp-esilämmittimelle,

$$m_MP = m_TG5_in * (StmTQH(T_MP_lauhde_out,0,1) - StmTQH(T_MP_lauhde_in,0,1)) / (StmPQH((p_MP_in + 1.10325), 1, 1) - StmTQH(T_MP_lauhde_in + 4,0,1));$$

Poistuva höyry TG5:n väliotosta mp-esilämmittimelle ratkaistaan edellä lasketusta virtauksesta sekä välioton paine- ja lämpötila mittauksista. ns. auki seuraavasti:

m = massavirta

Stm = veden ja höyryn ominaisuuksien laskentaan käytetty funktiokirjasto, jossa

lisämerkinnät esim- TQH viittaavat mitä lasketaan ja mistä. Ensimmäinen kirjain

viittaa mitä suuretta käytetään laskentaan (T = lämpötila, P = paine). Toinen (Q) viittaa faasiin, joka annetaan funktiokutsussa (I = höyry, 0 = vesi). Kolmas on mitä halutaan laskea (H = entalpia) Esim merkintä: StmTQH(T_MP_lauhde_out,0,1) tarkoittaa kylmän veden (Q = 0) entalpia (H = 1) lämpötilasta (T = T_MP_lauhde_out) laskettuna. Vastaavasti kutsu StmPQH((p_MP_in + 1.10325),1,1) tarkoittaa kylmän höyryn (Q = 1) entalpia (H = 1) paineesta (P = p_MP_in + 1.10325) laskettuna. Tässä laskennassa paine P on paineen mittausta, joka on suhteellista painetta lisättyä normaaliin ilmanpaineeseen 1.10325 bar, jolloin laskenta suoritetaan absoluuttisesta paineesta. (Tämä on tietenkin höyrytaulukko-funktiokirjaston ominaisuus kuten myös kaikki standardit käyttävät absoluuttipainetta. Eli paine pitää aina muuttua absoluuttipaineeksi) Laskennassa StmTQH(T_MP_lauhde_in + 4,0,1) luku 4 on vaihtimen asteisuus, eli lauhtuvan höyryn lämpötila seuraa tulevan veden lämpötilaa asteisuudella korjattuna. StmTQH(T_MP_lauhde_out,0,1)

StmTQH(T_MP_lauhde_in,0,1) = lämmitettävän veden entalpian muutos vaihtimessa [kJ/kg] StmPQH((p_MP_in + 1.10325),1,1) - StmTQH(T_MP_lauhde_in + 4,0,1) = lämmittävän höyryn entalpian muutos vaihtimessa [kJ/kg]

massavirrat m_TG5_in ja m_MP ovat prosessista saatavia tietoja eli m_TG5_in on oltava saman tuotteen massavirta, jonka entalpian muutos on osoittajana eli tässä tapauksessa lämmitettävän veden entalpian muutos. Vastaavasti nimittäjässä oleva entalpian muutoksen pitää viitata lämmittävän fluidin eli höyryn massavirtaan (m_ML oletan).

*Kaava sanoilla kirjoitettuna tarkoittaa, ym. oletuksilla massavirroista.
 (lämmityshöyryn massavirta) = (vaihtimen tehotarve) / (lämmityshöyryn entalpian muutos vaihtimessa), => josta saadaan edelleen (lämmityshöyryn massavirta) = (lämmittävän fluidin massavirta) * [(lämmittävän fluidin lähtöentalpia - tuloentalpia)] / (lämmityshöyryn entalpian muutos vaihtimessa)
 /15/*

Höyrytekniikan kaavoilla ym. esitys olisi seuraava:

$$\dot{m}_{hö} = \frac{\phi_{vaihdin}}{\Delta H_{hö/vaihdin}} \Rightarrow \dot{m}_{hö} = \dot{m}_{syöttövesi} \times \frac{(H_{sv2} - H_{sv1})}{\Delta H_{hö/vaihdin}} \quad \text{(Kaava 11)}$$

7 AJOTAVAT

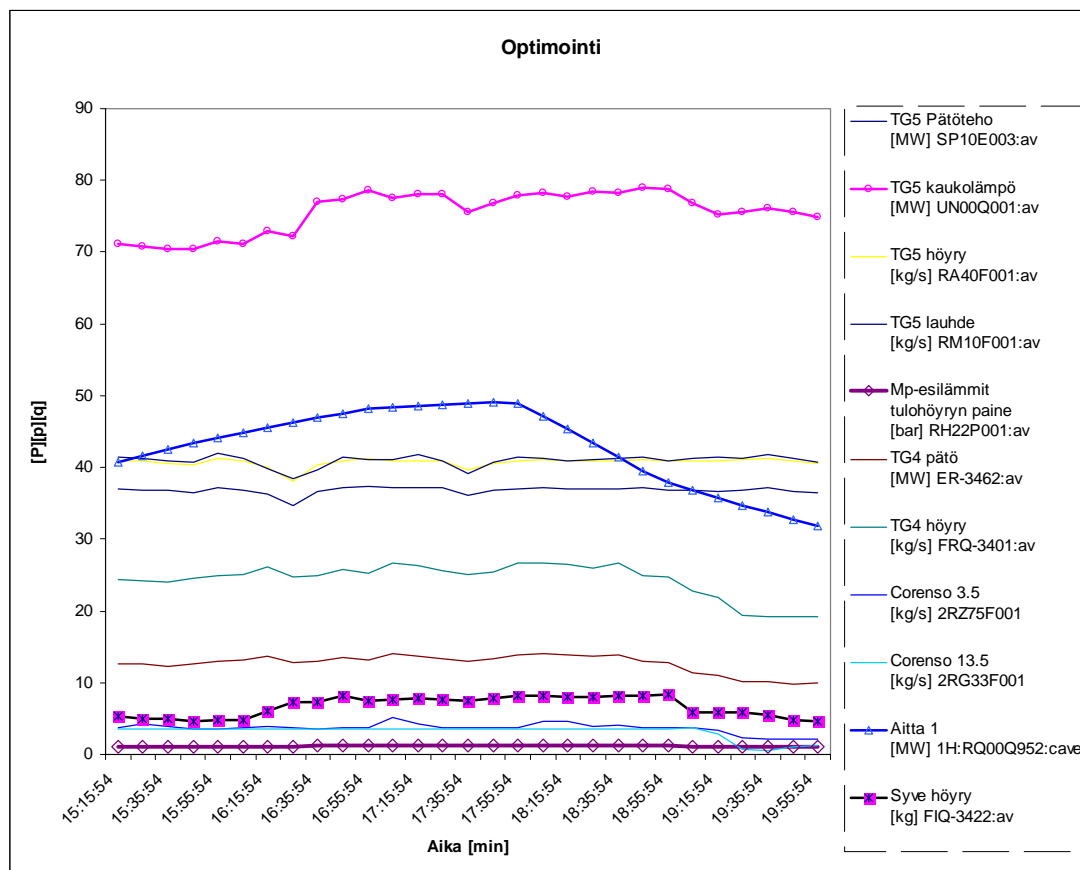
Työssä verrattiin TG5:n mp-esilämmittimen hyötikäyttöä sähkön- ja lämmöntuotannon kannalta lähinnä TG5:n tulohöyryn maksimikuormituksen aikana. Tällöin vertailtavat ajotavat olivat:

1. TG5:n mp-esilämmitin käytössä
2. TG5:n mp-esilämmitin ei käytössä

7.1 Yleistä

TG5:llä maksimi pätöteho 37,5 MW saavutetaan, kun turbiinin tulohöyryn määrä on 42 kg/s. Vastaavasti TG4:lla höyryn maksimimäärä on 32kg/s, jolloin maksimi sähköntuotanto on 17,5 MW turbiinin välioton ollessa käytössä.

TG4:n ominaiskäyrä on liitteenä, Liite 6.



Taulukko 8. Vertailukäyrät mp-esilämmittimen optimoinnissa

Taulukon 8 käyrästä mp-esilämmittimen ajotapa-analyysin konkretisoimiseksi Taulukkoon on kuvattu ajotapa-analyysin kannalta oleelliset muuttujat

7.2 Ajotapa 1 (mp-esilämmitin käytössä)

Tämä ajotapa on voimalaitoksen normaali käytössä oleva ajotapa. Tällöin mp-esilämmitin käytössä ollessaan esilämmittää TG5:lta syöttövesisäiliöille menevän lauhteen. Työssä tätä ajotapaa ja sen antamaa sähkön- ja lämmöntuotantoa verrattiin ajotapaan 2.

7.3 Ajotapa 2 (mp-esilämmitin ohitettuna)

Tässä ajotavassa TG5:n mp-esilämmitin on pois käytöstä eikä se esilämmitä TG5:n syöttövesisäiliöille menevää lauhdetta.

Tässä ajotavassa, verrattaessa sitä normaaliin ajotapaan (ajotapa 1), todettiin seuraavat muutokset:

- TG5:n kaukolämpötehon kasvu n. 7 MW
- TG5: sähköntuotanto pysyi lähes muuttumattomana
- TG5:lle tuleva höyrymäärä pysyi lähes muuttumattomana
- TG4:n sähkötehon kasvu n. 1,0 -1,5 MW
- TG4:lle tulevan höyrymäärän muutos n. 3 kg/s
- Syöttövesisäiliöille menevän lämmityshöyryn määrän muutos n. 2,5 kg/s

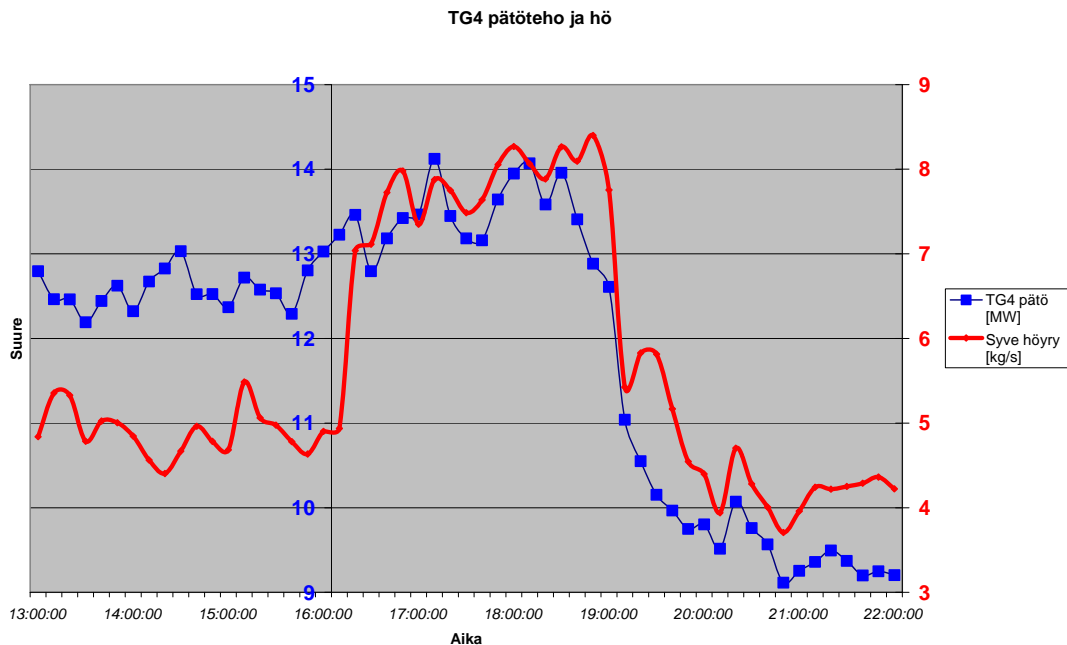
8 AJOTAPOJEN ANALYSOINTI

8.1 Ajotapa MP-esilämmittimellä, kun TG4:n ei riittävästi kuormaa pysyäkseen tuotannossa.

Tilanteessa jolloin matalapaineisen 3,5 bar höyryn kulutus on niin vähäistä, ettei TG4:sta saada pidettyä päällä (kuormaa löytyy kuitenkin tyhjäkäyntihöyryn määrä), voidaan mp-esilämmitin ohittaa, jotta TG4 saadaan otettua käyttöön. Tällöin TG5:n lauhteen lämmitys tapahtuu mp-esilämmittimen sijasta 3.5bar höyryllä syöttövesisäiliöissä. Tämä syöttövesisäiliöihin menevä lauhteen lämmityshöyry kasvattaa TG4:n kuorman riittäväksi, jotta turbiini saadaan käyttöön.

8.2 Ajotapa, kun TG5: kuorma on maksimissaan ja mp-esilämmitin otettuna pois käytöstä

Turbiinille syötetyn tuorehöyryn oletetaan käyttäytyvän liitteen käyrästäön mukaisesti jolloin teho käyttäytyy höyryn virtauksen mukaan (Liite 6)



Kuva 20. TG4:n pätötehon ja syöttövesisäiliön lämmityshöyryn massavirran kuvaajat (lähde PTJ)

Punaisesta oikeanpuoleisesta asteikosta voidaan tulkita (kuva 21) syöttövesisäiliöön syötetyn lämmityshöyryn kasvavan normaalista ajotavasta poiketen noin 2.5 kg/s. Sinisestä käyrästä, minne pätötehon asteikko on merkitty koeajon alkamisaikaan klo 16:10 kohdalle, voidaan tulkita sähkötehon TG4:lla kasvavan noin 1-1.5MW verran.

Lasketaan lämmityshöyryn teho kasvun osalta seuraavasti:

Höyry tulee 3.5bar:n paineisena, lämpötilan ollessa 175°C ja höyryvirtauksen lisäys 2.5kg/s

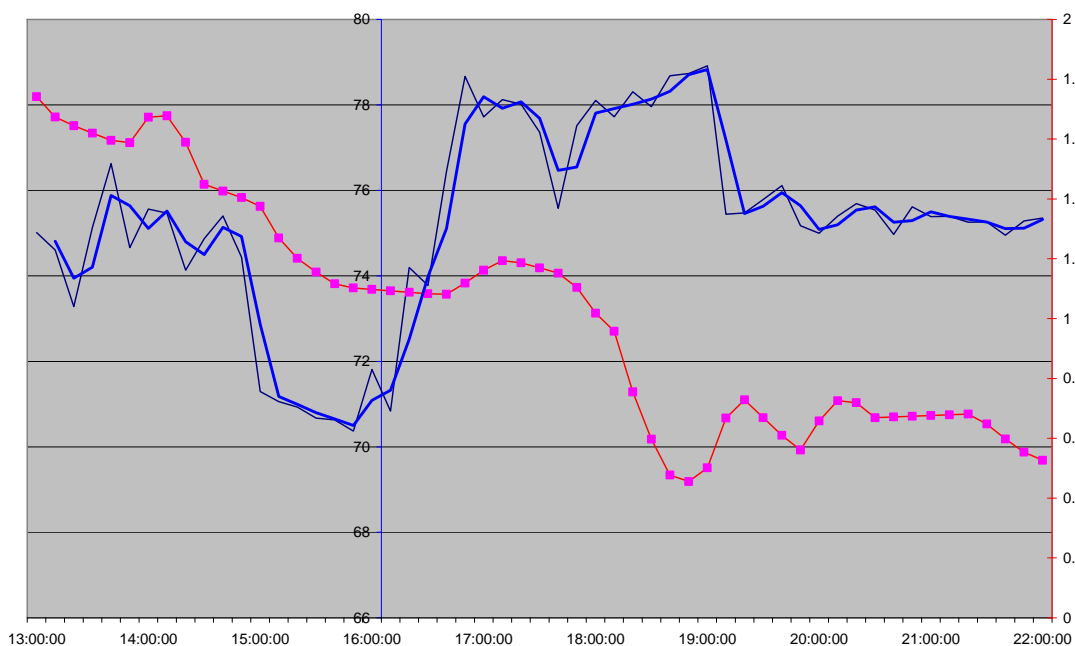
$$\phi_{hö} = 2.6 \frac{kg}{s} \times 2804.7 \frac{kJ}{kg} \approx 7.3 MW$$

Todetaan höyryn lämmitystehon olevan

samaa luokaa, kuin kohdan 6.3.3 (kaava 7) lauhteen lämmitykseen tarvittava teho.

8.2.1 TG5 kaukolämpötehon muutos

Kaukolämmön tehon nousu on selkeästi havaittavissa testiajon aikana tehdystä mittauksesta, joka piirrettynä mittaustulosten arvoista kuvaan 21.

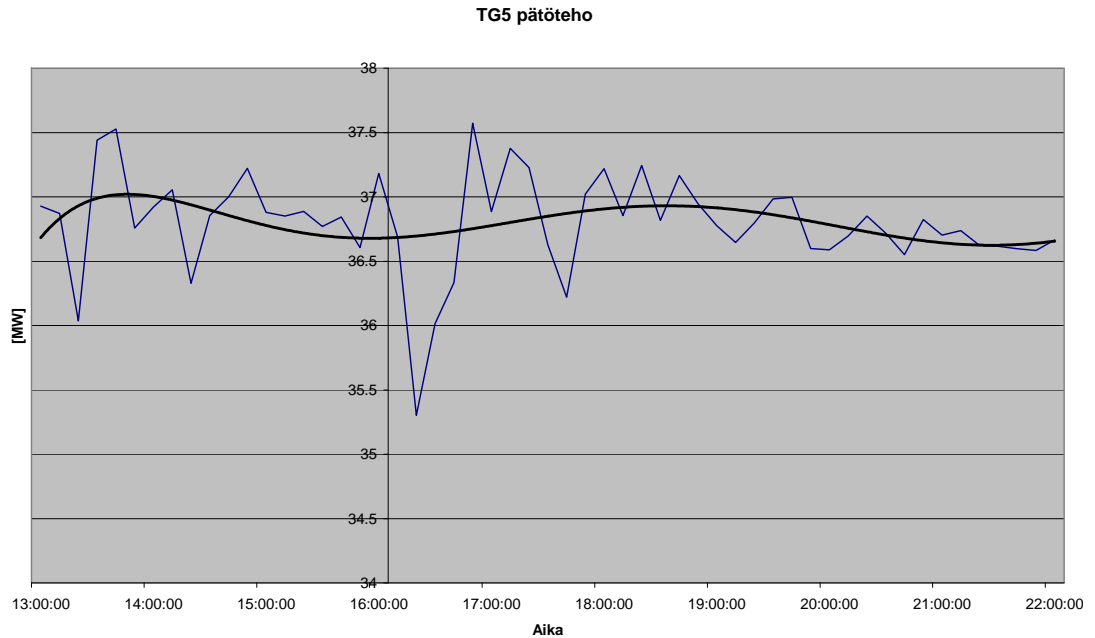


Kuva 21. Kaukolämpötehon muutos TG5:lla sinisellä ja ulkolämpötilanmuutoskuvaaja punaisella (lähde PTJ).

Selkeimmin muuttunut suure testiajon aikana oli TG5 kaukolämpötehon kasvu, joka on havaittavissa kuvasta 19. Koe alkoi klo 16:10 jolloin kaukolämpöteho nousi 71 MW:sta noin 7MW arvoon 78 MW ja 2h 30min kestäneen testiajon jälkeen palautui noin 75MW:iin. Kaukolämpöteho nousu oli ko. aikajakson alun- ja lopunvälillä 2.11MW. TG5:n kaukolämmön maksimituotanto on 80MW.

8.2.2 TG5 sähkötehon muutos

Sähkötehossa TG5:llä ei koeajojaksolla ole havaittavissa muutoksia.

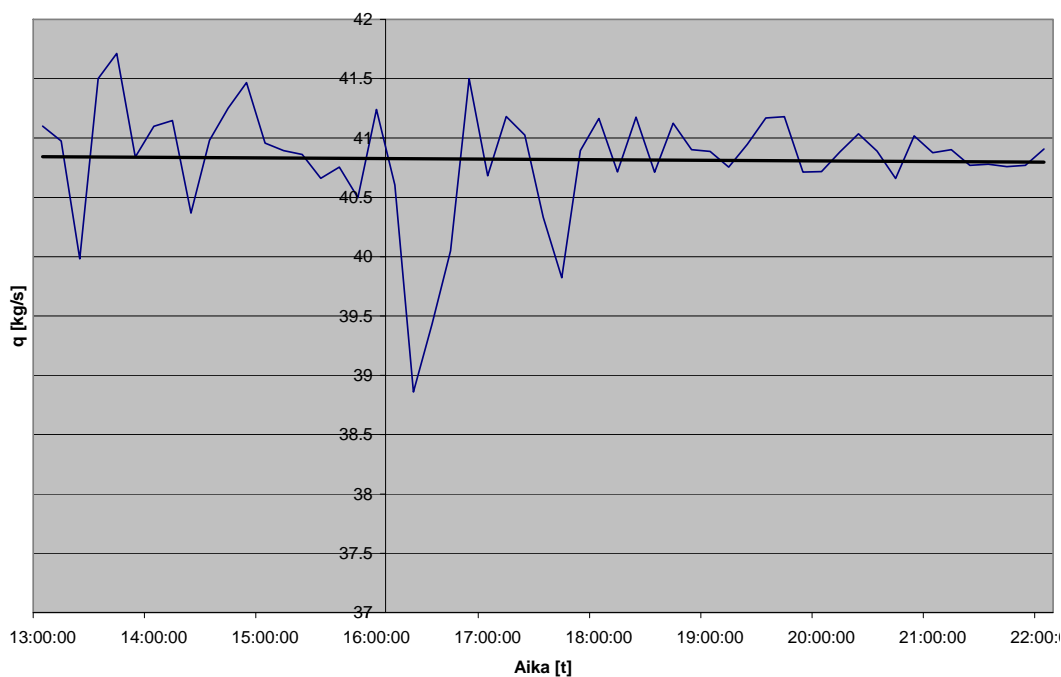


Kuva 22. TG5 pätöteho (Lähden PTJ)

Pystyakselin asteikko on piirretty koeajojakson alkamishetkeen ja sinisellä piirretystä kuvaajasta voidaan havaita sahausmaisen kuvion pätötehon hetkellinen terävä piikki. Lineaarinen käyrä osoittaa pätötehon vaihteluvälin tasaisuuden olevan noin 0.4MW rajoissa koko tarkastelujaksolla.

8.2.3 TG5:n höyryn massavirta

R- ja RT-kattiloista tulevan tuorehöyryn lämpötila on +510 °C ja sen paine on 110bar. Energiasisältö näillä arvoilla on 3387.7 kJ/kg. Laskenta kuvan 12 tilanteen virtauksella antaa höyryn tehoksi Φ_1 on 137.9MW.



Kuva 23. Tuorehöyryn määrä TG5:lle (lähde PTJ)

Koeajo alkamisajankohdan jälkeen tulohöyry vakaantui nopeasti samalle tasolle missä se oli ennen koeajoa.

Keskiarvo sille oli noin 40.7kg/s kuvan 12 tarkastelutilanteessa. Tästä voidaan päätellä että höyryn määrä on vakio koeajojakson aikana. Mittauspisteiden lineaarinen käyrä on lähes suora tarkastelujaksolla.

9 JOHTOPÄÄTÖKSET

TG5:n maksimikuormituksen aikana saavutetut mahdolliset hyödyt tilanteessa, jolloin mp-esilämmitin on pois käytöstä verrattuna tilanteeseen, jolloin mp-esilämmitin on käytössä.

TG4:n sähköntuotanto kasvaa TG5:n lauhteen lämmitykseen kuluvaan höyrymäärän verran. Koeajojen perusteella sähköntuotannon kasvuksi saatiin n. 1,5 MW. Tämä sähköntuotannon lisäys on riippumaton turbiinien sähköntuotantoon vaikuttavista muista tekijöistä. Tätä kasvua voidaan käyttää hyväksi sähköntuotannossa, kun TG5 on maksimisähköntuotannossaan (n. 37–37,5 MW), käytännössä lähinnä talvikuukausien aikana n. 2500 tunnin ajan. Tästä laskutoimituksella saadaan hyöty, joka sähkömäärän lisäyksenä on n. 3750 MWh. Mikäli, sähkön ostohinnasta tietenkin riippuen, tuotetun sähkön (arvioitu hinta 15 €/MWh) ja ostosähkön (arvioitu hinta 40 €/MWh) hinnanero on 25 €/MWh, saadaan rahallisena hyötynä vuositasolla 93750 €.

Taulukko 9. Sähkön markkinahinta (Lähde Nord Pool vko:48/07)

| €/MWh | | | | | | | | |
|-------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| | To | Pe | La | Su | Ma | Ti | Ke | To |
| Päivä | 22.11.07 | 23.11.07 | 24.11.07 | 25.11.07 | 26.11.07 | 27.11.07 | 28.11.07 | 29.11.07 |
| Min | 43.81 | 44.59 | 44.93 | 43.72 | 43.33 | 45.51 | 45.24 | 44.18 |
| Max | 52.38 | 53.03 | 52.69 | 48.03 | 53.34 | 74.83 | 55.21 | 55.48 |
| Avg | 48.17 | 48.98 | 48.05 | 45.43 | 48.51 | 53.03 | 50.24 | 49.17 |

TG5:n kaukolämpötehon kasvu koeajon aikana oli n. 7 MW. Tämä kaukolämpötehon kasvu vähentää TG4:lla kehitetyn kaukolämmön määrää, mikäli lv7 tai lv 8 ovat käytössä. TG4:lla kehitetyn kaukolämpötehon väheneminen puolestaan vähentää TG4:n sähköntuottoa kaukolämpötehon vähenemistä vastaavasti. TG5:n kaukolämpötehon kasvu ja tätä kautta TG4:n sähköntuotannon väheneminen kuitenkin, asiaa pidemmälle pohdittaessa, kohtaa rajansa, kun TG5:n kaukolämpöteho on saavuttanut maksiminsa eli lv 5:n ja lv 6:n maksimikapasiteetin. Tällöin sillä ei enää ole vaikutusta TG4:n sähköntuotantoon.

Toisena mp-esilämmittimen poisoton käyttötapana on tilanne, jossa TG5 on käytössä mutta TG4:lla ei ole prosessilämpökuormaa niin paljoa, että se pysyisi päällä. Tällöin voidaan TG4:n kuormitusta lisätä ottamalla mp-esilämmitin pois käytöstä ja

lisäämällä täten 3,5 bar höyrykuormaa syve-säiliöille. Tämä mahdollistaa TG4:n käyttöönoton ja lisää laitoksen sähköntuotantoa.

Mp-esilämmittimen poisoton hyväksikäyttö edellyttää, että kattilatuotannossa on ko. olosuhteissa varaa tuotannon lisäykseen, jonka syöttövesisäiliöille menevän höyrymäärän kasvu aiheuttaa.

Mp-esilämmittimen poisotolla saadun sähkön tuotannon kasvu poikkeaa oleellisesti apujäähdyttäjällä tehdyn sähkön tuotannon lisäyksellä siinä mielessä, että tällöin myös lämpö, toisin kuin apujäähdytystapauksessa, tulee hyödynnettyä.

10 TOIMENPIDE-EHDOTUKSET

Mp-esilämmittimen ohittamista tulisi harkita ajotilanteessa, kun TG5 on täydessä kuormassaan ja TG4:n vastapainehöyryllä (3.5bar) ei ole kulutusta koneen maksimituoton määrää. Kattilatehon riittävyys ko. lisälämmön tuottamiseen tulee olla. Koekäyttämällä TG5:sta mp-esilämmitin ohitettuna saadaan pidemmän aikaväin tietoutta ko. käytön mahdollisista eduista verrattuna normaaliajotapaan.

Kun TG4:n kuorma on niin pieni, että konetta ei saada käyttöön mutta kuorma riittää TG4:n tyhjäkäyntitehon tarpeeseen on mp-esilämmittimen ohittamista harkittava sikäli kuin TG5 on käytössä. TG4 saadaan käyttöön ja verkkoon tuottamaan sähköä.

Kiinteän virtaus- ja lämpötilanmittauksen asentaminen mp-esilämmittimen jälkeiseen RH20 putkilinjaan helpottaa ko. vaihtimen tehokkuuden tarkkailua sekä

lauhdepinnan korkeuden optimaalista asettamista vaihtimen hyötysuhteen parantamiseksi.

LV5 ja LV6:n putkistontulppauksiin ja niiden vaikutuksiin virtauksissa tulisi kiinnittää huomiota, tarkastelemalla virtausnopeuksia, sekä vaihtimien asteisuuksia. Virtausnopeuksien suurennuttua putkistotulppauksien myötä heikkenee vaihtimien asteisuuskin ja samalla riski putkistovuodoista kasvaa.

LÄHTEET

- /1/ Kierrätyspolttoaineenlaadunvalvonta [verkkodokumentti]. [Viitattu 30.11.2007]. Saatavissa:
<http://www.vtt.fi/inf/pdf/publications/2005/P587.pdf>
- /2/ Aittaluodon voimalaitoksen energia-analyysi. [Viitattu 30.11.2007]
Enpower Oy Raportti 29.9.2006 s 9.
- /3/ Kattilalaitoksen prosessitekniset käyttöohjeet; [Viitattu 30.11.2007]
KPA unicon Oy
- /4/ Lupapäätökset YMPÄRISTÖKESKUKSEN RATKAISU, Pori
Energia Oy Aittaluodon voimalaitos Toimintajärjestelmä Pori Energia Oy:n www-sivut [verkkodokumentti]. [Viitattu 30.11.2007].
Saatavissa <http://www.porienergiaintra.sofis.fi/>
- /5/ Teboil Raskas polttoöljy 420 [verkkodokumentti]. [Viitattu 30.11.2007] Saatavissa
<http://www.teboil.fi/Product.asp?path=1;1510;1508;4349;4591>
- /6/ MP-esilämmittimen rakennesuunnitelma 5200–90
- /7/ Kaukolämmönvaihtimien uusiminen, [Viitattu 30.11.2007]
esisuunnitteluraportti 2005 Enprima Oy. 33s
- /8/ Pätötehonlaskenta [verkkodokumentti]. [Viitattu 28.11.2007]
Saatavissa: <http://fi.wikipedia.org/wiki/P%C3%A4t%C3%B6teho>
- /9/ Olli Koivumäki, Yhdistetyn sähkön- ja lämmöntuotannon optimointi 2007 diplomityö. Tampereen Teknillinen Yliopisto
Automaatotekniikan koulutusohjelma.
- /10/ Endoterminen reaktio [verkkodokumentti]. [Viitattu 30.11.2007]
saatavissa http://fi.wikipedia.org/wiki/Endoterminen_reaktio
- /11/ Eksoterminen reaktio [verkkodokumentti]. [Viitattu 30.11.2007]
saatavissa http://fi.wikipedia.org/wiki/Eksoterminen_reaktio

- /12/ Huhtinen Markku, Kettunen Arto, Nurminen Pasi, Pakkanen Heikki. Höyrykattilatekniikka. Edita. Opetushallitus. Helsinki. 2000. 379 s.
- /13/ Hyötysuhteen määrittäminen päästökaupan alkujakoa varten [verkkodokumentti]. [Viitattu 30.11.2007] saatavissa www.ktm.fi/files/13627/HyOtysuhteiden_mAArittAminen_pAAstOk aupan_alkujakoa_varten.pdf
- /14/ Suomessa käytettävien polttoaineiden ominaisuuksia [verkkodokumentti]. [Viitattu 30.11.2007] saatavissa <http://www.inf.vtt.fi/pdf/tiedotteet/2000/T2045.pdf>
- /15/ Kalle Anttonen Performance Service Engineer. Käynti Aittaluodossa 7.11.2007 [sähköpostiviesti]. Vastaanottaja: markku.santikko@plv.fi. Lähetetty: to 8.11.2007 13:54
- /16/ Turbiinin rakenne TG4 Julkaisia Allgemeine elektricitäts-gesellschaft fachgebiet-dampf turbinen [Viitattu 30.11.2007].[Rosenlew Pori mappi 4 TG4 käyttöönotto]

LIITELUETTELO

LIITE 1 Kattilaveden raja-arvot

LIITE 2 Mp-esilämmitin koeajo 2007

LIITE 3 Ajotapa ohjeistus

LIITE 4 Vesihöyryn mollier h,s-piirros

LIITE 5 . Mp-esilämmittimen lämmityshöyryn lauhteen [t] ja [q] Excel-taulukko

LIITE 6 TG4:n ominaiskäyrät

Vesilöyjästä lähtenyt/djart

Trobien

| | Jte kky uSc | Jte kky(K) | pH | KvC ngl | A ngl | Sras FU | C ₂ ngl | Kous mdl | Na pb | SO ₂ pb | PO ₄ ngl | paac nml | Q pb | Flax ngl | NH ₃ ngl | Fe pb | Cl pb |
|-----------------|-------------------|---------------|------|------------|----------|------------|-----------------------|-------------|----------|-----------------------|------------------------|-------------|---------|-------------|------------------------|----------|----------|
| Caonvi | | | | | | | 001 | | | | | | | | | | |
| Kendituseifftio | | | 6-6 | | | | | | | | | | | | | | |
| Htiojken | | | 6-6 | | | | | | | | | | | | | | |
| Hkauttusi | <10 | | | <1 | <01 | <6 | | | | | | | | | | 5 | |
| Puusi | | | 7-8 | | | | 010 | | | | | | | | | | |
| Iija/5A | <20 | | | <3 | | | | | <20 | <0 | | | | | | | |
| Iija/5NB | <08 | | | <2 | | | | | <5 | <0 | | | | | | | |
| Iisasi | | <08 | | | | | | | <5 | <0 | | | | | | | |
| Sye | | | 8-9 | | | | | | <0 | <0 | | | <0 | 02-05 | | <0 | <3 |
| Ktilasi/R/K | <4 | | 9-12 | <5 | | | | | | <50 | 2-6 | | | | | | |
| Iöy/R/K | 3-10 | | 9-10 | | | | | | <0 | <0 | | | | | | <0 | <3 |
| KfIöy | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Ktilasi/akau | <10 | | 9-12 | <0 | | | | | | <100 | 10-8 | | | | | | |
| Ialae | 3-10 | | 9-10 | | | | | 0 | <0 | <0 | | | <0 | | <5 | <0 | <3 |
| KfIalae | 3-10 | | 9-10 | | | | | | <0 | <0 | | | <0 | | <5 | <0 | |
| Yi Ialae/jken | | | | | | | | | | | | | | | | <0 | |
| Kaldimoktosi | | | 9-10 | | | | | <06 | | | | | | 05-10 | <5 | <10 | <0 |
| Ktilasilöä | | | >10 | | | | | | | | | | | 20 | | | |

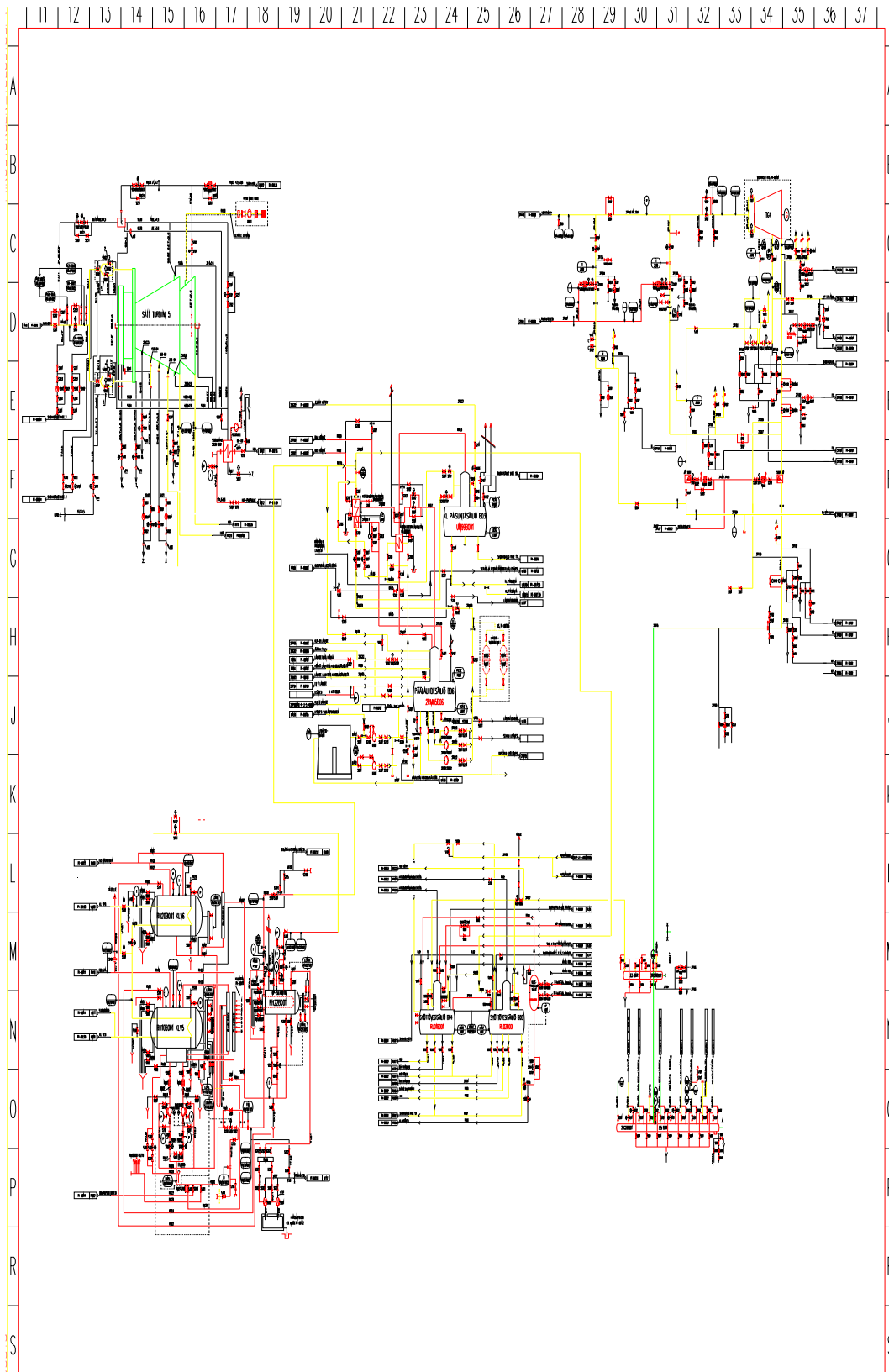
Qjart=vaapaisi VBrasi/DNAusutkin

Aptilasi/taatai kin Rja/Rkilt

Qjart= Nmlässi/taavao Rkeltis/vidnyh/ässi/pkrtäiväta

Nmlärtä= Taataavomallässi

LIITE 2



PORI
ENERGIA OY

Osasto

OSASTO

MP-ESILÄMMITIN
KOEAJO
2007

Suun.

PiirL.
MARSAN

Muutos
31.10.2007

LAY OUT

Piirustus n:o

Lehti

MP-ESILÄMMITTIMEN AJOTAPATESTAUS

Koeajoilla vko:lla 45 on tarkoitus selvittää MP-esilämmittimen (RH22B001) käytön (tai oikeammin käyttämättömyyden) vaikutusta TG 5:n sähkön ja kaukolämmön tuotantoon. Erityisesti tapaus, jossa TG 5 on huippukuormalla mp-esilämmitin poiskytkettynä.

Vaihe 1(normaali kuormitus)

Kirjataan päivämäärä ja klo aika muistiin, milloin ajoa muutetaan normaalista käytöstä. Ns. normaalia ajojakso olisi yhtenäinen ja vakaa ennen vaiheeseen 2 siirtymistä.

| | |
|---|--------------------------------|
| alkoi 9.11.2007 ~klo 14:00 | loppui 9.11.2007 ~klo 19:30 |
| Huom. Ajotilanteesta näytöstä tuloste. TG5 HÖYRY/LAUHDE, RT-SYÖTTÖVESI, TG5 LAUHDE | |

Vaihe 2(minimi kuormitus)

Ajetaan TG5:tä niin pienellä kuormalla mikä on mahdollista. LS 7 ja LS 8 käytetään kaukolämmön tuotantoon. Testiajon kesto ~3h.

Kirjataan aloitus ja lopetus ajankohta ylös.

| | |
|---|--------------------------------|
| alkoi xxxxxxxxxxxxxxxxxxxx | loppui xxxxxxxxxxxxxxxxxxxx |
| Huom. Ajotilanteesta näytöstä tuloste. TG5 HÖYRY/LAUHDE, RT-SYÖTTÖVESI, TG5 LAUHDE Ajoa ei voitu suorittaa kuorman suuruuden vuoksi. | |

Vaihe 3(maksimi kuormitus)

Ajetaan TG5:tä niin suurella kuormalla mikä mahdollista KL-verkkoa ja priimausta apuna käyttäen. Maanantaihin 12.11.2007 mikäli ei ajoteknisiä esteitä.

| | |
|---|---------------------------|
| alkoi 9.11.2007 ~klo 20:00 | loppui 12.11.2007 ~klo |
| Huom. Ajotilanteesta näytöstä tuloste, kun tilanne on tasaantunut ajossa esim. 2h ajojakson alkamisesta. TG5 HÖYRY/LAUHDE, RT-SYÖTTÖVESI, TG5 LAUHDE | |

Vaihe 4

Ohitetaan MP-esilämmitin seuraavasti:

Suljetaan RM10S203, RM12S201, sekä RM10S204.

Ohituslinjassa RH22 on venttiililin RH22S102 painepuolella käsiventtiili, joka tulee avata vesittämään ko. linjaa (ei piirrettynä PI-kuvaan) koeajon ajaksi ~3h.

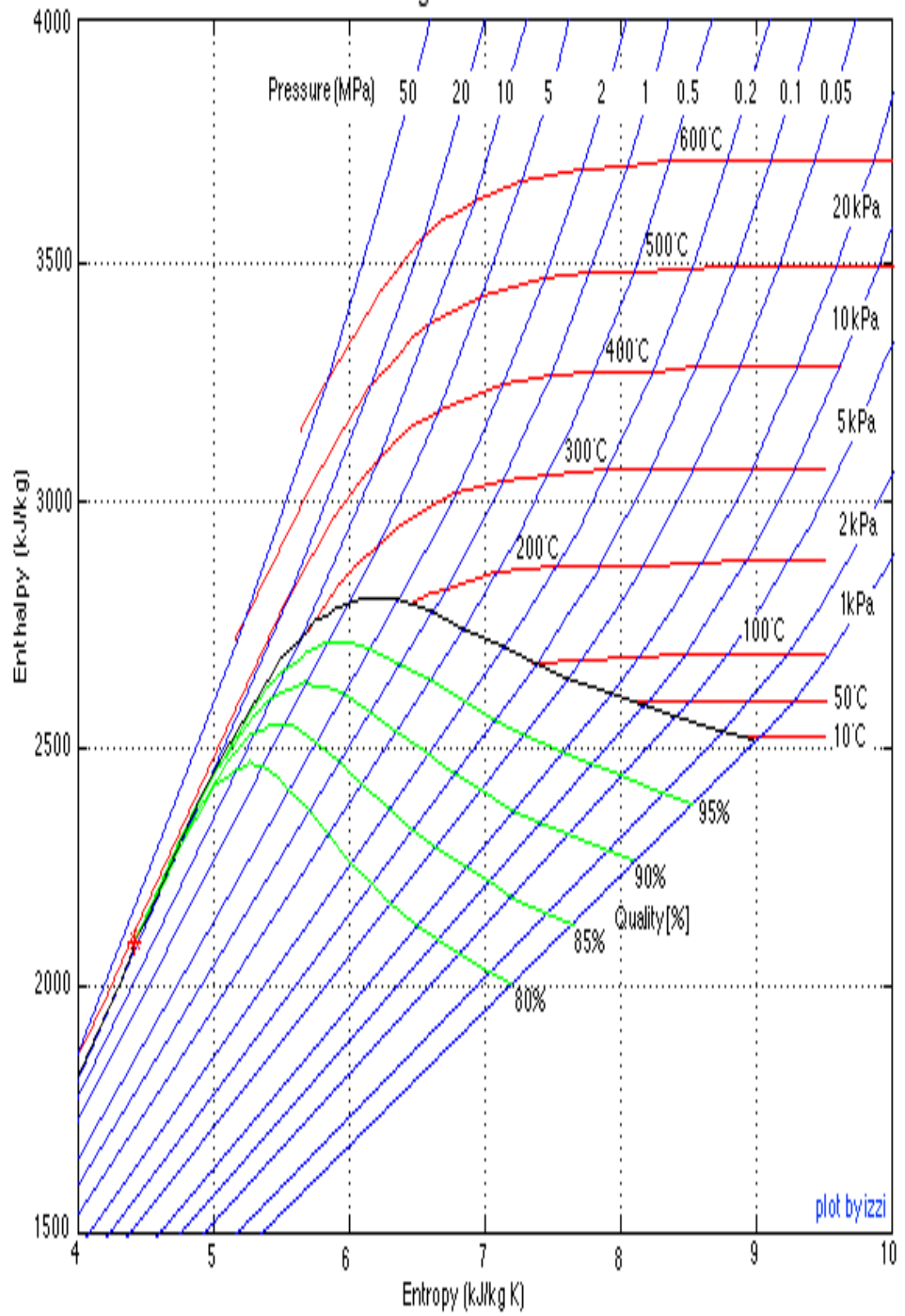
Lämmitys syvesäiliöille RL01B001 ja RL02B001 ajetaan 3.5bar höyryllä 2RM22 ja 2RM21 kautta.

HUOMIOITAVAA.

- Mikäli poikkeavaa tai muita ajoon liittyviä huomioita ilmenee ko. koeajon aikana, niin ne tulee kirjata mahdollisten jatkotoimenpide-ehdotusten takia.
- Syöttöveden lämpötila syvesäiliöissä on suure, mikä tulisi olla vakio koko koeajojakson aikana, olipa ajotapa mikä tahansa.
- Jokaisessa ajovaiheessa tulisi saada aikaan tilanne jossa MP-esilämmitin on päällä ja tilanne, missä se on pois päältä.

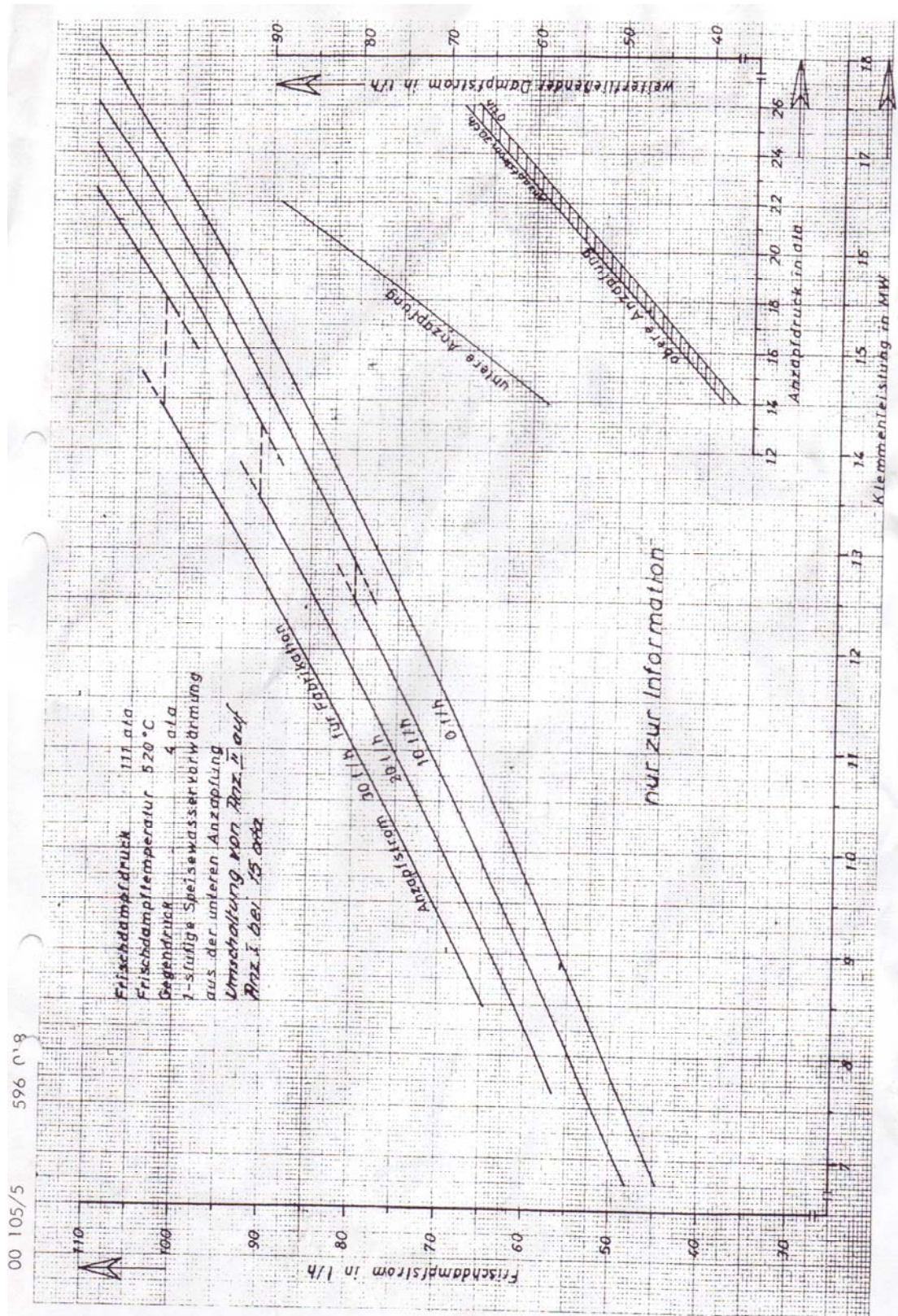
Käyttöinsinööri Pirjo Aaltoväre _____

h-s diagram for water



Datalokkerin tiedot

| IP_AnalogMz virtaus | Lämpötila | IP_AnalogMz virtaus | Lämpötila | IP_AnalogMz virtaus | Lämpötila | IP_AnalogMz virtaus | Lämpötila |
|---------------------|-----------|---------------------|-----------|---------------------|-----------|---------------------|-----------|
| 15.19 | 4.0123 | 67.76 | 16.59 | 0 | 57.01 | 18.39 | 0 |
| 15.2 | 4.0643 | 67.72 | 17 | 0 | 56.69 | 18.4 | 0 |
| 15.21 | 4.0652 | 67.88 | 17.01 | -0.6048 | 56.47 | 18.41 | 0 |
| 15.22 | 4.089 | 67.75 | 17.02 | -0.0328 | 56.22 | 18.42 | 0 |
| 15.23 | 4.088 | 67.62 | 17.03 | 0.0189 | 55.99 | 18.43 | 0 |
| 15.24 | 4.0961 | 67.44 | 17.04 | 0.0034 | 55.81 | 18.44 | 0 |
| 15.25 | 4.1016 | 67.23 | 17.05 | -1.1175 | 55.59 | 18.45 | 0 |
| 15.26 | 4.0824 | 67.04 | 17.06 | -0.0082 | 55.38 | 18.46 | 0 |
| 15.27 | 4.064 | 67.09 | 17.07 | 0 | 55.3 | 18.47 | 0 |
| 15.28 | 4.0582 | 67.01 | 17.08 | -0.088 | 55.24 | 18.48 | 0 |
| 15.29 | 4.0846 | 67.17 | 17.09 | 0.0049 | 55.17 | 18.49 | 0 |
| 15.3 | 4.0789 | 66.87 | 17.1 | -0.0886 | 55.37 | 18.5 | 0 |
| 15.31 | 4.101 | 66.88 | 17.11 | -0.1511 | 55.72 | 18.51 | 0 |
| 15.32 | 4.0983 | 66.81 | 17.12 | 0.2973 | 56.04 | 18.52 | 0 |
| 15.33 | 4.0528 | 66.75 | 17.13 | 0 | 56.32 | 18.53 | 0 |
| 15.34 | 4.0136 | 66.73 | 17.14 | 0 | 56.95 | 18.54 | 0 |
| 15.35 | 3.9542 | 66.72 | 17.15 | 0.138 | 57.66 | 18.55 | 0 |
| 15.36 | 3.8872 | 66.93 | 17.16 | 0.1987 | 58.22 | 18.56 | 0 |
| 15.37 | 3.8518 | 66.88 | 17.17 | 0.0631 | 58.98 | 18.57 | 0 |
| 15.38 | 3.7497 | 66.81 | 17.18 | 0.0675 | 59.93 | 18.58 | -0.1126 |
| 15.39 | 3.7337 | 66.85 | 17.19 | 0.0532 | 60.42 | 18.59 | 0 |
| 15.4 | 3.7239 | 66.91 | 17.2 | 0.038 | 60.54 | 19 | 0 |
| 15.41 | 3.6824 | 66.7 | 17.21 | 0.1694 | 60.58 | 19.01 | 0 |
| 15.42 | 3.6771 | 66.92 | 17.22 | 0.2538 | 60.94 | 19.02 | 0 |
| 15.43 | 3.6845 | 67.13 | 17.23 | 0.3289 | 61.13 | 19.03 | 0.4413 |
| 15.44 | 3.6808 | 67.19 | 17.24 | 0.3685 | 61.34 | 19.04 | 0 |
| 15.45 | 3.6645 | 67.05 | 17.25 | 0.5022 | 61.42 | 19.05 | 0 |
| 15.46 | 3.6903 | 67.1 | 17.26 | 1.1863 | 61.63 | 19.06 | 0.3594 |
| 15.47 | 3.6826 | 67.17 | 17.27 | 0 | 62.17 | 19.07 | 0 |
| 15.48 | 3.6695 | 66.9 | 17.28 | 0 | 62.63 | 19.08 | 0.1617 |
| 15.49 | 3.6599 | 66.87 | 17.29 | 0 | 63.22 | 19.09 | 0 |
| 15.5 | 3.7084 | 66.69 | 17.3 | 0 | 63.74 | 19.1 | 0.3272 |
| 15.51 | 3.7562 | 66.65 | 17.31 | 0 | 64.24 | 19.11 | 0 |
| 15.52 | 3.7712 | 66.3 | 17.32 | -0.1142 | 64.63 | 19.12 | 0.0855 |
| 15.53 | 3.8233 | 66.43 | 17.33 | 0 | 65.16 | 19.13 | 0 |
| 15.54 | 3.8518 | 66.41 | 17.34 | -0.0484 | 65.42 | 19.14 | 0 |
| 15.55 | 3.9035 | 66.44 | 17.35 | -0.0253 | 65.61 | 19.15 | 0 |
| 15.56 | 3.9429 | 66.31 | 17.36 | -0.0002 | 66.07 | 19.16 | 0 |
| 15.57 | 3.9788 | 66.03 | 17.37 | -0.0054 | 66.49 | 19.17 | 0 |
| 15.58 | 3.9885 | 66.11 | 17.38 | -0.0246 | 67.12 | 19.18 | 0 |
| 15.59 | 3.9996 | 66.15 | 17.39 | -0.0138 | 67.74 | 19.19 | 0 |
| 16 | 4.021 | 66.18 | 17.4 | -0.0126 | 67.84 | 19.2 | 0 |
| 16.01 | 4.0516 | 66.05 | 17.41 | 0.0227 | 67.8 | 19.21 | 0 |
| 16.02 | 4.0388 | 66.05 | 17.42 | 0.0725 | 67.84 | 19.22 | 0 |
| 16.03 | 4.0363 | 65.99 | 17.43 | 0.116 | 67.77 | 19.23 | 0 |
| 16.04 | 4.0242 | 66 | 17.44 | 0.1809 | 67.79 | 19.24 | 0 |
| 16.05 | 4.0318 | 66.04 | 17.45 | 0.2191 | 67.87 | 19.25 | 0 |
| 16.06 | 4.0403 | 66.2 | 17.46 | 0.2589 | 67.79 | 19.26 | 0 |
| 16.07 | 4.047 | 66.26 | 17.47 | 0.308 | 67.7 | 19.27 | 0 |
| 16.08 | 4.0186 | 66.26 | 17.48 | 0.4261 | 67.88 | 19.28 | 0 |
| 16.09 | 3.9569 | 65.8 | 17.49 | 0.8632 | 68.04 | 19.29 | 0 |
| 16.1 | 3.9035 | 65.36 | 17.5 | 0.362 | 68.4 | 19.3 | 0 |
| 16.11 | 3.8824 | 65.09 | 17.51 | 0 | 68.75 | 19.31 | 0 |
| 16.12 | 3.8348 | 64.68 | 17.52 | 0 | 69.24 | 19.32 | 0 |
| 16.13 | 3.803 | 64.46 | 17.53 | 0 | 70.16 | 19.33 | 0 |
| 16.14 | 3.7483 | 64.2 | 17.54 | 0 | 71 | 19.34 | 0 |
| 16.15 | 3.7351 | 63.78 | 17.55 | 0 | 71.88 | 19.35 | 0 |
| 16.16 | 3.723 | 63.79 | 17.56 | 0 | 72.19 | 19.36 | 0 |
| 16.17 | 3.6722 | 63.54 | 17.57 | 0 | 72.7 | 19.37 | 0 |
| 16.18 | 3.6911 | 63.3 | 17.58 | 0 | 72.85 | 19.38 | 0 |
| 16.19 | 3.6989 | 63.04 | 17.59 | 0 | 73.14 | 19.39 | 0 |
| 16.2 | 3.7113 | 62.92 | 18 | 0 | 73.23 | 19.4 | 0 |
| 16.21 | 3.703 | 62.71 | 18.01 | 0 | 73.38 | 19.41 | 0 |
| 16.22 | 3.6885 | 62.61 | 18.02 | 0 | 73.52 | 19.42 | 0 |
| 16.23 | 3.7052 | 62.51 | 18.03 | 0 | 73.77 | 19.43 | 0 |
| 16.24 | 3.703 | 62.48 | 18.04 | 0 | 74.26 | 19.44 | 0.0177 |
| 16.25 | 3.727 | 62.45 | 18.05 | 0 | 74.81 | 19.45 | 3.4288 |
| 16.26 | 3.7376 | 62.27 | 18.06 | 0 | 75.37 | 19.46 | 3.7529 |
| 16.27 | 3.8049 | 62.15 | 18.07 | 0 | 75.74 | 19.47 | 3.8168 |
| 16.28 | 3.7704 | 61.96 | 18.08 | 0 | 75.89 | 19.48 | 3.8741 |
| 16.29 | 3.8095 | 61.5 | 18.09 | 0 | 75.91 | 19.49 | 3.8759 |
| 16.3 | 3.8326 | 61.11 | 18.1 | 0 | 75.99 | 19.5 | 3.8931 |
| 16.31 | 3.8739 | 60.86 | 18.11 | 0 | 75.94 | 19.51 | 3.8943 |
| 16.32 | 3.8821 | 60.86 | 18.12 | 0 | 75.87 | 19.52 | 3.9172 |
| 16.33 | 3.8732 | 60.74 | 18.13 | 0 | 76.21 | 19.53 | 3.8852 |
| 16.34 | 3.8946 | 60.66 | 18.14 | 0 | 76.63 | 19.54 | 3.8646 |
| 16.35 | 3.9463 | 60.58 | 18.15 | 0.6402 | 77.2 | 19.55 | 3.8458 |
| 16.36 | 3.9906 | 60.5 | 18.16 | 0.1334 | 78.19 | 19.56 | 3.8112 |
| 16.37 | 4.0023 | 60.32 | 18.17 | 0 | 79.01 | 19.57 | 3.7759 |
| 16.38 | 4.0136 | 60.24 | 18.18 | 0.4731 | 79.54 | 19.58 | 3.75 |
| 16.39 | 4.0332 | 60.02 | 18.19 | 0.1942 | 80.21 | 19.59 | 3.7565 |
| 16.4 | 4.0178 | 59.85 | 18.2 | 0.1603 | 80.36 | 20 | 3.6523 |
| 16.41 | 4.0092 | 59.56 | 18.21 | 0 | 80.88 | 20.01 | 3.6413 |
| 16.42 | 4.0141 | 59.55 | 18.22 | 0.1229 | 81.15 | 20.02 | 3.6495 |
| 16.43 | 4.0087 | 59.46 | 18.23 | 0.0071 | 81.32 | 20.03 | 3.6382 |
| 16.44 | 4.0208 | 59.48 | 18.24 | 0.1955 | 81.37 | 20.04 | 3.6094 |
| 16.45 | 4.0235 | 59.4 | 18.25 | 0.3049 | 81.42 | 20.05 | 3.6108 |
| 16.46 | 4.0221 | 59.36 | 18.26 | 0 | 81.47 | 20.06 | 3.5992 |
| 16.47 | 4.0014 | 59.15 | 18.27 | 0.2465 | 81.68 | 20.07 | 3.5669 |
| 16.48 | 3.9677 | 59.1 | 18.28 | 0.1957 | 81.56 | 20.08 | 3.5722 |
| 16.49 | 3.914 | 58.79 | 18.29 | 0.3003 | 81.59 | 20.09 | 3.6045 |
| 16.5 | 3.9054 | 58.68 | 18.3 | 0 | 81.82 | 20.1 | 3.6196 |
| 16.51 | 3.8366 | 58.75 | 18.31 | 0.5524 | 81.8 | 20.11 | 3.5974 |
| 16.52 | 3.8107 | 58.72 | 18.32 | 0 | 81.8 | 20.12 | 3.6149 |



Anapfdiagramm