

LAPPEENRANNAN TEKNILLINEN YLIOPISTO

Energia- ja ympäristötekniikan osasto

PAPERITEHTAAN LÄMPÖENERGIANHALLINTA

Diplomityön aihe on hyväksytty energia- ja ympäristötekniikan osaston osastoneuvoston kokouksessa 10.3.2004.

Työn tarkastaja Prof. Risto Tarjanne

Työn ohjaaja DI Esa Tepponen

Haminassa 2.4.2004

Janne Auvinen

Huopatehtaankatu 4 B 13

53900 Lappeenranta

Puh: 050-3549444

TIIVISTELMÄ

Lappeenrannan teknillinen yliopisto

Janne Auvinen

Paperitehtaan lämpöenergianhallinta

Diplomityö

2004

79 sivua, 28 kuvaa, 8 taulukkoa, 8 liitettä

Tarkastaja: Professori Risto Tarjanne

Hakusanat: energianhallinta, energiatase, lämmönsäästö, paperitehdas

Diplomityön tavoitteena oli kehittää oikeudenmukainen keino lämmönkulutuksen osastokohtaisen jaolle, sekä löytää lämmönkäytön tehostamismahdollisuuksia Stora Enson Summan tehtailta. Työ liittyi osana Summan tehtaille tehtyyn energiakatselmukseen.

Todenmukainen lämmöntuotannon ja -kulutuksen tunteminen luo perustan oikeasuuntaisille lämpötaloutta parantaville teoille ja mahdollistaa lämpöenergian kustannusten oikean jaon osastoille. Osastokohtaisen lämmönkulutuksen selvittämiseksi tarvitaan uusia virtaus- ja lämpötilamittauksia. Tärkeintä on kuitenkin saada ensin tehtaan kokonaistase selville. Tehtaan lämmöntuotanto ja -kulutus eivät nykyisten mittauksen mukaan täsmää täysin. Suurimpien höyryn massavirtojen mittaukset on saatava luotettaviksi kalibroinnein tai uusinnoin, ja vasta tehtaan kokonaislämpötaseen täsmäessä on järkevää pyrkiä täydellisiin osastokohtaisiin lämpötaseisiin.

Lämmönkulutuksen pienentäminen vähentää polttoainekustannuksia, jolloin paperintuotannon kokonaiskustannukset pienenevät parantaen tehtaan kilpailukykyä. Vuonna 2005 alkava hiilidioksidipäästökauppa tulee luultavasti vaikuttamaan teollisuuden lämmönkäyttöön. Päästökaupan rasituksia voidaan vähentää pienentämällä lämmönkulutusta. Tehtaan lämmönsäästämismahdollisuuksia tutkittiin systemaattisesti mm. lauhteenpalautusten järjestämisen tuomia säästöjä laskemalla, sekä osastokohtaisesti eri lämmönkulutuskohteita tarkastelemalla. Tehtaan lämmöntarvetta on mahdollista pienentää merkittävästi muutamilla toimenpiteillä.

ABSTRACT

Lappeenranta University of technology

Janne Auvinen

Management of thermal energy at a paper mill

Master's thesis

2004

79 pages, 28 figures, 8 tables, 8 appendices

Supervisor: Professor Risto Tarjanne

Keywords: energy management, energy balance, saving of heat energy, paper mill

The aim of this thesis was to find a way about fair sharing of heat energy costs to each department of the mill, and to find a potential of heat energy that can be saved at Stora Enso's Summa mill. This study is a part of the mill's energy audit.

Knowledge of realistic heat production and consumption sets up the basis for the acts that can enhance the heat economy. Reliable heat balance enables sharing of energy costs on department-by-department basis. To find out the mill's heat consumption department-by-department, some new instruments for measuring flow and temperature are needed. The most important act of quantifying heat consumption is to find out the heat balance of the whole mill. Gauged heat production and consumption of the mill are not equal at present. It is illogical to aim for precise heat balance of each department until the mill's large-scale steams flow metering is not accurate.

Total papermaking costs are reduced when heat consumption decreases. That is due to mill's lower fuel costs. A carbon monoxide emission trading is about to start in the year 2005. Trading will probably have an influence on industry's heat consumption. Decreasing of heat consumption can reduce the strain of the CO₂-trading. Heat saving potential of the mill was examined systematically, for example, by calculations of benefits caused by returning condensate. Due to characteristics of each department the potential was reviewed department-by-department. There are some acts that will significantly reduce the mill's need for thermal energy.

ALKUSANAT

Tämä diplomityö on tehty Stora Enso Publication Papers Oy Ltd:n Summan tehtailla Haminassa 13.10.2003 – 2.4.2004.

Työn tarkastajana on toiminut professori Risto Tarjanne Lappeenrannan teknillisestä yliopistosta ja ohjaajana DI Esa Tepponen Stora Enson Kymenlaakson tehtailta. Heille haluan esittää parhaat kiitokseni saamistani ohjeista ja neuvoista.

Tuotantopäällikkö Ari Frantsia kiitän mielenkiintoisesta diplomityöaiheesta. Summan tehtaan henkilökuntaa haluan kiittää saamistani avusta ja miellyttävästä työskentelyilmapiiristä. Erityiskiitos kollegalleni Olavi Kempille mainiosta työseurasta ja paikallistuntemuksen jakamisesta.

Vanhempiani haluan kiittää työn aikaisista majoituspalveluista. Hennariinalle kiitokset tuesta ja kannustuksesta.

Haminassa 2.4.2004

Janne Auvinen

SISÄLLYSLUETTELO

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

ALKUSANAT

SISÄLLYSLUETTELO

KÄYTETYT MERKINNÄT JA LYHENTEET

1 JOHDANTO	5
1.1 Työn tausta	5
1.2 Työn tavoite	6
1.3 Aihealueen rajaus	6
1.4 Työn kulku	7
2 ENERGIANHALLINAN KÄSITE	8
3 PAPERITEHTAAN LÄMMÖNKULUTUKSEN MÄÄRITTÄMINEN.....	10
3.1 Yleistä energiataseista.....	10
3.2 Lämpötaseiden termodynaamiset perusteet	11
3.3 Entalpialaskenta	13
3.4 Lämpövirtojen mittaaminen	14
3.4.1 Mittausvirheiden perusteet.....	14
3.4.2 Virtausmittaus	15
3.4.2 Painemittaus	18
3.4.3 Lämpötilan mittaus.....	19
4 LÄMPÖENERGIANSÄÄSTÖ PAPERITEHTAALLA	20
4.1 Paperiteollisuuden lämmönsäästön tutkimusprojektit	20
4.2 Paperitehtaan lämmönsäästömahdollisuuksia.....	21
4.2.1 Turbopuhaltimen lämmön talteenoton tehostaminen.....	21
4.2.2 Kuivatussylinterin lämmönsiirron parantaminen.....	22
4.2.3 Paperitehtaan energiatalouden parantamien Pinch-menetelmällä.....	22
4.3 Teollisuuden energiansäästösopimukset ja energiakatselmuksset.....	23
4.4 BAT-tarkastelu paperitehtaalle	24
5 SUMMAN TEHTAAT	26
5.1 Massanvalmistus	26
5.2 Paperinvalmistus	27
5.3 Vedenkäsittely.....	27
5.4 Höyryvoimakeskus.....	28
5.5 Summan tehtaiden energiatalous.....	29
5.6 Tehtaan energiaraaportointi	32
6 OSASTOKOHTAISET LÄMPÖENERGIATASEET	33
6.1 Kuorimo	34
6.2 Hiertämö.....	36

6.3 Paperikone 2.....	39
6.4 Paperikone 3.....	41
6.5 Tehtaanlämmitys.....	44
6.6 Jälkikäsittely.....	47
6.7 Vesilaitos ja lipeävarasto.....	48
6.8 Voimalaitos.....	51
6.8.1 Ensimmäinen osatase.....	52
6.8.2 Toinen osatase.....	54
6.8.3 Kolmas osatase.....	56
6.8.4 Ehdotus voimalaitoksen omakäyttölämmön laskennaksi.....	57
6.8.5 Voimalaitoksen virtausmittausten analysointi.....	57
6.9 Tehtaan lämpötaseen laadinta.....	61
6.10 Suositeltavat toimenpiteet osastokohtaisten lämpötaseiden selvittämiseksi.....	65
7 SELVITYS LÄMPÖENERGIAN SÄÄSTÖMAHDOLLISUUDESTA.....	66
7.1 Kuorimo.....	68
7.2 Hiertämö.....	69
7.3 Hiomo.....	70
7.4 Paperikone 2.....	70
7.5 Paperikone 3.....	71
7.6 Tehtaanlämmitys.....	72
7.7 Jälkikäsittely.....	72
7.8 Vesilaitos ja lipeävarasto.....	73
7.9 Voimalaitos.....	73
7.10 Yhteenveto lämmönsäästöehdotuksista.....	75
8. YHTEENVETO.....	77
LÄHTEET.....	78
LIITTEET	

KÄYTETYT MERKINNÄT JA LYHENTEET

Suureet

E	energia, [J, Wh]
H	lämpöarvo, [kJ/kg]
P	teho, [W]
Q	lämpö, [J]
T	lämpötila, [°C]
c	ominaislämpökapasiteetti, [kJ/kgK]
h	ominaisentalpia, [kJ/kg]
k	kompensointikerroin
p	paine, [bar, Pa]
q _m	massavirta, [kg/s, t/h]
Φ	lämpövirta, [J/s, W]

Lyhenteet

abs	Absoluuttinen
Adt	ilmakuiva paperitonni
AHR	Aqua Heat Recovery
BAT	Best Available Techniques
EH	energianhallinta
EU	Euroopan Unioni
HVK	höyryvoimakeskus
K	kattila
KTM	Kauppa- ja teollisuusministeriö
LTO	lämmön talteenotto
OKLS	omakäyttölauhdesäiliö
PI	prosessi ja instrumentointi
PK	paperikone
T	turbiini
TT	Teollisuuden ja työnantajien keskusliitto
TMP	Thermo Mechanical Pulp, kuumahierre
VKA	varakattilalaitos

Indeksit

e	sähkö
h	höyry
hi	hiertämö
i	ilma, sisääntulo
jä	jäähdytys
jäkä	jälkikäsitteily
k	kemiallinen
kl	kaukolämpö
ku	kuorimo
l	lauhde
loss	häviö
lv	lisävesi
lä	lämmitys
m	mitoitus
nuo	nuohous
o	ulosmeno
ok	omakäyttö
p	paperi
pak	pakkaamo
pr	prosessi
up	ulospuhallus
re	reduktio
ru	ruiskutus
rv	raakavesi
sk	savukaasu
sl	säiliöiden lämmitys
syve	syöttövesi
th	tuorehöyry
tl	tehtaanlämmitys
v	vesi
vl	vesilaitos
V&L	vesilaitos ja lipeävarasto

1 JOHDANTO

Energianhallinnalla tarkoitetaan kaikkia toimenpiteitä, joiden tarkoituksena on tuotantolaitoksen tai koko konsernin energiatalouden parantaminen /1/. Tässä työssä energianhallintaa käsiteltiin ainoastaan lämpöenergian osalta. Työn tarkoituksena oli kehittää keinot lämpöenergian oikeudenmukaiselle osastokohtaiselle kustannusjaolle, sekä tutkia lämpöenergian käytön tehostamismahdollisuutta Stora Enson Summan paperitehtaalla.

1.1 Työn tausta

Summan paperitehtaalla valmistetaan päällystämätöntä aikakauslehti-, sanomalehti- ja kirjapaperia pääasiassa mekaanisesta puumassasta. Paperia valmistetaan nykyään kahdella koneella. Paperikone 1 suljettiin maaliskuussa 2002. Syksyllä 2003 valmistui varakattilalaitos, joka korvasi käytöstä poistuvan ketjuarinakattilan ja sähkökattilan. Nämä muutokset vaikuttavat lämmönjakeluun ja lämmönkulutuksen laskentaan.

Summan tehtaiden lämpötase muodostetaan osittain kokemusperäisiin kertoiimiin perustuen, koska riittävää mittaustietoa lämpövirroista ei ole saatavilla. Monia lämmönkulutuksen määrittämiseen tarvittavia mittauksia on epäilty epäluotettaviksi. Lämpöenergian kustannukset eivät näin ollen aina kohdistu oikeudenmukaisesti todellisen kulutuksen mukaisesti.

Tehtaan nettopaperitonnia kohden laskettu lämmönkulutus oli vuonna 2003 n. 4,3 GJ/t (laskentaperuste esitetty liitteessä VIII). Tehtaalla haluttiin selvittää, millä keinoin ominaiskulutusta voidaan pienentää.

Summan tehtaalle tehtiin vuoden 2003 loppupuolella energiakatselmus, jonka osana tämä diplomityö tehtiin.

1.2 Työn tavoite

Tämän diplomityön tavoitteena oli osoittaa keinot tehtaan eri osastojen luotettavalle lämmönkulutuksen määrittämiselle. Todenmukainen lämpötase antaa tietoa osaston lämpötalouden parantamistarpeesta. Luotettava tieto lämmönkulutuksesta mahdollistaa energian ominaiskulutuksen määrittämisen eri paperilaaduille sekä vertailun muihin vastaaviin paperitehtaisiin ja –koneisiin.

Työn tavoitteena oli myös löytää lämpöenergian säästöpotentiaalia tehtaalta. Energiankäytön tehostamiskeinoja tutkitaan mm. sekundäärilämmön hyödyntämisen ja lauhteenpalautusten lisäämisen osalta.

1.3 Aihealueen rajaus

Tässä diplomityössä keskityttiin lämpöenergiakulutuksen osastokohtaisen jaon määrittämiseen sekä lämpöenergian käytön tehostamiseen tähtäävien toimenpiteiden löytämiseen.

Täydelliseen energiataseeseen pääseminen on käytännössä vaikea päästä, eikä siihen ole taloudellisestikaan järkevää pyrkiä. Käytännön syitä miksi täydelliseen lämpötaseeseen ei yleensä päästä ovat mm. mittauksen virheet ja epätäydelliset virtaustiedot. Tässä työssä oli tarkoitus löytää taloudellisesti järkevästi toteutettavissa oleva lämmönkulutuksen määrittämiskeino.

Tässä työssä osastokohtaisella lämmönkulutuksella tarkoitetaan osastolle syötetyn höyryn ja palautetun lauhteen lämpövirtojen erotusta. Sähkömoottorien tai muiden laitteiden tuottamaa hukkalämpöä ei työssä käsitelty.

Paperikoneosastojen höyrynkäyttö jaetaan yleensä pää- ja apuhöyryihin. Tätä jakoa ei tämän työn puitteissa tehty, sillä kyseinen jako ei muuta osaston lämmön kokonaiskulutusta. Jako pää- ja apuhöyryihin on kuitenkin hyödyllinen osaston sisäisen höyrynkulutuksen seurannassa.

Osastojen energiatalouden kehittäminen kuuluu tehtaan jokapäiväiseen toimintaan. Tähän kehitystyöhön liittyy vahva prosessitekkinen tuntemus ja käyttökokemus. Tämän diplomityön puitteissa ei paneuduttu syvällisemmin varsinkaan paperikonetekniikan tuntemusta vaativiin lämmönsäästötutkimuksiin.

Energiansäästöinvestoinnit perustellaan yleensä tuotantolaitoksen kokonaistaloudellisen edun nimissä. Tässä työssä selvitetään investointien vaikutukset vain energia- ja massavirtoihin. Työn julkisuuden säilyttämiseksi energian, investointien ja muiden hyödykkeiden rahallisia arvoja ei esitetä.

1.4 Työn kulku

Tämän diplomityön teko aloitettiin 13.10.2003. Ensimmäisenä tavoitteena oli saada valmiiksi alustavat ehdotukset mittaus- ja lämmönsäästöinvestoinneista joulukuun loppuun mennessä. Vuoden 2003 lopussa valmistui tehtaan energiakatselmus, johon käytettiin näitä investointiehdotuksia. Mittaus- ja lämmönsäästöehdotuksia kehitettiin vielä myöhemmin lisää ja energiakatselmusta varten tehtyjen ehdotusten laskelmia täsmennettiin. Työn takarajaksi otettiin huhtikuu 2004. Tällöin oli oltava valmiina valmis tutkimusraportti tehtaan lämpöenergianhallinnan kehittämiseksi.

2 ENERGIANHALLINAN KÄSITE

Energianhallinta koostuu energianhankinnan, -tuotannon ja -jakelun ohjaamisesta sekä energiatehokkuuteen tähtäävästä toiminnasta. Energianhallinnalla tarkoitetaan kaikkia niitä toimenpiteitä, joiden tarkoituksena on tuotantolaitoksen tai koko konsernin energiatalouden parantaminen. Tällaisia toimenpiteitä ovat mm. /2/

- uusien ja tehokkaammin energiaa käyttävien prosessien käyttöönotto
- energiavuotojen eliminointi
- tuotantoyksiköiden energiatehokkuuden parantaminen tehostetulla kunnossapidolla
- öljy- ja kaasukattiloiden muutos monipolttoainekattiloiksi
- perusinstrumentoinnin ja tuotantoyksiköiden automaatioasteen nosto
- investoinnit taloudellisempiin voimalaitoksiin

Energianhankinnan, -tuotannon ja -kulutuksen optimoimiseksi tarvitaan laaja monitorointi-, raportointi- ja koordinoitijärjestelmä. Energianhallintajärjestelmien (EH-järjestelmät) tehtävänä on ohjata energiantuotantoa ja -kulutusta kokonaiskustannukset optimoiden.

Energianhallintajärjestelmät on yleensä jaettu seuraaviin osa-alueisiin: /3/

- mittaus- ja säätötaso
- prosessikohtainen säätö- ja optimointitaso
- tehdastason koordinointi ja optimointi
- konsernitason koordinointi ja optimointi

Mittaus- ja säätötaso käsittää perusinstrumentoinnin säätöpiirit, jotka huolehtivat prosessin stabiilista säädöstä ja asetusarvojen viemisestä prosessiin. Prosessikohtainen säätö- ja optimointitaso käsittää osaprosessien, kuten palamisprosessin hallinnan. Tehdastasolla energianhallintajärjestelmän ensisijainen tavoite on energian kulutuksen ja hankinnan optimointi. Konsernitason EH-järjestelmän tehtävänä on järjestää koko konsernin energianhankinta ja sähkökauppa mahdollisimman taloudellisesti.

Energianhallintajärjestelmällä voidaan saavuttaa mm. seuraavia hyötyjä: /1/

- Energiankäytön tehokkuus ja energiakustannustietous kasvavat seurannan myötä.
- kulutuskohteiden tarkempi seuranta
- raportointityön merkittävä pieneneminen
- taloudellisempi ajotapa voimalaitokselle
- sähkökaupan hyötyjen maksimointi

3 PAPERITEHTAAN LÄMMÖNKULUTUKSEN MÄÄRITTÄMINEN

Lämmönkulutuksen määrittämiseksi tarvitaan energiataseita, joihin liittyy prosessiarvojen mittaaminen ja mittaustiedon käsittely entalpia-laskelmilla. Tässä luvussa esitetään teoreettinen pohja osastojen lämmönkulutuksen määrittämiseksi.

3.1 Yleistä energiataseista

Energiataseiden ensisijaisena tehtävä on selvittää energiavirtojen suuruudet tarkasteltavan kokonaisuuden rajapinnan läpi. Energiataseiden avulla voidaan johtaa myös erilaisia tunnuslukuja kuten ominaiskulutus, hyötysuhde ja kulutussuhde. Nämä tunnusluvut mahdollistavat sisäisten toimintojen energiankulutuksen ja energiatehokkuuden arvioinnin. Vertailemalla tunnuslukuja aikaisempiin tarkastelujaksoihin, oman konsernin muihin tehtaisiin, kilpailijoiden vastaaviin lukuihin, kirjallisuustietoihin tai uuden teknologian tavoitearvoihin, voidaan tuotantolaitoksen toimintastrategia arvioida uudelleen.

Energiataseet ovat myös yrityksen sisäisen laskituksen taustatekijöitä. Sovellettaessa sisäistä hinnoittelua taseisiin, saadaan liiketaloudelliseen optimiin tähtäävä ohjausvaikutus.

Energianhallinnan perusedellytys on energiavirtausten täydellinen tunteminen eli täydellinen energiatase. Kuitenkaan käytännössä tehtaan, osaston ja prosessin energiatase ei koskaan täysin täsmää. Syitä täydellisen energiataseen saavuttamattomuuteen ovat mm.: /2/

- epätäydelliset ja virheelliset tiedot kulutuskohteista ja energiavirroista
- mittausten puute (paine, lämpötila, virtaus)
- mittausvirheet (systemaattiset virheet)
- mittausten toleranssit (satunnaiset virheet)
- prosessivuodot (höyry, lauhde, vesi)
- prosessihäviöt (säteily, konvektio, höngät, savut)

Energiataseen epätäydellisyys aiheuttaa taseeseen erotermiä, joka voi olla positiivinen tai negatiivinen. Usein erotermi on pieni, vaikka siihen vaikuttaa useita edellä mainittuja tekijöitä. Laskennallisesti erimerkkiset erotermit kumoavat toisensa. Erotermille on aina tehtävä karkea analyysi, jolloin sitä verrataan kokonaiskulutukseen ja arvioidaan virheen aiheuttajia. Mikäli erotermi on merkittävä, on syytä tehdä tarkempi analyysi virhetekijän löytämiseksi. Virhetekijää voidaan etsiä mm. seuraavin keinoin:

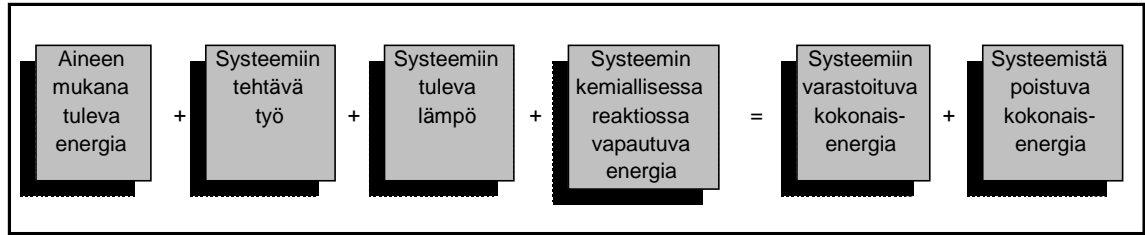
- aikaisempiin mittaustietoihin perehtyminen (tyypillinen energian ominaiskulutus)
- kirjallisuustietojen käyttäminen
- massa- ja energiataseiden järkevyyden tarkistaminen

Kaikista tarkistuksista huolimatta taseeseen jää yleensä aina pieni vaje, joka on kirjattava häviöksi. Häviö jaetaan joko kuluttajien kesken niiden energiankulutuksen suhteessa tai muulla sovitulla tavalla.

3.2 Lämpötaseiden termodynaamiset perusteet

Termodynamiikassa yhtälöiden muodostaminen perustuu tarkasteltavan systeemin rajaukseen taserajalla. Tällöin taseraja rajoittaa alueen, jota sanotaan tasetilaksi, jonka sisällä on systeemi ja ulkopuolella ympäristö. Prosessin taserajana on osastorakennuksen seinä tai jokin muu sovitettu raja. Taseiden suositeltuna referenssitilana pidetään 0°C ja 1,01325 bar (abs). /4/

Paperitehtaan lämpöenergiaa kuluttava osasto on tyypillinen ns. avoin virtaussysteemi. Avoimella virtaussysteemillä tarkoitetaan kuvitellun taserajapinnan ympäröimässä tasetilassa olevaa kohdetta. Tasetilan ja ympäristön välillä voi tällöin olla energia- ja ainevirtoja /1/. Kuva 1 esittää avoimen virtaussysteemin energiavirtoja.



Kuva 1. Avoimen virtaussysteemin tasemalli

Paperitehtaan lämpötasetta laadittaessa kannattaa tehdä yksinkertaistavia oletuksia laskennan helpottamiseksi. Tyypillisessä paperitehtaan lämpötasetilassa ei tapahdu kemiallisia reaktioita. Mikäli osaston lämmönkäytöksi katsotaan pelkästään höyryn ja palautetun lauhteen entalpiavirtojen ero, ei ulkopuolelta tasetilaan tehtävää työtä ja tulevaa lämpöä tarvitse tuntea. Avoin virtaussysteemi on usein stationaarinen, eli lämmön varastoitumista ei tapahdu. Aineen mukana tuleva ja lähtevä kokonaisentalpia määritetään paineen ja lämpötilan lisäksi kineettisen- ja potentiaalienergian funktiona. Tavallisesti kineettinen- ja potentiaalienergia voidaan jättää huomioimatta vähäisen merkityksensä takia. Tyypillisesti systeemistä poistuva kokonaisenergia koostuu aineen (lauhteen) mukana poistuvasta lämmöstä, sekä lämmön siirtymisestä johonkin aineeseen (esim. paperirainaan tai ilmaan). Näitä reunaehtoja käyttäen saadaan yksinkertaistettu, paperitehdasympäristöön hyvin soveltuva ja selkeä lämpötaseyhtälö:

$$q_{m,i} \cdot h_i = q_{m,o} \cdot h_o + \Phi_o \quad (1)$$

$q_{m,i}$ = systeemin sisään tuleva massavirta

h_i = systeemin sisään tulevan massavirran ominaisentalpia

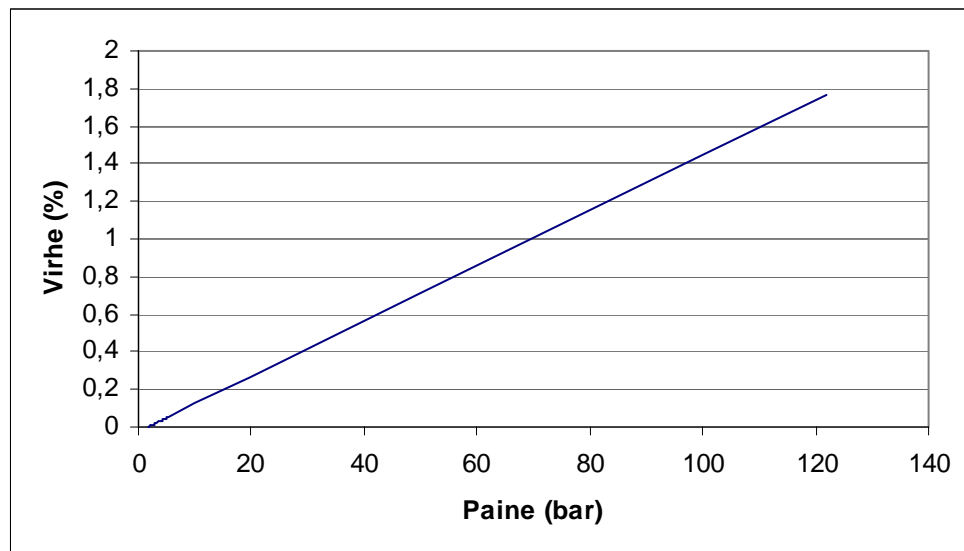
$q_{m,o}$ = systeemistä poistuva massavirta

h_o = systeemistä poistuvan massan ominaisentalpia

Φ_o = systeemistä poistuva lämpövirta

3.3 Entalpialaskenta

Ominaisentalpia, eli aineen sisältämä lämpömäärä paineen ja lämpötilan funktiona massayksikköä kohden saadaan luettua ominaisentalpia –entropiapiirroksista (h,s-piirros) eli ns. Mollier-taulukoista. Paperiteollisuuden lämpötaseita laskettaessa kiertoaineena on lähes poikkeuksetta aina vesi. Veden ollessa nestefaasissa, on painetermin merkitys ominaisentalpian arvoon varsin vähäinen. Ominaisentalpian määrittämisessä voidaan vesi tarvittaessa olettaa kylläiseksi. Kuvassa 2 on esitetty kuinka suuri suhteellinen virhe veden ominaisentalpian arvoon tulee kun käytetään todellisen, eli alijäähtyneen tilan sijaan kylläisen tilan arvoa. Kyseisen esimerkin lämpötila on 115°C, jota vastaa 1,7 bar kylläinen paine. Tämä on Summan tehtaalle varsin tyypillinen lauhteen lämpötilan arvo.

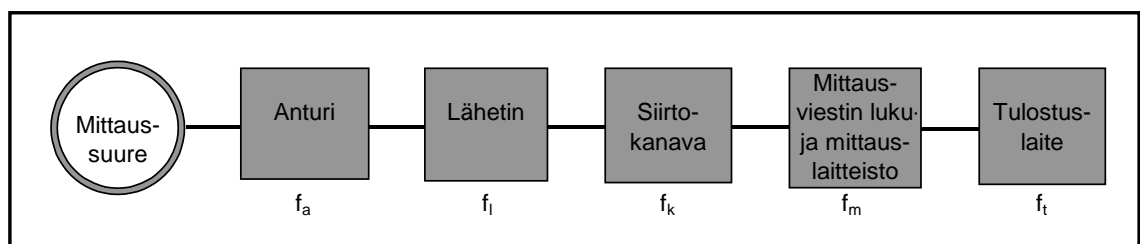


Kuva 2. Esimerkki kylläisen ja alijäähtyneen tilan ominaisentalpian erosta (kylläinen paine 1,7bar).

Kuvasta 2 nähdään, että laskettaessa lämpövirta kylläisen tilan arvolla on virhe erittäin pieni. Kuitenkin korkeapaineisten syöttövesien ominaisentalpiaa määritettäessä kannattaa painetermikin huomioida, sillä esimerkiksi paineen ollessa 122 bar (Summan kattila 2:n syöttövesi), on virhe jo n. 1,8%.

3.4 Lämpövirtojen mittaaminen

Niin paperin- kuin energiantuotantolaitoksissakin on yhtenä päätavoitteena saavuttaa haluttu tuotantovolyymi mahdollisimman pienellä panoksella. Mittaustekniikalla on tärkeä merkitys tämän tavoitteen saavuttamisessa. Prosessia kuvaavia suureita käytetään automaation ohjauskäskyinä prosessin optimoinnissa. Täten automaation toiminta ei koskaan voi olla tarkempaa kuin mittaustulokselta saadut mittaustulokset. Mittaustuloksen tarkkuudella ja luotettavuudella on siis välitön vaikutus prosessin ominaisenergiankulutukseen. Luotettavimmilla mittalaitteilla energiataseet täsmäävät paremmin todellisuuden kanssa ja voidaan tehdä oikeansuuntaisia päätöksiä prosessien energiatalouden parantamiseksi. Tehtaan lämpövirtojen mittauksiin tarvitaan virtaus-, paine- ja lämpötilamittareita. Perinteisen mittausketjun periaate ilmenee kuvasta 3. /5/



Kuva 3. Mittausketjun periaate virhetekijöineen. /5/

Kuvan 3 mukaisesti mittaussuure vaikuttaa ensin anturin tuntoelimeen. Anturi muuttaa mitattavan suureen johonkin muuhun helposti mitattavaan muotoon. Lähetin muodostaa muunnetusta suureesta sähköisen tai pneumaattisen standardiviestin. Tyypillisin teollisuudessa käytetty standardiviesti on 4...20mA tasavirtaviesti. Lähettimeltä viesti siirretään tietojärjestelmään, jonka jälkeen mittaustulokset voidaan tarvittaessa tulostaa esim. näyttöpäätteelle. /6/

3.4.1 Mittausvirheiden perusteet

Kuvasta 3 käy myös ilmi, että mittausketjun jokaisessa lenkissä syntyy virhettä (f). Mittausjärjestelmän virheen tutkimiseksi järjestelmä voidaan jakaa dynaamisiin ja staattisiin ominaisuuksiin. Dynaamisen ominaisuuden virhettä syntyy mitattavan

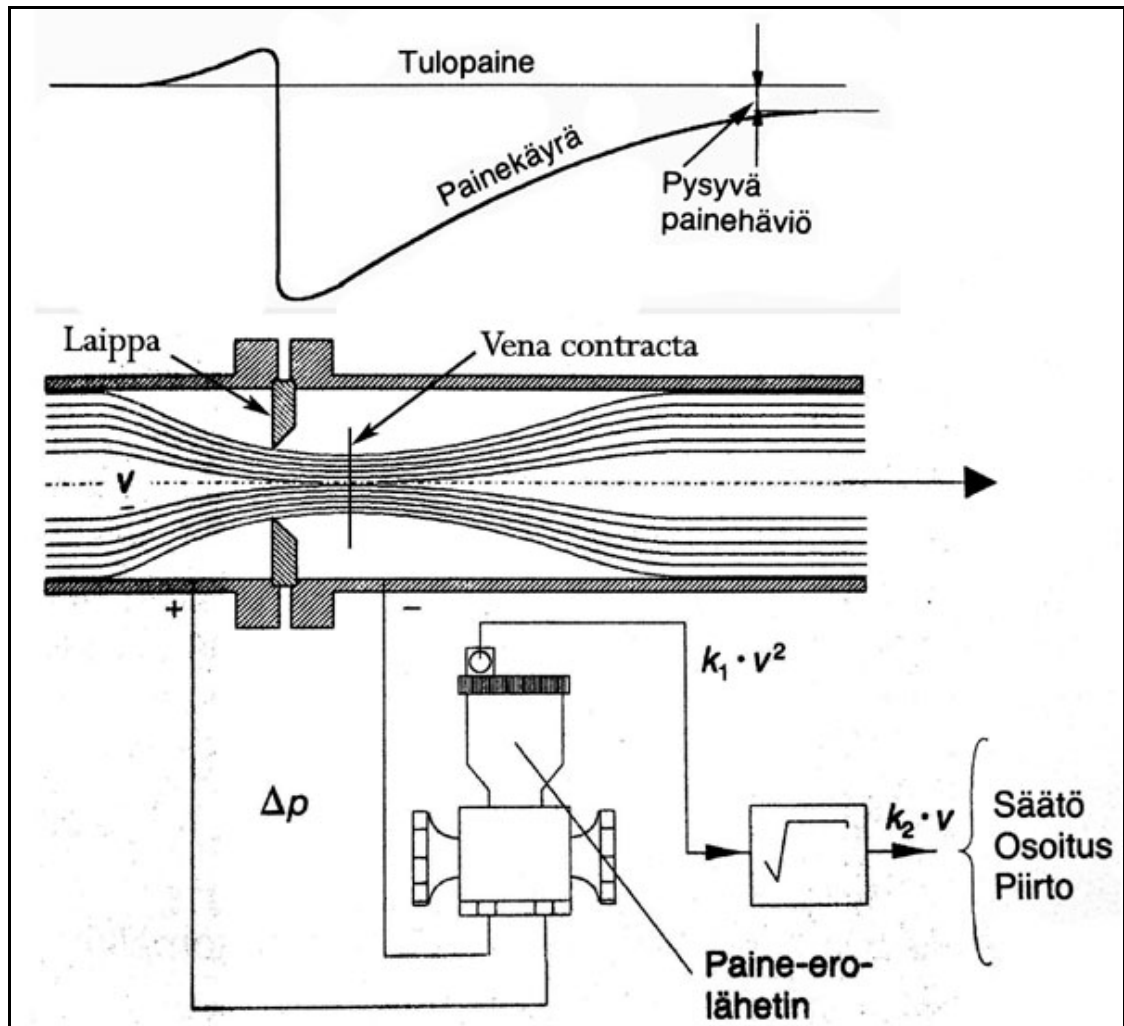
suureen muutostilanteessa. Tällöin mittalaite ei kykene vastaamaan täysin samalla hetkellä uuteen arvoon eli tulosuureeseen, vaan anturin mittausviestin eli lähtösuureen muutokseen tarvitaan tietty aika. Järjestelmän staattisia ominaisuuksia kuvataan ominaiskäyrällä, jota kutsutaan myös kalibrintikäyräksi. Tyypillisiä mittalaitteen staattisten virheominaisuuksia ovat:

- epälineaarisuusvirhe
- hystereesivirhe
- nollapistevirhe
- toistokykyvirhe
- erotteluvirhe

Epälineaarisuusvirheellä tarkoitetaan poikkeamaa lineaarisesta ominaiskäyrästä. Hystereesillä tarkoitetaan laitteen ominaisuutta, jossa lähtösuure saa erilaisia arvoja riippuen siitä kasvaako vai pieneneekö tulosuure. Nollapisteen virhe on mittauslaitteen näyttämä, kun mitattavan suureen arvo on nolla. Toistokykyvirhe on koemittausarjan suurimman ja pienimmän mittaustuloksen erotus, kun on mitattu samalla mittalaitteella samoissa olosuhteissa. Erotteluvirhettä syntyy, kun tulosuureen arvo muuttuu niin vähän, ettei mittalaite kykene havaitsemaan muutosta (lähtösuureen arvo ei muutu). /6/

3.4.2 Virtausmittaus

Virtausmittauksella tarkoitetaan yleensä putkessa tai kanavassa virtaavan nesteen tai kaasun virtausnopeuden, tilavuusvirran tai massavirran määrittämistä. Paperitehtaan lämpötaseiden määrittämisessä tyypillisiä virtaustilanteita ovat veden tai höyryn virtaus suljetussa putkessa. Kaasujen ja nesteiden virtausmittauksissa suosittu mittalaite on kuristuslaippa. Mittauslaippa on putkeen virtaussuuntaan nähden kohtisuoraan asennettu laippa, jossa on putken kanssa samankeskisen ympyränmuotoinen aukko. Aineen virratessa laipan läpi vaihtelee paine laipan ympärillä kuvan 4 mukaisesti.



Kuva 4. Virtaus mittalaipan ympäristössä. /6/

Virtauksen paine nousee ennen laippaa jonkin verran. Välittömästi laipan jälkeen paine alenee huomattavasti, jolloin laipan tulo- ja lähtöpuolen välille muodostuu paine-ero. Kun mittauskohta valitaan sopivasti, on paine-ero käyttökelpoinen virtauksen mitta. Paine-ero on verrannollinen virtausnopeuden neliöön, ja virtausnopeus on suoraan verrannollinen massavirtaan. Mittaustarkkuuden kannalta on olennaista, että ennen ja jälkeen kuristuselimen on riittävän pitkä suora putkiosuus. Virtaus ei ole kapeimmillaan aukon kohdalla, vaan hieman laipan jälkeen kohdassa, jota kutsutaan nimellä Vena contracta. /6/

Mittauslaitat mitoitetaan virtaavan aineen tiheyden mukaan. Mikäli tiheys, joka on paineen ja lämpötilan funktio, poikkeaa mitoitussarvosta, kompensoidaan mitattu massavirta kertoimella k , joka määritellään seuraavan yhtälön mukaisesti: /4/

$$k = \sqrt{\left(\frac{p}{p_m} \frac{T_m}{T}\right)} \quad (2)$$

k on virtausmittauksen korjauskerroin

p on mitattu absoluuttinen paine

p_m on absoluuttinen mitoituspaine

T on mitattu absoluuttinen lämpötila

T_m on absoluuttinen mitoitustilalämpötila

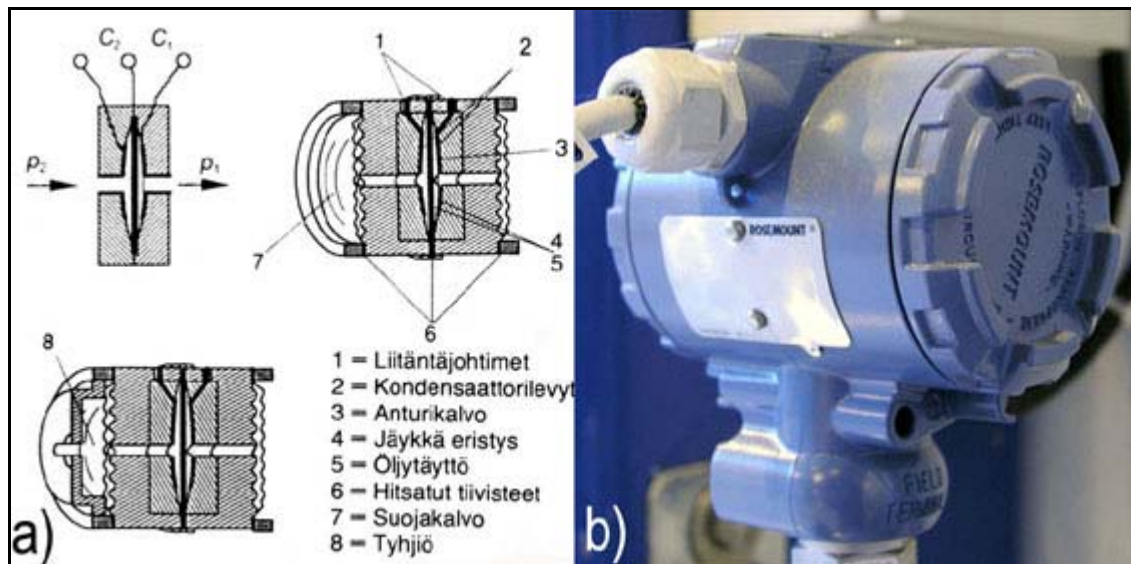
Tämän työn mittausvirheitä koskevassa luvussa mainittujen virhetekijöiden lisäksi virtausmittauksilla on muutamia mittarityyppikohtaisia virheitä aiheuttavia ominaisuuksia. Virtaavan aineen olomuotomuutokset vaikuttavat mittaustulokseen. Esimerkiksi lauhteen mittauksissa virtaava lauhde saattaa paineen laskiessa osittain höyrystyä. Massavirran määrittämisessä tarvittavan virtaavan aineen tiheyden arvo voi tällöin muuttua ratkaisevasti. Lisäksi höyrykuplien romahtaminen kuluttaa mittauslaippaa aiheuttaen pitkään jatkuessaan laipan geometrian muuttumisen. Etenkin höyryn virtausmittareilla on havaittu olevan ominaisuus jäädä näyttämään jotain pientä massavirran arvoa ilman todellista virtausta. Tämän ilmiön aiheuttamaa virhettä voidaan torjua huomioimalla laitoksen käyntitilatieta. Käyntitilatieta voidaan poimia joko höyryventtiilin oloarvosta, lauhdepumpusta tai jostain muusta virtauksen osoittavasta laitteesta. Mikäli höyry- tai lauhdelinjoissa on tarpeettomia mittalaippoja, on ne syytä poistaa, sillä mittalaippa aiheuttaa tällöin turhan painehäviön virtaukseen.

Virtausmäärän likimääräinen määrittäminen on mahdollista myös säätöventtiilin asennon perusteella. Lähteessä /7/ on tutkittu lämmönsiirtimen tehon määrittäminen höyryventtiilin asennon perusteella. Tämä määrittäminen on käyttökelpoinen likimääräisen höyrynkulutuksen seurannassa.

3.4.2 Painemittaus

Valtaosa teollisuuden painemittauksista on paine-eron mittauksia. Kun vertailupaineena on ympäristön ilmanpaine, puhutaan tavallisesti paineenmittauksesta. Ammattikielessä puhutaan paine-eromittauksesta, kun vertailupaine eroaa ympäristön ilmanpaineesta.

Tyypillinen teollisuuden painemittaus on siirtymää mittaava painelähetin, jossa paineen muutos aiheuttaa muutokseen verrannollisen siirtymän. Kuvassa 5 on esitetty periaate Rosemount-nimisen instrumenttivalmistajan differentiaalikonkondensaattoriin pohjautuvasta painemittarista.

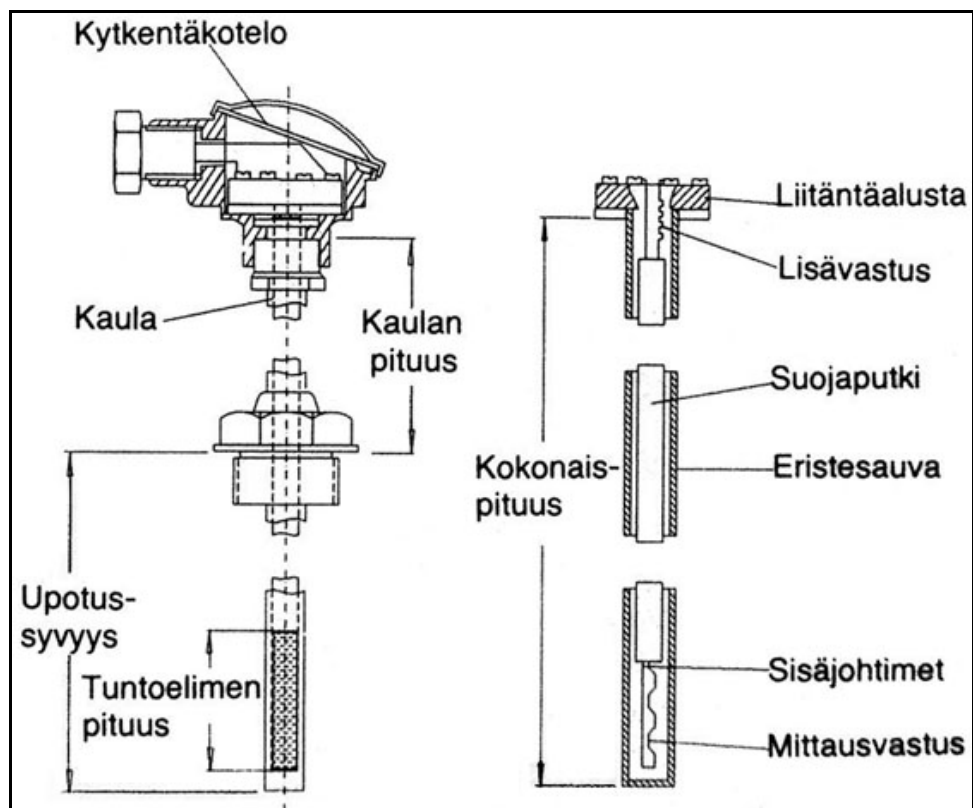


Kuva 5. a) Paineanturin periaate /7/ b) Kuva paine-eromittarista

Paine-eromittarissa silikoniöljy välittää prosessipaineen suojakalvolta tuntoelinkalvolle eli kondensaattorin taipuvalle elektrodille. Vertailupaine välitetään samalla tavalla vastakkaiselle puolelle tuntoelinkalvoa. Paine-ero siirtää tuntoelinkalvoa, jolloin siirtymä mitataan kiinteästi asennettujen elektrodien ja tuntoelinkalvon kapasitanssien eroista. /6/

3.4.3 Lämpötilan mittaus

Teollisuudessa käytetään lämpötilan mittaukseen usein sähköisiä mittausmenetelmiä. Niiden etuna on tarkkuus ja tuntoelimeltä saatavan viestin helppo muokattavuus sähköiseksi standardiviestiksi. Vastuslämpötila-anturien toiminnan perustana on aineen resistanssin lämpötilariippuvuus. Suosittu tuntoelinmateriaali on platina. Platina on stabiili ja kemiallisesti kestävä jalometalli, jonka käyttökelpoinen lämpötila-alue on $-250...850^{\circ}\text{C}$ ja epälineaarisuus on vähäinen. Kuvassa 6 on esitetty vastusanturin rakenne.



Kuva 6. Vastusanturin rakenne ja vastussauva. /6/

Vastusanturin tuntoelimen muodostaa $0,05...0,2\text{mm}$ paksuinen vastuslanka, joka on käämitty esim. lasisen tai keraamisen rungon ympärille. Hyvin yleinen teollisuuden vastuslämpötila-anturi on tyypiltään Pt-100, jonka tuntoelin on valmistettu platinasta ja sen resistanssi 0°C -asteen lämpötilassa on 100Ω . Anturin nopean vasteen kannalta on edullista, jos tuntoelin koskettaa suoraan mitattavaa ainetta. Teollisuussovelluksissa vastussauva joudutaan sijoittamaan yleensä metallista valmistettuun suojaputkeen mekaanisten ja kemiallisten rasitusten ehkäisemiseksi. /6/

4 LÄMPÖENERGIANSÄÄSTÖ PAPERITEHTAALLA

Paperiteollisuuden energiansäästöpotentiaalia on käsitelty monissa tutkimuksissa ja julkaisuissa. Tutkimuksissa on havaittu, että säästöpotentiaalın löytäminen ei sinällään ole kovinkaan vaikeaa. Käytännössä on osoittautunut vaikeimmaksi säästötoimen tekeminen. Energiansäästötutkimukset ovat usein jääneet arvottomiksi, koska niissä tehtyjä ehdotuksia ei ole syystä tai toisesta toteutettu. Energiansäästön toteutumisen edellytyksiä ovat: /8/

1. Tehtaan johdon ja henkilökunnan motivoituneisuus energiansäästön tärkeydestä, kannattavuudesta ja mahdollisuuksista.
2. Energiansäästöön liittyvistä asioista tulee olla riittävästi tutkittua tietoa.
3. Tehtaalla tulee olla riittävä organisaatio säästötyön järjestämiseksi. Tämän organisaation käytössä tulee olla ammattitaitoiset eri osa-alueiden asiantuntijaryhmät.
4. Energiansäästötoimien tutkimuksen, suunnittelun, rakentamisen ja toiminnan seuraamisen kustannuksiin on oltava rahaa.

Vuonna 2005 alkava EU:n sisäinen hiilidioksidipäästökauppa vaikuttanee energian hintaan ja energiansäästöinvestoinnit tulevat taloudellisesti entistäkin kannattavimmiksi. Prosessien energian ominaiskulutuksen pieneneminen vähentää tehtaan lämmöntarvetta, ja siten hiilidioksidipäästöjä.

4.1 Paperiteollisuuden lämmönsäästön tutkimusprojektit

Paperitehtaiden energiansäästöä käsitteleviä projekteja ovat Suomessa olleet mm. Kuitu-, Raina- ja Kestävä Paperi-projektit. Kuitu- ja Raina-projektit toteutettiin 1988-1992. Kuitu-projektissa käsiteltiin mekaanisen massan energiataloudellista valmistusta. Raina-projekti käsitteli energiataloudellista paperin valmistusta. Kestävä Paperi-projekti (1993-98) jatkoi energiansäästötutkimusta Kuitu- ja Raina-projektien jälkeen. Näiden tutkimusten raporteista, sekä muista alan julkaisuista on löydettävissä lukuisia käyttökelpoisia lämmönsäästökeinoja paperitehtaille.

4.2 Paperitehtaan lämmönsäästämahdollisuuksia

Paperialan kirjallisuudesta on löydettävissä lukuisia mahdollisia lämmönsäästämahdollisuuksia paperitehtaille. Tällaisia yleispäteviä toimenpiteitä ovat ainakin:

- lämmönkulutuksen seurannan kehittäminen (lisää tietoutta kulutuksesta)
- höyry- ja lauhdelinjoiden eristyksen kunnossapito
- höyry- ja lauhdelinjoiden tarpeettomien virtausmittarien poisto (painehäviö pienenee)
- mahdollisten höyry- ja lauhdevuotojen pikainen korjaaminen (putkistot, lämmönvaihtimet)
- ilmastoinnin energiataloudellinen käyttö
- osastojen tarpeettoman lämmityksen estäminen
- lämmön talteenottojärjestelmien puhtaanapito ja kunnossapito
- hönkälämmön talteenoton optimointi kosteusmittauksin
- paperikoneen pintalauhdukselle menevän höyryvirran minimointi

Osa näistä toimenpiteistä kuuluu vain paperikone-osastoille. Lähes kaikkien edellä mainittujen lämmönsäästötoimien tulee kuulua osana jokaisen paperitehtaan normaaleihin kunnossapito- ja energiataloudellisuustoimenpiteisiin. Muutamia energiansäästökeinoja tarkastellaan tapauskohtaisesti.

4.2.1 Turbopuhaltimen lämmön talteenoton tehostaminen

Paperikoneen turbopuhaltimen energiataloudellisuutta voidaan lisätä imujärjestelmän ja kuivatusosan välisellä kytkennällä. Paperikoneen imukohteista tulevat ilmavirrat jäädytetään vastavirtalämmönvaihtimissa lähelle jäädytysaineena käytetyn prosessiveden tulolämpötilaa. Ilman tilavuusvirta pienenee ilmavirran jäähtymisen ja ilmavirrasta poistuvan veden ansiosta. Tilavuusvirran pienentyessä vähenee puhaltimen tehonkulutus huomattavasti. Turbopuhaltimen jälkeinen kuuma ja kuiva ilma on sopivaa

paperikoneen kuivatusilmaksi. Raitisilmapuhaltimen sähkötehtäjä vähenee tällöin pienentyneen ilmantarpeen takia. /9/

4.2.2 Kuivatussyylinterin lämmönsiirron parantaminen

Paperiradan kuivatuksessa tarvittava lämpö tuotetaan lauhduttamalla höyryä sylinterin sisällä, josta lämpö johtuu sylinterin seinämän läpi ja kulkeutuu edelleen paperiin. Lämmönsiirto lauhdekerroksen pinnalta sylinterin vaippaan ei tapahdu pelkästään johtumalla, vaan ns. Taylor-Görtler-virtauksen pyörteet tehostavat lämmön siirtymistä. Pyörre siirtää kuuman lauhteen sylinterin sisäpinnalle ja jäähtyneen lauhteen lauhdekerroksen vapaalle pinnalle. Ohuilla lauhdekerroksilla pyörteitä ei esiinny, joten ohuen kerroksen lämmönsiirtovastus voi olla huomattavasti suurempi kuin paksun ja pyörteisen kerroksen vastus. Turbulenssin lisäämiseksi ja lauhdekerroksen lämmönsiirron tehostamiseksi voidaan sylinterin sisäpinnalle lisätä pituusakselin suuntaisia lämpölistoja tai sorvata uria. Parannus lämmönsiirtoon saattaa merkitä suurella paperikoneella jopa satojen kilowattien säästöä höyrynkulutuksessa. /10/

4.2.3 Paperitehtaan energiatalouden parantaminen Pinch-menetelmällä

Pinch-menetelmä on prosessien lämpöenergian käytön analysointi- ja suunnittelumenetelmä. Menetelmä tarvitsee lähtötietoina tutkittavan prosessin aine- ja energiataaset, joista kootaan jäähtyvät ja lämpenevät virtaukset systemaattiseen tarkasteluun. Virtauksista muodostetaan prosessin sisäisen lämmönsiirron mahdollisuuksia kuvaavat kuuma- ja kylmävirtauskäyrät. Pinch-menetelmällä voidaan määrittää prosessille taloudellisesti optimaalinen lämmönsiirtoverkosto.

Suuri osa paperitehtaalla käytettävistä vesistä joudutaan lämmittämään ennen käyttöä prosessin vaatimaan lämpötilaan. Oikealla suunnittelulla höyryn käyttö lämmitykseen saadaan minimoitua kun tehtaan sekundäärilämmöt hyödynnetään paremmin. Suomessa tehdyissä Pinch-analyseissä toteuttamiskelpoiset säästöt höyrynkulutuksessa ovat olleet 5-10%. /9/

4.3 Teollisuuden energiansäästösopimukset ja energiakatselmukset

Teollisuuden energiansäästösopimus on solmittu kauppaja- ja teollisuusministeriön (KTM) ja Teollisuuden ja työnantajien keskusliiton (TT) välillä vuonna 1997, tavoitteena energiansäästön edistäminen teollisuudessa. Sopimus on voimassa vuoden 2005 loppuun asti. Teollisuuden energiansäästösopimus on vapaaehtoinen ja sen tavoitteena on pienentää energian ominaiskulutusta, sekä tuoda energiatehokkuuden seuranta ja kehittäminen osaksi yrityksen päivittäistä toimintaa. Stora Enso Oyj (silloinen Enso Oyj) liittyi teollisuuden energiansäästösopimukseen vuonna 1997 liittymisnumerolla 1. /11/

Teollisuuden energiansäästösopimukset tuovat yrityksille seuraavanlaisia hyötyjä:

- taloudelliset hyödyt:
 - KTM:n tuki energiakatselmuksen ja –analyysin tekemiseen
 - tukea energiansäästöinvestointeihin
- tukea uuden teknologian hankintaan
- energiatehokkuus paranee
- energiakustannukset vähenevät
- ympäristöhaitat vähenevät
- yrityskuva paranee
- yrityksen kilpailukyky paranee

Sopimukseen liittymisen jälkeen yritykseltä edellytetään:

- energiankäytön tilanneselvitystä
- energiankulutuksen katselmointia ja analysointia
- tehostamissuunnitelman laatimista
- suunnitelman mukaisia tehostamistoimenpiteitä
- vuosittaista raportointia TT:lle

Energiakatselmuksissa laaditaan toimipaikkakohtainen energiankäytön tehostamisselvitys, sekä selvitetään tehostamistoimenpiteiden kustannukset ja saatavat säästöt. Energiakatselmuksen pohjalta laaditaan energiankäytön tehostamissuunnitelma, johon listataan yrityksen kannalta taloudellisesti kannattavat ja toteutettavat investoinnit sekä muut esille tulleet tehostamistoimenpiteet. Energiakatselmoija tekee alustavat toimenpide-ehdotukset yritykselle. Katselmusten laatua valvoo Motiva. /11/

Tämä diplomityö liittyy osana Summan tehtaalle tehtyyn energiakatselmukseen. Energiakatselmuksen teki tällä kertaa yhtiö nimeltä LCA-Engineering Oy.

4.4 BAT-tarkastelu paperitehtaalle

BAT-tarkastelulla (Best Available Techniques) tarkoitetaan olemassa olevan tuotantolaitoksen vertailua parhaan käytettävissä olevan tekniikan omaavaan laitokseen. Paperitehtaiden energiatalouden kannalta parasta käytettävissä olevaa tekniikkaa ovat mm.: /12/

- energian käyttöä ja tehokkuutta tarkkailevan järjestelmän käyttö
- vedenpoiston tehostaminen puristinosassa leveänippipuristustekniikkaa käyttämällä
- suursakeussulputus
- paperiradan muodostus kaksoisviiraa käyttämällä
- höyrylauhteen talteenotto
- prosessin integrointi huolellisesti Pinch-analyysin avulla

Summan tehtaan BAT-vertailua vaikeuttaa täsmällisen vertailutehtaan puute. Ominaiskulutuslukujen laskentaperusteet tulee muistaa yhdenmukaistaa, mikäli tehtaita verrataan keskenään. Summan tehtaan lämmön ominaiskulutus vuonna 2003 oli 4,3 GJ/t (laskentaperuste liitteessä VIII). Tehtaiden erilaisuuden takia kannattaa vertailla yksittäisten paperikoneiden lämmönkulutusta. Summan paperikone 2:n

ominaislämmönkulutus vuonna 2003 oli 5,18 GJ/t ja paperikone 3:n 4,32 GJ/t (laskentaperusteet liitteessä VIII). Liitteessä VI on esitetty Stora Enson entisen Magazine Paper- ja Newsprint-divisioonan paperikoneiden ominaislämmönkulutukset vuosilta 1999-2002. Liitteen VI ominaiskulutuslukuihin sisältyy ainoastaan paperikoneen käyttämä lämpömäärä.

Energian hinta määrää paperikoneiden lämmönsäästöprojektien kannattavuuden. Eri maissa sijaitsevat paperikoneet saattavat olla varustettu eri tavoin lämmön talteenoton ja energiatehokkuuden kannalta. Vertailu paperikoneiden kesken ei siis välttämättä ole järkevää koneiden yksilöllisten ominaisuuksien takia. BAT-tarkastelu voikin olla kunkin paperikoneen yksilöllisen kehityksen seuranta. /13/

5 SUMMAN TEHTAAT

Summan tehtaat kuuluvat Stora Enso Oyj:n 100 %:sti omistamaan tytäryhtiöön Stora Enso Publication Papers Oy Ltd:iin. Summassa paperia valmistetaan kahdella koneella, joiden valmistuskapasiteetti on yhteensä 410 000 paperitonnia vuodessa. Henkilöstön määrä tehtaalla on n. 500, joista Stora Enso Publication Papers Oy Ltd:iin kuuluu n. 290 henkilöä ja tehdaspalveluja tarjoavaan Kymensoon n. 210 henkilöä. Liitteessä IV on Summan tehdasalueen kartta. /14/

5.1 Massanvalmistus

Summan tehtaalla käytettävä puu on kuusta. Puu tuodaan tehtaalle junilla, laivoilla ja rekoilla joko kuitupuuna tai hakkeena. Kuitupuuta katkaistaan ja kuoritaan kuorimolla, jonka jälkeen se siirretään hiomolle tai haketetaan. Hake toimitetaan hiertämölle.

Kuumahierre eli TMP (Thermo-Mechanical Pulp) on tehtaan paperikoneiden pääraaka-aine. Hiertämöllä hake pestään ja jauhatetaan hierremassaksi. Jauhatuksen jälkeen hierre lajitellaan ja akseptijae varastoidaan. Lajittelun rejektijae jauhatetaan uudestaan rejektijauhimmilla, jonka jälkeen se lajitellaan ja varastoidaan. Kuumahierteen tuotantokapasiteetti on 260 000 t/a. Jauhatusprosessin lämmön talteenotosta saadaan kylläistä 3-bar höyryä talteen maksimissaan 19 kg/s. Vuonna 2003 otettiin talteen lämpöä n. 870 000 GJ, joka oli n. 35% koko tehtaan lämmöntarpeesta.

Hioketta valmistetaan metrin pituisista kuusipölkyistä. Hiomolla on sekä ketju- että taskuhiomakoneita. Hionnan jälkeen hioke lajitellaan, saostetaan ja varastoidaan. Lajittelun rejekti jauhetetaan uudestaan levyjauhimmilla. Hiokkeen tuotantokapasiteetti on 70 000t. Hiokkeen valmistuksessa syntyvää lämpöä käytetään tehtaan vesien lämmitykseen.

Massaa valmistetaan myös sulputtamolla sellusta ja uusiomassasta. Massapaalit sulputetaan pulppereilla ja syntynyt sulppu pumpataan varastosäiliöihin, joista sitä

käytetään paperikoneiden raaka-aineeksi. Sellun ja uusiomassan osuus on n. 20% tehtaan massantarpeesta. /14/

5.2 Paperinvalmistus

Summan tehtaalla valmistetaan paperia kahdella paperikoneella PK2:lla ja PK3:lla. Taulukkoon 1 on koottu PK2:n ja PK3:n avaintietoja.

Taulukko 1. Summan tehtaan paperikoneiden avaintiedot. /14/

paperikone	PK2	PK3
valmistaja	Valmet	Valmet
käyttöönottovuosi	1958	1972
viimeisin laaja uusinta	1993 (2005)	1989
kapasiteetti (t/a)	170 000	240 000
rainan leveys (mm)	6720	7650
tuotantonopeus (m/min)	1200	1500
neliömassa-alue (g/m ²)	40-60	40-60
tuotteet	SuperPress, ExoPress	ExoPress, NewsPress, Bulky

Paperikone 2:ta uusitaan vuosina 2004-2005. Investoinnin tarkoituksena on parantaa lopputuotteen jalostusastetta. Investointi lisää myös koneen kapasiteettia n. 13 000 t/a.

5.3 Vedenkäsittely

Raakavesi otetaan tehtaalle Summajoesta. Vuonna 2003 raakavettä käytettiin n. 9,1Mm³ joko suoraan raakavetenä tai kemiallisesti puhdistettuna. Puhdistettavaan veteen syötetään lipeäliuosta pH:n säätöä varten. Saostuskemikaalina käytetään ferrikloridia tai alumiinisulfaattia. Vesi johdetaan selkeyttimille, joissa dispersioilma-vesiseos nostaa saostuneen humuksen altaan pintaan ja edelleen jätevedenkäsittelylaitokselle menevään viemäriin. Selkeyttimiltä vesi johdetaan hiekkasuodinten läpi puhtasvesisäiliöön. Tiivistevesien valmistukseen käytettävä vesi otetaan selkeyttimen jälkeen Dynasand-suotimille, joissa vesi suodatetaan ja johdetaan tiivistevesisäiliöön. Suolattoman veden valmistukseen käytetään kemiallisesti puhdistettua vettä. Vesi pumpataan

humussuotimeen, jonka jälkeen vesi johdetaan suolanpoistosarjojen läpi. Suolavapaata vettä käytetään pääasiassa voimalaitoksella lauhteen häviön korvaukseen.

Jäteveden mekaanisen käsittelyn alueeseen kuuluvat jätevesipumppaamo, varoallas, tasaussäiliö, lietepumppaamo, etuselkeytin, tasausallas ja neutralointi. Aktiivilietelaitoksen alueeseen kuuluvat ravinteidenannostelutila, kompressoriasemat, ilmastusaltaat, jälkiselkeyttimet, lietepumppaamo ja tiivistimet. Puhdistettu vesi johdetaan mereen. Syntynyt liete kuivataan ja poltetaan voimalaitoksella. /14/

5.4 Höyryvoimakeskus

Höyryvoimakuksessa (HVK) tuotetaan lämpöä ja sähköä paperitehtaan tarpeisiin. Höyryvoimakeskus voidaan jakaa kolmeen osaan. Vanhassa osassa (HVK1) on ketjuarinakattila ja sähkökattila. Leijupetikattilalaitos (K2) muodostaa toisen osan (HVK2). Uusin osa on vuonna 2003 valmistunut varakattilalaitos (VKA), jossa on kolme keskenään samanlaista kattilaa (K3, K4 ja K5). Höyryä tuotetaan normaalisti leijupetikattilalla sekä K2:n seisokkitilanteessa varakattilalaitoksella. Uuden varakattilalaitoksen myötä ketjuarinakattila ja sähkökattila poistuivat käytöstä. Taulukossa 2 on esitetty nykyisten kattiloiden perustiedot.

Taulukko 2. Voimalaitoksen kattiloiden päätiedot /14, 15 /

Kattila	K2	K3, K4, K5
tyyppi	leijupeti	kaksoistulitorvi-tuliputki
valmistaja	Ahlström	HKB
käyttöönottovuosi	1972 (uusittu 1987)	2003
huipputeho (MW)	160	30,2
höyry määrä (kg/s)	65,3	12,5
höyryn paine (bar)	100	12
höyryn lämpötila (°C)	500	192
pääpolttoaineet	kuori, maakaasu	maakaasu

Kattila 2:n höyryntuotanto pelkällä leijupetiajolla on korkeintaan 25 kg/s. Kuorman kasvaessa joudutaan käyttämään lisäksi maakaasua. Maakaasun käyttö pyritään

minimoimaan kiinteän polttoaineen halvemmän hinnan takia. Kattila 2:n savukaasut puhdistetaan sähkösuodattimella.

Tehtaan höyryjakelun painetasot ovat 4 ja 2-bar (abs). 4-bar höyryä saadaan turbiini 2:n väliotosta ja 2-bar on voimalaitoksen vastapainetaso. Lisäksi 4 ja 2-bar höyryä saadaan kattila 2:n ja varakattilalaitoksen paineenalennusasemilta, eli ns. reduktioilta.

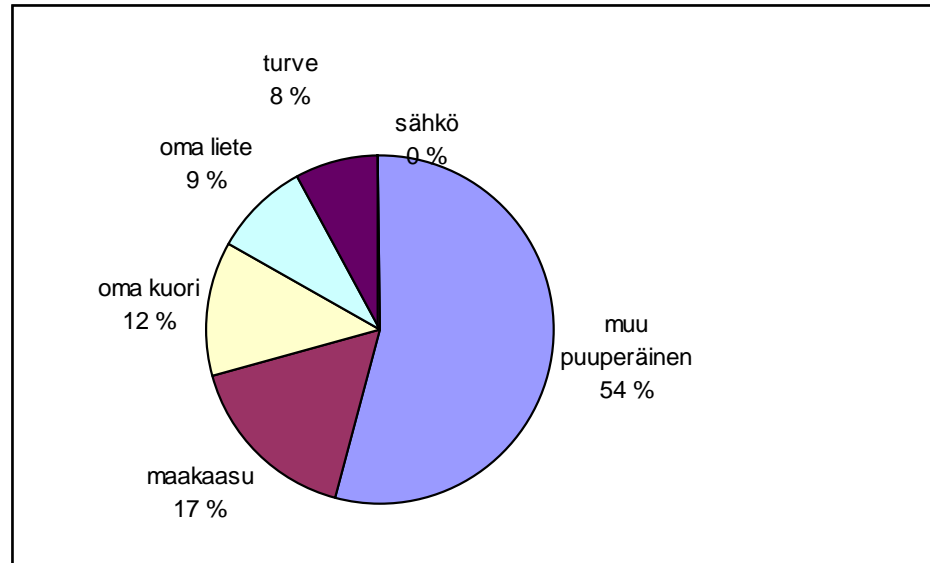
Sähköä tuotetaan pääasiassa turbiineilla T2 ja T3. Turbiini T1 on varalla. Taulukossa 3 on esitetty turbiinien tärkeimmät tiedot.

Taulukko 3. Voimalaitoksen turbiinien päätiedot. /14/

Turbiini	T1	T2	T3
tyyppi	vastapaine	vastapaine	lauhde
valmistaja	BBC	Siemens	Siemens
käyttöönottovuosi	1955	1972	1972
generaattorin teho (MW)	12	34	11
sisääntulopaine (bar)	60	100	2,5
väliottopaine (bar)	4	4	-
vastapaine (bar)	2	2	-

5.5 Summan tehtaiden energiatalous

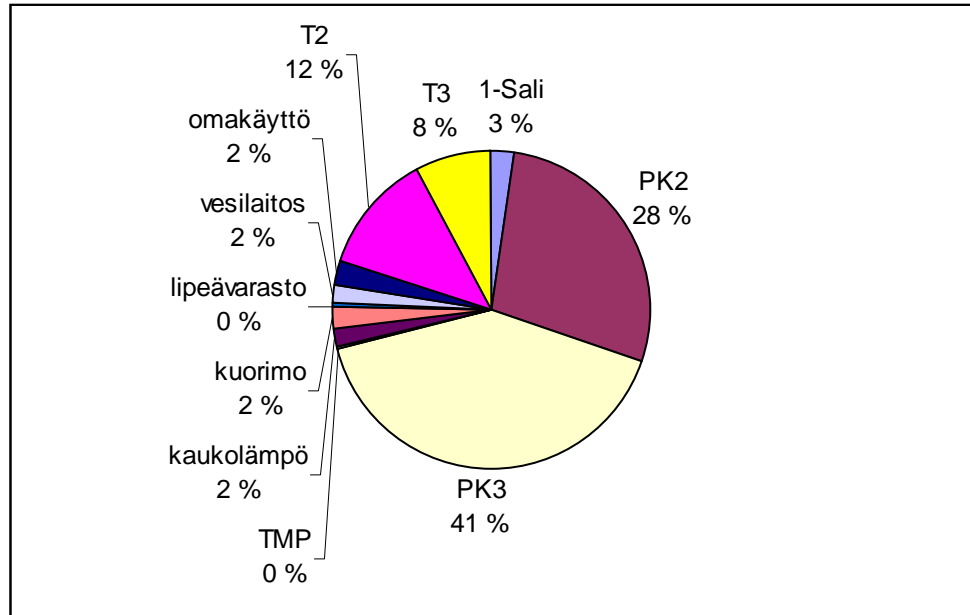
Vuonna 2003 Summan tehtaalla kulutettiin polttoainetta n. 1900 TJ. Polttoaine jakaantui kuvan 7 mukaisesti.



Kuva 7. Summan tehtaan voimalaitoksen polttoaineiden jakauma vuonna 2003 (yht. 1900 TJ). /16/

Suurin polttoaineryhmä oli Summan tehtaan ulkopuolelta tuleva puuperäinen polttoaine, pääasiassa puru ja kuori. Tehtaan oma kuori ja liete kattoivat n. 29% tehtaan lämmöntarpeesta. Maakaasun osuus vuonna 2003 oli n. 17%. Sähkönkäyttö lämmöntuotantoon oli alle 0,1%.

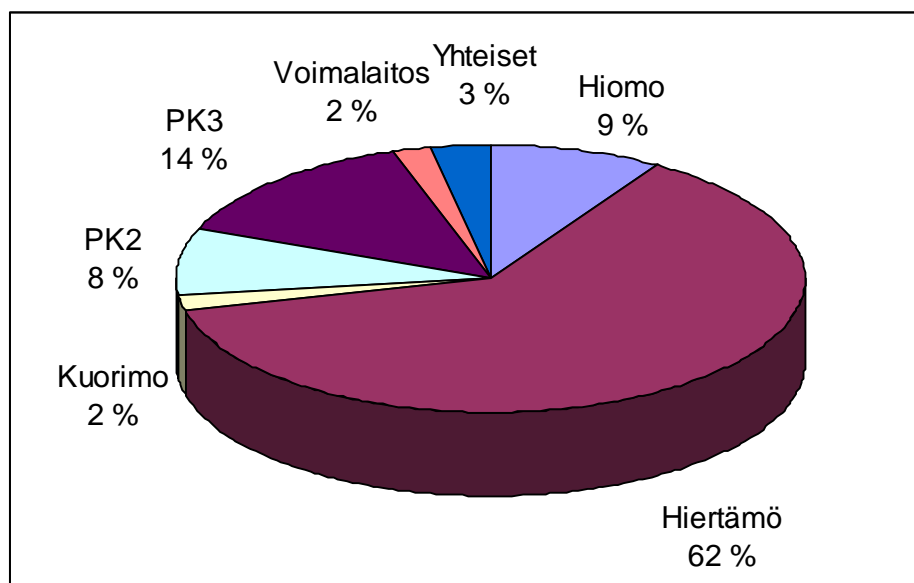
Vuonna 2003 voimalaitoksella tuotettiin lämpöenergiaa yhteensä 1610 TJ. Lämmönkäyttö tehtaalla vuonna 2003 oli yhteensä 2480 TJ. Kuumahiertämön tuottaman lämmön talteenottohöyryn osuus oli 870 TJ. Lämmönkäyttö jakaantui kuvan 8 mukaisesti eri osastojen kesken. /16/



Kuva 8. Lämmönkäytön jakautuma Summan tehtaalla vuonna 2003 (yht. 2480 TJ). /16/

Paperikoneet kuluttivat valtaosan (n. 70%) tehtaalla käytetystä lämmöstä. Sähköntuotanto oli myös merkittävä kuluttaja (n. 20%).

Summan tehtaalla kulutettiin sähköä vuonna 2003 yhteensä n. 857 GWh. Sähköenergiasta n. 92% ostettiin ulkoa ja loput tuotettiin turbiineilla T2 ja T3. Sähkön kuluttajat jakaantuivat kuvan 9 mukaisesti.



Kuva 9. Sähkönkäytön jakautuminen kuluttajien kesken vuonna 2003 (yht. 857 GWh). /17/

Sähkönkulutuksen jako perustuu nykyään osittain kulutuksen arviointiin. Kuvassa 9 esitetty sähkönkulutuksen jakauma ei siis välttämättä vastaa täysin todellisuutta. Kuva 9 kertoo kuitenkin oikean suuruusluokan osastojen kulutusten välillä. Massantuotanto (pääasiassa hiertämö) on tehtaan suurin sähkönkuluttaja.

5.6 Tehtaan energiaraportointi

Summan tehtaan lämpöenergiatietojen keruu ja perusraportointi on toteutettu Alcont-järjestelmällä. Mittaustiedot tulevat järjestelmään virtausmittareilta ja höyryvirroille lasketaan paine- ja lämpötilakompensointi. Prosessiasemilla lasketaan mittausarvoista tunnin keskiarvot, jotka siirretään raporttiasemalle raporttisuureiden laskentaa ja taltiointia varten. Lämpöenergian kuukausitase lasketaan vuorokausitaseen perusteella. Voimalaitoksen kuukausiraportti kootaan pitkälti käsityönä Excel-laskentaohjelmalla Alcont-järjestelmän kuukausiraportin ja tehtaan tuotantotietojen perusteella. Tehtaalla on myös Wedge-tiedonkeruujärjestelmä, joka tallentaa mittaustietoa tarkimmillaan 10 sekunnin mittausjakson keskiarvona. Wedge-järjestelmää käytetään taselaadinnan yhteydessä mittaustiedon analysointia varten.

Tehtaan sähkönkulutus selvitetään kuukausittaisella energiamittarien lukemisella. Osa muuntajista syöttää useisiin käyttökohteisiin, jolloin mittarin lukema on jaettu arvioiden ja koemittausten perusteella eri kohteille. Tilannetta pyritään parantamaan hankkimalla lisää kilowattituntimittareita ja siirtymällä sähköiseen mittaustietojen taltiointiin.

Summan tehdas on yhteydessä Stora Enso-konsernin energiatalousosastoon. Tämä mahdollistaa konsernitason energianhankinnan optimoinnin. Optimointia tehdään mm. sähkö- ja polttoainekaupankäynnin suunnittelulla, valvonnalla ja tilastoinnilla.

6 OSASTOKOHTAISET LÄMPÖENERGIATASEET

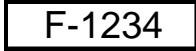

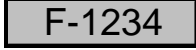




Tässä luvussa esitellään tehtaan osastojen nykyiset lämmönsiirtolinjat mittauksineen, esitetään muutosehdotukset osastokohtaisen lämmönkulutuksen selvittämiseksi, sekä analysoidaan mittausten luotettavuutta. Tämän jälkeen laaditaan tehtaan lämpötase Tammikuulta 2004 ja pyritään löytämään syitä täydelliseen energiataseen toteutumattomuudelle.

Osastokohtaisia lämpöenergiataseita lähdettiin selvittämään tutustumalla lämmönjakelun putkisto- ja instrumentointikaavioihin (PI-kaaviot). Tämän jälkeen etsittiin putkilinjat tehtaalta ja tarkasteltiin, olivatko PI-kaaviot ajan tasalla. Osastoilta toisille on olemassa mittaroimattomia yhdyslinjoja. Näiden linjojen normaalitilanteen käyttö selvitettiin haastatteluin. Vialliset virtausmittarit etsittiin tarkastelemalla automaatiojärjestelmän näyttöjä. Epävarmoja mittauspisteitä selvitettiin haastattelemalla tehtaan henkilöstöä sekä tutkimalla tiedonkeruujärjestelmän (Wedge) tallentamaa mittaustietoa. Haastattelujen ja tutkimusten perusteella voidaan sanoa, että tehtaalla on useita virtausmittareita, jotka vaikuttavat epäluotettavilta. Näiden mittausten kuntoa ja kalibrointia kannattaa tulevaisuudessa lähteä tutkimaan koemittauksin suurimmasta virtausmäärästä pienimpään. Toimenpiteiden perusteella voidaan tehdä mittauksille tarvittavat uusinnat ja korjaukset. Energiataseen laadinnassa tulee tukeutua luotettavimpiin mittauksiin. Tarkasteltaessa tehtaan höyryjen ja lauhteiden mittaustuloksia todettiin, että usea mittaus jää osoittamaan virtausta todellisen virtauksen puuttuessa. Nämä mittauservot tulee poistaa tasetta laadittaessa.

Osastokohtaisten lämpötaseiden laatimiseksi jaettiin tehdas kahdeksaan eri osastoon:

- Kuorimo
- Hiertämö
- Paperikone 2
- Paperikone 3
- Tehtaanlämmitys
- Jälkikäsittely
- Vesilaitos ja lipeävarasto
- Voimalaitos

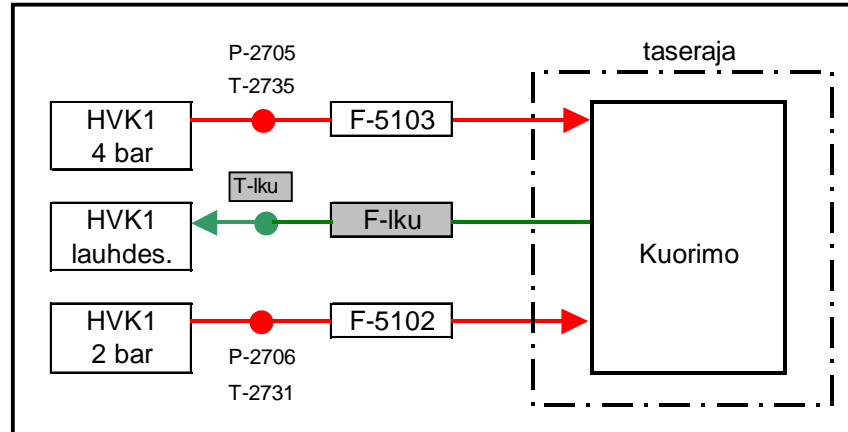
Kuvassa 10 on esitetty tasekuvien merkintöjen selitykset.

	tiedonkeruujärjestelmässä oleva mittaus
	mittaus, ei tiedonkeruujärjestelmässä
	tarvittava uusi mittaus
	epäkuntoinen mittaus
	höryvirtaus
	lauhdevirtaus
	syöttö-, kierto- tai lisävesivirtaus

Kuva 10. Energiataseiden määrittämisessä käytettyjen merkintöjen selitykset.

6.1 Kuorimo

Kuorimolla käytetään 2-bar höyryä puunsulatusveden lämmittämiseen sekä 4-bar höyryä osaston lämmittämiseen. Vastapainehöyrymäärällä on mittaus F-5102 ja Väliottohöyryllä F-5103. 4-bar linjan lauhteet palautetaan voimalaitokselle. Suoran höyrylämmityksen takia 2-bar linjan lauhteet sekoittuvat raakaveteen, eikä niitä siten voida palauttaa. Kuorimolta palaavassa lauhdelinjassa ei ole lauhteen määrämittausta. Kuorimon lämmönkulutus on esitetty kuvassa 11.



Kuva 11. Kuorimon lämmönkäyttö.

Kuorimon höyrynkulutus on helppo määrittää olemassa olevia mittauksia käyttämällä. Lauhdelinjaan täytyy asentaa massavirta- (F-lku) ja lämpötilamittaus (T-lku), jotta kuorimon nettolämmönkulutus saadaan selville. Kuorimon lämpötaseen yhtälö on seuraavanlainen:

$$\Phi_{kuo} = q_{m,5102} \cdot h(p_{2706}, T_{2731}) + q_{m,5103} \cdot h(p_{2705}, T_{2735}) - q_{m,lku} \cdot h'(T_{lku}) \quad (3)$$

Φ_{kuo} = Kuorimon käyttämä lämpöteho

$q_{m,5102}$ = Vastapainehöyryn massavirta kuorimolle

$h(p_{2706}, T_{2731})$ = Vastapainehöyryn ominaisentalpia

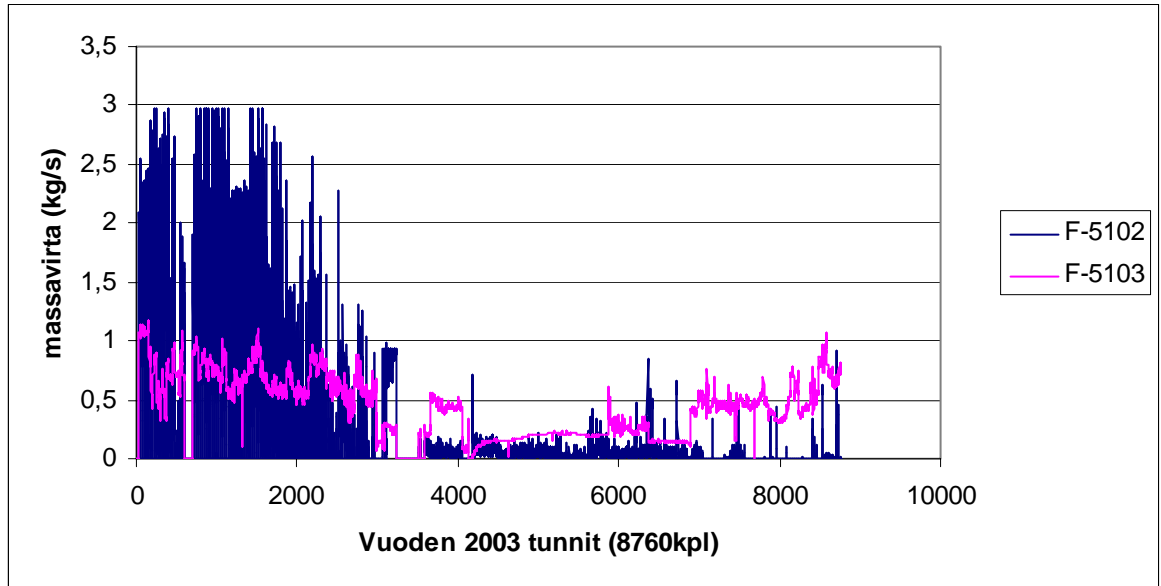
$q_{m,5103}$ = Väliottohöyryn massavirta kuorimolle

$h(p_{2705}, T_{2735})$ = Väliottohöyryn ominaisentalpia

$q_{m,lku}$ = Lauhteen massavirta kuorimolta

$h'(T_{lku})$ = Lauhteen ominaisentalpia

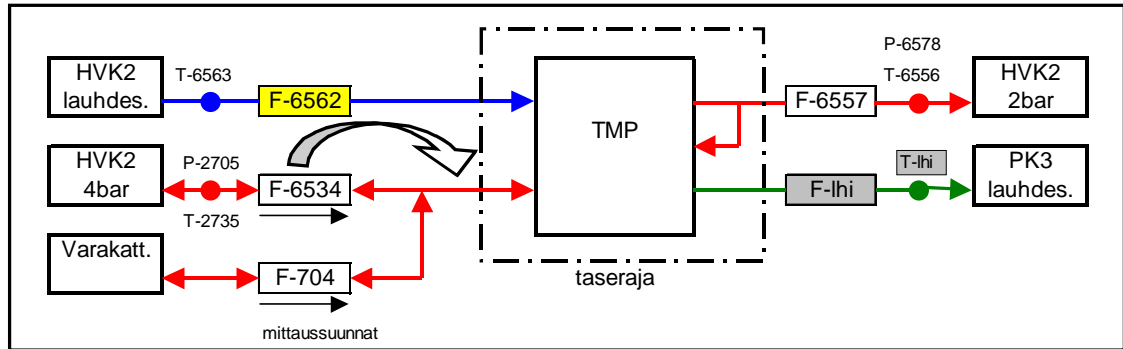
Kuvassa 12 on esitetty kuorimon mitatut höyrymäärät vuodelta 2003. Kuorimon vastapainehöyryn määramittaus F-5102 vaikuttaa epävarmalta suurten hetkellisten vaihtelujen ja toisaalta pienten vuodenaikaisten vaihtelujen takia. Loppuvuoden todellinen kulutus on todennäköisesti suurempi kuin mittausarvo, johtuen vesien kylmenemisen aiheuttamasta lisääntyvästä lämmitystarpeesta. Väliottohöyrymäärän mittauksen F-5103 antamat tiedot vaikuttavat järkeviltä.



Kuva 12. Kuorimon höyrymäärien mittaustiedot vuodelta 2003.

6.2 Hiertämö

Hiertämölle otetaan voimalaitokselta 4-bar väliottohöyryä sekä syöttövettä. Väliottohöyryä kuluu jatkuvasti tärkkelyksen valmistamiseen sekä laitoksen käynnistystilanteessa jauhinten lämmitykseen. Hiertämölle menevälle väliottohöyrymäärälle on mittaus F-6534. Normaalisissa ajotilanteissa hiertämö on höyryn nettotuottaja. Jauhatusprosessissa vapautuu runsaasti lämpöä, joka otetaan talteen höyrystimillä, joissa höyrystetään syöttövettä. Hiertämö käyttää osan tästä kylläisestä 3-bar paineisesta höyrystä jauhintensa lämmitykseen. Muu höyry johdetaan voimalaitoksen vastapainehöyryn kokoojatukkiin. Syöttöveden määrää mitataan mittauksella F-6562 ja voimalaitokselle johdettua höyrymäärää mittauksella F-6557. Lauhde jauhinten keskiövesien lämmönvaihtimilta johdetaan PK3:n päälauhdesäiliöön. Lauhdelinjassa ei ole määrämittausta. Kuvassa 13 on esitetty hiertämön lämpötase.



Kuva 13. Hiertämön lämpötasekuva.

Hiertämön väliottohöyrymäärän määrittäminen nykytilanteessa on ongelmallinen uuden varakattilalaitoksen mukana tulleiden putkistomuutosten takia. Voimalaitoksen normaalitilanteessa kattila 2:n tuottamaa väliottohöyryä menee mittauksen F-6534 jälkeen myös varakattilalaitoksen lämmitykseen. Kattila 2:n seisokkitilanteessa varakattilalaitoksen tuottamaa 4-bar höyryä menee hiertämön lisäksi muuhunkin tehtaan 4-bar höyryn jakeluun. Kuitenkin mittaus F-6534 mittaa vain yhdensuuntaista virtausta. Jotta osastokohtainen lämpötase saataisiin selville, tulee hiertämön käyttämän väliottohöyryn mittaus F-6534 siirtää varakattilalaitokselta tulevan haaran jälkeen. Kuvaan 13 on piirretty nuoli osoittamaan uutta mittauskohtaa. Väliottohöyryn ominaisentalpian arvo saadaan mittausten P-2705 ja T-2735 perusteella. Hiertämön kehittämän lämmön talteenottohöyryn lämpövirta voimalaitokselle saadaan mittausten F-6557, P-6578 ja T-6556 avulla.

Syöttöveden lämpövirta HVK2:lta hiertämölle saadaan laskettua massavirtamittauksen F-6562 ja lämpötilamittauksen T-6563 antamista arvoista. Lauhde oletetaan tällöin kylläiseksi vedeksi. Syöttövesimäärän mittaus kannattaa liittää tiedonkeruujärjestelmään. Hiertäjä palauttaa lauhdetta PK3:n kautta. Osaston lämpötaseen määrittämiseksi tulee palautetun lauhteen linjaan asentaa massavirta- ja lämpötilamittaus.

Mikäli mittalaippaa F-6534 siirretään varakattilalaitoksen yhdyslinjan jälkeen, on hiertämön lämpötase seuraavan yhtälön mukainen:

$$\Phi_{TMP} = q_{m,6534} \cdot h(p_{2705}, T_{2735}) + q_{m,6562} \cdot h'(T_{6563}) - q_{m,6557} \cdot h(p_{6578}, T_{6556}) - q_{m, lhi} \cdot h'(T_{lhi}) \quad (4)$$

Φ_{TMP} = Hiertämön käyttämä lämpöteho

$q_{m,6534}$ = Väliottohöyryn massavirta hiertämölle

$h(p_{2705}, T_{2735})$ = Väliottohöyryn ominaisentalpia

$q_{m,6562}$ = Syöttöveden massavirta hiertämölle

$h'(T_{6563})$ = Syöttöveden ominaisentalpia

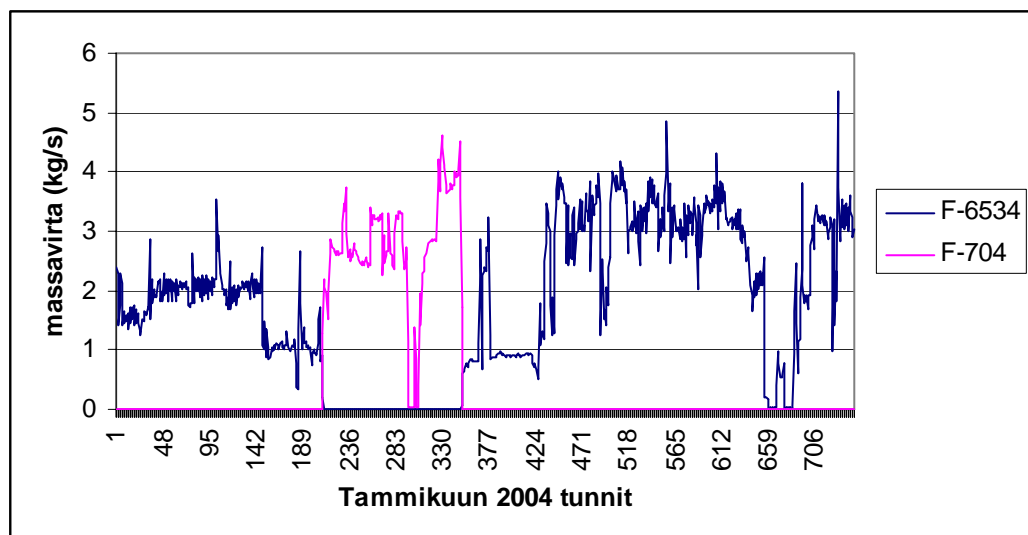
$q_{m,6557}$ = Hiertämöltä palautuvan höyryn massavirta

$h(p_{6578}, T_{6556})$ = Hiertämöltä palautuvan höyryn ominaisentalpia

$q_{m, lhi}$ = Hiertämöltä palautetun lauhteen massavirta

$h'(T_{lhi})$ = Hiertämöltä palautetun lauhteen ominaisentalpia

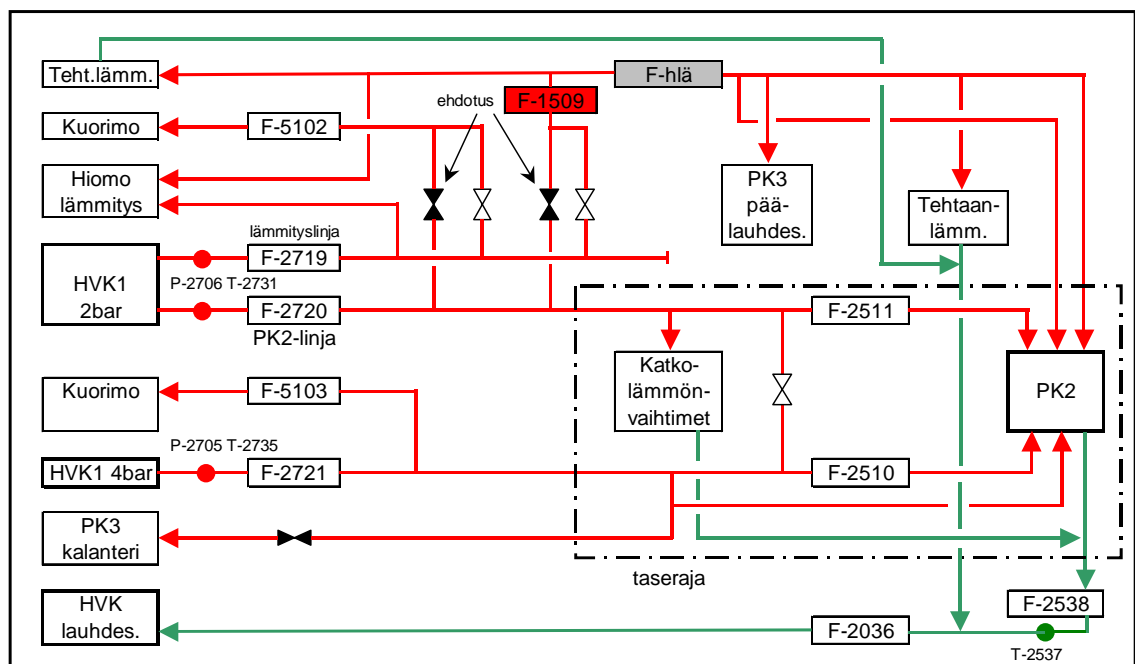
Kuvasta 14 nähdään, että varakattilalaitoksen tuottaessa 4-bar höyryä, näyttää mittaus F-6534 nollassa, koska höyryä virtaa HVK2:n suuntaan, eli mittaussuunnan vastaisesti. Varakattilalaitoksen höyryä virtaa todennäköisesti tässä tilanteessa myös hiertämölle.



Kuva 14. Hiertämön (F-6534) ja varakattilalaitoksen (F-704) 4-bar höyryn virtaukset tammikuussa 2004.

6.3 Paperikone 2

Paperikone 2:lla käytetään nykyään vain vastapainehöyryä. Väliottohöyryn käytöstä on luovuttu, mutta putkilinjat ovat edelleen olemassa. PK2:n päähöyrylle eli koneen paperintuotannossa käytettävälle höyrylle on mittaus F-2511. Tehtaanlämmityksen ja PK2:n lämmityshöyry kulkee mittauksen F-1509 kautta. Mittauksessa F-1509 on rikkinäinen paine-erolähetin, eikä mittaustietoa näin ollen saada. PK2:n lämpövirrat on esitetty kuvassa 15.



Kuva 15. PK2:n lämpövirrat.

Voimalaitokselta PK2:lle lähtevässä 2-bar höyrylinjassa on massavirtamittaus F-2720. Mittaus ei suoraan kerro PK2:n vastapainehöyryn kulutusta, sillä mittalaipan jälkeen putkilinjasta on yhteys myös kuorimolle ja tehdassalin lämmityslinjaan. PK2:n lämpötaseen määrittäminen yksinkertaistuu, mikäli kuorimolle ja tehtaanlämmitykseen otetaan höyryä ainoastaan ns. lämmityslinjasta. Tällöin mittauksen F-2720 läpi kulkema höyry määrä menee kokonaisuudessaan PK2:lle.

PK2:n lämmityshöyry otetaan lämmityslinjasta josta myös hiomoon ja vanhaan PK1-saliin otetaan lämmityshöyryä. Näiden lisäksi lämmityslinjasta on yhteys PK3:lle. Kaikkiin lämmityshöyryvirtauksiin ei ole taloudellista asiantuntijaa virtausmittaria. Melko

hyvä arvio PK2:n kuluttamalle lämmityshöyrylle saadaan, jos PK2:n lämmityslinjaan asennetaan virtausmittaus. PK2:n lämmitysten lisäksi mittauksen piiriin kuuluisivat tällöin myös PK1:n kuivanpään konttorin lämmitys, hiomon lämpökenno sekä PK3:n päälauhesäiliön linja. Näiden kohteiden käyttämä höyry voidaan arvioida vähäiseksi verrattuna PK2:n lämmityshöyrymäärään. Vastapainehöyryn ominaisentalpian määrittämiseen käytetään HVK:lla olevia paine- ja lämpötilamittauksia P-2706 ja T-2731.

PK2:n lauhdemäärä saadaan suoraan mittauksesta F-2538. Lauhteen ominaisentalpiana käytetään lämpötilanmittausta T-2537 vastaavan kylläisen veden ominaisentalpian arvoa. Pieni osa PK2:n käyttämän höyryn lauhteista johdetaan tehtaanlämmityksen, eli entisen PK1:n lauhdesäiliöön. Toisaalta pieni määrä tehtaanlämmityshöyryn lauhteista johdetaan PK2:n lauhdesäiliöön. Oletetaan näiden lauhdemäärien kumoavan toisensa.

Mikäli edellä mainitut toimenpiteet PK2:n lämpötaseen selvittämiseksi tehdään, voidaan osaston kuluttama lämpö esittää seuraavalla yhtälöllä:

$$\Phi_{PK2} = (q_{m,2720} + q_{m,hli}) \cdot h(p_{2706}, T_{2731}) - q_{m,2538} \cdot h'(T_{2537}) \quad (5)$$

Φ_{PK2} = Paperikone 2:n käyttämä lämpöteho

$q_{m,2720}$ = PK2:n päähöyryn massavirta

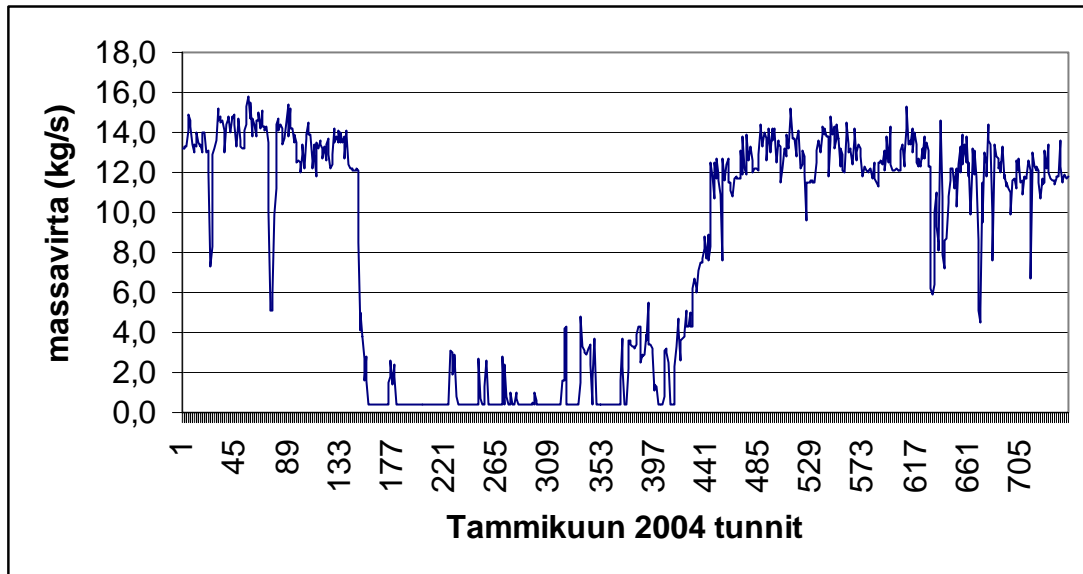
$q_{m,hli}$ = PK2:n lämmityshöyryn massavirta

$h(p_{2706}, T_{2731})$ = Vastapainehöyryn ominaisentalpia

$q_{m,2538}$ = PK2:n lauhteen massavirta

$h'(T_{2537})$ = PK2:n lauhteen ominaisentalpia

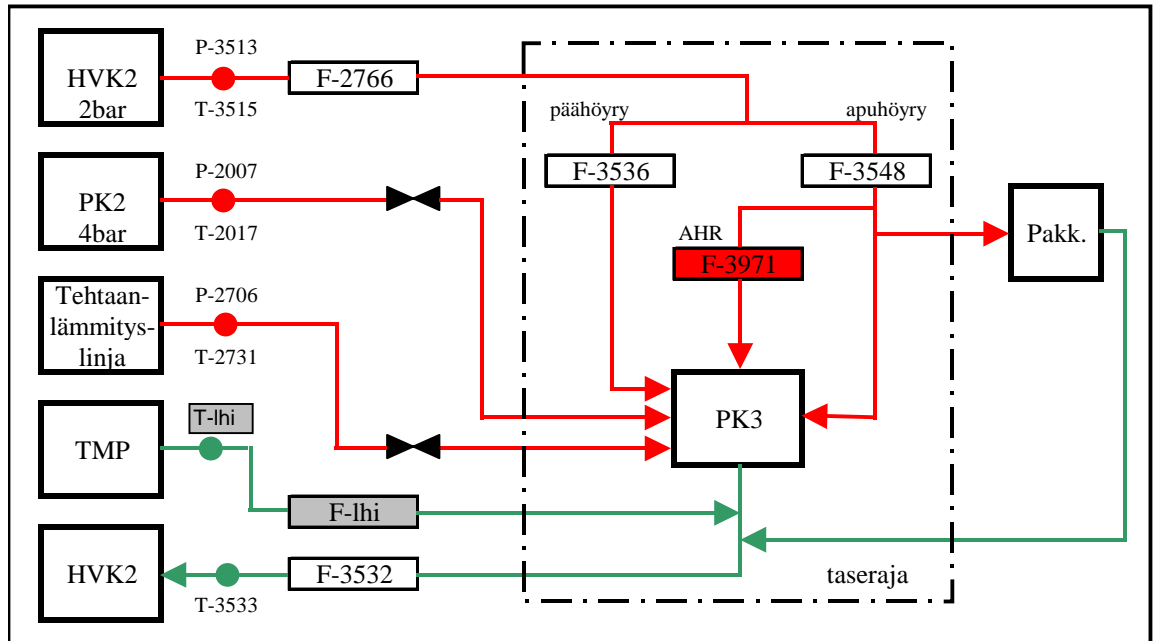
Kuvassa 16 on esitetty pääasiassa PK2:lle menevän vastapainehöyryn määrämittaustieto Tammikuulta 2004. Jos höyrymittaustietoa verrataan PK2:n paperintuotantotietoihin samalta ajalta, vaikuttaa mittaus luotettavalta. Mittaus ei mene missään vaiheessa täysin nolnaan. Se saattaa olla mittarin virhe, tai sitten mittauksen läpi virtaa koko ajan höyryä kuorimolle ja tehtaan lämmitykseen.



Kuva 16. PK2:n vastapainehöyryn kulutus tammikuussa 2004 (mittaus F-2720).

6.4 Paperikone 3

Paperikone 3:lla käytetään vastapainehöyryä. PK3:lla käytettiin ennen väliottohöyryä kalanterin telojen lämmittämiseen. Nykyään myös tähän kohteeseen käytetään vastapainehöyryä. Voimalaitokselta PK3:lle lähtevälle vastapainehöyrylle on mittaus F-2766. PK3:lla virtaus jakaantuu pää- ja apuhöyrylinjoihin. Päähöyryillä on mittaus F-3536 ja apuhöyryillä F-3548. Apuhöyrylinja haarautuu lämmityshöyryjen lisäksi ns. AHR-lämmönvaihtimelle ja pakkaamolle. AHR-vaihtimessa otetaan talteen paperikoneen huuvan poistoilman sisältämää lämpöä. Osaston lämmöntarpeen täyttämiseksi lisälämpö otetaan höyrystä. AHR-höyryvaihtimen huipputeho on 9,3MW. AHR-lämmönvaihtimen höyry lämmittää PK3:n konesalia, joten sitä ei tarvitse erottaa PK3:n muusta kulutuksesta. Pakkaamon kulutus täytyy erottaa PK3:n kuluttamasta höyrystä. PK3:n päälauhdesäiliölle on olemassa 2-bar höyryn yhteys myös ns. paperitehtaan lämmityslinjasta. Kuvassa 17 on esitetty PK3:n höyry- ja lauhdevirrat.



Kuva 17. Paperikone 3:n lämpöenergian tasekuva.

PK3:n vastapainehöyryn määrä koostuu mittauksen F-2766 läpi kulkeneesta määrästä. Tästä kuitenkin on vähennettävä jälkikäsittelyn käyttämä höyrymäärä. Jälkikäsittelyn höyrymäärä määritetään myöhemmin omana osastonaan. Tehtaanlämmityslinjasta on yhteys myös PK3:lle. Tämä linja on käytössä vain, mikäli PK3:n päähöyrylinjaa ei ole mahdollista käyttää. Tästä linjasta otettavaa höyrymäärää voidaan pitää merkityksettömänä. Vastapainehöyryn ominaisentalpian määrittämiseksi käytetään PK3:lla olevia paine- ja lämpötilamittauksia P-3513 ja T-3515. Väliottohöyryn käyttö voidaan jättää tästä taseesta, koska kyseisestä linjasta ei ole otettu höyryä vuosiin.

Mittaus F-3532 kertoo palautettavan lauhteen määrän. Tämä mittaus sisältää kuitenkin myös hiertämöltä ja jälkikäsittelystä (pakkaamon lämmönvaihdin) tulevat lauhteet. Nämä lauhteet täytyy mitata erikseen, jotta osastokohtainen lämpötase saadaan selville. Lauhteiden ominaisentalpian määrittämiseen käytetään lämpötilamittausta T-3533 vastaavan kylmän veden ominaisentalpian arvoa.

PK3:n lämpötase voidaan esittää seuraavalla yhtälöllä:

$$\Phi_{PK3} = (q_{m,3536} + q_{m,3548}) \cdot h(p_{3513}, T_{3515}) + q_{m, lhi} \cdot h'(T_{lhi}) - q_{m,3532} \cdot h'(T_{3533}) - \Phi_{jäkä} \quad (6)$$

Φ_{PK3} = Paperikone 3:n käyttämä lämpöteho

$q_{m,3536}$ = PK3:n päähöyryn massavirta

$q_{m,3548}$ = PK3:n apuhöyryn massavirta

$h(p_{3513}, T_{3515})$ = Vastapainehöyryn ominaisentalpia

$q_{m, lhi}$ = Hiertämöltä palautetun lauhteen massavirta

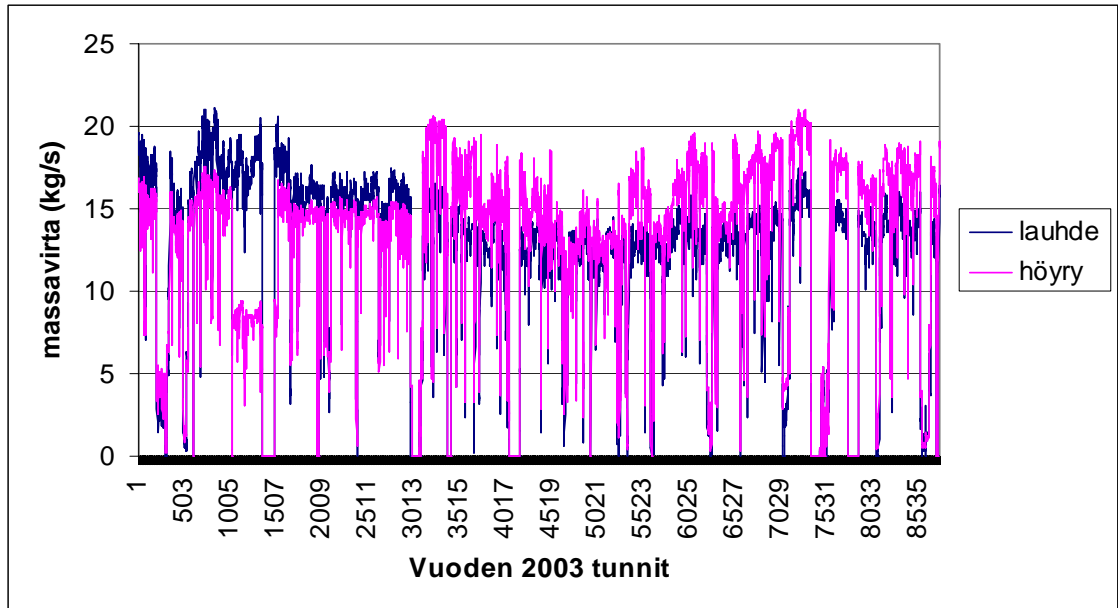
$h'(T_{lhi})$ = Hiertämöltä palautetun lauhteen ominaisentalpia

$q_{m,3532}$ = Lauhteen massavirta PK3:lta voimalaitokselle

$h'(T_{3533})$ = PK3:lta voimalaitokselle pumpattavan lauhteen ominaisentalpia

$\Phi_{jäkä}$ = Jälkikäsittelyn kuluttama lämpöteho

HVK:n mittauksen F-2766 ja PK3:n mittausten F-3536 ja F-3548 mittaustulokset täsmäävät erittäin hyvin keskenään. Mittaus F-2766 onkin todennäköisesti laskennallinen arvo mittauksista F-3536 ja F-3548 eikä todellinen mittaus. Tarkasteltaessa PK3:n höyry- ja lauhdemittaustietoa vuodelta 2003 (kuva 18), huomataan että mitattu lauhdemäärä on ollut alkuvuonna suurempi kuin osastolle syötetty höyrymäärä. Keväällä mitattu höyrymäärä on kasvanut lauhdemäärää suuremmaksi. Tämä johtuu todennäköisesti höyryn määrämittareiden kalibroinnista. Mittaustulokset vaikuttavatkin siitä lähtien järkeviltä, sillä jos oletetaan hiertämöltä tulevan lauhteen määräksi keskimäärin 0,5kg/s, on PK3:n lauhteenpalautus ollut muutoksen jälkeen n. 80% syötettävän höyryn määrästä.

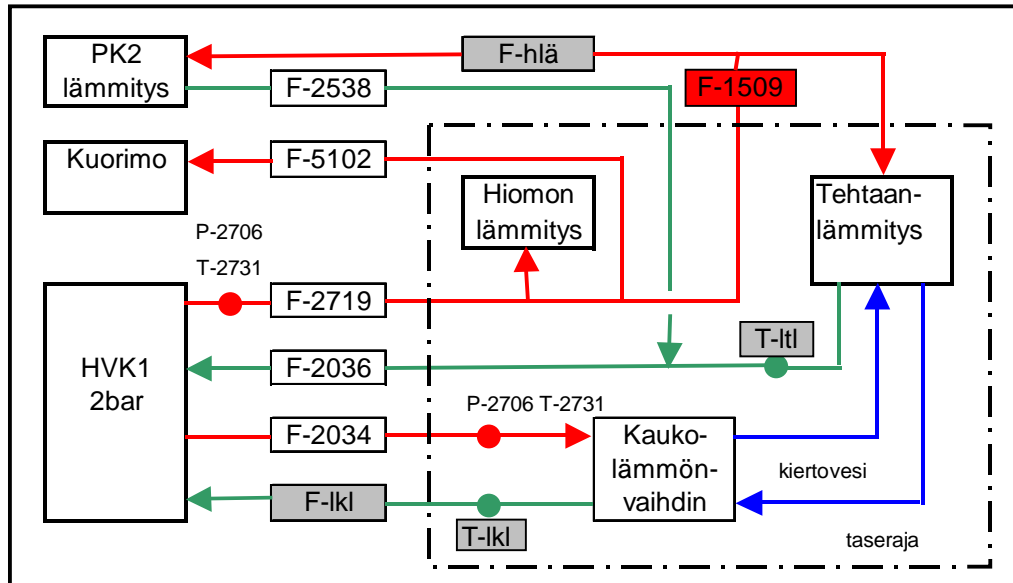


Kuva 18. PK3:n lauhde- (F-3532) ja höyrymittausten (F-3536&F-3548) mittaustiedot vuodelta 2003.

6.5 Tehtaanlämmitys

Tehtaanlämmitykseen käytetään kaukolämpöä. Kaukolämpövettä lämmitetään kahdella HVK:ssa sijaitsevalla lämmönvaihtimella, joista toinen on yleensä käytössä. Kaukolämmönjakelun piiriin kuuluvat hierontämö, hiomo, PK2, tehdassali, konttorit, korjaamot, ruokala, voimalaitos ja vesilaitos. Kaukolämpöveden lämmitykseen kuluneella höyryllä on mittaus F-2034. Lauhteen määrää ei mitata.

Paperikonesaleissa 1 ja 2 käytetään lämmitykseen kaukolämmön lisäksi höyryä. Höyry otetaan tehtaanlämmityslinjasta, josta menee lämmityshöyryä PK2:lle, 1-saliin (entiset PK1:n lämmitykset) ja hiomoon. Kuvassa 19 on esitetty tehtaanlämmityksen lämpötase.



Kuva 19. Tehtaanlämmityksen lämpötase.

Kaukolämmitykseen kulunut lämpömäärä saadaan kaukolämmönvaihtimille menevän vastapainehöyryn ja sieltä palaavan lauhteen lämpövirtojen erotuksena. Kaukolämmönvaihtimessa siirretyn lämmön selvittämiseksi tulee lauhdelinjaan asentaa virtaus- ja lämpötilamittaus. Tehtaanlämmitykslinjan höyryn massavirta F-2719, pois lukien kuorimolle menevä höyrymäärä F-5102, täytyy jakaa PK2:lle ja yhteiselle tehtaanlämmitykselle. Mikäli PK2:n lämmitykslinjaan asennetaan virtausmittaus, voidaan jäljelle jäänyt kulutus laskea tehtaanlämmityksen käyttämäksi höyryksi. PK3:n tästä linjasta ottama höyrymäärä voidaan olettaa merkityksettömäksi. Tehtaanlämmityksestä palaavan lauhteen määrä saadaan kun poistetaan mittauksen F-2036 antamasta arvosta PK2-lauhteen massavirta F-2538. Tehtaanlämmityksen lauhdelinjaan tulee asentaa lämpötilamittaus, jotta lauhteen ominaisentalpia saadaan selville. Mikäli nämä em. toimenpiteet toteutetaan, saadaan tehtaanlämmitykseen kuluva lämpömäärä laskettua seuraavaa yhtälöä käyttäen:

$$\Phi_{il} = (q_{m,2034} + q_{m,2719} - q_{m,5102} - q_{m,hlä}) \cdot h(p_{2706}, T_{2731}) - q_{m,ikl} \cdot h'(T_{ikl}) - (q_{m,2036} - q_{m,2538}) \cdot h'(T_{iti}) \quad (7)$$

Φ_{il} = Tehtaanlämmitykseen kulunut lämpöteho

$q_{m,2034}$ = Kaukolämmönvaihtimen höyryn massavirta

$q_{m,2719}$ = Tehtaanlämmityslinjan höyryn massavirta

$q_{m,5102}$ = Kuorimon vastapainehöyryn massavirta

$q_{m,hä}$ = PK2:n käyttämän lämmityshöyryn massavirta

$h(p_{2706}, T_{2731})$ = Vastapainehöyryn ominaisentalpia

$q_{m,kl}$ = Kaukolämmönvaihtimien lauhteen massavirta

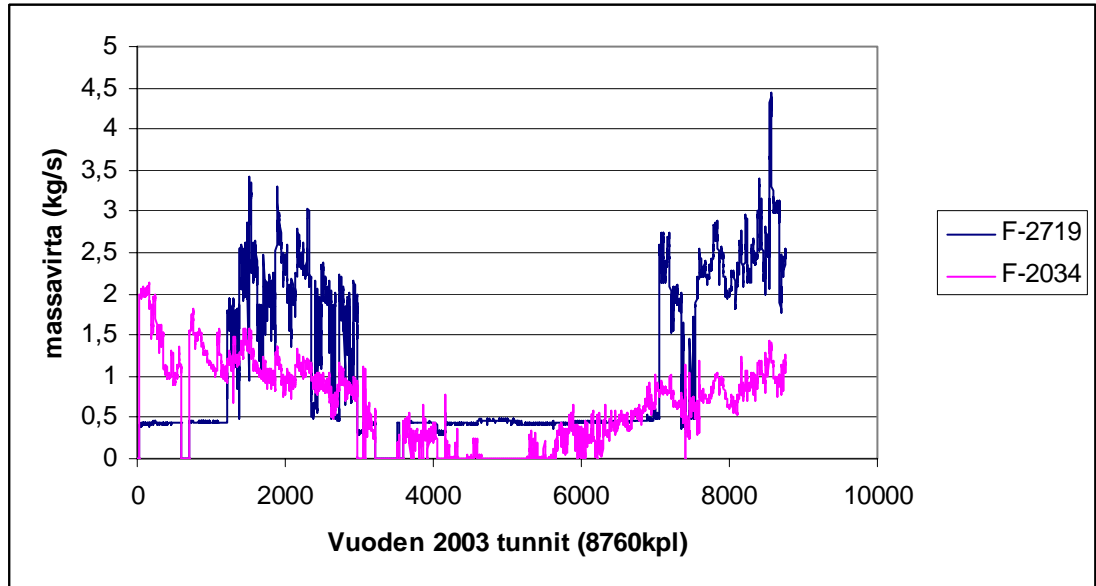
$h'(T_{kl})$ = Kaukolämmönvaihtimien lauhteen ominaisentalpia

$q_{m,2036}$ = 1 ja 2-salien yhteinen lauhteen massavirta

$q_{m,2538}$ = PK2:n lauhteen massavirta

$h'(T_{hl})$ = Tehtaanlämmityksen lauhteen ominaisentalpia

Tehtaanlämmityslinjan virtausmittauksen F-2719 mitaama höyry määrä vuodelta 2003 on esitetty kuvassa 20. Mitattu määrä ei ole ollut kyseisenä ajanjaksona n. 0,4 kg/s pienempi. Tämä saattaa johtua mittausvirheestä. On mahdollista, että mittauksen F-2719 mittaustuloksen ollessa luokkaa 0,4 kg/s, ei kyseisen mittarin läpi ole virrannut todellisuudessa höyryä lainkaan, ja kuorimon sekä tehtaanlämmityksen höyry on otettu tällöin PK2:n höyrylinjasta. Tätä oletusta puolustaa myös se, että vuonna 2003 tehtaanlämmityksestä palautui enemmän lauhdetta, kuin sinne mittauksen F-2719 mukaan syötettiin höyryä. Epäkuntoisen mittauksen F-1509 korjaaminen ja käyttöönotto ei tuo juurikaan lisätietoa osastokohtaisesta kulutuksesta, mikäli höyrynjakelu on oikealla tavalla järjestetty.

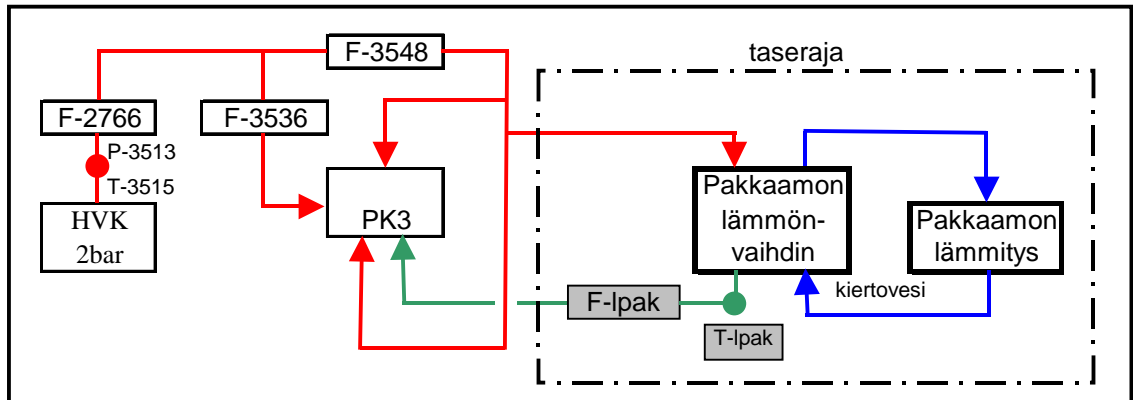


Kuva 20. Hörymäärät F-2719 (teht.lämm.) ja F-2034 (kaukolämpö) vuonna 2003.

Kuvassa 20 on esitetty myös kaukolämmitykseen kulunut hörymäärä (F-2034). Mittaustulokset vaikuttavat järkeviltä koska hörymäärä muuttuu vuodenaikaisten ilman lämpötilojen mukaan. Kuvan nollalukemat ovat ajalta, jolloin mittaustietoa ei ole saatavilla.

6.6 Jälkikäsittely

Jälkikäsittely-osastolla höyryä kuluttaa ainoastaan pakkaamon lämmitys. Höyry pakkaamon lämmönvaihtimelle otetaan PK3:n apuhöyrylinjasta. Lämmönvaihtimelle menevää hörymäärää ei mitata. Pakkaamon lämmityksen lauhde palautetaan PK3:n lauhdesäiliö 4:lle.



Kuva 21. Jälkikäsittelyn lämmönkäytön tasekuva.

Pakkaamon lämmönvaihtimelle menevä höyrymäärä on verrattain pieni. Yksinkertaisin tapa määrittää osaston lämmönkulutus on mitata pakkaamon lämmönvaihtimelta palaavan lauhteen lämpövirta ja olettaa lämmönvaihtimen lauhteenpalautuksen olevan täydellinen. Tällöin täytyy hankkia virtaus- ja lämpötilamittaus lauhdelinjaan. Jälkikäsittelyn lämmönkulutus saadaan yhtälön 8 mukaisesti:

$$\Phi_{\text{jäkä}} = q_{m,\text{lpak}} \cdot (h(p_{3513}, T_{3515}) - h'(T_{\text{lpak}})) \quad (8)$$

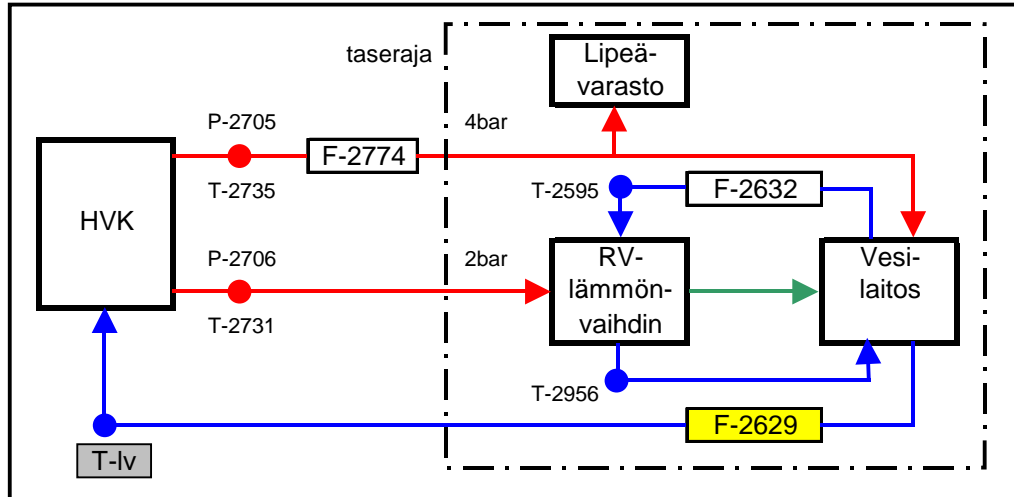
$\Phi_{\text{jäkä}}$ = Jälkikäsittelyn kuluttama lämpövirta

$q_{m,\text{lpak}}$ = Pakkaamon lämmönvaihtimelta palaavan lauhteen massavirta

T_{lpak} = Pakkaamon lämmönvaihtimelta palaavan lauhteen lämpötila

6.7 Vesilaitos ja lipeävarasto

Vesilaitoksella on yksi vastapainehöyryä käyttävä lämmönvaihdin, jolla lämmitetään raakavettä. Vesilaitoksella käytetään myös väliottohöyryä suolanpoistosarjoille menevän veden lämmitykseen. Lauhteet johdetaan suolattoman veden säiliöön, joten ne eivät mene hukkaan. Lipeävarastolla käytetään väliottohöyryä lipeän lämmitykseen. Kuva 22 esittää osaston lämpövirtoja.



Kuva 22. Vesilaitoksen ja lipeävaraston tasekuva.

Osaston käyttämän väliottohöyryn lämpövirta saadaan mittausten F-2774, P-2705 ja T-2735 perusteella. Vastapainehöyrymäärää ei mitata. Vastapainehöyryä käyttävän lämmönvaihtimen toisiopuolella on veden virtausmittaus sekä lämpötilamittaukset ennen ja jälkeen vaihtimen. Oletetaan lauhteen poistuvan raakaveden lämmönvaihtimesta kylläisenä, jolloin raakavesilämmönvaihtimen höyryn massavirta saadaan seuraavasta yhtälöstä:

$$q_{m,2632} \cdot c_{p,rv} \cdot (T_{2956} - T_{2595}) = q_{m,hvl} \cdot (h(p_{2706}, T_{2731}) - h'(p_{2706})) \quad (9)$$

$$\Rightarrow q_{m,hvl} = q_{m,2632} \cdot \frac{c_{p,rv} \cdot (T_{2956} - T_{2595})}{h(p_{2706}, T_{2731}) - h'(p_{2706})}$$

$q_{m,2632}$ = Raakaveden massavirta kemialliseen puhdistukseen

$c_{p,rv}$ = Raakaveden keskim. ominaislämpökapasiteetti (= n. 4,19kJ/kgK)

$(T_{2956} - T_{2595})$ = Raakaveden lämpötilan muutos lämmönvaihtimessa

$q_{m,hvl}$ = Vastapainehöyryn massavirta vesilaitokselle

$h(p_{2706}, T_{2731})$ = Vastapainehöyryn ominaisentalpia

$h'(p_{2706})$ = vastapainehöyryn lauhteen ominaisentalpia

Vesilaitokselta syötetään lisävettä voimalaitokselle. Lisäveden määrällä on mittaus F-2629. Lisäveden lämpövirran määrittämiseksi on hankittava lämpötilamittaus T-lv lisävesisäiliöön. Osaston lämpötase on seuraavanlainen:

$$\Phi_{V\&L} = q_{m,2774} \cdot h(p_{2705}, T_{2735}) + q_{m,lvl} \cdot h(p_{2706}, T_{2731}) - q_{m,2629} \cdot h'(T_{lv}) \quad (10)$$

$\Phi_{V\&L}$ = Vesilaitoksen ja lipeävaraston käyttämä lämpöteho

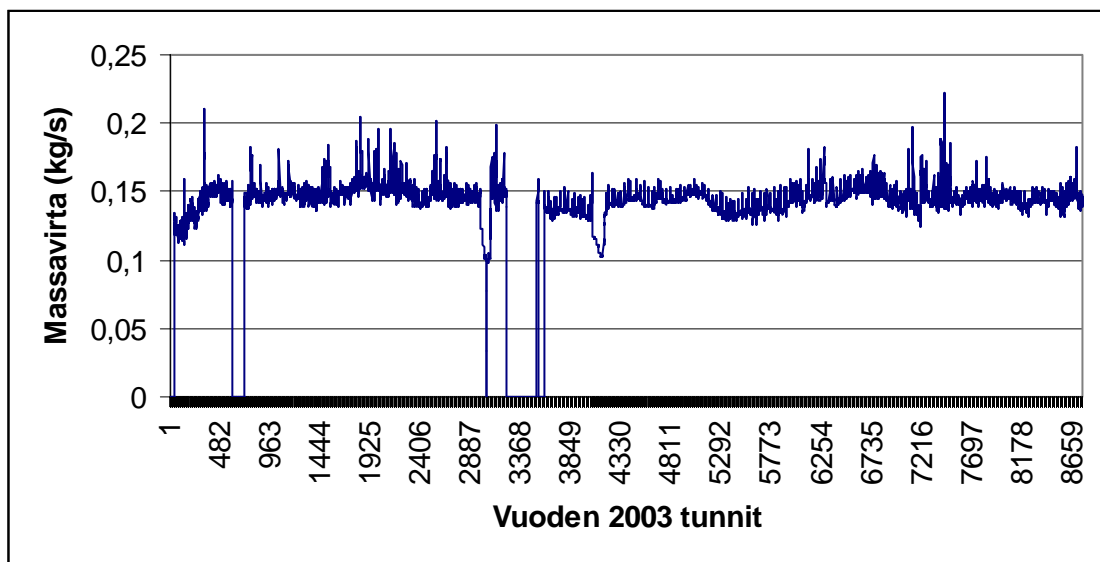
$q_{m,2774}$ = Väliottohöyryn massavirta vesilaitokselle ja lipeävarastolle

$h(p_{2705}, T_{2735})$ = Väliottohöyryn ominaisentalpia

$q_{m,2629}$ = Lisäveden määrä vesilaitokselta voimalaitokselle

$h'(T_{lv})$ = Lisäveden ominaisentalpia

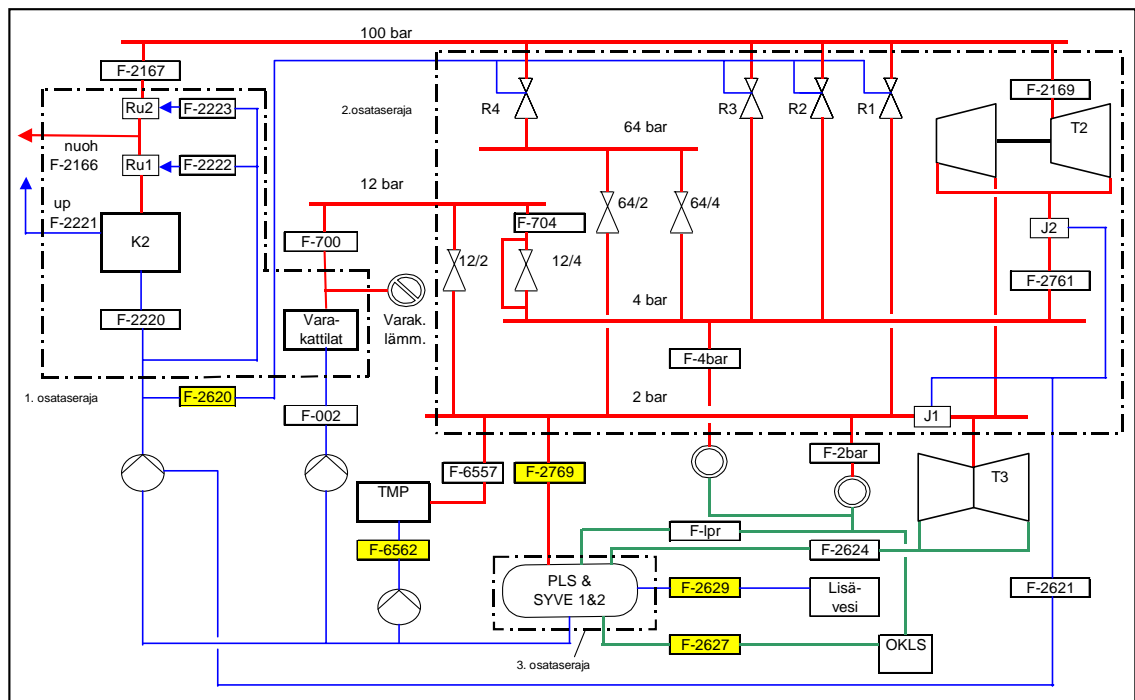
Kuvassa 23 on esitetty väliottohöyryn virtausmäärät lipeävarastolle ja vesilaitokselle. Virtaus on pysynyt läpi vuoden 0,15 kg/s tuntumassa. Tämä saattaa johtua mittausvirheestä, sillä todennäköisesti kesällä kuluu lämmityshöyryä talvikautta vähemmän. Mittauksen nollatulokset ovat ajoilta, jolloin mittaus ei ole ollut toiminnassa.



Kuva 23. väliottohöyrymäärä lipeävarastolle ja vesilaitokselle (F-2774) vuonna 2003.

6.8 Voimalaitos

Voimalaitoksella tuotetaan höyryä kattiloilla 2,3,4 ja 5. Kattila 2:n tuorehöyryllä on massavirranmittaus F-2167. Kattiloiden K3, K4 ja K5 yhteisesti tuottamalla nettohöyryllä on mittaus F-700. Voimalaitoksen lämmön omakäyttöä ovat öljysäiliön lämmitys, öljyn esilämmitys, laitosrakennusten lämmitys, turbosyöttövesipumppu, ulospuhallukset ja nuohoushöyry. Kaikissa näissä kohteissa ei ole höyrymäärän mittausta. Omakäyttölämmön suuruusluokka voidaan arvioida epäsuorasti, kun muualla tehdasalueella kulutettu höyrymäärä tunnetaan. Voimalaitoksen omakäyttölämpö on tällöin tuotetun lämmön sekä muiden osastojen ja sähköntuotannon kuluttaman lämmön erotus. Tällaisen määrittystavan huonona puolena on mittausvirheiden kasaantuminen, joten on ensiarvoisen tärkeää, että massavirran mittaukset ovat luotettavia. Kuvassa 24 on esitetty voimalaitoksen lämpövirrat.



Kuva 24. Voimalaitoksen yksinkertaistetut höyry- ja lauhdevirrat

Voimalaitostasetta voidaan lähteä selvittämään jakamalla voimalaitoksen vesi-höyrypiiri kolmeksi, kuvassa 24 esitetyksi osataseeksi. Ensimmäinen tase käsittää kattiloiden taseen, toinen voimalaitoksen sisäisen höyryjakeluverkon, ja kolmas lauhdeiden ja syöttövesien taseen. Voimalaitoksen omakäyttölämmön seurannan lisäksi

näiden taseiden avulla voidaan tarkastella mittausten oikeellisuutta ja löytää mahdollisia mittausrvirheitä.

6.8.1 Ensimmäinen osatase

Kuvassa 24 esitetty ensimmäinen osatase käsittää kattiloiden taseen. Lähtökohtana tässä taseessa on, että kattiloiden sisään tuotu lämpö on yhtä suuri kuin kattiloista lähteneen höyryn ja häviöiden sisältämä lämpö. Tämä tase on esitetty yhtälössä 11.

$$\Phi_{pa,k} + \Phi_{pa,t} + \Phi_i + \Phi_{muu} + \Phi_{syve} + \Phi_{ru} = \Phi_{th} + \Phi_{up} + \Phi_{nuo} + \Phi_{sk} + \Phi_{loss} + \Phi_{vka} \quad (11)$$

$\Phi_{pa,k}$ = Polttoaineeseen kemiallisesti sitoutunut lämpöteho

$\Phi_{pa,t}$ = Polttoaineen terminen lämpöteho

Φ_i = Palamisilman sisältämä lämpöteho

Φ_{muu} = Muu kattilaan syötetty lämpöteho (esim. petihiekka)

Φ_{syve} = Syöttöveden lämpöteho

Φ_{ru} = Ruiskutusveden lämpöteho

Φ_{th} = Tuorehöyryn lämpöteho

Φ_{up} = Ulospuhalletun veden lämpöteho

Φ_{nuo} = Kattila 2:n nuohoushöyryn lämpöteho

Φ_{sk} = Savukaasujen mukana lähtenyt lämpöteho

Φ_{loss} = Muut kattilan häviöt (esim. tuhkan lämpöhäviö, säteilyhäviö)

Φ_{vka} = Varakattilalaitosrakennuksen lämmityshöyry

Kattilataseen avulla voidaan tarkastella, näyttävätkö tuorehöyryjen määrämittaukset F-2167 ja F-700 järkevää lukemaa. On huomioitava, että edellä laskettu kattilatase ei ole standardin mukainen kattilahyötysuhteen laskentatapa, vaan tase on kehitetty veteen sitoutuvan lämpötehon ja kattilatehon vertailua varten.

Kattiloiden lämpöteho saadaan polttoaine-, ilma- ja savukaasuanalyysin perusteella, sekä tuntemalla kattiloiden tyypilliset häviöt. Termi Φ_{muu} voidaan jättää huomioimatta vähäisen merkityksensä takia. Polttoaineen termien lämpö voidaan olettaa merkityksettömäksi. Syöttöveden massavirta saadaan mittauksista F-2220 ja F-002. Ruiskutusveden massavirta saadaan mittauksista F-2222 ja F-2223. Syöttö- ja ruiskutusvesien ominaisentalpia saadaan mittausten P-2201 ja T-2210 perusteella, pois lukien varakattiloiden syöttövesi, jonka ominaisentalpia saadaan mittauksista P-001 ja P-2706. Kattila 2:n tuorehöyryn lämpövirta saadaan mittausten F-2167, P-2101 ja T-2149 perusteella. Varakattiloiden tuorehöyryn lämpövirta saadaan määritettyä mittauksista F-700, P-701 ja T-702. K2:n ulospuhalluksen massavirta saadaan mittauksesta F-2221. Ulospuhallus tapahtuu lieriön pohjasta, joten tämä massa voidaan perustellusti olettaa kylläiseksi vedeksi. Ulospuhallusveden ominaisentalpia saadaan näin lieriön paineen (P-2104) funktiona. Nuohoushöyrynä käytetään ensimmäisen ruiskutuksen jälkeen otettavaa höyryä. Nuohoushöyryn lämpövirta saadaan määritettyä mittausten F-2166, P-2104, T-2139&T-2143 perusteella. Kattiloiden muut häviöt saadaan kokemuseräisesti polttoainetehon funktiona. Varakattiloiden itse tuottaman lämmityshöyryn määrä voidaan olettaa vuositasolla merkityksettömäksi. Näitä oletuksia käyttäen yhtälö 11 saadaan muotoon:

$$\begin{aligned}
 & q_{m,pa} \cdot H_u + q_{m,i} \cdot c_{p,i} \cdot (t_i - t_o) + (q_{m,2220} + q_{m,2222} + q_{m,2223}) \cdot h(p_{2201}, T_{2210}) \\
 & + q_{m,002} \cdot h(p_{001}, p_{2706}) = q_{m,2167} \cdot h(p_{2101}, T_{2149}) + q_{m,700} \cdot h(p_{701}, T_{702}) \\
 & + q_{m,2221} \cdot h'(p_{2104}) + q_{m,2166} \cdot h(p_{2104}, (T_{2139} + T_{2143})/2) + q_{m,sk} \cdot c_{p,sk} \cdot (t_{sk} - t_o) + \Phi_{loss}
 \end{aligned} \tag{12}$$

$q_{m,pa}$ = Polttoaineen massavirta

H_u = Polttoaineen lämpöarvo

$q_{m,i}$ = Polttoilman massavirta

$c_{p,i}$ = Polttoilman ominaislämpökapasiteetti

t_i = Polttoilman lämpötila

t_o = Taselämpötila (0°C)

$q_{m,sk}$ = Savukaasun massavirta

$c_{p,sk}$ = Savukaasun ominaislämpökapasiteetti

t_{sk} = Savukaasun lämpötila

6.8.2 Toinen osatase

Kuvassa 24 esitetty toinen osatase käsittää voimalaitoksen höyryverkon. Taseeseen tulee kattiloiden tuorehöyryt, hiertämön tuottama LTO-höyry sekä paineenalennus- ja höyryjäähdytysasemien syöttövedet. Taseesta lähtee höyryä tehtaan eri osastoille, voimalaitoksen omakäyttöön ja turbiini 3:lle. Taseesta lähtee myös lämpöä turbiini 2:n sähköntuotantoon. Voimalaitoksen omakäyttö lasketaan epäsuorasti voimalaitoksen höyryverkkoon tuodun lämmön ja paperitehtaalle toimitetun sekä sähköntuotantoon kuluneen lämmön erotuksena. Sähköntuotannon lämmönkulutus määritetään turbiinien takuukokeiden perusteella. Voimalaitoksen höyryverkolle voidaan kirjoittaa seuraavanlainen taseyhtälö:

$$\Phi_{th} + \Phi_{hTMP} + \Phi_{vre} + \Phi_{vji} = \Phi_{hpr} + \Phi_{hok} + \Phi_e \quad (13)$$

Φ_{th} = kattiloiden tuorehöyryyn lämpövirta

Φ_{hTMP} = hiertämöltä tulevan LTO-höyryyn lämpövirta

Φ_{vre} = reduktioasemien ruiskutusveden lämpövirta

Φ_{vji} = höyryjäähdytysveden lämpövirta

Φ_{hpr} = tehtaalle lähtenyt lämpövirta

Φ_{hok} = voimalaitoksen omakäyttöhöyryyn lämpövirta

Φ_e = sähköntuotantoon kulunut lämpövirta

Yhtälössä 13 määritetty omakäyttöhöyry ei sisällä nuohoushöyryä eikä ulospuhallusta. Yhtälöstä 13 johdettu voimalaitoksen omakäyttöhöyry lisättynä ulospuhalluksella ja nuohouksella on esitetty yhtälössä 14:

$$\Phi_{hok} = \Phi_{th} + \Phi_{hTMP} + \Phi_{vre} + \Phi_{vji} + \Phi_{nuo} + \Phi_{up} - \Phi_{hpr} - \Phi_e \quad (14)$$

Tuorehöyryjen lämpövirrat määriteltiin 1. osatsetta laadittaessa. Höyryn jäähdytysveden paineella ja lämpötilalla ei ole mittauksia järjestelmässä, joskin paikallismittausten perusteella paine on ollut n. 36 bar. Lämpötilana voidaan käyttää syöttövesisäiliö 2:n paineen mukaista kylläistä lämpötilaa (125°C). Omakäyttöhöyryn lämpövirran määrittämiseen tarvittavat mittauspositiot on esitetty taulukossa 4.

Taulukko 4. Voimalaitoksen lämmön omakäytön laskennassa tarvittavat mittaukset.

Lämpövirta	Symboli	Osavirtaus	Virtausmittaus	Painemitt	Lämpötilamitt.
Tuorehöyryt:	Φ_{th}	K2	F-2167	P-2101	T-2149
		Varakattilat	F-700	P-701	T-702
höyry TMP:ltä:	Φ_{hTMP}		F-6557	P-6578	T-6556
Syöttövedet:	Φ_{vre}	reduktiovesi	F-2620	P-2201	T-2210
	$\Phi_{vjä}$	höyrynjäähdytysv.	F-2621	-(n. 36bar)	-(n.125°C)
Nuohoushöyry	Φ_{nuo}		F-2166	P-2104	T-2139&T-2143
K2-ulospuhallus	Φ_{up}		F-2221	P-2104	
Prosessihöyryt:	Φ_{hpr}	Teht.lämm.&Kuor.	F-2719	P-2706	T-2731
		PK2	F-2720	P-2706	T-2731
		Kaukolämpö	F-2034	P-2706	T-2731
		PK3	F-3536&F-3548	P-2706	T-2731
	Φ_{hvl}	Vesilaitos*	F-2632	-	T-2595&T-2956
		Vesil.&Lipeäv.	F-2774	P-2705	T-2735
		TMP 4bar	F-6534	P-2705	T-2735
		Kuorimo 4bar	F-5103	P-2705	T-2735
Lämmityshöyryt:	Φ_{hsl}	(Syves. 2 & pls)	F-2769	P-2706	T-2731
Lauhteet	Φ_{lols}	omakäyttölauhdes.	F-2627	-	-(n.110°)
	Φ_{lku}	kuorimo	F-lku	-	-
	Φ_{lkl}	kaukolämpö	F-lkl	-	-

*höyrymäärä lasketaan lämmönvaihtimen toisiopuolen lämpövirrasta.

Voimalaitoksen omakäyttöhöyryvirta mittauspositioita käyttäen on seuraavanlainen:

$$\begin{aligned}
 \Phi_{hok} = & q_{m,2167} \cdot h(p_{2101}, T_{2149}) + q_{m,700} \cdot h(p_{701}, T_{702}) + q_{m,6557} \cdot h(p_{6578}, T_{6556}) \\
 & + q_{m,2620} \cdot h(p_{2201}, T_{2210}) + q_{m,2621} \cdot h(36bar, 125^\circ C) + q_{m,2166} \cdot h(p_{2104}, (T_{2139} + T_{2143})/2) \\
 & + q_{m,2221} \cdot h'(p_{2104}) - (q_{m,6534} + q_{m,5103} + q_{m,2774}) \cdot h(p_{2705}, T_{2735}) \\
 & - (q_{m,2034} + q_{m,2719} + q_{m,2720} + q_{m,3536} + q_{m,3548} + q_{m,hvl}) \cdot h(p_{2706}, T_{2731}) - \Phi_e
 \end{aligned} \quad (15)$$

Yhtälön 15 mukainen voimalaitoksen omakäyttöhöyry pätee, mikäli hiertämölle menevän väliottohöyryn mittaus F-6534 siirretään luvussa 6.2 esitetyn tavan mukaisesti. Nykytilanteessa tämän yhtälön käyttö ei huomioi varakattilalaitoksen lämmitykseen kulunutta höyryä omakäytöksi.

6.8.3 Kolmas osatase

Kuvassa 24 esitetty kolmas osatase käsittää lauhteet, lisävedet, syöttövedet sekä syöttöveden lämmityshöyryt. Energiatase voidaan rakentaa voimalaitoksen päälauhesäiliön ja syöttövesisäiliöiden ympärille yhtälön 16 mukaisesti:

$$\Phi_{hsl} + \Phi_{lpr} + \Phi_{IT3} + \Phi_{lv} + \Phi_{lols} = \Phi_{syve} + \Phi_{vTMP} \quad (16)$$

Φ_{hsl} = säiliöiden lämmityshöyryjen lämpövirta

Φ_{lpr} = tehtaalta palaavan lauhteen lämpövirta

Φ_{IT3} = turbiini 3:n lauhteen lämpövirta

Φ_{lv} = lisäveden lämpövirta

Φ_{lols} = lämpövirta omakäyttölauhesäiliöstä

Φ_{syve} = kattiloiden syöttövesien lämpövirta

Φ_{vTMP} = TMP-syöttöveden lämpövirta

Voimalaitoksen omakäyttö lasketaan nettolämpönä höyryn ja lauhteen entalpian erotuksena. Omakäyttöhöyrystä saadaan talteen omakäyttölauhesäiliön lauhteen ja säiliöiden lämmityshöyryn lämpö. Syöttövesiin siirtynyt voimalaitoksen omakäyttölämmöstä peräisin oleva lämpövirta Φ_{lok} on esitetty yhtälössä 17.

$$\Phi_{lok} = \Phi_{hsl} + \Phi_{lols} = \Phi_{syve} + \Phi_{vTMP} - \Phi_{lpr} - \Phi_{lv} - \Phi_{IT3} \quad (17)$$

Φ_{lok} = Omakäyttöistä talteen saatu lämpö

Omakäyttöistä talteen saatu lämpövirta voidaan siis määrittää joko varsinaisten omakäyttölämpöjen kautta, tai syöttö- ja lisävesien sekä tehtaan lauhteiden lämpövirtojen kautta. Selkeämpi määrittystapa on suoraan omakäyttölämpöjen kautta. Kuorimon ja kaukolämmityksen lauhteet johdetaan voimalaitoksen omakäyttölauhdesäiliöön, joten nämä virrat täytyy vähentää voimalaitoksen omakäyttölauhdesäiliöltä lähtevästä virrasta. Omakäyttölauhdesäiliön lauhteella ei ole lämpötilamittausta. Omakäyttöistä talteen saadun lämmön määrittämiseen tarvittavat mittauspositiot on esitetty taulukossa 4 ja tase mittauspositioita käyttäen on seuraavanlainen:

$$\Phi_{lok} = q_{m,2769} \cdot h(p_{2706}, T_{2149}) + (q_{m,2627} - q_{m,lku} - q_{m,lkl}) \cdot h'(T_{lols}) \quad (18)$$

6.8.4 Ehdotus voimalaitoksen omakäyttölämmön laskennaksi

Voimalaitoksen omakäyttölämpö määritetään omakäyttöön kulutetun höyryn ja palautetun lauhteen lämpövirtojen erotuksena höyryverkko- ja lauhtetaseista (osataseet 2 ja 3). Yhtälössä 19 esitetty omakäyttölämmön laskentatapa noudattelee viranomaisten kanssa sovittua laskentaa, joskaan se ei ole virallinen määrittystapa. Tämä johtuu siitä, että voimalaitoksen nykyiset mittaukset eivät mahdollista omakäyttölämmön mittausta suoraan omakäytön kulutuskohteista. Yhtälö 19 ei myöskään huomioi voimalaitoksen käyttämän kaukolämmön osuutta.

$$\begin{aligned} \Phi_{ok} &= \Phi_{hok} - \Phi_{lok} \\ \Phi_{ok} &= \Phi_{th} + \Phi_{hTMP} + \Phi_{vre} + \Phi_{vjä} + \Phi_{nuo} + \Phi_{up} + \Phi_{lku} + \Phi_{lkl} \\ &\quad - \Phi_{hpr} - \Phi_e - \Phi_{hsl} - \Phi_{lols} \end{aligned} \quad (19)$$

6.8.5 Voimalaitoksen virtausmittausten analysointi

Voimalaitoksella on useita taseenlaadinnassa tarvittavia mittauksia, joita ei ole liitetty tiedonkeruujärjestelmään. Myös virheellistä tietoa antavia mittauksia epäillään olevan

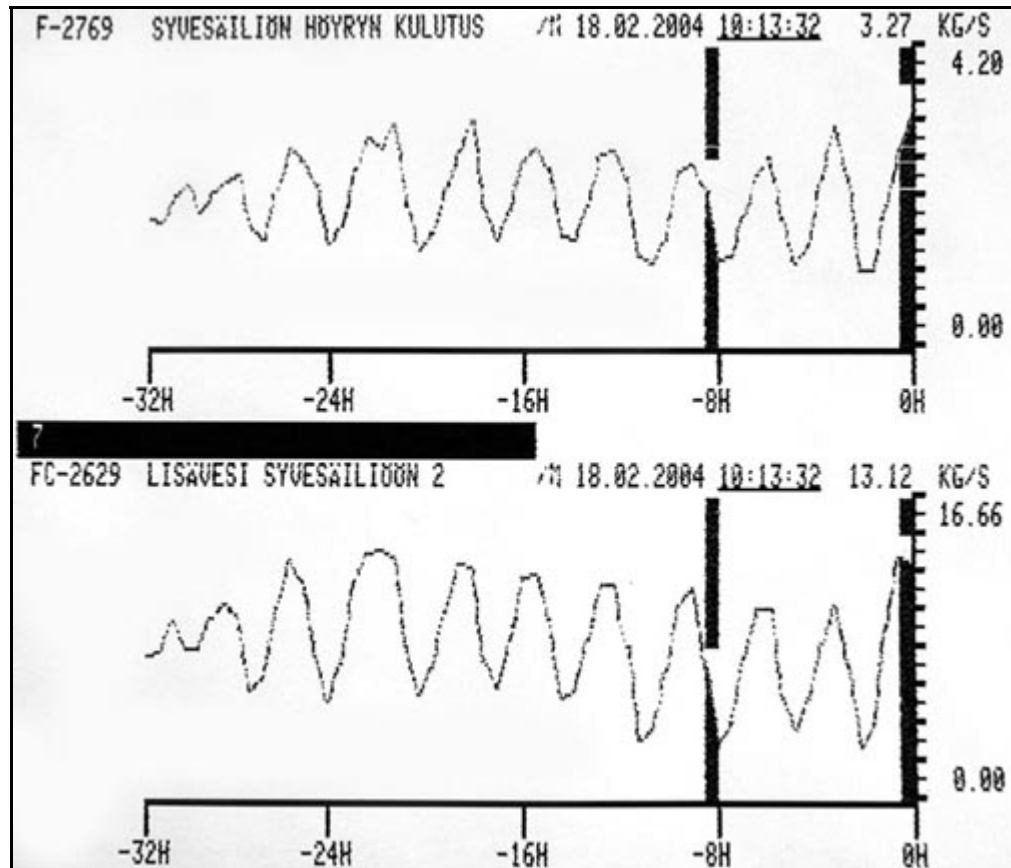
useita. Näiden asioiden takia käsitellään voimalaitoksen virtausmittauksia omana lukunaan.

Vastapaineturbiini 2:lle menevän tuorehöyryn mittaus F-2169 näyttää laitoksen normaalikuormalla (15-20kg/s) n. 2 kg/s vähemmän kuin kattila 2:lta lähtevä virtausmittaus F-2167. Kuitenkin reduktioiden käyttö normaalissa ajotilanteessa on käytännössä olematonta. Laskettaessa höyrymäärä turbiini 2:lle sähkötehon, lämpö- ja painemittausten ennen ja jälkeen turbiinin, sekä generaattorihyötysuhteen (0,98) kautta, täsmää tuorehöyryn mittaus F-2167 melko hyvin tämän laskennan kanssa. Oletetaan täten mittauksen F-2167 osoittavan oikeaa tuorehöyrymäärän lukemaa, eikä käytetä mittausta F-2169.

Turbiini 2:n väliottohöyryn mittaus F-2761 on näyttänyt vuonna 2003 koko ajan arvoa 5-6,5 kg/s jopa laitoksen ollessa pois käytöstä. Mittaus F-2761 ei sisällä reduktioventtiili 3:n höyryä, joten se ei oikein toimiessaankaan mahdollista väliottohöyryn taselaskentaa. Mittaus F-2761 kannattaa poistaa tarpeetonta painehäviötä aiheuttamasta.

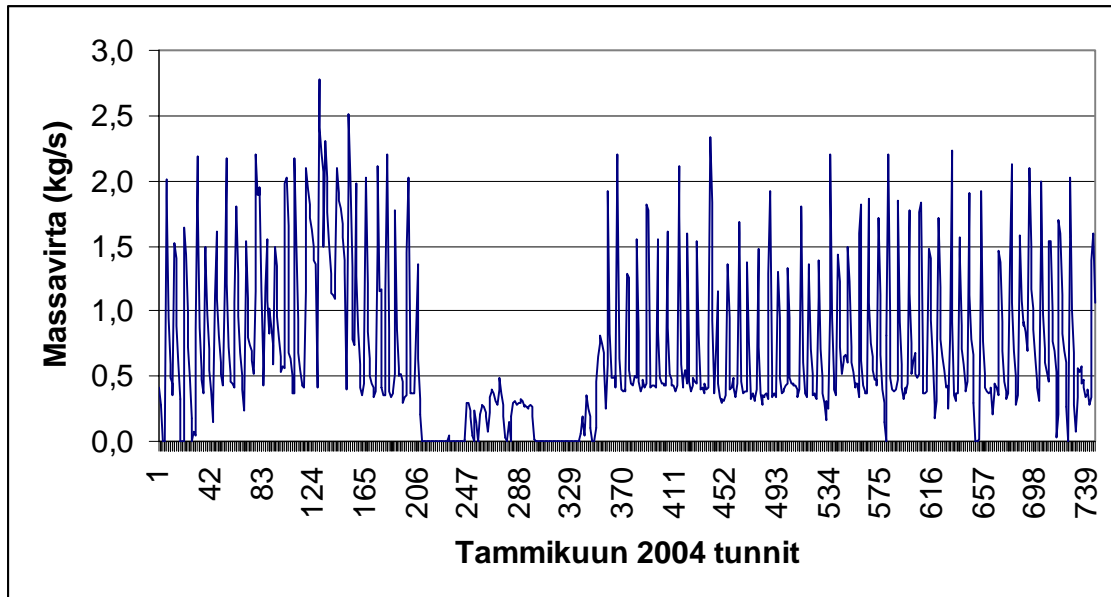
Omakäyttölauhdesäiliön virtausmittaukselle F-2627 on näyttö voimalaitoksen valvomossa. Mittaus on näyttänyt päivittäisten tarkastelujen perusteella 5-8 t/h (keskimäärin 7t/h) virtausta. Mittaustieto on hyödyllistä saada järjestelmään, jotta laitoksen omakäyttölämpö saadaan luotettavasti selvitettyä.

Lisäveden virtausmittaukselle F-2629 ja päälahde- ja syöttövesisäiliö 2:n lämmityshöyryn mittaukselle F-2769 on olemassa tiedonkeräysmahdollisuus 32h ajalta voimalaitoksen Alcont-järjestelmässä. Nämä mittaukset kannattaa myös liittää tiedonkeruujärjestelmään. Virtauksilla on keskenään vahva korrelaatio, sillä kylmän lisäveden myötä tarvitaan lämmityshöyryä lämmittämään vesi kylläiseksi. Päivittäisten tarkastelujen perusteella lisäveden virtaus on näyttänyt keskimäärin n. 8 kg/s ja lämmityshöyryn virtaus 2,1 kg/s. Mittausten luotettavuutta ei ole syytä epäillä. Kuvassa 25 on Alcont-järjestelmästä poimittu mittaustieto lisävedelle ja lämmityshöyrylle eräällä 32 tunnin ajanjaksolla.



Kuva 25. Mittaustietoa lämmityshöyryn (F-2769) ja lisäveden (F-2629) virtauksista.

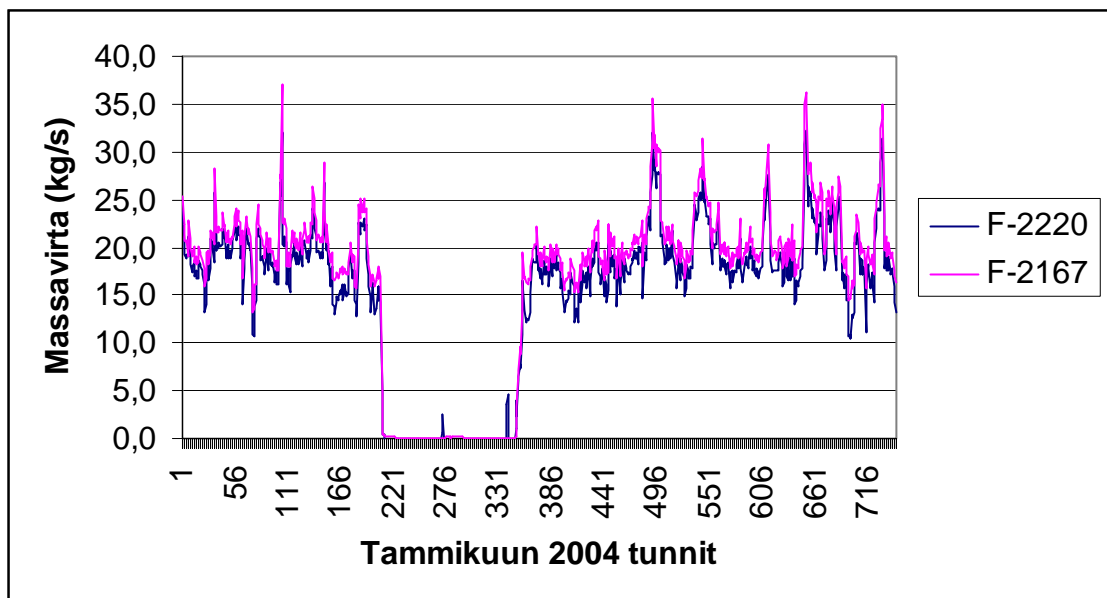
Kattila 2:n nuohoushöyrymäärän mittauksen F-2166 luotettavuus vaikuttaa tarkastelujen perusteella epäilyttävältä. Nuohousta käytetään kolme kertaa vuorokaudessa n. tunnin jaksoina. Muun aikaa virtausta ei pitäisi olla. Laitoksen normaaliajotilanteessa mittauksen pienimpänä arvona on ollut n. 0,4 kg/s. On myös mahdollista että höyryventtiili vuotaa, koska laitoksen seisokissa mitattu höyrymäärä on mennyt nolnaan. Muuten mittaus näyttäisi reagoivan selvästi nuohouksen aikana, mikä näkyy piikkeinä n. 8 tunnin välein. Kuvassa 26 on esitetty nuohoushöyryn virtaus tammikuussa 2004.



Kuva 26. Nuohoushöyrymäärä (F-2166) tammikuussa 2004.

Ruiskutusvesien mittausten F-2222 ja F-2223 sekä höyryn jäähdytysveden mittauksen F-2621 mittaustulokset vaikuttavat järkevilä.

Kattila 2:n syöttövesimäärän mittauksen F-2220 voi epäillä näyttävän liian vähäistä määrää. Kuvassa 27 on esitetty syöttöveden (F-2220) ja tuorehöyryn (F-2167) mittaustulokset.



Kuva 27. Kattila 2:n syöttöveden (F-2220) ja tuorehöyryn (F-2167) mitatut virtausmäärät.

Mittausten mukaan syöttövirta virtaa vähemmän kuin tuorehöyryä syntyy. Syöttövirta kuluu lisäksi ulospuhallukseen ja nuohoukseen. Toisaalta tuorehöyrymäärään sisältyy myös ruiskutusvedet, mutta niiden määrä on ulospuhallusta ja nuohoushöyrymäärää vähäisempi.

6.9 Tehtaan lämpötaseen laadinta

Tässä luvussa laaditaan tehtaan lämpötase Tammikuulta 2004 ja tarkastellaan miten edellä laaditut taseyhtälöt täsmäävät. Taseen laatimiseksi käytettiin oletuksia, mikäli mittaustietoa ei ollut saatavilla. Mittaustietoa käsitelty siten, että taseesta on jätetty huomioimatta pienimmät mitatun virtausmäärän arvot. Pienimmät pois jätetyt arvot vaihtelivat tilanteesta riippuen välillä 0,1-0,4 kg/s. Paine-, lämpötila- ja sähkötehomittauksia tarkasteltaessa todettiin, että näiden mittausten luotettavuutta ei ole syytä epäillä. Virheitä etsittiin vain virtausmittauksista.

Taulukossa 5 on esitetty luvussa 6.8.1 laaditun voimalaitoksen ensimmäisen osataseen mukaiset toteutuneet höyryjen ja syöttövesien lämpövirrat.

Taulukko 5. Voimalaitoksen ensimmäinen osatase (kuvassa 24) tammikuulta 2004.

Positio	Virtaus	MWh/kk	t/kk
Tulevat virtaukset			
F-2220	K2-Syve	6303,0	40884,4
F-2222	Ruiskutus 1	243,6	1579,9
F-2223	Ruiskutus 2	136,9	933,3
F-002	Varak. Syve	1193,1	7743,4
	Yhteensä	7876,6	51141,0
Lähtevät virtaukset			
F-2167	K2-tuorehöyry	41620,2	44949,3
F-2166	K2-nuohous	1208,1	1760,0
F-2221	K2-ulospuhallus	605,1	1533,0
F-700	Varak. tuoreh.	5277,6	6817,0
-	Varak. lämm.	0,0	0,0 (arvio)
	Yhteensä	48711,0	55059,3
Tase-ero			
	Yhteensä	-40834,4	-3918,2 (-7,7%)
josta	K2		-4844,6 (-9,5%)
	Varakattilat		926,4 (1,8%)

Taulukosta nähdään, että kattila 2:n lähtevä massavirta on merkittävästi suurempi kuin syöttövesimäärä. Kun verrattiin kattila 2:n tuorehöyryn mittausta F-2167 generaattori 2:n tehoon perustuvaan laskennalliseen tuorehöyrymäärään, huomattiin että tulokset täsmäsivät varsin hyvin keskenään (liite V,1). Vertailussa todettiin kuitenkin muutamia tilanteita, joissa saadun sähkötehon mukainen höyryvirta on huomattavasti suurempi kuin mitattu tuorehöyrymäärä. Nämä ”piikit” asettuvat suurimpien sähkötehojen kohdalle. Tämä viittaa siihen, että mittauksen F-2167 luotettavuus suurilla massavirroilla on heikko. Mittaus F-2167 vaatii tarkastuksen. Tuorehöyryn mittauksen luotettavuutta tutkittiin myös polttoaineen lämpövirran kautta ajanjaksoilta, jolloin kattila 2:lla on poltettu ainoastaan maakaasua (laskelma liitteessä V,2). Tällaisia ajanjaksoja löydettiin voimalaitoksen päiväraporteista yhteensä 8 kpl tunnin jaksoja. Kattilahyötysuhdelaskelmissa syöttövesimäärä laskettiin takaperin tuorehöyryn ja muiden kattila 2:n vesien ja höyryjen mittaustuloksista. Kattilahyötysuhteen arvoiksi saatiin näiden laskelmien perusteella arvoja väliltä 0,84-0,92, keskiarvon ollessa 0,873. Hyötysuhteen arvo vaikuttaa uskottavalta. Laskelmat vahvistavat mittauksen F-2167 pääsääntöisesti luotettavaksi. Näiden tarkastelujen perusteella voidaan sanoa, että kattila 2:n syöttövesimäärä on likimain tuorehöyryn mittaustuloksen ja kertoimen 1,017 tulo.

Ensimmäiseen osataseen laatimiseen kuuluu myös polttoaineen lämpövirran tunteminen. Täydellinen polttoaineanalyysi on kuitenkin polttoaineen monipuolisuuden ja epähomogeenisuuden takia kallis toteuttaa.

Varakattilalaitoksen massataseessa on melko suuri vaje. Osaltaan tämä johtuu laitoksen itse käyttämästä lämmityshöyrystä, ulospuhalluksista ja vesityksistä. Lisäksi kyseisellä tarkasteluajanjaksolla tehtiin koeajoja, jotka ovat saattaneet vaikuttaa tuloksiin. Laitoksen mittausten luotettavuuden kattavampi tarkastelu vaatii lisätietoa laitoksen käyttäjakoilta.

Taulukko 6. Voimalaitoksen toinen osatase (kuvassa 24) tammikuulta 2004.

Positio	Virtaus	MWh/kk	t/kk
Tulevat virtaukset			
F-2167	K2-tuorehöyry	41103,4	44949,3
F-700	varak. tuoreh.	5277,6	6817,0
F-2621	jäähdytysvesi	247,7	1672,8
F-2620	reduktiovesi	110,0	200,0 (arvio)
F-6557	TMP-LTO	24764,4	32644,0
	Yhteensä	71503,1	86283,1
Lähtevät virtaukset			
-	raakaveden lämm.	1786,4	2294,7
F-6534	TMP:n väliottohöyry	3651,6	4733,7
F-2774	lipeäv.&vesil.	311,1	403,2
F-5103	kuorimo, väliottoh.	1182,1	1527,9
F-2720	PK2	16825,3	21747,1
F-2034	kaukolämmitys	2711,7	3511,1
F-2719	tehtaanlämmitys	5543,9	7179,7
F-3536&F-3548	PK3	36880,3	48010,0
F-2769	Syve2&päälauhdes.	4349,1	5632,2
(tehonmittauksesta)	T2	5681,9	0,0 (arvio)
F-2624	T3	0,0	0,0
	Yhteensä	78923,4	95039,6
Tase-ero			
		-7530,4(-10,5%)	-8956,5(-10,4%)

Toisesta osataseesta (taulukko 6) lähteviä massa- ja lämpövirtauksia on mittausten mukaan lähes 10% enemmän kuin taseeseen tulevia lämpövirtoja. Tase-eron tulee olla positiivinen (tulohöyry suurempi kuin lähtevä höyry), jotta voimalaitoksen omakäytölle jää osuus höyrynkulutuksesta. Taseen suurta epätasaisuutta kannattaa lähteä selvittämään sopivassa tilanteessa koemittauksin suurimmista virtausmääristä alkaen. Lähtevien virtausten osalta suurimmat virtaukset ovat paperikoneiden höyry, ja tulevien osalta kattila 2:n ja hiertämön höyry. Edellä on tutkittu PK3:n ja PK2:n höyrymääriä ja niiden todettiin vaikuttavan järkeviltä. Paperikoneet kuluttavat kuitenkin n. 70% kaikesta höyrystä, joten näiden osastojen mittauksiin kohdistuvat suurimmat epäilyt mittausten luotettavuudesta. Tehtaanlämmityksen mittaus F-2719 edustaa niin suurta osuutta tehtaan kokonaiskulutuksesta, että tämänkin koemittaus on suositeltavaa. Mittauksia F-2719 (tehtaanlämmitys) ja F-2720 (PK2) on mahdollista tutkia myös siten, että sopivassa tilanteessa estetään virtaus toisen mittauksen läpi, jolloin höyry otetaan osastoille vain toisesta höyrylinjasta. Tämän jälkeen tarkkaillaan, kuinka suurta virtausmäärää virtaamattoman höyrylinjan mittaus näyttää.

On mahdollista, että tulevien virtausten mittaukset näyttävät liian pientä lukemaa. Voimalaitoksen osalta tätä asiaa tarkasteltiin ensimmäistä osatasetta analysoitaessa. Mikään ei toisaalta viittaa hiertämön tulohöyryn mittauksen F-6557 epäluotettavuuteen, mutta näin suuren höyrymäärän ollessa kyseessä, kannattaa koemittaus tehdä.

Taulukko 7. Voimalaitoksen kolmas osatase (kuvassa 24) tammikuulta 2004.

Positio	Virtaus	MWh/kk	t/kk
Tulevat virtaukset			
F-2769	Syve2&päälauhdes.	4349,1	5632,2
F-3532	PK3-lauhde	4122,3	40788,1
F-2036	PK2&teht.lämm. la	2719,0	21235,6
F-2629	Lisävesi	1235,1	22231,0
F-2627	ok-lauhdesäiliö	665,5	5208,0
F-2624	T3	0,0	0,0
	Yhteensä	13091,0	95094,9
Lähtevät virtaukset			
F-2220	K2-Syve	6399,9	45713,4
F-2222	Ruiskutus 1	221,2	1579,9
F-2223	Ruiskutus 2	130,7	933,3
F-2620	reduktiovesi	110,0	200,0 (arvio)
F-2621	jäähdytysvesi	234,2	1672,8
F-002	Varak. Syve	1193,1	7743,4
F-6562	TMP-syve	4644,7	36271,1
	Yhteensä	12933,8	94113,9
Tase-ero			
		157,1 (1,2%)	981,1 (1,0%)

Taulukossa 7 on esitetty kolmas osatase. Kolmannen osataseen määrittämisessä päästiin hyvään lopputulokseen. Muutamissa virtauksissa tulevien virtauksien osalta jouduttiin historiatietojen puuttuessa tyytymään arvioitujen keskimääräisten virtausmäärien käyttöön. Lisävesi esilämmitetään ennen syöttövesisäiliötä liejun jäähdyttimessä ja päälauhdesäiliön hönkälämmönvaihtimessa. Lisäveden lämpötilaksi esilämmityksen jälkeen on arvioitu 50°C. Lauhdeturbiinia ei tämän tarkastelujakson aikana käytetty. Hiertämön syöttöveden määrän mittaustiedon puuttuessa arvioitiin hiertämöltä palautuvan höyrynä 90% syöttöveden massavirrasta. Kattila 2:n syöttöveden määränä käytettiin kattilan höyryjen ja vesien mittauksiin perustuvaa määritystapaa, eikä varsinaista syöttövesimittausta F-2220, joka todettiin epäluotettavaksi. Verrattaessa toista ja kolmatta osatasetta, huomataan että toisen osataseen lähtevien virtausten täsmäävät melko hyvin kolmannen osataseen kanssa. Tämä viittaa toisen osataseen

tulevien virtausten mittausvirheeseen. Toisaalta kolmannen osataseen määrittämisessä tehtiin niin paljon oletuksia, ettei tarkempaa analysointia kannata tehdä ennen kuin lisäveden, omakäyttölauhteen, lämmityshöyryjen ja hierontämön syöttöveden mittaukset on liitetty tiedonkeruujärjestelmään.

6.10 Suositeltavat toimenpiteet osastokohtaisten lämpötaseiden selvittämiseksi

Tehtaan osastokohtaisen lämmönkulutuksen selvittämiseksi tulee tehdä mittaushankintoja ja muutoksia höyryjakelutapaan. Epävarmoja mittauksia on tarkistettava ja tarvittaessa uusittava. Muutamia mittauksia kannattaa liittää tiedonkeruujärjestelmään. Tehtaalla on höyryvirtausmittauksia, jotka ovat tarpeettomia osastokohtaisten energiataseiden laadinnassa. Nämä mittaukset kannattaa poistaa tarpeettoman painehäviön torjumiseksi. Suositeltavat toimenpiteet osastokohtaisten lämpötaseiden selvittämiseksi on koottu taulukoksi liitteeseen I. Taulukkoon on myös merkitty näkemys toimenpiteiden tärkeydestä.

7 SELVITYS LÄMPÖENERGIAN SÄÄSTÖMAHDOLLISUUDESTA

Lämpöenergian säästömahdollisuutta lähdettiin selvittämään eri osa-alueilta, jotka jaettiin seuraavasti:

- Lauhteenpalautuksen lisääminen
- Alempipaineisen höyryn käyttö
- Sekundäärilämpöjen hyödyntäminen
- Muut lämmönsäästömahdollisuudet

Lauhteenpalautusten lisääminen vähentää tehtaan lämmönkulutusta, koska lauhtenhäviön korvaavaa lisävedtä ei tarvitse lämmittää lauhteen lämpötilaan. Lisävesi lämmitetään päälauhde- ja syöttövesisäiliöissä vastapainehöyryllä. Lämmitykseen käytettävää höyryä käytetään ensin sähköntuotantoon, joten lauhteenpalautuksen järjestäminen vähentää lisäveden määrään verrannollisen määrän sähköntuotantoa. Lämmityshöyry ei kuitenkaan kulje kokonaisuudessaan turbiinin läpi, sillä vastapainetukkiin menevää höyryä joudutaan jäähdyttämään sopivan lämpötilan aikaansaamiseksi. Tämä korostuu voimalaitoksen nykytilanteessa, jossa vastapaineturbiinin isentrooppinen hyötysuhde on varsin matala, johtuen kaukana optimiarvosta olevasta tulohöyryn määrästä ja käyttövuosien mukanaan tuomasta normaalista kulumisesta. Tuorehöyryn lämpötilan ollessa normaalitasolla (500°C), on jäähdytysveden osuus painetasosta riippuen 6% (vastapaine) - 9% (väliotto) jakeluun menevästä höyrymäärästä. Lauhteenpalautuksesta aiheutuu pumppauskustannuksia, kun lauhde pumpataan takaisin voimalaitokselle. Toisaalta lisä- ja syöttöveden pumppaustarve vähenee, joten pumppausten sähköntarpeen muutos voidaan katsoa merkityksettömäksi. Lauhteenpalautuksen järjestämisen aikaansaaman säästön selvittämiseksi tehtiin laskentaohjelma Excel-taulukkolaskentaohjelmalla. Ohjelmaan syötetään alkuarvona osaston vuodessa kuluttama höyrymäärä, jolloin tulokseksi saadaan uuden järjestelmän aiheuttama muutos verrattuna nykytilanteeseen. Ohjelman muuttujat ovat höyryjen ja vesien ominaisentalpian arvot. Laskenta perustuu höyryjäähdytysasemien ja syöttövesisäiliön ympärille muodostettuihin massataseisiin.

Käytettävän höyryn painetason alentaminen lisää vastapainesähkön tuotantoa ja tehtaan lämmönkulutusta. Muutoksen rahallinen hyöty riippuu tällöin sähkön ja polttoaineen hintojen erosta sekä voimantuotantoprosessin hyötysuhteesta. Kulutettavan höyryn painetason aletessa pienenee myös höyryn massavirran tarve. Tämä johtuu alemman painetason suuremmasta lauhtumislämmöstä. Vastaavasti lauhdetta joudutaan lämmittämään enemmän vastapainehöyryllä syöttövesisäiliössä. Tämä lisää lämmityshöyryn tarvetta. Muutoksen edellytyksenä on, että alemmpipaineinenkin höyry takaa lämmönkuluttajalle riittävän lämpötilatason. Vastapainetason alentamisen aiheuttaman vaikutuksen selvittämiseksi kehitettiin Excel-pohjainen laskentaohjelma, joka laskee lämmöntarpeen ja sähköntuotannon lisäyksen. Ohjelmaan syötetään alkuarvona osaston kuluttama vuotuinen väliottohöyrymäärä. Muuttujina ovat vesien ja höyryjen ominaisentalpian arvot. Lisäksi tilannetta voidaan tarkastella erilaisilla kattilaja turbogeneraattorihyötysuhteiden arvoilla.

Taulukossa 8 on esitetty lauhteenpalautus- ja painetason alentamislaskelmissa käytetyt ominaisentalpian arvot.

Taulukko 8. Laskelmissa käytetyt ominaisentalpian arvot.

Aine	Ominaisentalpia (kJ/kg)
Tuorehöyry	3380
Väliottohöyry	2975
Vastapainehöyry	2900
Väliottohöyry jäädytyksen jälkeen	2773
Vastapainehöyry jäädytyksen jälkeen	2755
Väliottohöyryn lauhde	600
Vastapainehöyryn lauhde	500
Syöttövesi syve-pumpun jälkeen	550
Lisävesi	210

Laskelmissa on käytetty kattilahyötysuhteen arvona 0,88 ja mekaanisten ja generaattorihyötysuhteen yhteisenä arvona 0,98. Ominaisentalpioiden ja hyötysuhteiden arvot perustuvat voimalaitoksen ohjausjärjestelmän mittaustietoihin ja henkilökunnan näkemyksiin.

Sekundäärilämpöjen uusia hyödyntämismahdollisuuksia lähdettiin tarkastelemaan lähinnä osastojen henkilöstön haastatteluin. Myös aiemmissa lämmönsäästötutkimuksissa oli löydetty ehdotuksia sekundäärilämpöjen hyödyntämiseksi. Näistä kerättiin jatkotarkasteluun edelleen käyttökelpoisilta tuntuvat ehdotukset.

Paperitehtailta on löydettävissä myös muita lämmönsäästämahdollisuuksia kuin edellä mainitut. Näitä mahdollisuuksia etsittäessä on tutustuttu alan kirjallisuuteen sekä haastateltu tehtaan henkilöstöä.

Lämmönsäästöpotentiaalin laskelmissa on tukeuduttu olemassa oleviin höyryn-, lauhteen- ja sähkön mittauksiin. Tämä tarkastelutapa aiheuttaa mittausvirheiden suoran vaikutuksen investoinnin kannattavuuteen. Varsinkin yleisesti epäluotettavimpina pidettyjen höyrymittausten osalta kannattaa tehdä koemittaus mittalaipan luotettavuuden toteamiseksi. Lämmönsäästämahdollisuuksia tarkastellaan osastoittain.

7.1 Kuorimo

Kuorimon puunsulatusvesi lämmitetään höyryllä 50°C:een lämpötilaan. Puunsulatusveden alkulämpötila on keskimäärin 10°C. Lämmitys tapahtuu suoralla höyrynlisäyksellä, joten lauhdetta ei saada palautettua voimalaitokselle. Merkittävää lämpöhäviötä lauhteen menetyksestä ei synny, koska lauhde saadaan jäädytettyä keskimäärin 30°C:een lämpötilaan. Mikäli osastolle hankitaan lämmönvaihdin höyry- ja lauhdeputkineen, saadaan pelkkä höyryn lämpö siirrettyä puunsulatusveteen, eikä tule lauhteen häviötä. Puunsulatukseen käytetyn höyryn massavirta on ollut v. 2003 keskimäärin 0,25 kg/s. Laskelman (liite II,2) mukaan lämmönvaihdininvestointi vähentää lauhdehävikkiä 7900t/a sekä lisää lämmöntarvetta 1000GJ/a ja sähköntuotantoa 40MWh/a. Taloudellisempi puunsulatusveden lämmitystapa on sekundäärilämmön käyttö, mutta riittävän lämpimän ja käytettävissä olevan virtauksen löytäminen voi olla vaikeaa. Myös kuorimon kaukainen sijainti massan- ja paperinvalmistusosastoihin nähden asettaa rajoituksia (liite IV).

Kuorimorakennuksen lämmitys on hoidettu vaihtamalla väliottohöyryn lämpöä raakaveteen, jota kierrätetään osaston lämpöpattereissa. Kuorimon höyryputkistot mahdollistavat myös vastapainehöyryn käytön lämmitykseen, mutta tätä mahdollisuutta ei käytetä lämmityksen riittämättömyyden takia. Syynä tähän voi olla lämmityksen raakavesiputkiston sisäpinnan likaantuminen. Mikäli lämmitysvesiputkisto puhdistetaan ja vesikierto suljetaan, voisi vastapainehöyryn lämpötilataso taata riittävän lämpötilan pitämään kuorimorakennuksen lämpimänä. Väliottohöyryn määrä kohteeseen vuonna 2003 oli n. 14000t. Laskelman (liite II,5) mukaan vesikierron sulkemisella pystytään lisäämään sähköntuotantoa 320 MWh/a, jolloin myös lämmöntarve kasvaa 1300 GJ/a.

7.2 Hiertämö

Vuonna 2000 tehdyn energiakatselmuksen mukaan hiertämön lämpötalouden parantamismahdollisuus kohdistui tuolloin rejektinkäsittelyn muuttamiseksi paineelliseksi. Tämä muutos tehtiin vuonna 2001 lisäten höyryntuotantokapasiteettia 4,2kg/s. Hiertämön lämmön talteenoton kylläisen 3-bar höyryn tuotantokapasiteetti on 19kg/s. LTO-höyry johdetaan vedenerottimen kautta voimalaitoksen vastapainehöyrytুক্কisiin. Hiertämön höyryntuotanto kattaa n. 35% koko tehtaan höyryntarpeesta. Ajoittain on tilanteita, jolloin kaikelle hiertämön tuottamalle höyrylle ei ole käyttöä tehtaalla. Tällöin likaisen puolen höyryä puhalletaan ulos.

Hiertämö kuluttaa oman höyrynsä ohella voimalaitoksen väliottohöyryä. Laitoksen käynnistyksessä käytettävän väliottohöyryn korvaamista vastapainehöyryllä on kokeiltu, mutta se ei osoittautunut käyttökelpoiseksi ajotavaksi. Tärkkelyksen valmistukseen käytettävän väliottohöyryn korvaamista LTO-höyryllä kannattaa tutkia. Mikäli tämä ajotapa on mahdollinen tärkkelyksen valmistusprosessille, saadaan laskelman (liite II,9) mukaan voimalaitoksen sähköntuotantoa kasvatettua 710 MWh/a polttoainelämmöntarpeen kasvaessa 3000 GJ/a. Väliottohöyryn kulutus vuonna 2003 hiertämöllä oli n. 38000t, josta n. 95% käytettiin tärkkelyksen valmistukseen.

Hiertämön LTO-höyry pyritään hyödyntämään täydellisesti. Mikäli höyryntuotanto ylittää tehtaan kulutuksen, kannattaa voimalaitos ajaa mahdollisuuksien mukaan

minimikuormalle. Hiertämön likaisen lauhteen ulospuhallus on taloudellisesti huonoin höyryntasauskeino. Lämmön ylituotantotilanteessa kannattaa yrittää löytää jokin hyödyllinen kulutuskohde lämmölle. Esimerkiksi raakaveden lämmitys on tällainen kohde. Lämpö saadaan tällöin varastoitua raakaveteen ja veden lämmitystarve muilla osastoilla vähenee. Vesilaitoksen raakaveden lämmityskapasiteetti on n. 8 MW, jota vastaa n. 4 kg/s LTO-höyryvirtaus.

Hiertämön LTO-höyryputken oikaisu paperikone 3:lle on käsitelty PK3:n lämmönsäästämahdollisuuksia käsittelevässä luvussa.

7.3 Hiomo

Hiomolla lämpöenergiaa käytetään ainoastaan osaston lämmitykseen. Lämmitykseen käytetään kaukolämpöä ja höyrypattereita. Lämpöenergian säästämahdollisuus rajoittuu lämmitysenergian järkevään käyttöön. Tämä tarkoittaa sitä, ettei osastoa tulevaisuudessakaan lämmitetä tarpeettoman korkeaan lämpötilaan. Hiomon lämmön talteenottoa on tehostettu siirtämällä kirkassuodosvesien lämpöä paperikoneiden muihin vesiin.

7.4 Paperikone 2

Paperikone 2:n tuotanto vuonna 2003 oli 114 000t koneen lämmön ominaiskulutuksen ollessa 5,18 GJ/t (laskentaperuste liitteessä VIII). Ominaiskulutusta voidaan pitää normaalina verrattuna liitteen VI paperikoneisiin. Paperintuotannon vähäisyys edellisiin vuosiin nähden on kasvattanut PK2:n ominaiskulutusta. Tällöin kiinteäluonteisen lämmönkulutuksen (mm. osaston lämmitykset) osuus on korostunut runsaaseen paperintuotantovuoteen verrattuna.

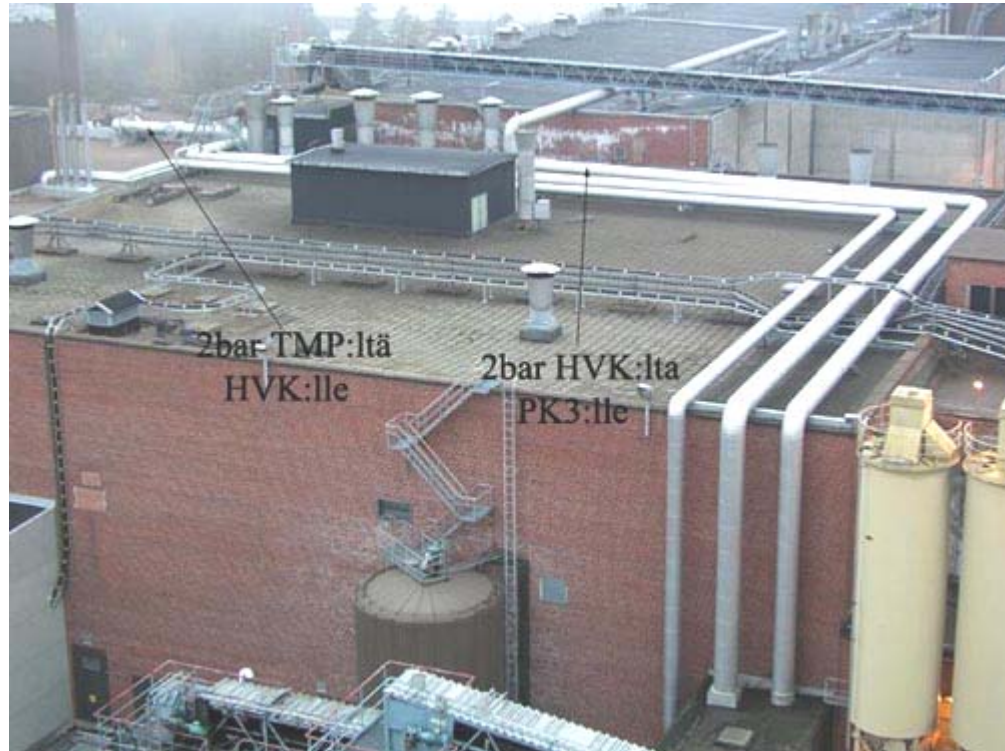
Paperikone 2:lla on tehty hiljattain kattava lämmön talteenoton remontti. Suurin lämpötalouden parannusinvestointi kohdistuu turbopuhaltimen (Sulzer-puhallin) poistoilman lämmön talteenottoon. Nykyään poistoilma johdetaan suoraan taivaalle.

Tällä lämpöenergialla voidaan korvata esim. kemiallisesti puhdistetun veden lämmitykseen käytettävää vastapainehöyryä. Mikäli puhaltimen poistohöyryä jäädytetään lämmönvaihtimessa lämpötilaan 60°C, voidaan laskelman (liite II,10) mukaan säästää polttoainekuluissa n. 24000 GJ/a. Voimalaitoksen sähköntuotanto vähenee tällöin n. 1000 MWh/a. Energiataloudellisesti parempi keino turbopuhaltimen poistoilman lämmön talteenottoon on jäädyttää imettävä kostea ilma ennen puhallinta, jolloin vettä tiivistyy lämmönvaihtimen lämmönsiirtopinnoille. Tämä vähentää puhaltimen tilavuusvirtaa, joka taas vähentää tarvittavaa sähkötehoa. Puhaltimen kuumaa ja kuivaa poistoilmaa voidaan käyttää suoraan huuven korvausilmana. Liitteessä II,11 olevan laskelman mukaan tehtaan sähköntarve vähenee tällöin n. 500 MWh/a ja polttoainelämmön tarve vähenee 28000GJ/a.

7.5 Paperikone 3

Taloudellisesti kannattavia lämmönsäästöinvestointeja on paperikone 3:lle vaikea löytää. Kehitystyö perustuu lähinnä olemassa olevan järjestelmän kunnossapitoon ja kehitykseen. PK3:n AHR-lämmönvaihtimelle on vaihdettu uusia lämmönvaihtimien kennoja. LTO-järjestelmän optimoivaan ajotapaan kannattaa kiinnittää huomiota kosteusmittausten avulla. Höyry- ja lauhdemittausten kehittäminen tuo luotettavuutta energiankulutuksen seurantaan.

PK3:n yhtenä pullonkaulana on kuivatuskapasiteetti. Osastolla onkin pohdittu korkeapaineisemman höyryn käyttöön siirtymistä. Hiertämön LTO-höyry on kylläistä 3bar paineista höyryä. Mikäli LTO-höyrylinjasta otetaan höyryä suoraan PK3:lle (kulkematta voimalaitoksen kautta) kasvaa kuivatushöyryn lauhtumislämpötila 123°C:sta 133°C:een. Normaalitilanteessa hiertämön höyryntuotanto kattaa lähes täydellisesti PK3:n kulutuksen (TMP-LTO: 12,0kg/s, PK3:n 2-bar: 13,2kg/s). LTO-höyryn johtaminen hiertämöltä suoraan PK3:lle pienentää joka tapauksessa linjan painehäviötä n. 0,3 bar (höyryn kulkema matka lyhenee n. 300m ja useat kertavastukset poistuvat). Mikäli höyrylinjojen kytkentöjä uusitaan, tulee höyryn määrämittauksia siirtää lämpövirtojen selvittämiseksi. Kuvassa 28 on esitetty voimalaitokselta hiertämölle ja PK3:lle meneviä höyrylinjoja.



Kuva 28. Hiertämön ja PK3:n höyryjakelulinjat

7.6 Tehtaanlämmitys

Lämmönsäästö tehtaanlämmityksessä perustuu kaukolämpö- ja höyryverkon kunnossapitoon. Tehtaan turhaa lämmitystä tulee välttää, sillä yhdenkin asteen lämpötilannosto lisää lämmityskuluja huomattavasti. Tässäkin kulutuskohteessa mittaroinnin kehittäminen tuo tärkeää tietoa lämmönkulutuksesta.

7.7 Jälkikäsitteily

Jälkikäsitteilyn lämmönsäästö perustuu osaston järkevään lämmitykseen. Osaston lämmönkäyttö tulee selvittää mittarointia kehittämällä. Tällä hetkellä osaston höyrynkäyttö kuuluu PK3:n mittausten piiriin, eikä jälkikäsitteilyn kulutusta eritellä. Myös jonkin sekundäärilämmön hyödyntäminen osaston lämmityksessä saattaa olla mahdollista.

7.8 Vesilaitos ja lipeävarasto

Vesilaitoksella on neljä höyry-vesi-lämmönvaihdinta, joista kolmella lämmitetään kemiallisesti puhdistettua vettä ja yhdellä raakavettä. Näistä lämmönvaihtimista lauhteet johdetaan vesilaitoksella sijaitsevan suolattoman veden säiliöön, eli lauhde ja lauhteen lämpö saadaan talteen. Höyrynpainetason alentaminen vesilaitoksella lisää sähköntuotantoa n. 80 MWh/a ja lämmöntarvetta n. 300 GJ/a (laskelma liitteessä II,7).

Lipeävarastolla pidetään lipeää n. 38°C lämpötilassa. Kohteesta on ollut aikoinaan lauhteenpalautus, mutta putkiston jatkuvien vuotojen takia palautuksesta on luovuttu. Lipeävaraston vuonna 2003 käyttämä höyrymäärä oli 1400 t/a. Lauhteenpalautus vähentää lämmöntarvetta n. 800 GJ/a, sähköntuotantoa n. 30 MWh/a ja lisävedentarvetta 1400 t/a (laskelma, liite II,3). Painetason alentaminen lisää sähköntuotantoa n. 30 MWh/a ja lämmöntarvetta 130 GJ/a (laskelma liitteessä II,6).

7.9 Voimalaitos

Voimalaitoksella on paljon lämmön omakäyttöä. Lauhdetta palauttamattomia kohteita ovat öljysäiliön lämmitys, öljyn esilämmitys ja varakattilalaitoksen lämmitys. Öljyn lämmitystarve on verrattain vähäistä, joten lauhteenpalautuksen järjestäminen ei ole taloudellisesti kannattavaa. Varakattilarakennuksen lämmitykseen käytetään väliottohöyryä, jonka lämpö vaihdetaan kiertoveteen. Lauhdetta ei palauteta. Lauhteiden talteenotto vähentää lämmöntarvetta 1100 GJ/a, sähköntuotantoa 40 MWh/a ja lisävedentarvetta 2000 t/a (laskelma liitteessä II,4).

Muita voimalaitoksen lämmönkuluttajia ovat:

- Syöttövesi- ja päälahdesäiliöiden lämmitys
- Ulospuhallus
- Kattila 2:n nuohous
- Rakennusten lämmitys
- turbosyöttövesipumppu

Syöttövesi- ja päälahdesäiliöitä lämmitetään suoralla vastapainehöyryn lisäyksellä. Lauhteet jäävät säiliöihin, eli ne saadaan täydellisesti talteen. Tähän kulutuskohteeseen ei ole olemassa taloudellisempaa lämmitystapaa.

Lieriön pohjasta tapahtuva syöttöveden ulospuhallus kuuluu laitoksen pakollisiin toimintoihin, eikä sitä voida jättää tekemättä saostumien syntymisen takia.

Kattila 2:n nuohoushöyrynä käytetään höyryä ensimmäisen ruiskutuksen jälkeistä höyryä. Lauhdetta ei saada talteen. Käytetty nuohoushöyrymäärä Tammikuussa 2004 oli 1760t, mikä vastaa 21000t vuosikulutusta. Lisäksi höyryn korkean ominaisentalpian (n. 3150 kJ/kg) takia käyttöä saattaa olla taloudellista korvata erilaisella nuohousmenetelmällä, kuten ääninuohouksella. Jos oletetaan, että nuohoushöyryn lämpöä ei saada talteen kattilassa, on menetetty lämpö n. 69000 GJ/a. Ääninuohouksen takia ostosähköntarve kasvaisi n. 600MWh/a ja lisäveden tarve vähenisi n. 21000 t/a (laskelma liitteessä II,13). Ääninuohoimet saavat aikaan värähtelyä, minkä ansiosta lika irtoaa kattilan lämpöpinnoilta. Ääninuohoimet vaativat paineilmaa äänipulssin tuottamiseen ja nuohoimen jäähdytykseen /18/. Nuohous on periaatteessa mahdollista toteuttaa pelkällä ääninuohouksella, mutta järkevintä on ehkä hankkia ensin muutama koenuohoin, ja todeta laitteiston käyttökelpoisuus kattila 2:lle.

Kattilarakennusten (HVK1&2) lämmitykseen käytetään pääasiassa kaukolämpöä. Lämmityksessä ei ole tehostamismahdollisuutta.

Turbiinikäyttöinen syöttövesipumppu on varapumppuna, joskin sitä koekäytetään säännöllisin väliajoin. Lämmön talteenottoa turbiinissa paisuneesta höyrystä ei kannatta harkita vähäisen höyrymäärän takia.

Voimalaitoksen korkeapaine-esilämmittimet on otettu pois käytöstä. Nykytilanteessa tyypillisellä 16 kg/s tuorehöyryn massavirralla saadaan tutkimuksen mukaan laitoksesta n. 300kW lisää sähkötehoa mikäli korkeapaine-esilämmittimet otetaan käyttöön /19/. Esilämmitys lisää laitoksen höyryntarvetta kasvavan väliottohöyryn massavirran takia, joskin lämmöntarve vähenee suuremman syöttöveden lämpötilan takia. Lämpötehontarpeen nettokasvu esilämmittimiä käyttäessä on n. 500 kW. Korkeapaine-esilämmityksen havaittiin nostavan savukaasun loppulämpötilaa kasvattaen savukaasuhäviötä. Esilämmittimien käyttöönotto vaatisi pinnansäätölaitteiden, sivulauhdepumppujen ja putkisarjojen uusinnan sekä käyttöönottotarkastuksen.

Voimalaitoksella on tutkittu savukaasupesuri-investointia. Savukaasupesurista saadaan lämpöä talteen raakaveden lämmitykseen. Tutkimuksen /20/ mukaan pesurin lämmön talteenottoteho olisi maksimissaan n. 20 MW. Vuotuseksi huipunkäyttöajaksi arvioidaan 0,5 vuotta. Mikäli savukaasupesurilla pystytään korvaamaan höyrynkäyttöä, vähenee polttoaineentarve 250000 GJ/a ja sähköntuotanto 12000 MWh/a (laskelma liitteessä II,12).

7.10 Yhteenveto lämmönsäästöehdotuksista

Lämmönsäästöehdotukset on laadittu olemassa olevien mittauksen perusteella. Mahdolliset mittausvirheet vaikuttavat suoraan laskelmien säästettäviin energiamääriin. Säästölaskelmat ovat yksinkertaistettuja, ja todellisen säästöpotentiaalin selvittämiseksi täytyykin tehdä lisäselvityksiä ja –mittauksia. Tässä työssä esitettyjä laskelmia voidaan kuitenkin pitää suuntaa antavia ja ne kertovat investointien säästöpotentiaalin suuruusluokan. Vertailuvuotena on laskelmissa käytetty vuotta 2003. Säästöehdotukset laskelmineen on esitetty liitteessä II.

Osastokohtaisten tarkastelujen perustella voidaan todeta, että tehtaan merkittävin lämmönsäästöpotentiaali on kattila 2:n savukaasun ja paperikone 2:n Sulzer-puhaltimen sisältämän lämmön talteenotossa. Myös ääninuohouksen toteuttamisella on säästettävissä huomattava määrä lämpöä. Näiden kolmen kohteen yhteenlaskettu lämmönsäästöpotentiaali on 350 000 GJ/a, joka on 19% tehtaan vuotuisesta polttoaineen kulutuksesta. Tehtaan ominaislämmön kulutusluku (GJ/t) putoaa näiden toimenpiteiden vaikutuksesta nykyisestä 4,3:sta 3,5:een (laskentaperusteet on esitetty liitteessä VIII).

Lauhteenpalautusten lisäämisellä ei ole nykytilanteessa saavutettavissa merkittäviä säästöjä. Höyryn painetason alentaminen ei ole varsinainen lämmönsäästötoimi, vaan lisäsähkön kehityksen mahdollistava toimi. Painetason alentamisella saavutetaan säästöä energiakustannuksissa, mikäli sähkön hinta on riittävästi polttoaineen hintaa korkeampi. Lämmönsäästöillä saavutettavat taloudelliset säästöt täytyy arvioida aina uudestaan lämmön ja sähkön hintojen muuttuessa, mikäli säästötoimenpiteitä ei ole nykytilanteessa kannattavaa toteuttaa.

8. YHTEENVETO

Työssä tarkasteltiin Summan tehtaiden lämmönkulutuksen mittaamisen ja lämmönsäästön kehittymismahdollisuutta. Tehtaan osastoille muodostettiin lämpötaseyhtälöt ja esitettiin lämmönkulutuksen mittaamisen hankinta- ja muutosehdotukset. Tehtaan lämmönsäästöpotentiaalia selvitettiin osastokohtaisesti.

Osastokohtaisen lämmönkulutuksen selvittäminen vaatii uusien mittausten hankkimista, eräiden mittausten liittämistä tiedonkeruujärjestelmään sekä vanhojen mittausten tarkistuksia. Suurimpien höyryvirtausmittausten luotettavaksi saaminen on tärkein toimenpide lämpötaseiden selvittämiseksi. Tehtaan suurimmat höyryvirtaukset ovat kattila 2:n tuorehöyry, hiertämön LTO-höyry ja paperikoneiden käyttämä vastapainehöyry.

Tehtaan lämmönsäästöpotentiaalia tarkastellessa todettiin, että suurimmat säästöt lämmönkäyttöön saavutetaan savukaasupesurilla, ääninuohouksella ja turbopuhaltimen lämmön talteenotolla. Tehtaan lämmön ominaiskulutus on pienennettävissä merkittävästi näillä toimenpiteillä. Lauhdetta palauttamattomat ja väliottohöyryä käyttävät kohteet otettiin selville ja tarkasteltiin lauhteenpalautuksen järjestämisen ja painetason alentamisen tuomia vaikutuksia lämpö- ja sähkömääriin. Lauhteenpalautus ja painetason alentaminen tuovat verrattain pieniä muutoksia tehtaan energiakulutukseen.

LÄHTEET

- /1/ Kinnunen, Mikko. 1997. Energiahallintajärjestelmän modernisointi paperitehtaalla. Lappeenranta: Lappeenrannan teknillisen korkeakoulun energiatekniikan osasto. Diplomityö.
- /2/ Majuri, Pilvi. 1998. Energian mittaus- ja hallintajärjestelmän määrittäminen paperitehtaassa. Lappeenranta: Lappeenrannan teknillisen korkeakoulun energiatekniikan osasto. Diplomityö.
- /3/ Energiatalouden erikoiskurssi, opintomoniste. 2001. Lappeenranta: Lappeenrannan teknillinen korkeakoulu, Digipaino.
- /4/ Bäckström, Björn (toim.). Prosessien energiankäytön hallintamenetelmien kehittäminen, Tehtaan energiankäytön selvitys ja raportointi. Energiataloudellinen Yhdistys. Helsinki, 1986. ETY-raportti 16/1986, ISBN 951-870 004-4, ISSN 0359-520X.
- /5/ Silvennoinen et al. 1985. energiankulutuksen termodynaamiset osamittaukset. Helsinki: Kauppa- ja teollisuusministeriön energiaosasto.
- /6/ Halko, P et al. 1998. Teollisuuden mittaustekniikka, perusmittauksia. Helsinki: Oy Edita Ab. ISBN 951-37-0229-4. 6.-7. painos.
- /7/ Jokinen, Timo. 2003. Metsäteollisuusintegraatin lämpöenergian seurantajärjestelmä. Helsinki: Teknillinen korkeakoulun konetekniikan osasto. Diplomityö.
- /8/ Suomen metsäteollisuuden liitto. 1983. Paperiteollisuuden energiansäästö 1983.
- /9/ Komppa, A (toim.). 1991. Raina-seminaari, Energiataloudellinen paperin valmistus. Raportti 06, 2. painos. Kauppa- ja teollisuusministeriön energiaosasto.

- /10/ Puunjalostusteollisuuden energiatalous, opintomoniste. 2000. Lappeenrannan teknillinen korkeakoulu, Aalef-kirjapaino.
- /11/ Motiva Oy. Verkkojulkaisu. Saatavissa: www.motiva.fi. Viitattu 28.1.2004
- /12/ Ympäristöhallinto. Massa- ja paperiteollisuuden BAT-referenssiasiakirja. Verkkojulkaisu: Viitattu 20.2.2004.
Saatavissa: <http://www.ymparisto.fi/download.asp?contentid=11768&lan=FI>.
- /13/ Mikkonen, Jukka, Stora Enso Energy Services. 2004. Puhelin- ja sähköpostikeskustelu 4.3.
- /14/ Stora Enso Summan tehtaat. Saatavissa: intranet, yrityksen sisäisessä käytössä.
- /15/ Stora Enso Publication Papers Oy Ltd, Höyry 2003-projekti. Koulutuskansio.
- /16/ Stora Enso Publication Papers Oy Ltd, Taselaskenta 2003. (ei julkinen)
- /17/ Kemppe, Olavi, Kymenso Oy. 2004. Keskustelu 17.3.
- /18/ Huhtinen et al. 1999. Höyrykattilatekniikka, 2.-4. painos. Helsinki: Oy Edita Ab. ISBN 951-37-1327-X
- /19/ Kukkonen, P. 1989. Korkeapaine-esilämmittimien käytön merkitys, raportti. Enso-Gutzeit Oy, Summan tehtaat.
- /20/ LCA Engineering Oy. 2000. Stora Enso Oyj – Summan tehtaat, energiakatselmusraportti.
- /21/ Nirafon Oy. 2003. Sähköpostikeskustelu. 30.12.

LIITTEET

Liite	Nimi
I	Höyry- ja lauhdemittaukset, Suositeltavat toimenpiteet
II	Lämmönsäästö-laskelmat
III	Voimalaitoksen höyry-, lauhde- ja syöttövesiverkon yleiskaavio
IV	Summan tehdasalueen kartta
V	Laskelmia mittauksen F-2167 luotettavuuden selvittämiseksi
VI	Stora Enson paperikoneiden ominaislämmönkulutuslukuja
VII	Tehtaan höyry- ja lauhdeverkoston virtausmittausten yleiskaavio
VIII	Ominaiskulutuslukujen laskentaperusteet