

KEMI-TORNION AMMATTIKORKEAKOULU

Vastapainetason alentamisen vaikutus sähköntuotantoon

Johan Nissén

Tekniikan koulutusohjelman opinnäytetyö
Sähkötekniikka
Insinööri (AMK)

KEMI 2011

ALKULAUSE

Tämä opinnäytetyö on tehty Stora Enso Oyj:n Kemin Veitsiluodon sellutehtaan voimalaitokselle loppuvuodesta 2011 ja haluan kiittää saadusta opastuksesta niin käyttöpäällikkö Pekka Nykästä kuin myös suunnittelupäällikkö Pentti Tolosta.

TIIVISTELMÄ

Kemi-Tornion ammattikorkeakoulu, Tekniikan ala	
Koulutusohjelma	Sähkötekniikka
Opinnäytetyön tekijä	Johan Nissén
Opinnäytetyön nimi	Vastapainetason alentamisen vaikutus sähköntuotantoon
Työn laji	Opinnäytetyö
päiväys	30.11.2011
sivumäärä	49 + 8 liitesivua
Opinnäytetyön ohjaaja	ins. Antero Martimo
Yritys	Stora Enso Oyj, Kemin Veitsiluodon tehtaat
Yrityksen yhteyshenkilö/valvoja	DI Pekka Nykänen

Tässä opinnäytetyössä tutkitaan höyryn vastapainetason laskemisen vaikutusta sähköntuotantoon Stora Enson Kemin Veitsiluodon tehtaiden selluloosatehtaan voimalaitoksella sekä kerrotaan lyhyesti muistakin energiansäästöhankeista samalla tehtaalla. Tehtaalla on käytössä metsäteollisuudessa yleisesti käytetty lämmön- ja sähkön yhteistuotanto. Erityisesti työssä arvioidaan vastapainetason laskemisen tuomia taloudellisia hyötyjä ja tutkitaan hankkeen toteuttamisedellytyksiä.

Työn tavoitteena on laskea saadut taloudelliset hyödyt niin tarkkaan, että tuloksia voidaan jatkossa käyttää hyväksi hankkeen mahdollisesti realisoituessa. Lähtökohtana oli alun perin tutkia tehtaan muitakin mahdollisia energiansäästöhankeita, mutta aihepiirin laajuuden vuoksi työssä rajoitetaan lähinnä niiden yleisluontoiseen esittelyyn.

Tuotetun vastapainesähkön lisäys vähentää ostosähkön ostotarvetta ja sitä kautta saadaan säästöjä ja hyötyjä. Generaattorista on vastapainetason laskun kautta saatavissa lisätehoa voimalaitoksella jo olemassa olevalla laitekannalla. Osa lämmön kuluttajista joutuu tekemään investointeja voidakseen käyttää matalampipaineista höyryä.

Asiasanat: vastapainehöyry, painetaso, sähköteho, energiansäästö

ABSTRACT

Kemi-Tornio University of Applied Sciences, Technology	
Degree Programme	Electrical Engineering
Name	Johan Nissén
Title	Effects of Reduction of Back-Pressure Steam Pressure Level
Type of Study	Bachelor's Thesis
Date	30 November 2011
Pages	49 + 8 appendices
Instructor	Antero Martimo, BEng
Company	Stora Enso Oyj, Kemi Veitsiluoto Mill
Contact Person/Supervisor from Company	Pekka Nykänen, MSc.El.Eng

This thesis studies how the decreasing of the steam pressure level after turbine impacts the electric energy production at Stora Enso's Kemi Veitsiluoto Mill power plant. The plant is using combined production of heat and power which is very common in the forest industry. Especially the possibilities to realize this project and the economic interests of this plan are estimated.

The target is to calculate the economic benefits so precisely that the results of this thesis can be used as a useful help if the final decision to start this project at the mill is taken. The original idea of this thesis was also to research some other energy saving projects at the mill but due to the large size of the subject these other projects are introduced only briefly and generally.

The increase in electric energy production at the plant will decrease the need of electricity that is bought to the mill from the market. It is possible to generate more power with the existing machinery if the drop in steam pressure level after turbine is done. Some of the customers that use heat have to make investments in order to use the steam with lower pressure.

Keywords: back-pressure steam, pressure level, electric power, energy saving.

SISÄLLYSLUETTELO

1. JOHDANTO	1
2. LÄMMÖN JA SÄHKÖN YHTEISTUOTANTO VEITSILUODOSSA	3
2.1. Kattilat.....	4
2.2. Turbiinit	4
2.3. Generaattorit	6
2.4. Tuotantoprosessi	7
2.5. Tuotantokapasiteetti	10
2.5.1. Tekniset seikat	10
2.5.2. Taloudelliset seikat	11
2.6. Sähköntuotannon periaate ja sähköomavaraisuus.....	12
2.7. Omakäyttö sellutehtaalla.....	13
2.8. Omakäyttö tulevaisuudessa.....	14
2.9. Energiansäästökartoituksista.....	16
3. TEORIA	20
3.1. Kattilat.....	20
3.2. Turbogeneraattorit.....	21
3.3. Kulutussuhde ja h, s- piirros	23
3.4. Sähkötönnön lisäys ja käytetyt kaavat	26
4. MATALAPAINEHÖYRYN PAINETASON ALENTAMINEN	29
4.1. HMP prosessihöyryn painetason alentaminen	29
4.1.1. Yhteenveto saaduista tuloksista	33
4.1.2. Hankkeen vaikutukset voimalaitoksella	34
4.1.3. Hankkeen vaikutukset sellutehtaalla	37
4.1.4. Hankkeen vaikutukset paperitehtaalla	39
4.1.5. Hankkeen hyöty kokonaistaloudellisesti arvioituna	40
4.2. Ajotapatarkennukset massankäsittelyn alueella.....	41
5. TOIMENPIDE-EHDOTUKSET	43
5.1. Vastapainetason laskeminen	43
5.2. Muutos toimintatapoihin ja - kulttuuriin.....	43
6. YHTEENVETO	45
7. LÄHDELUETTELO.....	47
8. LIITELUETTELO	49

KÄYTETYT MERKIT JA LYHENTEET

SK	soodakattila
KPA	kiinteä polttoaine (kuori, turve, tiivistetty jäte)
HMP	matalapainehöyry, turbiinin loppupäästä
HVO	väliottohöyry, turbiinin väliotosta
HKP	korkeapainehöyry, tuorehöyry kattiloista

1. JOHDANTO

Tämän opinnäytetyön aihe valikoitui työpaikallani Stora Enso Oyj:n Kemlin Veitsiluodon sellutehtaalla käynnissä olevien energiansäästökartoitusten takia. Otin osaa aiheesta pidettyihin palavereihin ja huomasin, kuinka monella tapaa energiansäästöasioita voidaan lähestyä ja kuinka eri asiat prosessiteollisuudessa kytkeytyvät toisiinsa mitä erikoisimmilla tavoilla. Veitsiluodossa on käytössä lämmön ja sähkön yhteistuotannon mahdollistava prosessilaitteisto, joka on metsäteollisuudessa erittäin tyypillinen. Tätä laitteistoa esitellään tässä työssä tarkemmin luvussa 2. Kävin läpi energiansäästökartoituksissa esiin tulleita ideoita ja havaitsin, että suurin osa ideoista liittyy lämpöenergian säästämiseen ja sekundääristen lämmönlähteiden hyödyntämiseen. Sähkön kannalta tarkasteltuna löysin yhden mielenkiintoisen hankkeen, jonka toteuttamista oli työpaikallani jo esivalmisteltu ja suunniteltu. Keskusteltuani asiasta työpaikallani valvojani kanssa olikin selvää, että tämän työn aiheena tulisi olemaan turbiinin vastapainetason alentamisen vaikutus sellutehtaan voimalaitoksen sähköntuotantoon.

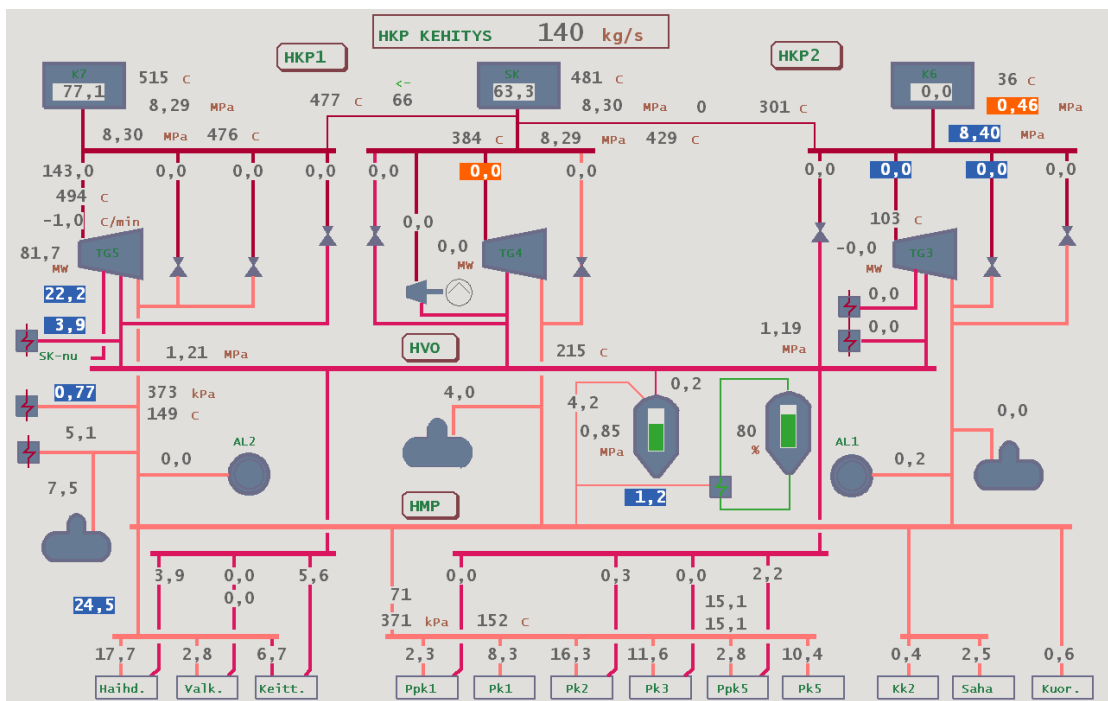
Työn lähtökohtana on tutkia höyryn vastapainetason laskun vaikutusta sähköntuotantoon sekä esitellä lyhyesti käynnissä olevia energiansäästökartoituksia ja niiden taustoja, koska tehdyt kartoitukset ovat tämänkin yksittäisen hankkeen takana. Koska kyseessä on sähkötekniikan opinnäytetyö, pyrin lähestymään aihetta ensisijaisesti sähkön kannalta. Tässä tapauksessa en voi kuitenkaan välttää hetkittäisiä vierailuja energiatekniikan puolella.

Työn tavoitteena on paneutua tarkemmin turbiinin vastapainetason alentamiseen ja laskea siitä mahdollisesti saatavat hyödyt vuositasolla sekä esittää lyhyesti joitain toimenpide-ehdotuksia saatujen tulosten pohjalta. Tavoitteena on myös lyhyesti esitellä metsäteollisuuden ja erityisesti Veitsiluodon sellutehtaan alueella esiin nousseita energiansäästöhankeita ja kertoa sellutehtaan omakäyttösähkön kulutuksista. Työn pohjalta on myös mahdollista kasata työpaikalleni tehtaan energia-asioista ja sähkönkulutuksesta kertova ja opastava koulutusaineisto. Työni pohjautuu pitkäaikaiseen työskentelyyn Veitsiluodon sellutehtaan ja voimalaitoksen alueella,

töissä käytyihin keskusteluihin ja palaveriin, tehtaan ohjaus-, raportointi- ja informaatiojärjestelmästä saatuun tietoon ja eri tietolähteistä kerättyihin teoretietoihin.

2. LÄMMÖN JA SÄHKÖN YHTEISTUOTANTO VEITSILUODOSSA

Kemin Veitsiluodon tehtaat ovat osa monikansallista Stora Enso Oyj:tä. Lämmön ja sähkön tuotannosta tehdasintegraatissa vastaa sellutehtaan voimalaitos, joka on täysin Stora Enso Fine Papers Oy:n omistama. Veitsiluodossa tuotetaan vuosittain sähköä keskimäärin 600GWh:a ja lämpöä 11000TJ:a. Tuorehöyryn eli HKP:n kehitys tapahtuu lähes yksinomaan soodakattilan ja kattilan K7 avulla, joskus erityistilanteissa käytetään myös tukena kattilaa K6. Veitsiluodossa on nykyään käytössä höyryverkko, jonka HKP, HVO ja HMP- puolet on eri kattiloiden välillä kytketty toisiinsa. Tämä mahdollistaa kattiloiden ja turbogeneraattoreiden joustavan käytön. Sähkö tuotetaan turbogeneraattorilla TG5, joskus poikkeustilanteissa voidaan käyttää vanhempia varalla olevia turbogeneraattoreita TG3 ja TG4. Höyryverkko, kattilat ja turbiinit on esitetty kuvassa 1.



Kuva 1. Veitsiluodon höyryverkon ja –jakelun yleisnäyttö /18/

2.1. Kattilat

Sellutehtaan yksi olennainen osa on **soodakattila**, jonka päätehtävänä voidaan pitää keittokemikaalien talteenottoa. Tätä tehtävää hoitaessaan SK tuottaa keskimäärin 65kg/s HKP:ä, joka taas käytetään sähkön- ja lämmöntuotantoon Veitsiluodon sellutehtaan voimalaitoksella. SK:n kapasiteetti on 2000 tka/d, lämpöteho 186MW ja se on valmistunut vuonna 1977. Kattila on Tampellan valmistama. Sitä on edellisen kerran laajemmin uudistettu vuonna 1995, jolloin sen alaosa uusittiin kokonaan. Polttoaineena on mustalipeä sekä ylös- ja alasajotilanteissa öljy. Öljyä voidaan myös toisinaan käyttää tukipolttoaineena tuorehöyrykuorman kasvattamiseksi.

Kattila K7:n päätehtävä on prosessihöyryn valmistaminen Veitsiluodon tehdasintegraatin käyttöön. Kattila on leijupetityyppinen ja sen lämpöteho on 246MW ja sen valmistusvuosi on 1996. Myös kattila K7 on Tampellan valmistama. Polttoaineena käytetään kiinteitä polttoaineita (kuori, turve, puru, muha, tiivistetty jäte) sekä poikkeustilanteissa öljyä.

Kattila K6:n nykyinen päätehtävä on toimia kattiloiden SK ja K7 varakattilana. Se on valmistunut vuonna 1971 ja sen on valmistanut länsisaksalainen Vereinigte Kesselwerke AG eli VKW. Sen lämpöteho on nykyään noin 200MW ja sillä pystyy tuottamaan maksimissaan 65kg/s tuorehöyryä. Kattilan polttoaineena voidaan käyttää pelkästään öljyä.

2.2. Turbiinit

Vastapaineturbiinin **TG5** päätehtävä on tuottaa prosessihöyryjakeita HVO ja HMP sekä pyörittää siihen liitettyä generaattoria mahdollistaen näin sähköntuotannon. TG5 on otettu ajolle vuonna 1996 ja se on ABB:n valmistama. Turbiiniin liitetyn generaattorin on myös valmistanut ABB. Turbiiniin pystyy maksimissaan syöttämään 160kg/s tuorehöyryä ja tuolloin generaattorin antama pätöteho liikkuu tasolla 100MW.



Kuva 2. TG5, edessä generaattori ja takana turbiini

Turbogeneraattoria TG 5 hankittaessa on sille laskettu kuormapisteet. Kuormapisteet on valittu alueelta, jolla turbiinia normaaleissa käyttötilanteissa ajetaan. Tälle turbiinille kuormapisteitä on laskettu viisi ja ne esitetään alla olevassa taulukossa.

Taulukko 1, TG5 kuormapisteet /13/

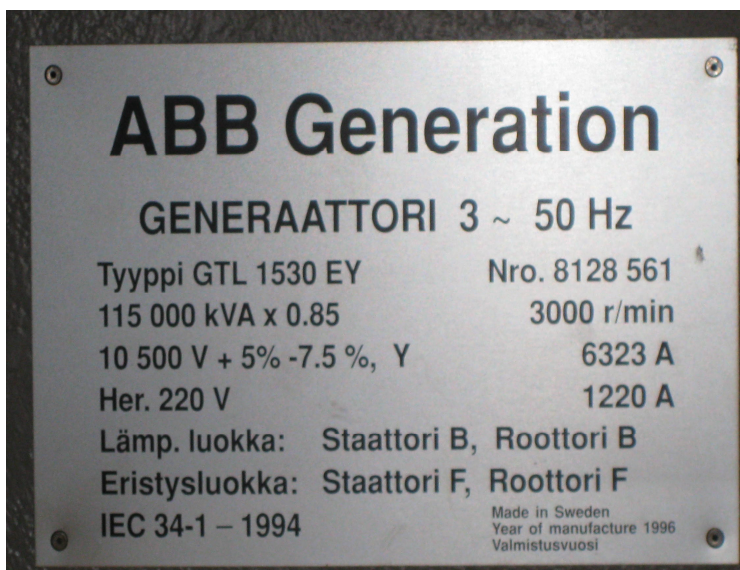
	A	B	C	D	E
Tuorehöyry sisään					
paine MPa	8,3	8,3	8,3	8,3	8,3
lämpötila °C	500	500	500	500	500
massavirta kg/s	95	120	145	160	157,15
Väliotto 1					
paine MPa			2,6	2,6	
massavirta kg/s			4	4	
Väliotto 2					
paine MPa	1,25				
massavirta kg/s	15				
Väliotto 3					
paine MPa		1,25	1,25	1,25	
massavirta kg/s		20	7,8	11,2	
Väliotto 4					
paine MPa			1,25	1,25	
massavirta kg/s			18	18	
Höyry ulos					
paine kPa	370	370	370	370	300
massavirta kg/s	80	100	115	126,8	157,15
Generaattorin teho MW	52,7	70,9	85,6	93,6	103,1

Vastapaineturbiinin **TG4** päättehtävä on nykyään toimia turbiinin TG5 varalaitteena. TG4 on otettu ajolle vuonna 1977 ja se on AEG-Kaniksen valmistama. Turbiiniin liitetyn generaattorin on valmistanut Rade-Concar. Turbiiniin pystyy maksimissaan syöttämään 52kg/s tuorehöyryä ja tuolloin generaattorin antama pätöteho liikkuu tasolla 27MW.

Vastapaineturbiinin **TG3** päättehtävä on nykyään toimia turbiinin TG5 varalaitteena. Turbiini TG3 on otettu ajolle vuonna 1971 ja se on Kraftwerk Unionin eli KWU:n valmistama. Turbiiniin liitetyn generaattorin on myös valmistanut KWU. Turbiiniin pystyy maksimissaan syöttämään 50kg/s tuorehöyryä ja tuolloin generaattorin antama pätöteho liikkuu tasolla 25MW.

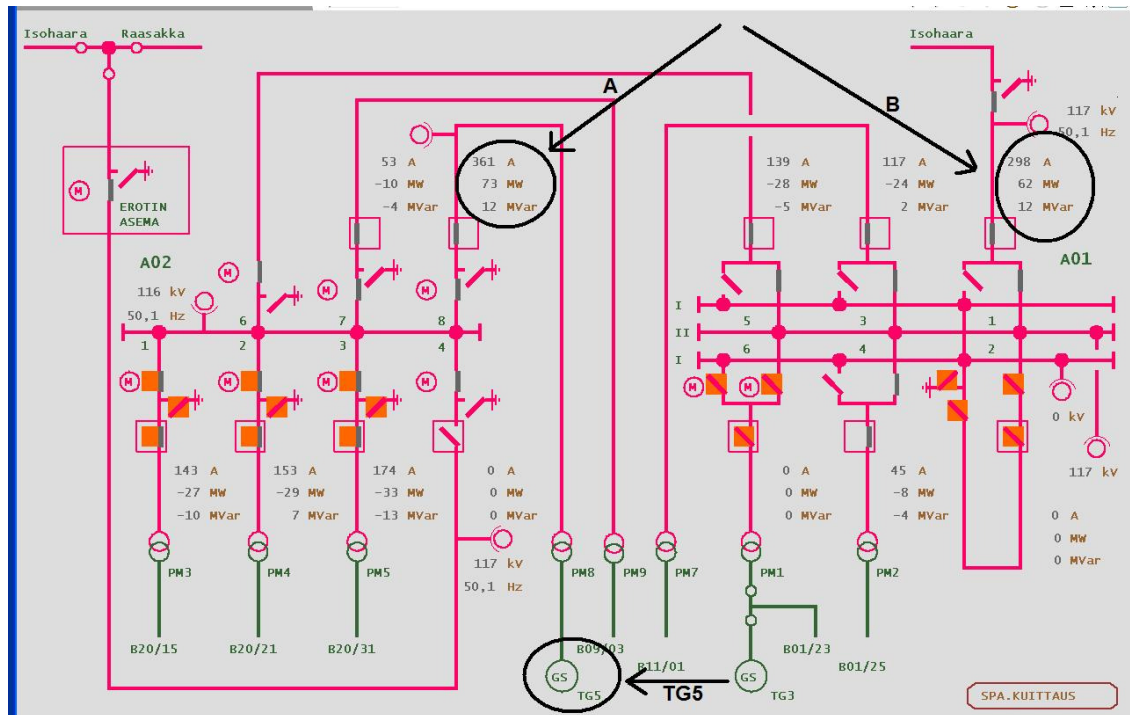
2.3. Generaattorit

Veitsiluodossa sähkö tuotetaan lähes yksinomaan generaattorissa G5. G5 on otettu käyttöön vuonna 1996 ja se on ABB:n valmistama.



Kuva 3. G5 arvokilpi

G5 on kolmivaiheinen tahtigeneraattori ja kuvassa 3 näkyy sen arvokilpi. Siitä ilmenee, että sen nimellisteho on 115000kVA, nimellisvirta 6323A ja nimellisjännite 10500V. Generaattori G5 on kytketty 110kV:n verkkoon muuntajan PM8 avulla/kautta. Voimalaitoksen varakoneista G3 kytkeytyy 110kV:n verkkoon muuntajan PM1 kautta, kun taas varakone G4 on kytketty suoraan sellun 6kV:n verkkoon.



Kuva 4. Veitsiluodon 110kV:n verkko ja liittynät kantaverkkoon /18/

Kuvasta havaitaan myös, että kuvan kaappaushetkellä G5 kehittää sähköä 73MW (nuoli A kuvan yläalaidassa) ja kantaverkosta siirretään Veitsiluotoon 62MW (nuoli B). Sähkön omavaraisuusasteeksi Veitsiluodossa kyseisellä hetkellä tulee siten 54 %. TG5 näkyy kuvan alalaidassa ja muuntaja PM8 sen yläpuolella.

2.4. Tuotantoprosessi

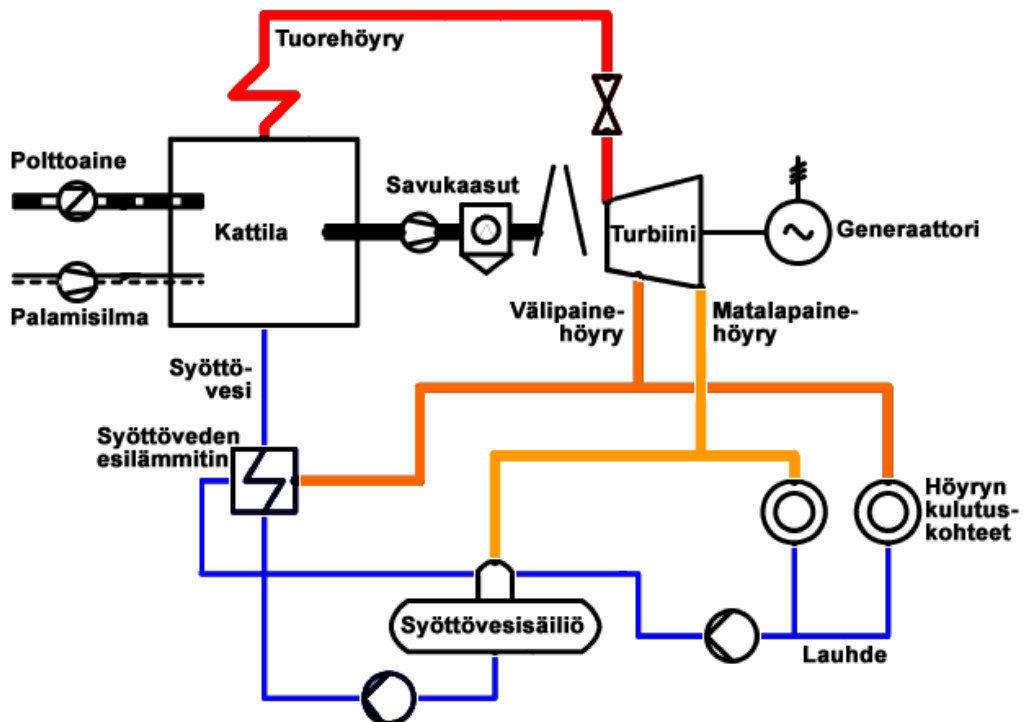
Tuotantoprosessi Veitsiluodossa on metsäteollisuudelle tyypillinen lämmön ja sähkön yhteistuotantoprosessi, joka lähtee liikkeelle lämmön tarpeesta tehdasintegraatissa. Lämmöntuotantoon valjastettuna ajetaan jatkuvasti *KPA-kattilaa K7*. Sen vuotuinen

käyntiaste pyritään pitämään tasolla 99 %. Tämä käyntiaste mahdollistaa lyhyen 5- 6 vuorokauden mittaisen vuosiseisokin, jonka aikana kattilan alueella tehdään tarpeelliset huolto- ja kunnossapitotyöt. Tämä seisokki pyritään pitämään silloin, kun lämmönkuluttajien lämmöntarve on alhaisimmillaan eli yleensä yhtä aikaa suurimpien asiakkaiden omien huoltoseisokkien kanssa. *Soodakattilan* päätehtävä on keittokemikaalien talteenotto ja siksi sen ajo on suoraan kytketty sellunvalmistusprosessin käyntiin. Soodakattilassa voi toki polttaa myös öljyä polttolipeän rinnalla lämmöntuotannon turvaamiseksi ja tätä tapahtuukin tasaisin väliajoin. Viimeisenä vaihtoehtona lämmöntuotantoon käytetään tarvittaessa öljykattilaa K6.

Näiden kattiloiden tuottama HKP ajetaan kaikki *turbogeneraattoriin TG5*, joka kehittää Veitsiluodossa tuotetun sähkön. TG5 pyritään pitämään aina tuotannossa eli sen käyttöasteen halutaan olevan 100 %. Koneelle tehdään suurempi revisio muutaman vuoden välein ja silloin sähkö tuotetaan varakoneilla TG3 ja TG4. Tuorehöyryä TG5:n läpi voi ajaa 160kg/s ja HKP- kehityksen ollessa tätä määrää suurempi otetaan käyttöön reduktioventtiilit. *Reduktioventtiili* on laite, jolla höyryn painetasoa voidaan laskea. Reduktioventtiilit ovat säädöllä turbiinin rinnalla ja toimivat automaattisesti turbiinin ylikuormitustilanteen toisinaan syntyessä. Generaattorissa G5 tuotettu *sähkö* syötetään Veitsiluodon 110kV:n verkkoon muuntajan PM8 avulla.

Turbiinin läpi virrannut höyry – nyt siis alempipaineinen *vastapainehöyry HMP* ja *korkeapaineisempi väliottohöyry HVO* – toimitetaan asiakkaille höyryverkkoa pitkin. Asiakkaat käyttävät lämpöä omien tarpeidensa mukaan. On kuitenkin sovittu, että asiakkaat pyrkivät ilmoittamaan voimalaitokselle suurista lämmöntarpeen muutoksista etukäteen. Tällä toimenpiteellä pyritään pitämään höyryverkon tila mahdollisimman stabiilina. Höyrystä sen käytön jälkeen syntynyt eli lauhtunut *lauhde* pyritään sataprosenttisesti palauttamaan takaisin voimalaitokselle. Suoralämmityskohteista ei lauhteenpalautusta luonnollisestikaan tapahdu. Voimalaitokselle palautuvien lauhteiden puhtautta seurataan erityisen tarkasti, sillä lauhteet syötetään *syöttöveden* joukossa takaisin kattiloihin. Kattiloihin syötettävää vettä eli kattilavettä valmistetaan voimalaitoksen suolanpoistolaitoksella. Tämän veden on täytettävä erityisen tiukat laatuvaatimukset, jotta kattiloiden syöpymis- ja korroosio-ongelmilta vältyttäisiin.

Vastapainevoimalan periaatekaavio



Kuva 5. Vastapainevoimalaitoksen periaatekaavio /15/

Kuvassa 5 on esitetty vastapainelaitoksen periaatekaavio ja siinä näkyy prosessin päälaitteita ja pääosia:

- tulistimilla varustettu kattila
- HKP- putki kattilalta turbiiniin
- turbiini ja generaattori
- HMP ja HVO- verkko ja kuluttajat
- lauhteenpalautus
- syöttövesisäiliö ja syöttövesipumppu
- esilämmittimet
- polttoaineen syöttöjärjestelmä
- palamisilma- ja savukaasupuhaltimet
- savukaasujen puhdistuslaitteisto.

2.5. Tuotantokapasiteetti

Kattiloiden teoreettinen yhteenlaskettu höyrykehityskapasiteetti on noin 260kg/s tuorehöyryä, jonka paine on 8,4MPa ja lämpötila 485 °C. Tämä teoreettinen maksimituotanto mahdollistaisi sähköntuotannon kaikilla turbiineilla. Sähköntuotanto olisi tällöin tasolla noin 150MW. Kattiloiden ja turbiinien tuotantokapasiteetit löytyvät eriteltyinä taulukosta 2. Niin tekniset kuin varsinkaan taloudelliset seikat eivät kuitenkaan puolla sähköntuotannon maksimointia ja varsinaista apulauhdesähkön tekoa esiintyykin Veitsiluodossa erittäin harvoin.

Taulukko 2, tuotantokapasiteetti Veitsiluodossa

	Kattila K6	Kattila K7	Soodakattila SK	Yhteensä
Lämpöteho MW	200	246	186	632
Tuorehöyryä HKP kg/s	65	115	80	260
	TG3	TG5	TG4	Yhteensä
Sähköteho MW	25	100	27	152

2.5.1. Tekniset seikat

Vanhemmat turbiinit TG3 ja TG4 on hankittu aikana, jolloin Veitsiluodossa ei vielä ollut nykymuotoista yhtenäistä höyryverkkoa. Niinpä TG3 on hankittu kattilan K6 hankinnan yhteydessä ja on suunnitteluarvoiltaan valjastettu kyseisen kattilan käyttöön. Kattilan K6 kehittämän tuorehöyryn paine ja lämpötila olivat ennen nykyistä korkeammalla tasolla. Näille korkeimmille tuorehöyryn arvoille hankittu TG3 ei hyötysuhteeltaan enää vastaa nykypäivän vaatimuksia. TG4 hankittiin aikanaan sellun soodakattilan turbiiniksi ja soodakattilan käyttöpaine ja HKP:n lämpötila ovat paljon voimakattiloiden vastaavia arvoja pienempiä. Turbiinin vastapaineen suunnitteluarvona käytettiin 250kPa, mutta käytännössä sitä jouduttiin ajamaan korkeammilla vastapaineen arvoilla lähes koneen käyttöönotosta alkaen. Kun vanhojen turbiinien ominaishöyrynkulutusta verrataan TG5 vastaavaan kulutukseen, huomataan sen olevan paljon suurempi. Uuden koneen ominaiskulutus liikkuu tasolla 1.6kg/MW. Vanhojen

koneiden vastaava arvo liikkuu tasolla 2kg/MW. Vanhoissa koneissa on myös vanhat *generaattorit*, joita ei ole huollettu aikoihin. Ne kuitenkin vielä toimivat, mutta niiden käyttö sähkön jatkuvampaan kehitykseen vaatisi niiden huoltamisen.

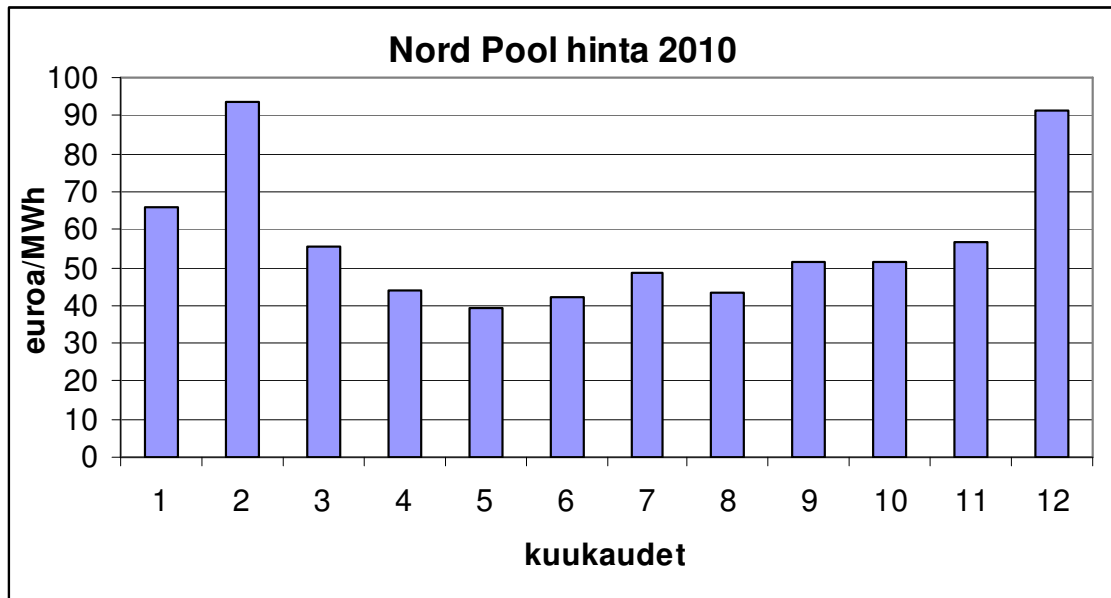
Apulauhdutuskapasiteetti asettaa omat tekniset rajoituksensa sähköntuotannon maksimoinnille. Kahden käytössä olevan apulauhduttimen pääasiallinen käyttötarkoitus on toimia höyryn ”kaatopaikkoina” höyryverkon äkillisissä ylikuormitustilanteissa ja lisäksi toimia osana höyryverkon säätöä. Toinen apulauhduttimista sijaitsee voimalaitoksen vanhalla puolella. Vanhan puolen ja soodakattilan välillä oleva höyryverkon HKP- puolen yhdysputki on myös vanhaa perua ja sen läpäisykyky on vain noin 35kg/s. Jos sähköntuotantoa haluttaisiin jostain syystä maksimoida ottamalla käyttöön vanhan puolen TG3, voi myös tämä tekninen seikka jossain vaiheessa tulla vastaan rajoittavana tekijänä. Kattila K6 on elinkaarensa loppupuolella ja sen käyttötunnit alkavat olla täynnä. Öljykattilana sen käyttö pelkän sähkön tuottamiseen ei ole kannattavaa.

2.5.2. Taloudelliset seikat

Apulauhdesähkön valmistaminen on kalliimpaa kuin vastapainesähkön valmistaminen. Tämä johtuu siitä, että apulauhduttimeen sähkön tuotannon takia ajetun höyryn lämpöenergia menee hukkaan. Höyryn kulutussuhde apulauhdesähkön valmistuksessa on 4,6, kun taas vastaava suhde vastapainesähkölle on 1,26. Jos KPA- kattilan polttoainekustannukset ovat esimerkiksi 20€/MWh, tulee apulauhdesähkön hinnaksi 92€/MWh ($4,6 \cdot 20 \text{€/MWh} = 92 \text{€/MWh}$). Vastapainesähkön tuotantokustannukset vastaavasti laskettuna ovat vain 25,2€/MWh. Jos apulauhdesähkön tuotantoon käytetään öljykattilaa K6, jonka polttoainekustannus on 70€/MWh, tulee apulauhdesähkön tuotantokustannukseksi jo hyllyttävät 322€/MWh. Kun apulauhdesähkön tuotantokustannuksia vertaa taulukon 3 Nord Poolin vuoden 2010 sähkön hintoihin niin huomaa, että varsinaisen apulauhdesähkön tuotanto kannattaa hyvin harvoin. Tässä on toki hyvä mainita, että pörssisähkön hinnat vaihtelevat tuntitasolla eikä kuukausittain, kuten taulukosta 3 voi virheellisesti ymmärtää.

Jyrkimpiin hintapiikkeihin apulauhdesähköä tuotetaan tuntitasolla ja sen tuotantoa ohjataan Imatralta, jonne Stora Enson Suomen energiapalvelut on keskitetty. /11/, /16/

Taulukko 3, Pörssisähkön hinta kuukausittain 2010 /10/



2.6. Sähköntuotannon periaate ja sähköomavaraisuus

Sähköä tuotetaan Veitsiluodossa lämmöntuotannon ehdoilla. Mitä enemmän prosessihöyryjä tarvitaan ja kulutetaan, sitä enemmän syntyy sähköä. Tämä siis tarkoittaa kääntäen sitä, että asiakkaiden (sellun oma höyrynkulutus, paperikoneet, hiomo, saha) pystyessä pienentämään lämpöenergian kulutusta ja näin säästämään lämpöenergiaa, häviää sellutehtaan voimalaitos tällöin sähköntuotannossa. Sellutehtaan kannalta olisikin tärkeää, että se pystyisi minimoimaan sähkön omakäytön ja siirtämään myös tämän sähkön integraatin käyttöön. Integroidussa tehdasympäristössä energiansäästöjen etsiminen on yhteispeiliä; toisen yksikön säästö voi olla toisen yksikön tappio.

Veitsiluodon sähköomavaraisuus on keskimäärin tasolla 55 - 60 %. Omavaraisuustasoon vaikuttaa paljon paperikoneiden ja varsinkin hiomon käynti kuluttajina, mutta erityisesti sellutehtaan soodakattilan ja KPA-kattilan K7 käynti

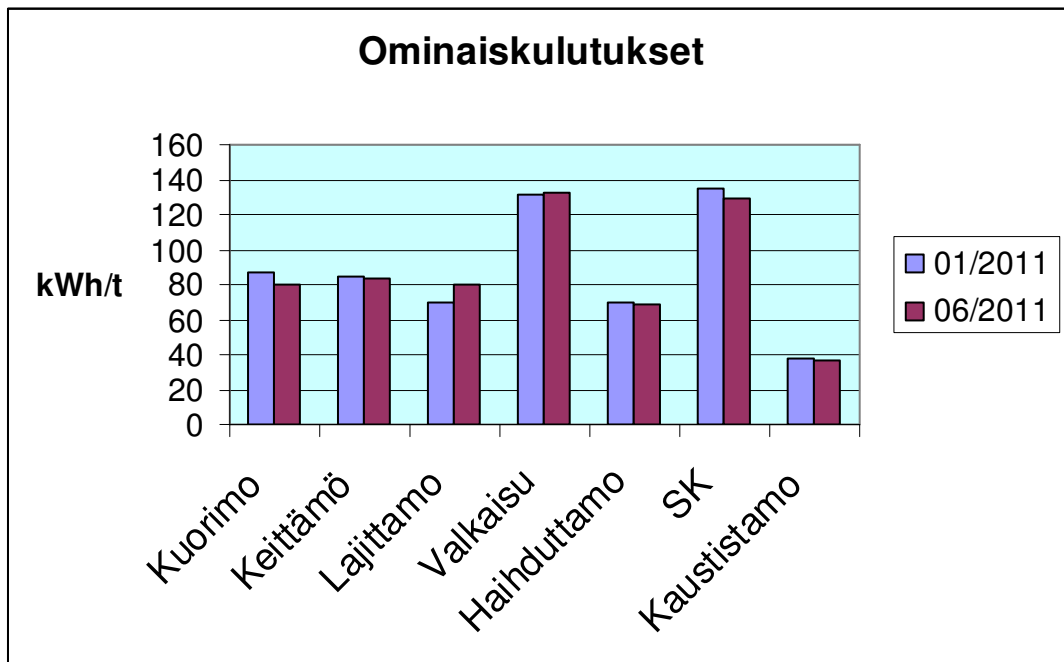
lämmön ja sähkön tuottajina. Tehtaalle tulevasta puusta karkeasti noin puolet poltetaan mustalipeän joukossa SK:ssa ja kattilassa K7 poltetaan kaikki kuorimolla syntyvä kuorijäte sekä sahalta tulevat kuoret, muhat ja purut. On sanomattakin selvää, että tehtaalla omilla ”jätteillä” tuotettu vastapainesähkö on hinnaltaan monin verroin ostosähköä halvempaa. Ostosähköä hankitaan sekä sopimushintaan että vapaasti pörssistä ja varsinkin pörssisähkön hinta vaihtelee voimakkaasti etenkin talvisaikaan.

2.7. Omakäyttö sellutehtaalla

Sellutehtaan sähkön omakäyttö on nykyään tasolla noin 250000MWh vuodessa. Voimalaitoksen sähkön omakäyttö on tasolla noin 48000MWh vuodessa ja tämä lukema sisältyy sellutehtaan omakäyttökulutukseen. Jos tehtaalla vuosituotantona käytetään 360000 tonnia vuodessa, omakäyttösähkön ominaiskulutukseksi tulee noin 0,7MWh/sellutonnei. /11/

Osastoittain eriteltynä sellutehtaan suurimpia omakäyttösähkön kuluttajia ovat voimalaitos, soodakattila ja valkaisu. Voimalaitoksen ja soodakattilan suurimpia kulutuskohteita ovat syöttövesipumput ja puhaltimet. Niitä on lukumääräisesti vähän, mutta niiden tehontarve on todella suuri. Valkaisu on taas osastona laaja ja osastolla on käytössä lukumääräisesti paljon erikokoisia sähkömoottoreita.

Sähkön ominaiskulutuksessa ei esiinny merkittävää vaihtelua vuodenaikojen mukaan. Tuotannon ollessa käynnissä täytyy kaikkien osastojen olla ajolla ja kaikkien laitteiden pyöriä vuodenaikasta riippumatta. Vuorokausittain tarkasteltuna voi sähkön ominaiskulutuksessa olla isojakoin eroja. Tuotannossa saattaa olla jotain ongelmia ja osastot pyörivät tyhjäkäynnillä odottaen varsinaista käyntiinlähtöä. Tällöin ominaiskulutus kasvaa suureksi ja se erottuu piikkeinä tilastoinnissa. Kuukausitasolla tarkasteltuna nämä kulutusheitot tasoittuvat ja vertailu eri ajanjaksojen kesken on mielekkäämpää. Kuvassa 6 on esitetty sähkön ominaiskulutuksia tammikuulta ja kesäkuulta 2011. Kuten kuvasta havaitaan, ovat kulutukset lähes identtiset.



Kuva 6. Sähkön ominaiskulutuksia osastoittain /16/

2.8. Omakäyttö tulevaisuudessa

Tulevaisuudessa sähkön omakäytön lähtökohtana ja tavoitetasona voitaisiin pitää elinkeinoelämän energiatehokkuussopimusta. Stora Enso on liittynyt sopimukseen ja sen soveltamisesta on eri tehdaspaikkakunnilla annettu ohjeistusta. Sopimuksen mukaan suuret tehtaet, joiden sähkönkulutus on yli 100GWh/a, kuuluvat *energiavaltaisen teollisuuden* piiriin. Tässä sopimuksessa ei näille tehtailla ole asetettu selkeää numeerista säästötavoitetta, mutta sopimuksen tuomia tuloksia kyllä arvioidaan ja tehtaisiin sovelletaan energiatehokkuusjärjestelmää (ETJ). Kemin Veitsiluodon tehdas kuuluu näihin suuriin tehtaisiin./8/

Pienet ja keskisuuret tehtaet, joiden sähkönkulutus on alle 100GWh/a, kuuluvat *suoraan energiatehokkuussopimuksen piiriin* ja tehtaisiin sovelletaan lisäksi energiatehokkuusjärjestelmää (ETJ) soveltuvin osin. Näillä tehtailla on energiapalveludirektiivistä johdettu 9 %:n säästötavoite voimassa. Tavoite pitäisi saavuttaa vuoteen 2016 mennessä./8/

Energiatehokkuusjärjestelmä (ETJ) on Motivan kehittämä järjestelmä, joka auttaa yrityksiä toteuttamaan ja luomaan systemaattisia menettelytapoja, joiden avulla voidaan pienentää energiankulutusta ja kustannuksia. Järjestelmä on luotu ns. jatkuvan parantamisen periaatteen pohjalte ja sitä voidaan kuvata seuraavalla viisiportaisella toimintamallilla:

1. Yrityksen energiapolitiikka

- Sisällytetään energia-asiat yrityksen politiikkaan.
- Sitoudutaan energiatehokkuuden kehittämiseen.

2. Suunnittelu

- Analysoidaan ja tunnistetaan energianäkökohtia.
- Asetetaan päämäärät ja tavoitteet.
- Otetaan energia-asiat huomioon investoinneissa.
- Huomioidaan lainsäädännöstä seuraavat vastuut.

3. Toteuttaminen

- Luodaan organisaatio ja määritellään vastuuhenkilöt.
- Koulutetaan henkilöstöä.
- Ylläpidetään energiatehokkuusjärjestelmää.
- Huomioidaan energiatehokkuus laitehankinnoissa.

4. Tarkkailu ja korjaavat toimenpiteet

- Mitataan ja raportoidaan energiankulutuksia.
- Havaitaan poikkeamat ja tehdään korjaavat toimenpiteet.
- Tehdään sisäisiä auditointeja.

5. Yrityksen johdon katselmukset

- Arvioidaan järjestelmän tarkoituksenmukaisuutta.
- Arvioidaan järjestelmän riittävyyttä.
- Arvioidaan järjestelmän tuloksia. /2/, /8/

Veitsiluodon sellutehtaalla ei tällä hetkellä ole näköpiirissä minkään osaston täydellistä ajanmukaistamista, vaan laitteita uusitaan täsmähankintoina. Sähkön omakäytön pienentämisen kannalta tämä tarkoittaa sitä, että säästökohteet on etsittävä läpikäymällä

nykyisiä prosessilaitteita sekä samalla mietittävä tehtaan ajotapoja osastoittain. Merkillepantavaa on myös se, että laitekannan osittaisuusinnat eivät aina automaattisesti vähennä sähkön omakäyttöä vaan saattavat päinvastoin lisätä sitä.

2.9. Energiansäästökartoituksista

Energiansäästöt ja niiden kartoittaminen ovat nykyään metsäteollisuudessa jatkuvasti käynnissä oleva prosessi. Nousevia energiahintoja sekä jatkuvasti tiukentuvia päästörajoituksia voitaneen pitää tämän prosessin käynnistäneinä taustatekijöinä. Energiantuotanto ja sähkönmyynti ovat jo niin kiinnostavia liiketoiminta-alueita, että metsäteollisuudessa suunnitellaan liukumista vielä syvemmälle tälle toimintasektorille.

Energiansäästökartoituksia tehdään ja on tehty omatoimisesti eri tehdaspaikkakunnilla. Nyt näiden kartoitusten taustalle on siis saatu elinkeinoelämän energiatehokkuussopimus ja metsäteollisuuden toimenpideohjelma, joihin Storaenso Oyj konsernina on osaltaan sitoutunut. Energiatehokkuuden arviointi on tehtävissä yhtenäisillä menetelmillä ja tulokset ovat helpommin vertailtavissa, kun kaikilla Storaenson tehtailla Suomessa on käytössään samanlainen järjestelmä. Tämä on tarkoittanut myös sitä, että nyt tähän työhön on varattu niin rahaa kuin toimijoita myös konsernitason ja tämä toiminta on koordinoitumpaa kuin ennen. Stora Enso on perustanut erityisen rahaston – *Energy Saving Fund* – energiansäästöhankkeita varten ja siitä eri tehdasyksiköt voivat hakea energiansäästöperusteista investointirahaa. Sellutehtaalta löytyykin jo yksi käytössä oleva laite, johon on saatu rahat uudesta energiansäästörahastosta. Tällä laitteella otetaan jätevesistä talteen hukkalämpöä, jota käytetään lämmittämään kemiallisen veden valmistukseen menevää raakavettä. Tällä investoinnilla saatiin talteen jäteveden sisältämää lämpöä ja parannettiin samalla vedenvalmistuksen ajettavuutta./8/, /14/

Veitsiluodon sellutehtaalla tämä konsernitason ohjaus on tuottanut kaksi työryhmää, jotka koostuvat lähes täysin paikallisista toimijoista. Kummassakin työryhmässä on ollut mukana yksi ja sama konsernitason edustaja, joka kiertää näissä työryhmissä

tuoden ryhmille tietoa ja vinkkejä muilta tehdaspaikkakunnilta. Näiden työryhmien työ on vielä hiukan kesken, mutta loppuraporttien pitäisi valmistua vuoden 2011 aikana. Raportteihin päätyvät toimenpide-ehdotukset ovat kuitenkin jo olemassa ja valtaosa niistä on ollut esillä jo aiemminkin sellutehtaan sekä integraatin omissa kartoituksissa.

Tässä luettelossa esitellään joitakin työryhmien ehdotuksia esimerkinomaisesti:

- Alennetaan HMP prosessihöyryn painetasoa.
- Nostetaan KPA:n kuiva-ainetasoa.
- Lyhennetään lämmönvaihtimien puhdistusvälejä.
- Minimoidaan paineilman käyttö.
- Siirretään hake keittämölle hihnakuuljettimella.
- Luovutaan öljyn käytöstä lämmöntuotannossa.
- Luovutaan öljyn käytöstä meesauunilla.
- Lisätään taajuusmuuttajakäyttöjä.
- Tarkennetaan ajotapoja osastoilla.

KPA:n kuiva-ainetason nosto tarkoittaa sitä, että kattilaan K7 syötettävää polttoainetta kuivattaisiin ennen sen syöttämistä kattilaan. Kuivain voi olla esimerkiksi pyörivä uuni, jonka läpi polttoon tuleva polttoaine virtaa. Kuivaava kuuma ilmavirta virtaisi vastavirtaan. Uunia voitaisiin lämmittää kattilan K7 savukaasujen sisältämällä hukkalämmöllä, jotka saataisiin talteen savukaasupesurilla. Talteen saadulla lämmöllä voitaisiin lämmönvaihtimessa lämmittää kuivainuunille menevä kuivausilma. Tämä hanke vähentäisi kattilan polttoaineen kulutusta ja toisi säästöjä polttoainekuluissa sekä vähentäisi turveliikennettä voimalaitokselle.

Liian pitkäksi venyneet *lämmönvaihtimien puhdistusvälit* tai muutoin huonokuntoiset lämmönvaihtimet voivat kasvattaa primäärilämpöenergian tarvetta tai huonontaa prosessien hyötysuhdetta ja tätä kautta aiheuttaa lisäkustannuksia. Lisäksi huonosti toimivat lämmönvaihtimet saattavat vaikeuttaa prosessien hallintaa ja säätöä.

Paineilman valmistaminen on erittäin kallista ja *paineilman käytön minimoinnilla* saavutetaan tätä kautta säästöjä. Turhista väliaikaisista paineilmajäähdytyksistä pitää hankkiutua eroon ja paineilmaverkon vuotoihin tulee puuttua heti. Veitsiluodon tehtaiden paineilmaverkko on erittäin laaja ja osittain suhteellisen iäkäs. Tämä korostaa verkon valvonnan tärkeyttä.

Veitsiluodossa hake siirretään puhaltamalla hakekasoilta keittämölle. Hakepuhaltimen tehonkulutus liikkuu tasolla 450- 600kW ja se tarvitsee tuekseen pienemmän lisäilmapuhaltimen. *Hihnakuuljetin- tyyppisellä hakkeensiirtotekniikalla* päästään paljon pienempiin tehonkulutuksiin, joten tämä hanke pienentäisi suoraan sellutehtaan omakäyttösähkön kulutusta. Hanke parantaisi myös keittimen ajettavuutta. Hakkeen puhallus rikkoo hakelastuja niiden törmäillessä hakeputken seinämiin ja näin hakkeen joukkoon tulee ei-toivottuja pieniä jakeita. Hihnakuuljetin siirtäisi haketta prosessiin rikkomatta hakelastuja.

Öljyn käytöstä luopuminen meesauunilla ja lämmöntuotannossa olisi todellinen suurhanke niin kustannuksiltaan kuin myös mittakaavaltaan. Fossiilisen tuontipolttoaineen käyttö korvattaisiin kotimaisella uusiutuvalla biopolttoaineella. Tämä hanke vaatisi teollisen energiapuuta ja hakkuutähteitä käyttävän kaasutuslaitteiston rakentamista sekä muutoksia meesauunin ja kattiloiden polttolaitteisiin.

Taajuusmuuttajakäyttöjä lisäämällä voitaisiin vähentää sellutehtaan omakäyttösähkön kulutusta ja näin aikaansaada säästöjä. Sellutehtaan vanhimmat prosessilaitteet on otettu käyttöön vuonna 1977 ja tuolloin taajuusmuuttajien käyttö oli vielä varsin minimaalista. Ne olivat kalliita ja suurikokoisia, josta syystä niitä asennettiin vain välttämättömiin paikkoihin. Taajuusmuuttajakäyttöjen määrä onkin lisääntynyt jatkuvasti ja niiden käyttöä on syytä lisätä edelleen.

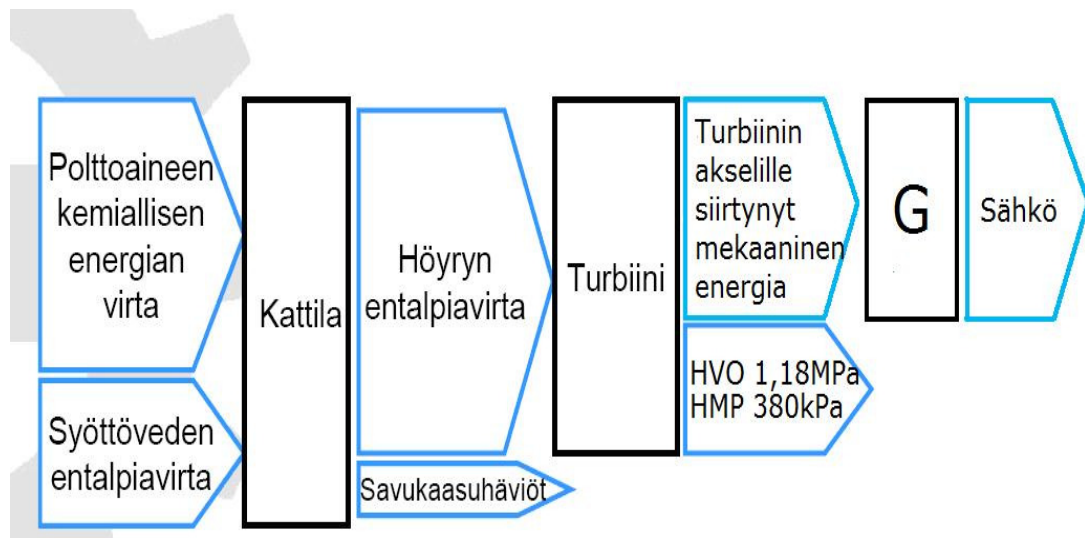
Ajotapatarkennukset ovat monesti nopein ja halvin tapa säästää energiaa. Veitsiluodon sellutehdas on käynnistynyt 1977 ja näitä tarkennuksia on tehty useita vuosien mittaan. Vanha tehdas on ajotapatarkennusten osalta käyty läpi jo useaan kertaan, eikä niiden löytäminen ole enää niin yksinkertaista. Osastojen, varsinkin valkaisun, tyhjäkäynti tai

toisin sanoen ”vesiajo” kuluttaa paljon sähköä. Osastojen tyhjäkäynnistä tulisikin jatkossa energiansäästömielessä laatia oma ohjeistuksensa. Tällä voitaisiin vaikuttaa omakäyttösähkön kulutukseen.

Suuremmista hankkeista on pisimmällä HMP:n painetason alentaminen, jota on jo alustavasti tutkittu integraattitasolla. Tämän hankkeen merkitystä sähköntuotannon kannalta tarkastellaan lähemmin luvussa 4. Samassa luvussa tarkastellaan myös lyhyesti ajotapatarkennuksia massankäsittelyn alueella.

3. TEORIA

Voimalaitosprosessissa energia siirtyy polttoaineesta höyryyn ja edelleen sähköksi. Osa energiavirrasta käytetään lämpöenergian muodossa höyrynä. Veitsiluodossa käytössä oleva lämmön ja sähkön yhteistuotanto toimii kuvassa 7 esitetyllä tavalla. Turbiinista otetaan ulos tarvittavat prosessihöyryjakeet ja loput energiasta muutetaan sähköksi generaattorissa. Turbiinin ja generaattorin häviöt eivät kuvassa näy. Veitsiluodossa turbiinin TG5 isentrooppinen hyötysuhde on tyypillisesti tasolla 0,9.



Kuva 7. Energian siirtyminen voimalaitoksella /lähteen 1 kuva muokattuna/

3.1. Kattilat

Kaikki Veitsiluodossa käytössä olevat kolme kattilaa ovat tyypiltään ns. **luonnonkiertokattiloita**. Luonnonkiertokattilat ovat vesiputkikattiloita, joissa höyrystyvä vesi virtaa putkistoissa. Näissä kattiloissa veden ja vesihöyryn kierto lieriön ja höyrystinosan välillä perustuu veden ja höyryn väliseen tiheyseroon. Tämä tiheysero veden ja höyryn välillä pienenee painetason noustessa ja tämä tarkoittaa sitä, että luonnonkierto ei sovi kovin korkeille käyttöpaineille. Luonnonkiertokattilan painetason on käytännössä oltava alle 170bar (17,0MPa), jotta luonnonkierron toimivuus varmistuu. Luonnonkiertokattiloiden omakäyttötehon tarve on matalampi kuin

pakkokierto- tai läpivirtauskattiloiden, koska luonnonkiertokattiloissa ei tarvita pumppua kierrättämään vettä höyrystinosassa./3, s.111- 118/

Tällaisten kattiloiden vesi/höyrypiirin tyypilliset ja keskeiset komponentit ovat:

- veden esilämmitin
- höyrystinosa
- lieriö
- tulistin

Veden esilämmittimissä kattilan lieriöön ajettavaa syöttövedtä lämmitetään savukaasuista saatavalla lämmöllä. Näin savukaasujen lämpötilaa saadaan laskettua ja kattilan hyötysuhdetta parannettua. /3, s.111- 118/

Veden höyrystyminen tapahtuu *höyrystinosassa*, johon vesi tuodaan lieriöstä laskuputkia pitkin. Höyrystinosassa osa vedestä höyrystyy ja tämä syntynyt vesi/vesihöyryseos palaa takaisin lieriöön. /3, s.111- 118/

Lieriön tehtävänä on erottaa muodostunut höyry ja jäljelle jäänyt höyrystymätön vesi toisistaan. Höyry kohoaa lieriön yläosaan ja virtaa sieltä edelleen tulistimille. Jäljelle jäänyt höyrystymätön vesi sekoittuu lieriöön syötettävän tuoreen syöttöveden joukkoon ja lähtee sen mukana uudelle kierrokselle höyrystinosaan. /3, s.111- 118/

Tulistimissa höyryturbiiniin ajettavan tuorehöyryn lämpötilaa nostetaan kylläisen lämpötilan puolelta noin parilla sadalla asteella tulistetun höyryn lämpötila-alueelle. Tällä tavoin nostetaan höyryn sisältämää energiamäärää (ominaisentalpiaa, yksikkö kJ/kg) ennen tuorehöyryn kulkeutumista turbiiniin. /3, s.111- 118/

3.2. Turbogeneraattorit

Höyryturbiini on pyörivä lämpövoimakone, jonka avulla höyryn sisältämä energia muutetaan mekaaniseksi energiaksi./4, luku 2.4/

Energian muuntaminen tapahtuu kaksivaiheisesti:

1. Höyryn sisältämä entalpia muutetaan virtausenergiaksi.
2. Virtausenergia siirtyy turbiinin akselille pyöriväksi mekaaniseksi energiaksi.

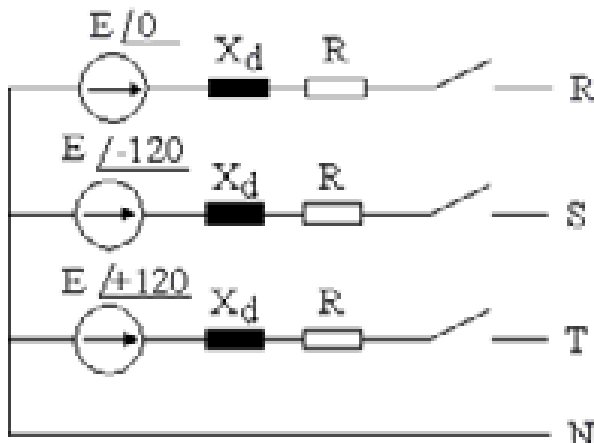
Höyryturbiinien pääkäyttötarkoitukset voidaan jakaa seuraavasti:

- voimalaitoskoneena sähkövoimalaitoksissa tuottamassa sähköenergiaa
- teollisuuskäytössä tuottamassa sekä sähkö- että lämpöenergiaa
- pumppujen ja puhaltimien voimakoneena
- laivojen voimanlähteenä.

Veitsiluodossa on käytössä vastapaineturbiini, jolla siis tuotetaan sekä lämpöä että sähköä. Tällaisesta turbiinista höyry poistuu ylipaineella ja höyryä käytetään tämän jälkeen erilaisiin prosessitarpeisiin. Tässä tapauksessa lämmön eli höyryn tarve on määräävä tekijä ja sähkön tuotanto on toissijaisessa asemassa. Kaikki kolme Veitsiluodon turbiinia on varustettu väliottomahdollisuudella. Tämä tarkoittaa sitä, että turbiinista voidaan ottaa ulos ”välistä” korkeapaineisempaa höyryä erillisiin lämmitystarkoituksiin. Loppuhöyry virtaa koko turbiinin läpi. Veitsiluodon turbiinit ovat suoraikäyttöisiä eli ne pyörittävät generaattoreita suoraan kytkimen välityksellä. /4/

Generaattorissa muunnetaan tuorehöyrystä turbiinin akselin pyörimisliikkeeseen siirretty mekaaninen energia sähköenergiaksi sähkömagneettisen induktion avulla. Kun johdinta tai johdinsilmukkaa liikutetaan magneettikentässä ja johdin leikkaa magneettisten napojen välisiä magneettisia voimaviivoja, syntyy johdinsilmukkaan *sähkömotorinen voima*. Tämän voiman suunta vaihtelee johdinsilmukan leikatessa magneettisia voimaviivoja eri suunnista. Näin johdinsilmukkaan syntyy sinimuotoinen sähkömotorinen voima joka edelleen synnyttää sinimuotoisesti vaihtelevaa virtaa ulkopuolisen virtapiirin ollessa suljettuna. Generaattorissa magneettinavat on sijoitettu voimakoneen eli turbiinin akselin mukana pyörivälle roottorille eli napapyörälle. Indusoitunut jännite synnytetään roottoria ympäröivän staattorin johdinkimppuihin ja syntynyt virta saadaan ulos paikallaan pysyvistä staattorin navoista. Staattorin

käämpäpaketin eri vaiheiden loppupäät on yhdistetty toisiinsa tähtikytkennällä ns. nollapisteessä ja vaiheiden alkupäät taas on yhdistetty kiskoston avulla jakeluverkkoon./4/, /6/



Kuva 8. Generaattorin kolmivaiheinen sijaiskytkentä /6/

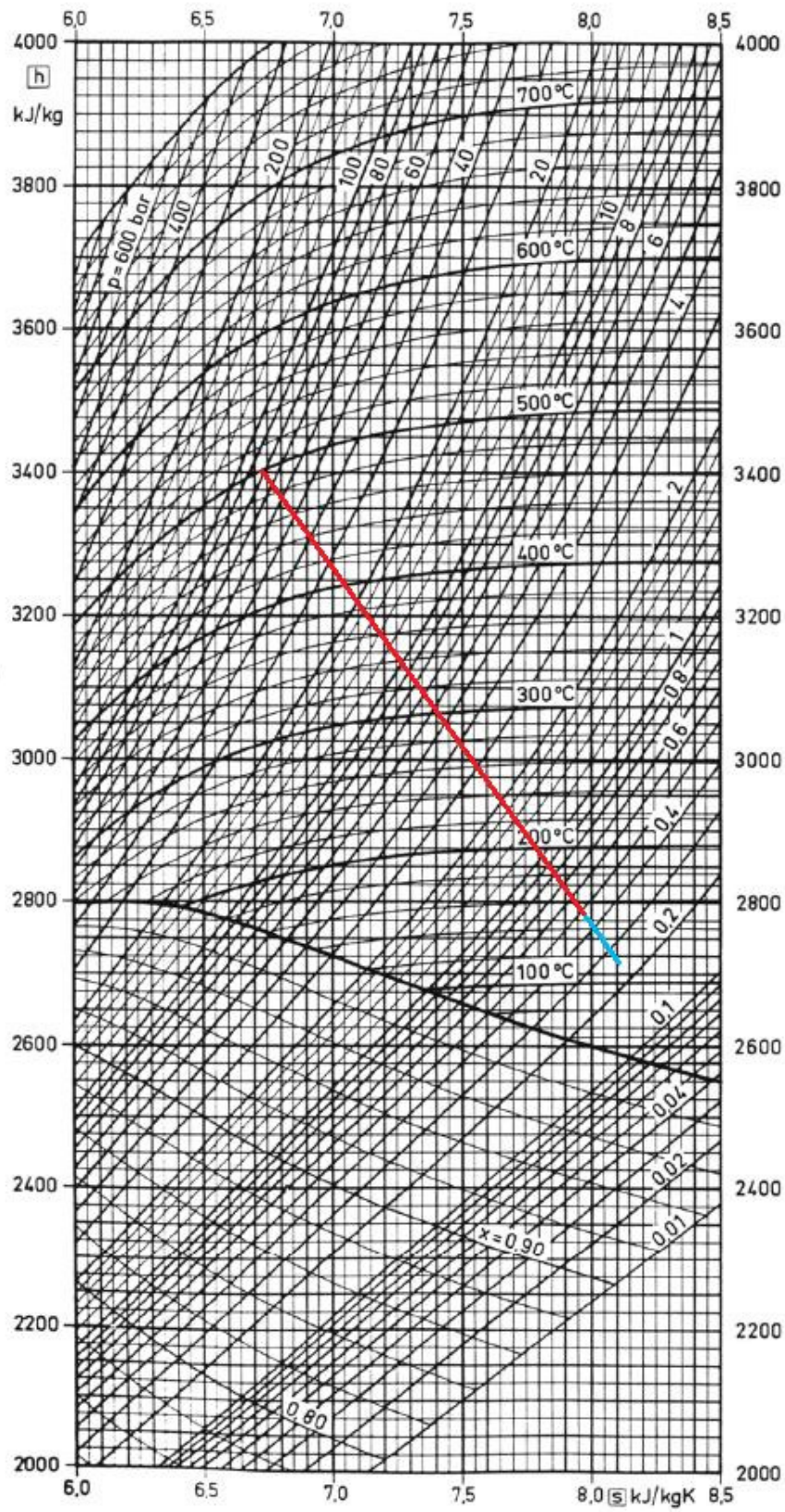
Generaattoria pyörittävän voimakoneen teho määrää generaattorin antaman pätötehon suuruuden. Tästä seuraa, että generaattorin magnetointivirralla voidaan vaikuttaa vain virran loiskomponenttiin. Magnetointivirta vaikuttaa toki myös roottoriin syntyvän magneettikentän voimakkuuteen ja näin edelleen generaattorin jännitteeseen. Jos magnetointivirta on nolla, ei generaattori kehitä jännitettä ollenkaan. Kun generaattori on kytketty jäykkään verkkoon jonka jännite on vakio, ei magnetoimisvirran kasvattaminen kuitenkaan vaikuta generaattorin liitinjännitteeseen vaikka se vaikuttaakin generaattorin kehittämään sähkömotoriseen jännitteeseen. Tämä johtuu siitä, että magnetointivirtaa säädettäessä ja jäykässä verkossa ollessaan muuttuu generaattorin staattorin virta siten, että jännitehäviö generaattorin tahtireaktanssissa ja resistanssissa kumoaa sähkömotorisen jännitteen muutoksen./4/, /6/

3.3. Kulutussuhde ja h, s- piirros

Voimalaitosten sähköntuotannosta puhuttaessa on syytä ottaa esille termi kulutussuhde. Tällä suhteella tarkoitetaan laitoksen sähköenergian tuottoon kuluneen polttoaineen sisältämän kemiallisen energian suhdetta generaattorista saatuun sähköenergiaan.

Turbiinin kulutussuhde on lähestulkoon vakio. Suhteeseen vaikuttavat vain koneen mekaaniset häviöt ja vuotohäviöt sekä generaattorin ja kattilan hyötysuhteet. Turbiinin sisäinen hyötysuhde ei vaikuta kulutussuhteeseen. Jos isentrooppinen hyötysuhde on heikko, saadaan koneesta ulos vähemmän sähköenergiaa, mutta toisaalta kasvanut häviö saadaan talteen prosessilämpönä. Laitoksen kulutussuhteen määrittelyyn tarvitaan lähtötietoina kattilaan tuotu teho ja siitä ulos saatu lämpöteho. Kattilasta ulos saatu ja edelleen vastapaineprosessiin viety teho voidaan jakaa turbiinin siivistölle jäävään lämpötehoon ja koneesta ulos otettujen prosessihöyryjakeiden sisältämään lämpötehoon. Siivistölle jäänyttä tehoa ja turbiinin hyötysuhdetta käyttäen voidaan edelleen laskea vastapainelaitoksen nettosähköteho. Näissä määrittelyissä on mukana höyryn massavirtoja ja syöttöveden, höyryn sekä palautuvien lauhdeiden sisältämiä entalpioita. Veitsiluodossa sähkön vastapainetuotannon kulutussuhteeksi on määritelty **1,26** ja apulauhdesähkötuotannon kulutussuhteeksi **4,6/5** s. 18- 21/, /11/

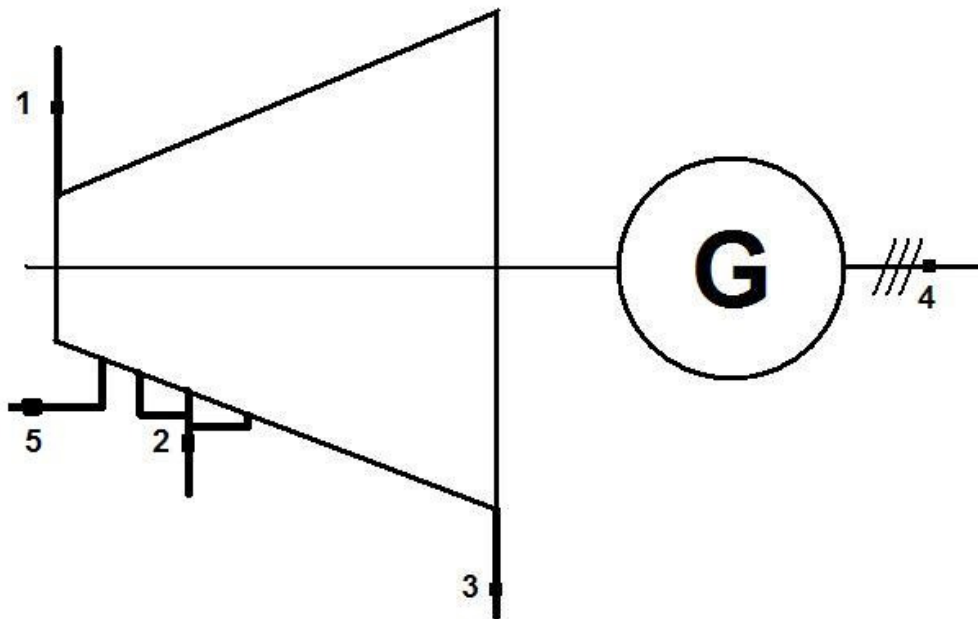
Höyryn, syöttöveden ja lauhteen sisältämien entalpioiden (aineen sisältämä lämpö- ja paine-energia) määrittelyissä käytetään apuna h, s- piirroksia, höyrytaulukoita ja tietokonepohjaisia laskentaohjelmia. Tässä työssä on käytetty avuksi h, s- piirrosta ja laskentaohjelmaa. Kuvassa 9 esitetään h, s- piirros. Piirroksen y- akselilta löytyvät entalpia-arvot (h, yksikkö kJ/kg) ja x- akselilta entropiat (s, yksikkö kJ/kgK). Piirroksen käyrästöt edustavat höyryn eri paine- ja lämpötilatasoja. Piirroksen oikealta vasemmalle jakava tummempi käyrä erottaa toisistaan kylläisen ja tulistetun höyryn alueet. Höyrytaulukoista voidaan katsoa kylläisen höyryn arvoja, mutta tulistetun höyryn alueella operoitaessa tarvitaan avuksi h, s- piirrosta. Laskentaohjelmat tarvitsevat kylläisen höyryn alueella liikuttaessa lähtötietoina höyryn lämpötilan tai paineen, mutta tulistetun höyryn alueella oltaessa ne tarvitsevat lähtötiedoikseen molemmat arvot. Kuvaan 9 on piirretty punainen viiva, jolla kuvataan höyryn tilan muutosta turbiinin TG5 sisällä. Viivan eli paisuntakäyrän alkupää on sisään syötettävän tuorehöyryn arvojen kohdalla ja viivan loppupää vastaavasti turbiinista ulos otettavan höyryn arvojen kohdalla. Jos turbiini olisi häviötön, viiva olisi pystysuora. Viivan sininen jatkos kuvaa koneen paisuntakäyrän jatkumista vastapainetasoa laskettaessa. Tältä paisuntakäyrältä on katsottu nyt tarvittavat lämpötilat ja paineet, jotka syötettiin laskentaohjelmaan tarvittavien entalpioiden määrittämiseksi./3/, /4/



Kuva 9. H, s- piirros ja TG5 paisuntakäyrä

3.4. Sähkötalon lisäys ja käytetyt kaavat

Lähtökohtaisesti HMP:n matalampi painetaso lisää suoraan vastapainelaitoksen omaa sähköntuotantoa. Turbiinin vastapainetason ollessa matalampi saadaan suurempi osa HKP:n sisältämästä entalpiasta muutettua sähköksi. Tässä työssä tätä tilannetta tarkastellaan turbiinin energiataseen kannalta ja laskelmissa käytetään useita höyryn vastapainetasoja. Laskelmissa turbiini ja generaattori oletetaan häviöttömäksi. Laskennassa turbiiniin tuodusta kokonaisenergiamäärästä vähennetään ulos otettujen HVO ja HMP- jakeiden sisältämä lämpöenergian osuus jolloin jäljelle jää generaattorista saatu sähköteho. /3, luku 1 ja s.333- 334/



Kuva 10. Turbiinin TG5 periaatepiirros

Yllä olevassa kuvassa 10 näkyvät pisteet 1, 2, 3, 4 ja 5 ovat:

1. HKP sisään
2. HVO ulos
3. HMP ulos
4. $P_{\text{sähkö}}$ eli sähkö generaattorista
5. Väliotto SK:n nuohoushöyrylle, ei käytössä

Tuorehöyryn ja prosessihöyryjen massavirtojen ja entalpioiden avulla saadaan laskettua generaattorin antama sähköteho [kW] käyttäen kaavaa

$$P_{SÄHKÖ} = m_1 h_1 - m_2 h_2 - m_3 h_3 \quad (1)$$

missä

m_1 on HKP:n massavirta

h_1 on HKP:n entalpia

m_2 on HVO:n massavirta

h_2 on HVO:n entalpia

m_3 on HMP:n massavirta

h_3 on HMP:n entalpia

Lisääntyneestä sähköntuotannosta saatu rahallinen hyöty [€/h] on laskettu kaavalla

$$Hyöty = P_{LISÄYS} * \text{euroa / kWh} \quad (2)$$

missä

$P_{LISÄYS}$ on sähkötehon lisäys kilowatteina

€/kWh on sähköenergian hinta

Jos oletetaan, että *asiakkaiden tarvitsema lämpöenergian määrä pysyy painetason muutoksesta huolimatta ennallaan*, voidaan myös olettaa, että heidän käyttämän vastapainehöyryn massavirta hiukan kasvaa. Tämä johtuu siitä, että alemman painetason ollessa käytössä höyryn sisältämä energiamäärä eli entalpia laskee. Näin saman energiamäärän siirtämiseksi asiakkaille tarvitaan hiukan suurempaa vastapainehöyryn massavirtaa mikä taas vastaavasti turbiinin energiataseen kannalta tarkasteltuna kasvattaa turbiiniin tuodun tuorehöyryn massavirtaa.

Tämä uusi lisääntynyt massavirta voidaan laskea kaavalla

$$m_3 h_3 = m_{3uusi} h_{3uusi} \quad (3)$$

missä

m_{3uusi} on höyryn uusi massavirta

h_{3uusi} on höyryn entalpia uudella alennetulla painetasolla

Tehtaan ajotapatarkennukset voivat tuoda mukanaan säästöjä sähkönkulutukseen.

Turhaan pyörivien laitteiden moottorien ottamaa tehoa on laskettu käyttäen kaavaa

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

missä

U on jännite

I on laitteen ottama virta

$\cos \varphi$ on tehokerroin

4. MATALAPAINEHÖYRYN PAINETASON ALENTAMINEN

Tämä hanke koskee koko integraattia ja tätä hanketta ei voi toteuttaa pelkästään voimalaitoksen omana projektina. Prosessihöyryn käyttäjiltä on tähän hankkeeseen saatu varovaista vihreää valoa, joten siksi valitsin tämän hankkeen lähempään tarkasteluun. Tarkastelussa tutkitaan hankkeen vaikutuksia voimalaitoksella, sellutehtaalla ja myös paperitehtaalla.

4.1. HMP prosessihöyryn painetason alentaminen

Lämmöntuotannon osalta tämä hanke tarkoittaisi sitä, että toisen lopputuotteen (HMP) laatuarvot muuttuisivat. Paine laskisi 380 kPa:sta alimmillaan tasolle 280kPa ja lämpötila laskisi tuolloin tasolta 155°C tasolle 139°C. Paineenalennukseksi voidaan toki valita jotain muutakin tuolta väliltä, jolloin myös lopputuotteen lämpötilat vastaavasti muuttuvat. Lämmöntuotannon ja -toimituksen periaatteita tämä hanke ei kuitenkaan muuttaisi; prosessihöyryä HMP tuotettaisiin ja toimitettaisiin edelleen asiakkaille heidän tarpeitaan vastaava määrä.

Taulukko 4, tulistetun höyryn arvoja painetasolla 280- 380kPa /12/

Höyryn paine		lämpötila	tilavuus	tiheys	entalpia
bar	kPa	°C	m ³ /kg	kg/m ³	kJ/kg
3,8	380	155,0	0,50	1,99	2765,7
3,7	370	153,5	0,52	1,94	2763,2
3,6	360	152,0	0,53	1,89	2760,7
3,5	350	150,0	0,54	1,85	2757,1
3,4	340	148,0	0,55	1,80	2753,6
3,3	330	146,0	0,57	1,76	2749,9
3,2	320	144,0	0,58	1,71	2746,4
3,1	310	143,0	0,60	1,66	2745,1
3,0	300	141,5	0,62	1,61	2742,7
2,9	290	140,0	0,64	1,57	2740,3
2,8	280	139,0	0,66	1,51	2739,0

Koska nyt ollaan tulistetun höyryn alueella, on taulukon 4 paineet ja niitä vastaavat lämpötilat katsottu ensin vesihöyryn h,s- piirroksen piirretyltä turbiinin TG5 paisuntakäyrältä. Näin saadut arvot on syötetty SteamTab- laskentaohjelmaan, josta saadut loput arvot on taulukoitu. Kuten taulukosta havaitaan, laskee tulistetun höyryn entalpia painetasolta 380kPa alaspäin tultaessa varsin maltillisesti. Painetasolla 280kPa entalpia on 26,7kJ/kg pienempi kuin painetasolla 380kPa, joten jo tästä voi päätellä, että generaattorista ulos saatava sähköteho ei voi nousta kovin radikaalisti.

Laskelmia on tehty turbiinin kuormapisteitä vastaavilla massavirroilla. Pisteiden C ja D osalta on laskelmista jätetty huomioimatta SK:n nuohoushöyryn väliotto 1, koska se ei ole nykyään käytössä. Kuormapistettä E, jossa väliottoja ei ollenkaan, ei myöskään ole käytetty, koska tilanne ei vastaa turbiinin nykyisin käytössä olevia normaaleja ajomalleja. Laskelmissa käytetty välioton suhteellinen osuus kokonaismassavirrasta on kaikilla laskentapisteillä yhtä suuri eli 18,125 %. Tämä osuus on valittu suunnitteluarvoista katsotun kuormapisteen D mukaan, josta ilmenee, että 160kg/s massavirralla ilman SK:n nuohoushöyryn väliottoa on muun välioton massavirta noin 29kg/s eli 18,125%. Turbiinista on suunnitteluarvojen mukaan mahdollista ottaa ulos HVO:ä 35kg/s 1,25MPa:n painetasolla.

Aluksi olen laskenut **vertailukohdaksi turbiiniin nykytilanteen vastapainetasolla 380kPa**. Tässä käytän esimerkkinä laskentapistettä B, joka mielestäni vastaa parhaiten voimalaitoksen vuosittaista sähköenergiantuotantoa, joka on noin 600GWh. Tuorehöyryn entalpien h_1 olen saanut syöttämällä voimalaitoksen ohjausjärjestelmästä otetut lämpötilatila ja painetiedot SteamTab- laskentaohjelmaan. Ohjelma antoi entalpiaksi h_1 3399,2kJ/kg. Väliottohöyryn entalpia h_2 ja matalapainehöyryn entalpia h_3 on saatu vastaavasti ja ne ovat 3001,4kJ/kg ja 2765,7kJ/kg. Laskentapisteen B tuorehöyryn massavirtana on 120kg/s, joka siis vastaa turbiinin kuormapisteen B massavirtaa. Tästä massavirrasta välioton osuus on 18,125 % eli 21,75kg/s. Matalapainehöyryn massavirraksi jää näin 98,25kg/s. Nämä arvot olen syöttänyt kaavaan 1, joka antaa vastaukseksi generaattorin sähkötehon. **Tulokseksi tuli 70894kW**. Seuraavaksi laskin **sähkötehoja alennetuilla vastapaineilla**. Käytän tässä esimerkkinä edelleen laskentapistettä B ja esimerkkipaineena on nyt 340kPa. Tuorehöyryn ja välioton entalpiat säilyvät ennallaan, mutta matalapainehöyryn entalpia

muuttuu. Katsoin painetta 340 kPa vastaavan lämpötilan h,s- piirrokseen piirrettyltä turbiinin TG5 paisuntakäyrältä ja syötin saadun arvot SteamTab- laskentaohjelmaan. Ohjelma antoi matalapainehöyryn entalpiaksi h_3 2753,6kJ/kg. Kaavaa 1 käyttäen sain sähkötehoksi nyt **72084kW**.

Esimerkki sähkötehon laskemisesta, tässä on laskettu vertailukohta.

$$120\text{kg/s} * 3399,2\text{kJ/kg} - 21,75\text{kg/s} * 3001,4\text{kJ/kg} - 98,25\text{kg/s} * 2765,7\text{kJ/kg} = 70894\text{kW}$$

Kaikki käytetyt laskentapisteen, massavirrat, entalpiat ja tulokset löytyvät kokonaisuudessaan **liitteestä 1**.

Laskelmaa jatkettiin vertailemalla kaavaa 1 käyttäen saatuja generaattorin sähkötehoja eri painetasoilla nykytilanteeseen eli painetasoon 380kPa. Laskelmat tehtiin neljällä eri laskentapistellä. **Generaattorin lisääntyneeksi sähkötehoksi** saatiin valitusta höyryn painetasosta ja laskentapistestä riippuen **198- 3495kW**. Laskelmien tuloksista käy ilmi, että painetasosta riippumatta suurin sähkötehon lisäys saavutetaan laskentapistessä D, jolloin turbiini on käytännössä maksimijolla. Käytän tässä esimerkkinä edelleen laskentapistettä B ja painetta 340kPa. Saadusta uudesta sähkötehosta on vähennetty vertailukohdan sähköteho. Näin on saatu sähkötehon lisäys.

Esimerkki sähkötehon lisäyksestä, laskentapiste B ja painetaso 340kPa.

$$72084\text{kW} - 70894\text{kW} = 1190\text{kW}$$

Sähkötehon lisäyksestä **saatava säästö** riippuu valitusta painetasosta, ostosähkön hinnasta ja turbiinin kuormasta. Ostosähkön hinta liikkuu tällä hetkellä tasolla 40-50€/MWh, joten syntynyt rahallinen hyöty vaihtelee tasolla **7,92- 174,75€/h**. Saatava rahallinen hyöty on laskettu käyttäen kaavaa 2. Käytän tässä esimerkkinä edelleen laskentapistettä B, painetta 340kPa ja sähköenergian hintana 40€/MWh eli 0,04€/kWh.

Esimerkki saadusta säästöstä, laskentapiste B ja painetaso 340kPa.

$$1190kW*0,04€/kWh = 47,6€/h$$

Laskelmia saadusta sähkötehon lisäyksestä ja rahallisesta hyödystä löytyvät kokonaisuudessaan **liitteestä 2**.

Vuositasolla saatavaa hyötyä arvioitaessa olen valinnut käytettäväksi pelkästään laskentapisteen B, joka mielestäni vastaa parhaiten generaattorin vuosittaista keskiarvosähkötehoa, kun voimalaitoksen vuosittaisena sähköenergiantuotantona käytetään 600GWh. Näin saatu vuosittainen rahallinen hyöty on **87250- 1147998€**, joka siis edelleen riippuu valitusta painetasosta ja ostosähkön hinnasta. Vuosittainen rahallinen hyöty on laskettu kertomalla tuntisäästö luvulla 8760, joka vastaa tuntien määrää vuodessa. Käytän tässä esimerkkinä edelleen laskentapistettä B, painetta 340kPa ja sähköenergian hintana 40€/MWh eli 0,04€/kWh.

$$1190kW*0,04€/kWh*8760h = 416976€$$

Laskelmia saadusta vuosittaisesta hyödystä löytyy **liitteestä 3**.

Jos oletetaan, että *asiakkaiden tarvitsema lämpöenergian määrä pysyy painetason muutoksesta huolimatta ennallaan*, voidaan myös olettaa, että heidän ottaman höyryn massavirta hiukan kasvaa. Tämän ilmiön vaikutusta sähköntuotantoon on myös syytä lyhyesti tarkastella. Olen tehnyt tarkastelut laskentapisteesä B, jossa vastapainehöyryn massavirta m_3 ulos turbiinista on 98,25kg/s.

Kaavaa 3 käyttämällä saadaan uudeksi **massavirraksi m_{3uus}** laskettua käytetystä painetasosta riippuen **98,34 – 99,21kg/s**. Tuloksesta havaitaan, että alempi painetaso kasvattaa vastapainehöyryn massavirtaa hyvin vähän. Sama pieni lisäys näkyy myös turbiinin tuorehöyryvirrassa. Tämä massavirran kasvu turbiinin lisää silti *generaattorin antamaa sähkötehoa 57- 634kW* valitusta painetasosta riippuen. Käytän tässä esimerkkinä edelleen laskentapistettä B ja painetta 340kPa.

Esimerkki saadusta sähkötehon lisäyksestä, laskentapiste B ja painetaso 340kPa.

$$98,25\text{kg/s} * 2765,7\text{kJ/kg} = m_{3\text{uusi}} * 2753,6\text{kJ/kg}$$

josta ratkaistuna $m_{3\text{uusi}}$ on 98,68kg/s.

Koska sama pieni lisäys näkyy myös turbiinin tuorehöyryvirrassa, tulee uudeksi tuorehöyryvirraksi 120,43kg/s. Kun sijoitetaan nämä uudet massavirrat kaavaan yksi, saadaan sähkötehoksi 72362kW. Lisätehoa verrattuna tilanteeseen, jossa tätä massavirran lisäystä ei ole huomioitu, saadaan **278kW**.

Laskelmia saadusta sähkötehon lisäyksestä esitetään liitteessä 4.

4.1.1. Yhteenveto saaduista tuloksista

Saadut tulokset laskentapisteestä B on taulukoitu taulukkoon 5. Taulukkoon on valikoitu kolme painetasoa, jotka ovat vain hieman nykypainetason 380kPa alapuolella. Taulukosta havaitaan, että vuotuiset säästöt ovat huomattavat ja ne kasvavat, jos sähkön hinta nousee. Vuotuisen säästöön ei ole huomioitu oletettua turbiinin tuorehöyryn pientä massavirran lisäystä. Kaikki tulokset kaikilla käytetyillä laskentapisteillä, painetasoilla ja sähköenergian hinnoilla löytyvät liitteistä.

Taulukko 5, tuloksia

Tulokset, laskentapiste B

	Paine 350 kPa	340kPa	330kPa
Sähköteho vertailukohta kW	70894	70894	70894
Uusi sähköteho kW	71742	72084	72444
Sähkötehon lisäys kW	848	1190	1550
Sähköenergian hinta €/kWh	0,04	0,04	0,04
Saatu hyöty €/h	33,92	47,6	62
Saatu hyöty €/a	273139	416976	543120

4.1.2. Hankkeen vaikutukset voimalaitoksella

Hanke ei aiheuta voimalaitoksella minkäänlaisia kustannuksia ja se on toteutettavissa laitoksen olemassa olevalla laitteistolla. Normaalitilanteessa kattila K7 säättää vastapainetta ja TG5 etupainetta. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että vastapaineverkon painetason laskiessa kattilaan syötetään enemmän polttoainetta. Tästä seuraava etupaineen nousu estetään avaamalla turbiinin säätöventtiiliä ja päästämällä lisää tuorehöyryä turbiiniin. Tämän toimenpiteen seurauksena turbiinin jälkeinen vastapainetaso nousee. Jos taas vastapaineverkon painetaso pyrkii nousemaan, pienennetään kattilaan syötettävän polttoaineen määrää. Etupaine lähtee laskemaan ja tämä lasku estetään pienentämällä turbiiniin menevää höyryvirtaa. Tämän toimenpiteen seurauksena turbiinin jälkeinen vastapainetaso laskee./11/

Vastapainetason asetusarvoa lasketaan ohjausjärjestelmästä 380kPa:sta alaspäin tasolle 300kPa. Samalla on huomioitava myös muiden höyryverkon säätämiseen osallistuvien laitteiden asetusarvot. Tällaisia laitteita ovat reduktioventtiilit, höyryakut, apulauhduttimet, syöttövesisäiliöt ja kaukolämpöakku. Näitä laitteita tarvitaan apuna höyryverkon hallinnassa. Niihin voidaan joko ajaa/varastoida höyryä verkon ylikuormitustilanteessa tai vastaavasti niistä voidaan ottaa höyryä verkkoon sen alikuormitustilanteessa./11/

TG5:n suunnitteluarvona on käytetty tuorehöyryn osalta 8,4MPa ja tämä taso pysyisi käytössä jatkossakin. Väliottoja turbiinissa on neljä eikä niidenkään käyttö muuttuisi vastapainetason laskiessa. Turbiinin poistohöyryn suunnitteluarvoina on käytetty 370kPa ja 300kPa, joten sekään ei ole hankkeen esteenä. Turbiinin kohdalla on ehdottomasti varottava joutumista pois tulistetun höyryn alueelta, mutta kostean höyryn alue ei 300kPa:n vastapainetasolla ole vielä lähelläkään./11/, /13/

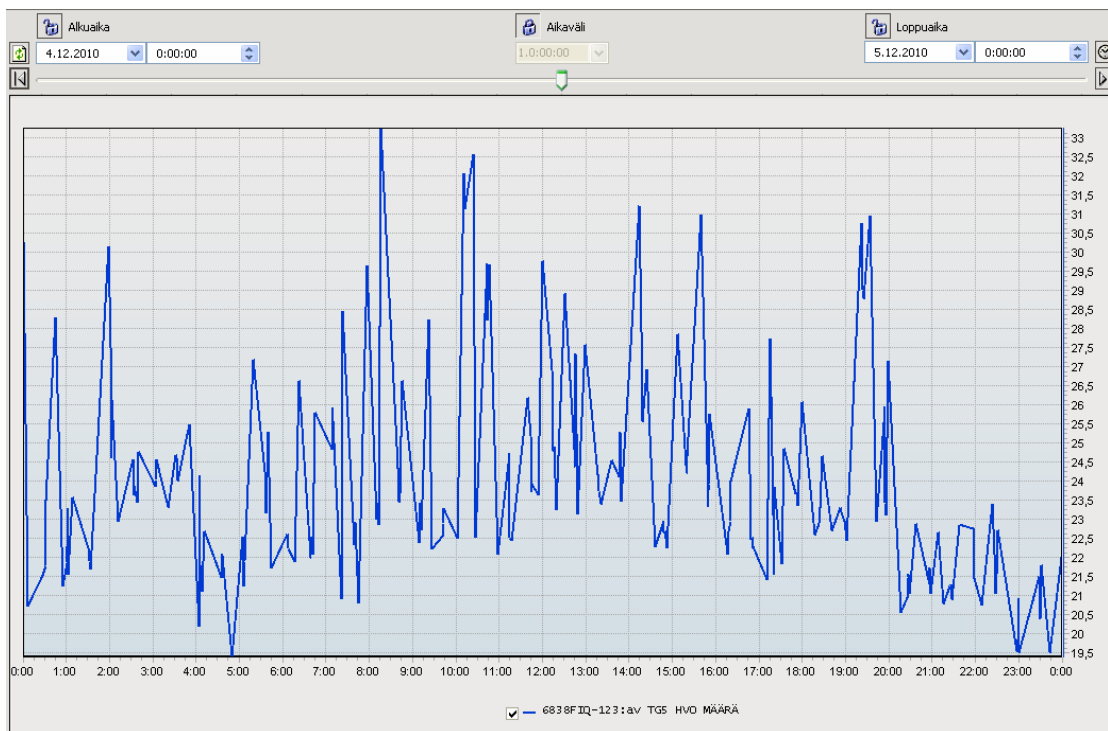


Kuva 11. Yleisnäyttö turbiinista TG5/17/

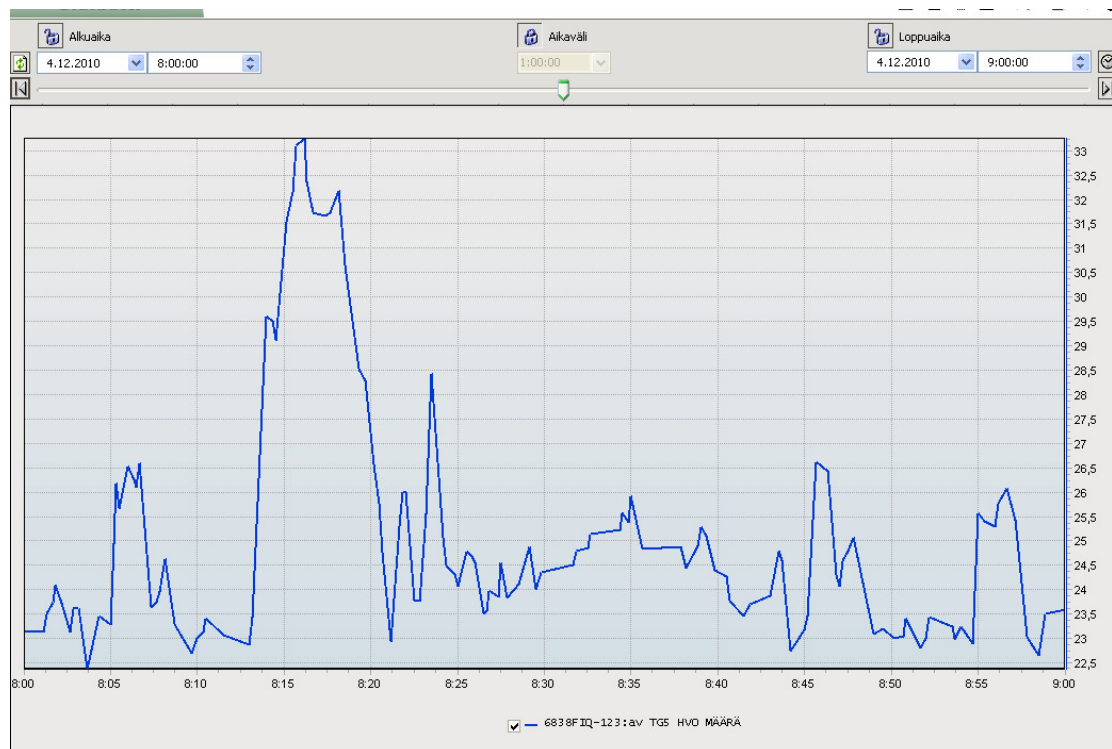
Turbiinin jälkeiset höyrylinjat on mitoitettu läpäisemään turbiinin maksimikuorma eikä turbiinin maksimikuorma muutu tässä hankkeessa. Jos asiakkaiden tarvitsema höyry määrä ylittää turbiinin maksimikuorman, käytetään tämän ylimenevän höyry määrän aikaansaamiseksi *reduktioventtiileitä*. Nämä laitteet ovat säädöllä turbiinin rinnalla ja toimivat automaattisesti turbiinin ylikuormitustilanteen toisinaan syntyessä. Reduktioventtiileihin ajettu tuorehöyry ei siis lisää sähköntuotantoa vaan turvaa asiakkaiden lämpöenergian riittävyyden. Tällaista ns. ohiajoa esiintyy toisinaan talvella lämpöenergian kulutuksen ollessa suurimmillaan tai silloin, kun kattiloiden tuorehöyryn kehityksessä esiintyy ongelmia.

Voimalaitoksen kannalta vaikeuksia voi aiheuttaa lisääntyvä HVO- höyryn käyttö. Sen maksimituotto turbiinilla on 35kg/s. Jos haihuttamolle menevän HVO- höyryn määrää kasvatetaan hankkeen myötä liikaa, voidaan alkaa jo liikkua lähellä kyseisen höyryjakeen maksimituottoa. HVO- tuotantoon ei jäisi jatkuvalla maksimikulutuksella säätövaara ja se ei ole suotavaa. Kävin läpi HVO- kulutuksia viimeisen vuoden ajalta ja havaitsin, että normaalitilanteissa höyryn riittävyyden kanssa ei ole ongelmia. HVO- höyryn vuorokausikulutus oli keskimäärin 1126MWh, joka virtauksena tarkoittaa noin

16kg/s. Korkein vuorokausikulutuslukema löytyi joulukuulta 2010 ja se oli 1548MWh, joka taas virtauksena tarkoittaa noin 22kg/s. Virtaus ei ole kuitenkaan tasaista ja joissakin hetkittäisissä virtauspiikeissä ollaan jo lähellä maksimimääriä. Kulutuksia on esitelty kuvissa 12 ja 13. Kuvassa 12 näkyy turbiinin TG5 HVO- määrä vuorokauden mittaisena trendinä 4.12.2010. Trendistä näkyy, että kulutus on muutamia piikkejä lukuun ottamatta liikkunut välillä 20- 25 kg/s. Otin tarkemman trendin korkeimman piikin kohdalta klo 08- 09 väliseltä ajalta ja siitä voi havaita, että kulutus on yhtä kahdeksan minuutin jaksoa lukuun ottamatta pysynyt tasolla 24-25kg/s. Tällaisia erittäin lyhyitä piikkejä löytyi muiltakin päiviltä. Jos näitä lyhyitä kulutushuippuja halutaan tasata, on sitä varten mahdollista rakentaa ohjausjärjestelmään erilaisia rajoitussäätöjä. Jos hanke painetason laskusta toteutetaan, voitaisiin tällainen säätö rakentaa haihduttamon/keittämön alueelle, jossa kulutus hankkeen myötä kasvaisi.



Kuva 12. TG5 HVO- määrä 4.12.2010 /17/



Kuva 13. TG5 HVO- määrä 4.12.2010 klo 08- 09 /17/

4.1.3. Hankkeen vaikutukset sellutehtaalla

Sellutehtaalla hanke aiheuttaa ongelmia erityisesti haihduttamon alueella. Haihduttamo on jo nyt sellutehtaan pullonkaula ja tilanne pahenee HMP:n painetason ja lämpötilan laskiessa. Haihduttamon sarjan keulaan tuotavan HMP- höyryn painetason ja siten myös höyryn sisältämän energiamäärän laskiessa haihduttamon kapasiteetti pienenee. Tämä tarkoittaa sitä, että hanke HMP:n painetason laskemiseksi on haihduttamon osalta lähtökohtaisesti hankala. Tätä kapasiteetin laskua voitaisiin kuitenkin kompensoida hankkimalla haihduttamolle termokompressori, jolla tulevan höyryn painetasoa ja sen sisältämää energiamäärää voitaisiin nostaa./14/

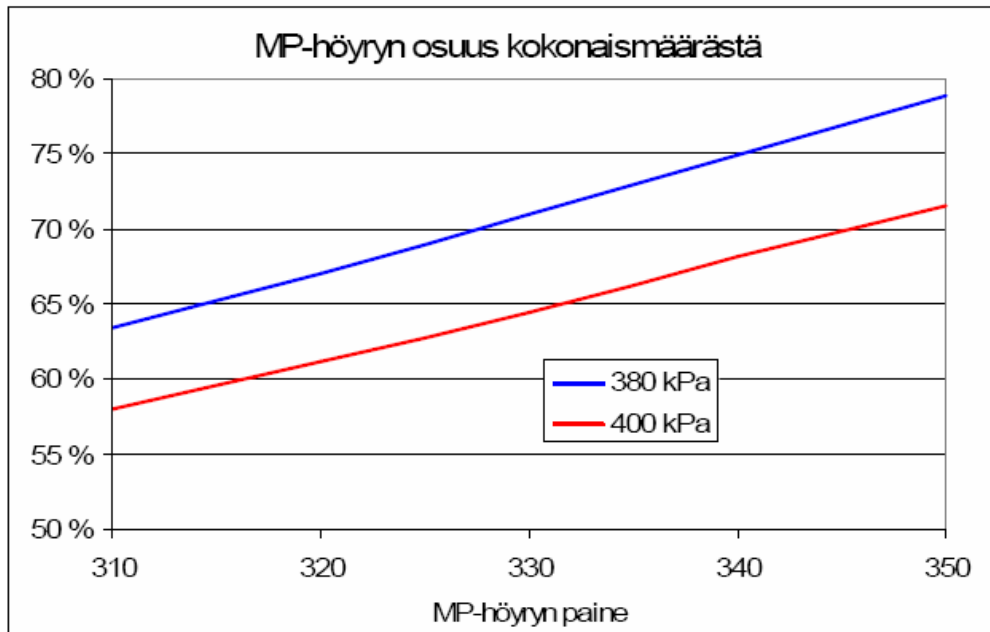
Höyryejektorin hyödyntäminen matalapaineisen höyryn painetason nostamiseksi hyötykäyttöön paremmin soveltuvaan prosessihöyryn painetasoon on yleistä metsäteollisuudessa. Höyryejektorin käyttö mahdollistaa matalapaineisen höyryn paineen noston. Tämä tapahtuu johtamalla ejektoriin korkeapaineista höyryä. Laitteen termodynaaminen hyötysuhde jää noin kolmasosaan siitä, mikä olisi mahdollista

saavuttaa mekaanisella kompressorilla. Ejektorin etuna on sen erittäin halpa hankintahinta. Metsäteollisuudessa höyryejektoria kutsutaan *termokompressoriksi*. Metsäteollisuuden piiristä löytyy paljon sovellutuksia, joissa tällaisia termokompressoreita käytetään jatkuvasti /9/.



Kuva 14. Termokompressor /7/

Hankkeesta tehdyissä esiselvityksissä on käynyt ilmi, että tarvittava termokompressor on suhteellisen kookas ja layout- mielessä vaikeasti sijoitettava. Höyrymäärä haihduttamolle on melko suuri (maksimissaan hieman yli 20kg/s) ja se asettaa omat vaatimuksensa hankittavalle laitteelle. Laitteesta tarjouksen tehneen laitetoimittajan mukaan on ”suositeltavaa jakaa höyrymäärä rinnakkaisille termokompressoreille, jolloin yksittäisen termokompressorin koko on pienempi. Mitoitus voidaan tehdä esimerkiksi siten, että yksi termokompressor on varalla.” Myös asennustöiden osalta laitteisto aiheuttaa vaikeuksia; kookas laitteisto vaatii isot asennustyöt. /7/



Kuva 15. Matalapainehöyryn osuus haihduttamon kokonaishöyrymäärästä /7/

Matalapaineisemman HMP- höyryn painetason nosto tapahtuu johtamalla ejektoriin korkeapaineisempaa HVO- höyryä. Kuvassa 15 esitetään, kuinka paljon väliottohöyryä tarvitaan pitämään haihduttamon höyryvirtauksen painetaso ennallaan (380kPa) tai jopa hieman nostamaan sitä (400kPa). Jos uusi matalampi vastapainetaso olisi 340kPa ja haihduttamon kokonaishöyryvirtaus 20 kg/s, tarvittaisiin HVO- höyryä termokompressorille 5kg/s. Esiselvityksessä suurimmaksi ongelmaksi onkin noussut haihduttamon ja keittämön alueen nykyisten HVO- linjojen riittämättömyys. Haihduttamo sijaitsee maantieteellisesti kaukana voimalaitoksesta ja uusi höyrylinja maksaa valmiina putkikoosta ja painetasosta riippuen noin 500 - 1000€/m. Alustavassa selvityksessä on tämän lisäkustannuksen arvioitu syövän hankkeen mahdollisesti tuomat säästöt./7/, /14/

4.1.4. Hankkeen vaikutukset paperitehtaalla

Hankkeen vaikutuksista paperitehtaalla - joka on sellutehtaan voimalaitoksen lämmöntuotannon suurin asiakas - kävin lyhyet puhelinkeskustelut alueen suunnittelupäälliköiden kanssa. Keskustelut olivat niin lyhyitä, että en katsonut tarpeelliseksi laatia niistä erillisiä muistioita tämän opinnäytetyön liitteiksi.

Hienopaperikoneiden suhtautumisesta hankkeeseen keskustelin suunnittelupäällikkö Seppo Luodonpään kanssa ja painopaperipuolella vastaava keskustelu käytiin suunnittelupäällikkö Teuvo Poikelan kanssa.

Hienopaperitehtaalla hanke ei lähtökohtaisesti aiheuta ongelmia. Hienopaperikoneilla PK2 ja PK3 olisi valmius testata ja ajaa prosessia alemmaa höyryn painetasoa käyttäen. Painopaperikoneilla PK1 ja PK5 hankkeeseen suhtauduttiin hiukan varauksellisemmin, mutta sielläkään ei löydetty suoranaisia esteitä painetason laskulle. Käydyissä keskusteluissa kävi ilmi, että myös painopaperipuolella hanketta voitaisiin kokeilla, mutta samalla sen vaikutusta prosessiin tulisi seurata erityisen tarkasti.

4.1.5. Hankkeen hyöty kokonaistaloudellisesti arvioituna

Hankkeen hyötyä on arvioitu Stora Enso Oyj:n yleisten investointiohjeiden mukaan. Yhtiö käyttää investointeja suunnitellessaan ja laskiessaan apuna Invest for Excel-ohjelmaa, johon syötetään suunnittelutilanteessa tietty määrä valittuja muuttujia. Ohjelmaa laskee päätöksenteon avuksi muutamia arvoja, joista tärkeimmät ovat internal rate of return (sisäinen korkokanta), net profit value (nykyarvomenetelmä, käytetään investoinneissa laskentamenetelmänä) ja payback period (takaisinmaksuaika). Tässä työssä tutkittua hanketta ja saatuja tuloksia voidaan halutessa arvioida käyttäen tätä yhtiön asettamaa ohjeistusta ja hankkeesta voidaan tarvittaessa tehdä ns. investointikortti.

Lähtökohtana tässä taloudellisessa arvioinnissa pidän vastapainetasoa **340kPa**, koska sen alle menemistä ei voimalaitoksen HVO- tuotantokapasiteetin kannalta voi pitää erityisen suotavana. Generaattorista saatu sähköteho nousee tällä painetasolla **1190kW**. Rahallisesti tämä tarkoittaa **416976€** vuotuista hyötyä. Jos mukaan otettaisiin vielä vastapainehöyryn lisääntyneen massavirran tuoma mahdollinen lisähyöty, nousisi sähköteho 1468kW. Tämä tarkoittaisi rahallisesti 514387€ vuotuista hyötyä. Tämän hyödyn saaminen on mielestäni syytä tarkistaa koeajoissa, joten en huomioi sitä tässä taloudellisessa arvioinnissa. Ostosähkön hintana on tässä käytetty **40€/MWh**.

Hankkeen vaatimat kustannukset ovat **400000€**. Tähän hintaan on laskettu mukaan laitemuutokset haihduttamalla suunnitteluineen, asennuksineen ja kaapelointineen sekä 100 metriä uutta väliottohöyryputkea, joka tuotaisiin haihduttamolle soodakattilan alakerran HVO- jakotukilta. Jos HVO- linja joudutaan tuomaan vielä kauempaa voimalaitokselta, vaikuttaa tämä kustannuksiin nostavasti. Tässä on hyvä huomauttaa, että *näitä kustannuksia ei ole tässä työssä laskettu samalla tarkkuudella* kuin saatavia säästöjä ja niitä on tästä syystä pidettävä vain suuntaa-antavina. Tässä työssä esitetyillä ja arvioituilla säästöillä ja kustannuksilla hankkeen ***takaisinmaksuajaksi tulisi 0,96 vuotta.***

4.2. Ajotapatarkennukset massankäsittelyn alueella

Ajotavat ja niiden optimointi on nopein ja halvin keino säästää sähköenergiaa. Ajotapoja ja niiden optimointia voi ja tulee miettiä itsenäisesti osastoittain. Ajotapoja voidaan muuttaa varsin vapaasti, kunhan kunkin osaston toiminnallinen tavoite täyttyy. Veitsiluodon sellutehdas on käynnistynyt vuonna 1977 ja se tarkoittaa sitä, että ajotapoja ja toimintoja on viilattu jo hyvinkin tarkkaan.

Massankäsittelyn alueella on nykyisin jaksoja, jolloin osasto ei ole miehitetty. Tällöin on erityisen tärkeää, että laitteet pysäytetään osastolta poistuttaessa. Olen havainnut, että hylkypulpperi ja kuivauskoneen kiertovesipumppu ovat joskus käynnissä, vaikka osastolla ei ole toimintaa. On myös tärkeää, että laitteet pysäytetään *aina, kun niiden pyörittämiseen ei ole tarvetta*. Varsinkin hylkypulpperin virrankulutus on tyhjäkäynnissä suuri (n. 300A) eikä kuivauskoneen kiertovesipumppukaan ilman sähköä pyöri.

Hylkypulpperin ja kiertovesipumpun tyhjäkäyntitehot on laskettu käyttäen kaavaa 4 ja ne on esitetty taulukossa 6. Tuloksiksi saatiin 315kW ja 105kW, hylkypulpperi ensin mainittuna. Tarkemmasta ajotavasta saatavia säästöjä on esitelty samassa taulukossa.

Taulukko 6, säästöt/aiheutuvat kustannukset laitteiden tyhjäkäynnistä
Säästöt tai lisäkustannukset

Laite	P [kW]	€/h	€/8h	€/d	hinta €/kWh
Hylkypulperi	315	12,6	100,8	302,4	0,04
KK2 Kiertovesipumppu	105	4,2	33,6	100,8	0,04

Kuten taulukosta 4 havaitaan, voidaan tarkoilla ajotavoilla eli välttämällä laitteiden turhaa pyörittämistä säästää omakäyttösähköä tässä kyseisessä tapauksessa 0,42MW.

5. TOIMENPIDE-EHDOTUKSET

Aivan kuten nykyäänkin niin varmasti myös tulevaisuudessa projektit ja hankkeet käynnistyvät pääasiallisesti syntyneistä prosessiteknisistä tarpeista johtuen. Jos energiaa halutaan oikeasti säästää ja sen käyttöä pienentää, olisi tämän mallin rinnalle syytä ottaa käyttöön myös puhtaat *energiansäästöhankeet*. Tehtaalle olisi hyvä luoda pysyvä toimintatapa ja toimintakulttuuri, joka määrätietoisesti tähtäisi ja pyrkisi vähentämään sähkön ja lämmön käyttöä.

5.1. Vastapainetason laskeminen

Tässä työssä tehdyt laskelmat osoittavat, että turbiinin vastapainetason laskemista kannattaa lähitulevaisuudessa vakavasti harkita. Hanke vaatii toki edelleen lisäselvityksiä ja -valmisteluita etenkin kustannustensa sekä höyryverkon vaatimien muutostöiden osalta, mutta sähköntuotannon lisäyksen kautta hankkeeseen sisältyy suuri säästöpotentiaali. Tulevaisuudessa ostosähkön hinta tulee vaihtelevaan kuten nykyäänkin, mutta epäilen, ettei sen hinta ainakaan laske. Tämän hankkeen hyöty korostuu ostosähkön hinnan noustessa. Koska hanke vaatii haihduttamon osalta investointeja, on pitkiä koeajoja tehdasmittakaavassa vaikea suorittaa haihduttamon ollessa käynnissä. Sellutehtaan seisokkien yhteydessä lyhyitä koeajojaksoja olisi kuitenkin mahdollista toteuttaa yhteistyössä paperitehtaan kanssa. Vastapainetasoa voisi laskea portaittain kohti 340kPa ja jopa sen alle suorittaen samalla dokumentointia tilanteesta voimalaitoksen päässä. Paperitehtaalla saataisiin samalla tietoa painetason alentamisen vaikutuksista heidän prosessien ajettavuuteen.

5.2. Muutos toimintatapoihin ja - kulttuuriin

Uusien projektien ja laitehankintojen suunnittelussa tulisi aina ryhtyä ottamaan huomioon myös energiansäästöaspekti, vaikka itse projekti olisikin käynnistynyt puhtaasti prosessiteknisistä tarpeista. Ryhdytään ottamaan energiankulutus huomioon

heti suunnittelun alkuvaiheista alkaen ja pyritään siihen, että korvaava ja uusi laitehankinta alittaa aina korvattavan ja entisen laiteratkaisun energiankulutuksen. Lisätään kaikille osastoille mittaukset sähkön- ja lämmönkulutuksesta ja tuodaan ne esille ohjausjärjestelmän näytöillä. Tutkitaan mahdollisuutta ottaa ominaissähkön- ja ominaislämmönkulutukset mukaan työntekijöiden tulospalkkiotekijöiksi.

Ajetaan ja iskostetaan energiansäästöajattelu koko organisaatioon. Tämä tapahtuu helpoiten ja parhaiten niin, että henkilöstöä koulutetaan ja asioista kerrotaan avoimesti. Kerrotaan, kuinka paljon tehdyt muutokset säästävät selvää rahaa. Kerrotaan, kuinka paljon laitteiden turha tyhjäkäynti kuluttaa sähköä. Ylläpidetään keskustelua ja koulutusta energiansäästöajattelusta vuosittain eikä kuvitella asian hoituvan yhdellä tunnin mittaisella kurssilla. Luovutaan lopullisesti vanhasta ”höyry tulee putkesta ja sähkö tulee johdosta” ajattelusta.

6. YHTEENVETO

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää vastapainetason laskemisen vaikutuksia sähköntuotantoon Stora Enso Oyj:n Kemin Veitsiluodon tehtaiden voimalaitoksella sekä esitellä lyhyesti sellutehtaan sähkön omakäyttöä ja käynnissä olevia energiansäästökartoituksia. Sähköntuotannon kasvua laskettiin useilla eri painetasoilla ja niinpä saatujen tulosten skaala on laaja. Painetason lisäksi saatuun hyötyyn vaikuttaa voimakkaasti ostosähkön hinta ja siksi myös eri hintatasoja käytettiin.

Mielestäni tämä työ osoittaa, että vastapainetason laskemiseen sisältyy suuri säästöpotentiaali. Kokonaisuhyötyä arvioitiin käyttäen maltillista sähkön hintaa ja silti säästöt nousivat vuositasolla satoihin tuhansiin euroihin. Toisaalta sähkön hinnan lasku syö tätä säästöä hyvin nopeasti, varsinkin jos ostosähkön hinta laskee rajusti. Tässä työssä haihduttamon alueen vaatimien investointien hintaa arvioitiin varsin suurpiirteisesti vaikkakin arviointi perustuu tehtyyn tarjouspyyntöön ja siitä saatuihin vastauksiin mukana tulleine esiselvityksineen. Kustannukset pyrittiin arvioimaan mieluummin ylä- kuin alakanttiin, jotta niitä kaunistelemalla ei työssä päädyttäisi virheellisiin lopputuloksiin.

Tämän työn luonnollisena jatkona voitaisiin pitää tehtaalla suoritettavia koeajoja, jotka olisi mahdollista tehdä sellutehtaan kuitulinjan ollessa seisokissa. Vastapaineverkon painetasoa voitaisiin näissä koeajoissa laskea aluksi portaittain alaspäin tasolle 340kPa, jota tässä työssä pidetään tavoiteltavana niin voimalaitoksen kuin myös haihduttamon kannalta. Tästä koeajoa olisi hyvä jatkaa edelleen portaittain alaspäin tasolle 300kPa, jotta nähtäisiin, onko näin matalan painetason käyttäminen asiakaspäässä edes mahdollista. Näistä koeajoista olisi suuri hyöty paperikoneilla, jotka saisivat arvokasta tietoa prosessiensa ajosta matalammilla höyryn painetasoilla. Jos kokeet osoittaisivat paperitehtaalla joitain ennalta arvaamattomia kipupisteitä, voitaisiin näitä selvittää ja poistaa ennen hankkeen varsinaista käynnistämistä. Luonnollisesti koeajot antaisivat tärkeää tietoa myös voimalaitoksen lämmön- ja sähköntuotannosta. Koeajon aikana

saatavasta datasta olisi vaivattomasti arvioitavissa, että toteutuvatko tässä teoreettisesti lasketut säästöt myös käytännön tehdasmittakaavassa.

Lopullinen investointipäätös olisi valmisteltavissa näiden koeajojen jälkeen. Päätöksen tueksi tarvittavaa lisäsuunnittelua haihduttamon höyryverkon riittämättömyydestä, sen aiheuttamista ongelmista ja syntyvistä kustannuksista voitaisiin tehdä joko sellutehtaan omin voimin tai ostopalveluina.

7. LÄHDELUETTELO

- /1/ Energian siirtyminen voimalaitoksella, [kuva pdf- tiedostosta],
[<http://automation.tkk.fi/attach/AS-84-3134/termodynamiikka.pdf>], 3.11.2011.
- /2/ Energiatehokkuusjärjestelmä ETJ, [pdf-tiedosto],
[<http://www.motiva.fi/files/213/etj.pdf>], 22.11.2011.
- /3/ Huhtinen, Markku, Kettunen, Arto, Nurminen, Pasi, Pakkanen, Heikki,
Höyrykattilatekniikka, Oy Edita Ab, 2004.
- /4/ Huhtinen, Markku, Korhonen, Risto, Pimiä, Tuomo, Urpalainen, Samu,
Voimalaitostekniikka, Otavan Kirjapaino Oy, 2008.
- /5/ Kokkonen, Eero, Sähkön omatuotannon kannattavuustarkastelu, 2005, Diplomityö,
[pdf- tiedosto],
[http://www.lut.fi/fi/technology/lutenergy/electrical_engineering/research/electricitymarkets/publications/Documents/Diplomity%C3%B6t/diplomityo_Eero_Kokkonen.pdf],
10.12.2011.
- /6/ Korpinen, Leena, Sähkökoneet, osa 2, [pdf-tiedosto],
[http://www.leenakorpinen.fi/archive/svt_opus/10sahkokoneet_2osa.pdf], 29.10.2011.
- /7/ Kulo, Erkki, Haarla Oy, Sähköpostikirjeenvaihtoa, esitteitä, tarjouksia.
- /8/ Mikkonen, J, Energiatehokkuussopimuksen soveltaminen Storaenson Suomen
tehtailla, [PowerPoint-esitys].
- /9/ Mäki-Mantila, Erkki, Raiko, Markku, 2005, Lämpöpumput ja niiden vaikutus
sähköntuotantoon, Enprima Limited, Vantaa, Suomi, [verkkojulkaisu],
[<http://www.julkaisurekisteri.ktm.fi/>], 28.10.2011.

/10/ Nord Pool- sähköpörssin toteutuneet spot- hinnat Suomen hinta-alueella, [pdf-tiedosto].

[http://www.savonvoima.fi/SiteCollectionDocuments/Myynti/Spot_kuukausihinnat], 1.11.2011.

/11/ Nykänen, Pekka, Keskustelu käyttöpäällikkö DI Pekka Nykäsen kanssa, Veitsiluoto, 17.11.2011.

/12/ Steamtab- höyrytaulukko, 2003, [verkosta ladattava laskentaohjelma], [<http://www.chemicallogic.com/steamtab/companion/default.htm>], 11.11.2011.

/13/ Operating Manual, ABB Turbinen Nürnberg GmbH, Edition 10/99.

/14/ Tolonen, Pentti, Keskustelu suunnittelupäällikkö DI Pentti Tolosen kanssa, Veitsiluoto, 3.11.2011.

/15/ Vastapainevoimalaitoksen periaatekaavio, [verkosta kaapattu kuva], [http://www.knowenergy.net/suomi/monipoltt_kattilat/5_0_hoyrykatt_periaate/vastapai_nevoimala.htm], 8.12.2011.

/16/ Veitsiluodon sellutehtaan DNA raportointijärjestelmä.

/17/ Veitsiluodon sellutehtaan voimalaitoksen informaatiojärjestelmä.

/18/ Veitsiluodon sellutehtaan voimalaitoksen ohjausjärjestelmä.

8. LIITELUETTELO

LIITE 1: Turbiinin TG5 energiataseet laskettuna nykyarvoilla sekä matalimmilla vastapainetasoilla.

LIITE 2: Sähkötehon lisäys ja siitä saatu hyöty.

LIITE 3: Vuosittainen hyöty laskentapisteestä B laskettuna.

LIITE 4: Laskentapisteen B sähköntuotanto entalpiapudotuksen aiheuttaman massavirran kasvun avulla laskettuna ja lisääntynyt sähköteho vastaavassa tilanteessa.

LIITE 5: Muistio keskustelusta käyttöpäällikkö Pekka Nykäsen kanssa.

LIITE 6: Muistio keskustelusta suunnittelupäällikkö Pentti Tolosen kanssa.

LIITE 1

Turbiinin energiatase, nykytilanne

PISTE	HKP		HVO		HMP		PAINE kPa	SÄHKÖ P [kW]
	m1 [kg/s]	h1 [kJ/kg]	m2 [kg/s]	h2 [kJ/kg]	m3 [kg/s]	h3 [kJ/kg]		
D	160	3399,2	29	3001,4	131	2765,7	380	94525
C	145	3399,2	26,3	3001,4	118,7	2765,7	380	85659
B	120	3399,2	21,75	3001,4	98,25	2765,7	380	70894
A	95	3399,2	17,2	3001,4	77,8	2765,7	380	56128

Turbiinin energiatase, alempi HMP:n painetaso

PISTE	HKP		HVO		HMP		PAINE kPa	SÄHKÖ P [kW]
	m1 [kg/s]	h1 [kJ/kg]	m2 [kg/s]	h2 [kJ/kg]	m3 [kg/s]	h3 [kJ/kg]		
D	160	3399,2	29	3001,4	131	2763,2	370	94857
D	160	3399,2	29	3001,4	131	2760,7	360	95186
D	160	3399,2	29	3001,4	131	2757,1	350	95657
D	160	3399,2	29	3001,4	131	2753,6	340	96112
D	160	3399,2	29	3001,4	131	2749,9	330	96592
D	160	3399,2	29	3001,4	131	2746,4	320	97056
D	160	3399,2	29	3001,4	131	2745,1	310	97227
D	160	3399,2	29	3001,4	131	2742,7	300	97542
D	160	3399,2	29	3001,4	131	2740,3	290	97853
D	160	3399,2	29	3001,4	131	2739,0	280	98020
C	145	3399,2	26,3	3001,4	118,7	2763,2	370	85960
C	145	3399,2	26,3	3001,4	118,7	2760,7	360	86258
C	145	3399,2	26,3	3001,4	118,7	2757,1	350	86684
C	145	3399,2	26,3	3001,4	118,7	2753,6	340	87097
C	145	3399,2	26,3	3001,4	118,7	2749,9	330	87532
C	145	3399,2	26,3	3001,4	118,7	2746,4	320	87952
C	145	3399,2	26,3	3001,4	118,7	2745,1	310	88107
C	145	3399,2	26,3	3001,4	118,7	2742,7	300	88392
C	145	3399,2	26,3	3001,4	118,7	2740,3	290	88675
C	145	3399,2	26,3	3001,4	118,7	2739,0	280	88826
B	120	3399,2	21,75	3001,4	98,25	2763,2	370	71143
B	120	3399,2	21,75	3001,4	98,25	2760,7	360	71390
B	120	3399,2	21,75	3001,4	98,25	2757,1	350	71742
B	120	3399,2	21,75	3001,4	98,25	2753,6	340	72084
B	120	3399,2	21,75	3001,4	98,25	2749,9	330	72444
B	120	3399,2	21,75	3001,4	98,25	2746,4	320	72792
B	120	3399,2	21,75	3001,4	98,25	2745,1	310	72920
B	120	3399,2	21,75	3001,4	98,25	2742,7	300	73156
B	120	3399,2	21,75	3001,4	98,25	2740,3	290	73390
B	120	3399,2	21,75	3001,4	98,25	2739,0	280	73515
A	95	3399,2	17,2	3001,4	77,8	2763,2	370	56326
A	95	3399,2	17,2	3001,4	77,8	2760,7	360	56521
A	95	3399,2	17,2	3001,4	77,8	2757,1	350	56801
A	95	3399,2	17,2	3001,4	77,8	2753,6	340	57071
A	95	3399,2	17,2	3001,4	77,8	2749,9	330	57356
A	95	3399,2	17,2	3001,4	77,8	2746,4	320	57632
A	95	3399,2	17,2	3001,4	77,8	2745,1	310	57733
A	95	3399,2	17,2	3001,4	77,8	2742,7	300	57920
A	95	3399,2	17,2	3001,4	77,8	2740,3	290	58105
A	95	3399,2	17,2	3001,4	77,8	2739,0	280	58204

LIITE 2

Sähkötehon lisäys ja saatu rahallinen hyöty

PISTE	PAINE kPa	SÄHKÖ P [kW]	nykyään P [kW]	lisäys P [kW]	Hinta €/kWh	Säästö €/h	Hinta €/kWh	Säästö €/h	Hinta €/kWh	Säästö €/h
D	370	94857	94525	332	0,04	13,28	0,045	14,94	0,05	16,6
D	360	95186	94525	661	0,04	26,44	0,045	29,75	0,05	33,05
D	350	95657	94525	1132	0,04	45,28	0,045	50,94	0,05	56,6
D	340	96112	94525	1587	0,04	63,48	0,045	71,42	0,05	79,35
D	330	96592	94525	2067	0,04	82,68	0,045	93,02	0,05	103,35
D	320	97056	94525	2531	0,04	101,24	0,045	113,90	0,05	126,55
D	310	97227	94525	2702	0,04	108,08	0,045	121,59	0,05	135,1
D	300	97542	94525	3017	0,04	120,68	0,045	135,77	0,05	150,85
D	290	97853	94525	3328	0,04	133,12	0,045	149,76	0,05	166,4
D	280	98020	94525	3495	0,04	139,8	0,045	157,28	0,05	174,75
C	370	85960	85659	301	0,04	12,04	0,045	13,55	0,05	15,05
C	360	86258	85659	599	0,04	23,96	0,045	26,96	0,05	29,95
C	350	86684	85659	1025	0,04	41	0,045	46,13	0,05	51,25
C	340	87097	85659	1438	0,04	57,52	0,045	64,71	0,05	71,9
C	330	87532	85659	1873	0,04	74,92	0,045	84,29	0,05	93,65
C	320	87952	85659	2293	0,04	91,72	0,045	103,19	0,05	114,65
C	310	88107	85659	2448	0,04	97,92	0,045	110,16	0,05	122,4
C	300	88392	85659	2733	0,04	109,32	0,045	122,99	0,05	136,65
C	290	88675	85659	3016	0,04	120,64	0,045	135,72	0,05	150,8
C	280	88826	85659	3167	0,04	126,68	0,045	142,52	0,05	158,35
B	370	71143	70894	249	0,04	9,96	0,045	11,21	0,05	12,45
B	360	71390	70894	496	0,04	19,84	0,045	22,32	0,05	24,8
B	350	71742	70894	848	0,04	33,92	0,045	38,16	0,05	42,4
B	340	72084	70894	1190	0,04	47,6	0,045	53,55	0,05	59,5
B	330	72444	70894	1550	0,04	62	0,045	69,75	0,05	77,5
B	320	72792	70894	1898	0,04	75,92	0,045	85,41	0,05	94,9
B	310	72920	70894	2026	0,04	81,04	0,045	91,17	0,05	101,3
B	300	73156	70894	2262	0,04	90,48	0,045	101,79	0,05	113,1
B	290	73390	70894	2496	0,04	99,84	0,045	112,32	0,05	124,8
B	280	73515	70894	2621	0,04	104,84	0,045	117,95	0,05	131,05
A	370	56326	56128	198	0,04	7,92	0,045	8,91	0,05	9,9
A	360	56521	56128	393	0,04	15,72	0,045	17,69	0,05	19,65
A	350	56801	56128	673	0,04	26,92	0,045	30,29	0,05	33,65
A	340	57071	56128	943	0,04	37,72	0,045	42,44	0,05	47,15
A	330	57356	56128	1228	0,04	49,12	0,045	55,26	0,05	61,4
A	320	57632	56128	1504	0,04	60,16	0,045	67,68	0,05	75,2
A	310	57733	56128	1605	0,04	64,2	0,045	72,23	0,05	80,25
A	300	57920	56128	1792	0,04	71,68	0,045	80,64	0,05	89,6
A	290	58105	56128	1977	0,04	79,08	0,045	88,97	0,05	98,85
A	280	58204	56128	2076	0,04	83,04	0,045	93,42	0,05	103,8

Saadun rahallisen hyödyn pienin ja suurin arvo sekä työssä esitetty esimerkkilaskelma on lihavoitu.

LIITE 3

Vuositainen hyöty laskentapisteessä B laskettuna

Painetaso	SÄHKÖ,	Hinta	Säästö	Hinta	Säästö	Hinta	Säästö
	lisäys						
kPa	P [kW]	€/kWh	€/a	€/kWh	€/a	€/kWh	€/a
370	249	0,04	87249,6	0,045	98155,8	0,05	109062
360	496	0,04	173798,4	0,045	195523,2	0,05	217248
350	848	0,04	297139,2	0,045	334281,6	0,05	371424
340	1190	0,04	416976	0,045	469098	0,05	521220
330	1550	0,04	543120	0,045	611010	0,05	678900
320	1898	0,04	665059,2	0,045	748191,6	0,05	831324
310	2026	0,04	709910,4	0,045	798649,2	0,05	887388
300	2262	0,04	792604,8	0,045	891680,4	0,05	990756
290	2496	0,04	874598,4	0,045	983923,2	0,05	1093248
280	2621	0,04	918398,4	0,045	1033198	0,05	1147998

Vuosittainen rahallinen hyöty = lisäys x hinta x 24 x 365, suurin ja pienin arvo lihavoituna.

Myös työssä esitetty esimerkkilaskelma on lihavoitu.

LIITE 4

Sähkön tuotanto kasvaneilla HMP:n massavirroilla

PISTE	HKP		HVO		HMP		PAINES	SÄHKÖ
	m1 [kg/s]	h1 [kJ/kg]	m2 [kg/s]	h2 [kJ/kg]	m3 [kg/s]	h3 [kJ/kg]		
B	120,09	3399,2	21,75	3001,4	98,34	2763,2	370	71200
B	120,18	3399,2	21,75	3001,4	98,43	2760,7	360	71505
B	120,32	3399,2	21,75	3001,4	98,57	2757,1	350	71948
B	120,43	3399,2	21,75	3001,4	98,68	2753,6	340	72362
B	120,56	3399,2	21,75	3001,4	98,81	2749,9	330	72808
B	120,69	3399,2	21,75	3001,4	98,94	2746,4	320	73242
B	120,74	3399,2	21,75	3001,4	98,99	2745,1	310	73404
B	120,82	3399,2	21,75	3001,4	99,07	2742,7	300	73695
B	120,91	3399,2	21,75	3001,4	99,16	2740,3	290	73990
B	120,96	3399,2	21,75	3001,4	99,21	2739,0	280	74149

Laskentapisteen B sähköntuotanto on tässä esitetty vastapainehöyryn entalpiapudotuksen aiheuttaman massavirran kasvun avulla. Alla olevassa taulukossa näkyy lisääntynyt sähköteho vastaavassa tilanteessa.

Lisääntynyt sähköteho massavirran lisäys huomioiden

SÄHKÖ, m3uusi	SÄHKÖ, m3	SÄHKÖ, lisäys
P [kW]	P [kW]	P [kW]
71200	71143	57
71505	71390	115
71948	71742	205
72362	72084	278
72808	72444	364
73242	72792	450
73404	72920	484
73695	73156	538
73990	73390	600
74149	73515	634

LIITE 5/1

OPINNÄYTETYÖ

MUISTIO

Johan Nissén

27.11.2011

KESKUSTELU KÄYTTÖPÄÄLLIKKÖ NYKÄSEN KANSSA

Aika 17.11.2011 klo 12-14
Paikka Stora Enso Oyj, Veitsiluodon sellutehdas
Läsnä Johan Nissén
Pekka Nykänen

1 Voimalaitoksen laitteet

Aluksi keskusteltiin opinnäytetyön luvusta 2, johon olin kerännyt tietoa sellutehtaan voimalaitoksen laitteista. Hän totesi tietoni paikkansapitäviksi ja keskustelussa siirryttiin eteenpäin. Samalla tarkistin vuotuiset lämmön- ja sähköntuotantoluvut ja Veitsiluodon tehtaiden sähköomavaraisuusasteen Nykäseltä. Lisäksi Nykänen totesi turbiinista löytyvän tietoa sen käyttöohjekansioista.

2 Vastapainetason lasku voimalaitoksella

Keskustelun aluksi Nykänen totesi, että hänen mielestään hanke ei aiheuta ongelmia eikä kustannuksia voimalaitoksella. Nykyiset laitteet soveltuvat myös matalammalle vastapainehöyryn painetasolle. Nykänen varmisti, että ymmärrän kattilan ja turbiinin nykyiset säätöperiaatteet. Normaalitilanteissa turbiini säätää etupainetta ja kattila vastapainetta. Hän myös totesi, että voisin halutessani jutella höyryverkon säädöistä lisää voimalaitoksen lämmittäjien kanssa. Kaikkein tärkeimpänä asiana turbiinin kohdalla hän piti sitä, että on ehdottomasti varottava joutumista pois tulistetun höyryn alueelta. Esitin Nykäselle epäilyni HVO- höyryn riittävytydessä. Hän arveli tuotantokapasiteetin riittävän, mutta hän kehoitti perehtymään nykytilanteeseen ja tekemään siitä omat johtopäätökset.

3 Energiaraportointi

Seuraavaksi keskusteltiin energiaraportoinnista ja siitä, mistä tarvittavia tietoja sähkön- ja lämmön omakäyttökulutuksesta voi etsiä.

LIITE 5/2

Nykänen oli jo aiemmin hankkinut minulle käyttöoikeudet näihin tietokantoihin. Hän kertoi myös, että tehtaan raportointi- ja ohjausjärjestelmästä löytyy varsin luotettavaa ja käyttökelpoista tietoa näistä asioista.

4 Apulauhdesähkön tuotanto ja hinnanmuodostus

Seuraavaksi Nykänen opasti minua apulauhdesähkön tuotannosta ja hinnanmuodostuksesta. Asiaa käytiin läpi sekä tekniseltä- että taloudelliselta kannalta katsottuna. Hän kertoi höyryn kulutussuhteen olevan apulauhdetuotannossa korkeamman kuin vastapainetuotannossa ja tätä kautta apulauhdesähkön tuotantokustannusten muodostuvan korkeammiksi kuin vastapainesähkön. Nykänen valaisi hinnanmuodostusta lyhyellä esimerkillä.

5 Energiansäästösopimus

Kyselin Nykäselä lopuksi elinkeinoelämän energiansäästösopimuksesta, johon Storaenso on sitoutunut. Hän kuvasi sopimusta muutamalla lauseella, mutta totesi olevan helpompaa, jos hän antaa käyttööni omaa sähköpostikirjeenvaihtoaan kyseiseen asiaan liittyen.

JAKELU

Pekka Nykänen
Opinnäytetyöhön liitteeksi

LIITE 6/1

OPINNÄYTETYÖ

MUISTIO

Johan Nissén

27.11.2011

KESKUSTELU SUUNNITTELUPÄÄLLIKKÖ TOLOSEN KANSSA

Aika	03.11.2011 klo 10-11
Paikka	Stora Enso Oyj, Veitsiluodon sellutehdas
Läsnä	Johan Nissén Pentti Tolonen

1 Matalapainehöyryn painetason lasku

Aluksi käytiin läpi Tolosen tekemiä alustavia tutkimuksia ja suunnitelmia kyseiseen hankkeeseen liittyen. Hän totesi, että hanke aiheuttaa sellutehtaalla ongelmia erityisesti haihduttamalla. Hän kertoi, että haihduttamon kapasiteetti on jo nyt äärirajoilla ja että höyryn painetason lasku heikentää tilannetta edelleen. Näin lähtökohdaksi muodostuu se, että painetasoa ei voi laskea ilman korvaavia toimenpiteitä. Hän kertoi, että korvaavana toimenpiteenä on tutkittu termokompressoreiden käyttöönottoa ja että laitteistosta on jätetty yksi tarjouspyyntö. Suurimpana ongelmana Tolonen näki HVO- linjojen riittämättömyyden haihduttamon/keittämön alueella. Kysymykseeni höyrylinjojen rakentamiskustannuksista hän vastasi, että hinta riippuu putkikoosta ja painetasosta. Karkeana arviona hän esitti hinnan asettuvan välille 500- 1000€/m. Tässä yhteydessä hän lupasi toimittaa minulle sähköpostikirjeenvaihtonsa kyseisestä asiasta.

2 Investoinneista

Keskustelua jatkettiin puhumalla investoinneista. Tolonen esitteli minulle lyhyesti Stora Enson nykyisen investointipolitiikan ja – ohjeet sekä havainnollisti sitä yhdellä esimerkillä. Hän kertoi apuna käytettävästä Invest for Excel- ohjelmasta ja tarkemmin myös kustannusarvion teosta. Hän totesi, että erityistä huomiota kiinnitetään hankkeen takaisinmaksuaikaan. Rahoitusta haettaessa hakemukseen liitetään mukaan ns. investointikortti ja hanketta esittelevä powerpoint- esitys. Pieniä hankkeita (alle 100k€) varten on olemassa kevyempi menettely, mutta näihinkin hankkeisiin osoitetaan konsernitason vuosittain paikallisesti käytettävissä oleva rahasumma.

LIITE 6/2

3 Energiansäästöhankeet

Tolonen kertoi, että Stora Enso on ottanut käyttöön uuden Energy Saving Fund- rahaston. Hän totesi samalla, että yhteen investointiin on sellutehtaalle jo saatu rahat tästä rahastosta. Energiansäästösopimusta koskevissa asioissa hän pyysi kääntymään käyttöpäällikkö Pekka Nykäsen puoleen.

JAKELU

Pentti Tolonen
Opinnäytetyön liitteeksi