

Nita Huovilainen

Vuosaaren B-voimalaitoksen prosessin analysointi ja teknistaloudelliset kehittämismahdollisuudet

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Energia- ja ympäristötekniikka

Insinöörityö

19.12.2018

Tekijä Otsikko Sivumäärä Aika	Nita Huovilainen Vuosaaren B-voimalaitoksen prosessin analysointi ja teknis- taloudelliset kehittämismahdollisuudet 77 sivua + 9 liitettä 19.12.2018
Tutkinto	insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma	Energia- ja ympäristötekniikka
Ammatillinen pääaine	–
Ohjaajat	Tuotannon kehityspäällikkö Kalle Nurmi Lehtori Tomi Hämäläinen
<p>Tämän insinööriyön tarkoituksena oli toteuttaa lakisääteisen energiakatselmuksen kohde- katselmus Vuosaaren B-voimalaitoksesta. Energiatehokkuuslaki tuli voimaan vuonna 2015, ja laki velvoittaa suuria yrityksiä toteuttamaan energiakatselmus neljän vuoden vä- lein. Kohdekatselmuksessa analysoidaan kohteen kokonaisenergian käyttö, selvitetään energiansäästämismahdollisuudet ja esitellään energiansäästötoimenpiteet kannattavuuslas- kelmiseen.</p> <p>Insinööriyössä käydään läpi energiakatselmuksen suorittaminen yleisesti ja käydään läpi Vuosaaren B-voimalaitoksen kohdekatselmus. Kohdekatselmuksessa käydään läpi Vuo- saaren B-voimalaitoksen nykytila sekä esitellään yksityiskohtaisesti energiansäästötoimen- piteet. Kohdekatselmuksessa on eriteltyä voimalaitoksen tärkeimmät komponentit ja jär- jestelmät ja näiden toimenpide-ehdotukset.</p> <p>Toimenpide-ehdotuksia energian tai veden säästämiseksi löytyi 9 kappaletta. Energian- säästötoimenpiteiden perusteella olisi mahdollista säästää 546 MWh/a polttoainetta, 1135,8 MWh/a lämpöä ja 575,7 MWh/a sähköä. Vedenkulutuksen osalta säästöjä löytyi 2000 m³/a. Toimenpiteiden takaisinmaksuaika on 0-10 vuotta. Raportissa käsitellään myös toimenpiteet, joiden selvitys vaatii jatkotoimenpiteitä. Jatkoselvitetäviä toimenpiteitä on esitetty 4 kappaletta. Toimenpiteitä, joiden toteutus ei tällä hetkellä ole kannattavaa, löytyi yhteensä 3 kappaletta.</p>	
Avainsanat	Energiakatselmus, voimalaitos, energiätehokkuus

Author Title Number of Pages Date	Nita Huovilainen Analysis and techno-economic improvement of Vuosaari B power plant's operation process 77 pages + 9 appendices 19 December 2018
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Energy and environmental technology
Professional Major	-
Instructors	Kalle Nurmi, Production Development Manager Tomi Hämäläinen, Senior Lecturer
<p>The purpose of this thesis was to implement statutory energy audit of Vuosaari B power plant. Energy Efficiency Act entered into force in 2015 and it obliges large companies to conduct an energy audit every four years. The energy audit analyzes the use of the total energy and reviews energy saving opportunities. The energy saving measures are reviewed through profitability calculations.</p> <p>This Bachelor's thesis focuses on Vuosaari B power plant energy audit. Energy audit of Vuosaari B power plant included the most important components and systems and the measures found.</p> <p>9 energy saving measures and water saving measures were found. Energy saving measures could save 546 MWh/a of fuel, 1135,8 MWh of heat and 575,7 MWh/a of electricity. As for water consumption, 2000 m³/a of water could be saved. The repayment period for the measures is between 0 and 10 years. The thesis also discusses 3 measures that are not currently profitable.</p>	
Keywords	Energy audit, power plant, energy efficiency

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Energiakatselmukset	2
3	Kohteen perustiedot	3
4	Energiantuotannon ja -käytön nykytila	5
4.1	Lähtötiedot	5
4.2	Prosessinvalvontajärjestelmä	5
4.3	Voimalaitoksen energiataseet	6
4.3.1	Polttoaineet	8
4.3.2	Omakäyttö	8
5	Voimalaitoksen energiatehokkuuden analysointi	13
5.1	Kattilat	13
5.1.1	Lämmöntalteenottokattila	13
5.1.2	Apukattila	15
5.1.3	Katselmoinnin tulokset	16
5.2	Turbiinit ja generaattorit	17
5.2.1	Kaasuturbiinit KT4 ja KT5	17
5.2.2	Generaattorit (KT4 ja KT5)	18
5.2.3	Höyryturbiini HT6	18
5.2.4	Generaattori (HT6)	20
5.2.5	Katselmoinnin tulokset	20
5.3	Päälauhdejärjestelmä	21
5.3.1	Lauhdutin	21
5.3.2	Päälauhdepumput	22
5.3.3	Lauhduttimen lauhdepumput	23
5.3.4	Reduktiolauhdepumppu	23
5.3.5	Lauhduttimen merivesipumput	24
5.3.6	Katselmoinnin tulokset	24
5.4	Syöttövesijärjestelmä	25
5.4.1	Syöttövesisäiliö	25
5.4.2	Syöttöveden jäähdyttimet	26
5.4.3	Syöttövesipumput	26

5.4.4	Katselmoinnin tulokset	27
5.5	Kaukolämpöjärjestelmä	28
5.5.1	Kaukolämmönvaihtimet	28
5.5.2	Kaukolämpöpumppu	29
5.5.3	Katselmoinnin tulokset	30
5.6	Vedenkäsittelyjärjestelmät ja katselmoinnin tulokset	30
5.7	Sisäinen jäähdytysvesijärjestelmät	31
5.7.1	Sisäisen jäähdytysveden lämmönvaihtimet	31
5.7.2	Sisäisen jäähdytyksen kiertopumput	31
5.7.3	Jäähdytysveden merivesipumput	32
5.7.4	Katselmoinnin tulokset	33
5.8	Paineilmajärjestelmä ja katselmoinnin tulokset	33
5.9	Sähköjärjestelmät ja katselmoinnin tulokset	35
5.10	Automaatiojärjestelmät ja katselmoinnin tulokset	36
5.11	Kiinteistötekniikka ja LVI-järjestelmät	37
5.11.1	Prosessitilat	37
5.11.2	Katselmoinnin tulokset	37
5.12	Polttoainejärjestelmät ja katselmoinnin tulokset	37
6	Laskennan pääperiaatteet	38
6.1	Lämpöteho	38
6.2	Kostean ilman laskenta	38
6.3	Lämpöpumpun laskenta	40
6.4	Pumppujen laskenta	41
6.5	Investointien laskentamenetelmät	42
7	Toimenpide-ehdotukset ja vaikutukset	43
7.1	Syöttövesisäiliön hönkälauhduttimen lauhteiden talteenotto apulauhdesäiliöön 44	
7.2	Matalapainesyöttövesipumppujen muuttaminen taajuusmuuttajakäyttöiseksi 45	
7.3	Korkeapainehöyryn paineen laskeminen yhden kaasuturbiinin ajossa	48
7.4	Paineilmajärjestelmän paineenylläpito pienemmällä kompressorilla	52
7.5	Paineilmajärjestelmän vuotojen korjaaminen	53
7.6	KP-säätöventtiilien vuotohöyryn hyödyntäminen tiivistehöyrynä	54
7.7	Apukattilan maakaasun kulutuksen vähentäminen	57
7.8	Kaasuturbiinin voiteluöljyn lämmön talteenotto	60
7.9	Maakaasun lämmityksen lämmönsiirtimien säätöjen korjaus	61

8	Jatkoselvitykset ja –tutkimukset	62
8.1	Savukaasujen lämpötilan laskeminen absorptiolämpöpumpulla	62
8.2	Sisäisen jäähdytyskierron ja meriveden hukkalämpöjen hyödyntäminen lämpöpumpulla	65
8.3	KP-turbiinin vuodon selvittäminen	65
8.4	Kattilahallin ja höyryturbiinihallin ilmanvaihdon lämmöntalteenotto	66
9	Tutkittuja ehdotuksia, jotka eivät tällä hetkellä ole kannattavia	69
9.1	Apulauhdepumpun muuttaminen taajuusmuuttajakäyttöiseksi	69
9.2	Reduktiopumpun muuttaminen taajuusmuuttajakäyttöiseksi	71
9.3	Lauhduttimen merivesipumppu 3:en muuttaminen taajuusmuuttajakäyttöiseksi	73
10	Yhteenveto	74
	Lähteet	75

Liitteet

Liite 1. Syöttövesisäiliön hönkälauhduttimen lauhteiden talteenotto apulauhdesäiliöön

Liite 2. Matalapainesyöttövesipumppujen muuttaminen taajuusmuuttajakäyttöiseksi

Liite 3. Korkeapaineen alentaminen 40 baariin yhden kaasuturbiinin ajossa

Liite 4. Paineilman tuotto pienemmällä kompressorilla

Liite 5. Apukattilan paineistaminen omakäyttöhöyryllä

Liite 6. Savukaasujen lämpötilan laskeminen absorptiolämpöpumpulla

Liite 7. Kattilahallin ja höyryturbiinihallin ilmastoinnin lämmöntalteenotto

Liite 8. Apulauhdepumpun muuttaminen taajuusmuuttajakäyttöiseksi

Liite 9. Reduktiopumpun muuttaminen taajuusmuuttajakäyttöiseksi

Lyhenteet

HT	Höyryturbiini
K	Kattila
KL	Kaukolämpö
KLV	Kaukolämmönvaihdin
KP	Korkeapaine
KT	Kaasuturbiini
MP	Matalapaine
PV	Paineen vähennys
SV	Syöttövesi
VuA	Vuosaaren A-voimalaitos
VuB	Vuosaaren B-voimalaitos
VP	Välipaine

Symbolit

A	Energiakustannussäästö	[€]
C_p	Ominaislämpökapasiteetti	[J/(kgK)]
COP	Lämpökerroin	[-]
H	Nostokorkeus	[m]
h	Entalpia	[kJ/kg]
I	Investointikustannukset	[€]
l_{ho}	Veden höyrystymislämpö	[kJ/kg]
M	Molaarinen massa	[mol]
\dot{m}	Massavirta	[kg/s]
N	Suora takaisinmaksuaika	[a]
η	Hyötysuhde	[%]
P	Teho	[W]
p	Paine	[bar]
R	Yleinen kaasuvakio	[J/molK]
ρ	Tiheys	[kg/m ³]
Q	Lämpöteho	[W]
ΔT	Lämpötilaero	[°C]
\dot{V}	Tilavuusvirta	[m ³ /s]

φ	Suhteellinen kosteus	[%]
x	Savukaasun kosteus	[kg _{H2O} /kg _s]

1 Johdanto

Energiatehokkuus on yksi tärkein energiataloudellinen tekijä voimalaitoksen energiantuotannossa. Energiatehokkuudella tarkoitetaan energian tehokasta käyttöä ja sen tuottamista mahdollisimman pienellä polttoainemäärällä. Energiatehokkuuden kasvattaminen vähentää tuotannon päästöjä ja tuotannon parannustoimenpiteet tehdään mahdollisimman kustannustehokkaalla tavalla. Helen Oy on sitoutunut energiatehokkuuden jatkuvaan parantamiseen elinkeinoelämän sekä työ- ja elinkeinoministeriön välisellä energiansäästöä koskevalla energiatehokkuussopimuksella.

Opinnäytetyö toteutetaan Helen Oy:lle, joka on Suomessa toimiva energia-alan yritys. Opinnäytetyön tutkimuksen kohteena on Helen Oy:n Vuosaaren B -voimalaitos, joka on maakaasua pääpolttoaineena käyttävä kombivoimalaitos. Tutkimuksen tuloksena saadaan energiakatselmuksen kohdekatselmus, jossa esitellään Vuosaari B -voimalaitoksen nykytila ja mahdollisuudet tehostaa voimalaitoksen energiantuotantoa. Löydetyille energiansäästökohteille lasketaan säästötoimenpiteiden aiheuttamat investointikustannukset, suora takaisinmaksuaika ja saavutettava energiasäästö ja tällä tavoin määritellään investoinnin kannattavuus.

Opinnäytetyö toteutettiin haastattelemalla Helen Oy:n asiantuntijoita, keräämällä tietoa Helen Oy:n sisäisistä järjestelmistä, tutustumalla voimalaitoksen prosessiin ja sen tärkeimpiin komponentteihin energian tuotannon ja kulutuksen kannalta. Lisäksi tehtiin yhteistyötä laitevalmistajien ja laitetoimittajien kanssa.

2 Energiakatselmukset

Energiakatselmus on selvitys tuotantolaitoksen energian ja veden käytöstä ja niiden tehostamismahdollisuuksista. Motivalla on voimalaitoksen energia-analyysimalli, joka on tarkoitettu polttoainetta käyttäville sähköä tuottaville voimalaitoksille, jota on hyödynnetty aikaisemmin Helen Oy:n voimalaitosten energia-analyysseissa, kun suurten yritysten energiakatselmukset olivat vapaaehtoisia ja tuettuja. Samaa pohjaa hyödynnetään Vuosaari B:n kohdekatselmuksessa. Kohdekatselmuksessa analysoidaan kohteen kokonaisenergian käyttö, selvitetään energiansäästämismahdollisuudet ja esitellään toimenpiteet energiansäästämiseksi kannattavuuslaskelmineen. Energiakatselmuksen tarkoituksena on löytää mahdollisia energiansäästötoimenpiteitä, joilla mahdollistetaan energian tuottaminen pienemmällä polttoainemäärällä saatavan energian pysyessä samana tai kasvaessa suuremmaksi.

Vuonna 2015 tuli voimaan energiatehokkuuslaki, joka velvoittaa suuret yritykset tekemään neljän vuoden välein yrityksen energiakatselmuksen. Suureksi yritykseksi määritellään yritys, jonka työntekijämäärä on yli 250 tai liikevaihto on yli 50 miljoonaa euroa ja tase yli 43 miljoonaa euroa. Helen Oy määritellään suureksi yritykseksi. Energiatehokkuuslakia sovelletaan yrityksiin, jotka myyvät tai jakelevat sähköä, kaukolämpöä, kaukojäähdytystä tai polttoainetta. [1.]

Suomessa on uusi energiatehokkuussopimuskausi vuosille 2017–2025, jossa pyritään tehostamaan energiankäyttöä energiantuotannon toimenpideohjelmassa. Energiatehokkuussopimus liittyy pääsääntöisesti sähköä, kaukolämpöä tai kaukojäähdytystä tuottaviin yrityksiin, kuten Helen Oy:n, joka on sitoutunut energiatehokkuuden jatkuvaan parantamiseen elinkeinoelämän sekä työ- ja elinkeinoministeriön välisellä energiasäästöä koskevalla energiatehokkuussopimuksella. [2.]

Energiatehokkuussopimuksessa yritys asettaa säästötavoitteen vuosille 2017–2025 ja välitavoitteen vuodelle 2020. Helen Oy on asettanut ohjeellisen energiansäästötavoitteen sähkön siirron ja jakelun sekä kaukolämmön ja erillistuotannon tehokkuudelle. [3.]

3 Kohteen perustiedot

Vuosaaren B-voimalaitos tuottaa sähköä Helsingin ja valtakunnan verkkoon sekä kaukolämpöä Helsingin pääverkkoon. Vuosaaren voimalaitoskokonaisuuteen kuuluvat Vuosaaren A ja B voimalaitokset ja varalämpökeskus. Vuonna 2017 Vuosaaren B-voimalaitoksen nettosähköntuotanto oli 1535,6 GWh ja kaukolämmöntoimitus 1496,9 GWh. Vuosaaren B-voimalaitosta ajetaan Helen Oy:n keskusvalvomon ohjeiden mukaan. [4.]

Vuosaari B-voimalaitos on kombivoimalaitos, joka tuottaa sähköä ja kaukolämpöä. Vastapaineikäytöllä sähköteho on 487 MW, kaukolämpöteho 430 MW ja kokonaishyötysuhde 92,9 % (ulkoilman lämpötilassa 0 °C), jolloin rakennusaste on 1,13. Lauhdutuskäytöllä sähköteho on 531 MW ja hyötysuhde 53,5 %. Vuosaari B on maakaasukäyttöinen, jonka kulutus on nimellisteholla 98 700 m³/h ja varapolttoaineena voidaan käyttää kevyttä polttoöljyä, jonka kulutus on nimellisteholla 102 m³/h. Vuosaaren B-voimalaitos on otettu kaupalliseen käyttöön vuonna 1998. Kombivoimalaitokseen on kytkettynä yhteen kaasuturbiini- ja höyryturbiinilaitos. Vuosaari B koostuu kahdesta kaasuturbiinista KT4 ja KT5, niiden perässä olevista lämmöntalteenottokattiloista K4 ja K5 sekä yhdestä höyryturbiinista HT6. Molemmat kaasuturbiineista ja lämmöntalteenottokattiloista tuottavat höyryä yhdelle höyryturbiinille. Omakäyttöhöyryä tuotetaan tarvittaessa maakaasu/kevyt polttoöljykäyttöisellä apukattilalla, joka on tulitorvi-tuliputkikattila teholtaan 11,5 MW. Vuosaari B on kytketty kaukolämmön pääverkkoon n. 18 km pitkän kaukolämpötunnelin välityksellä. [5.]

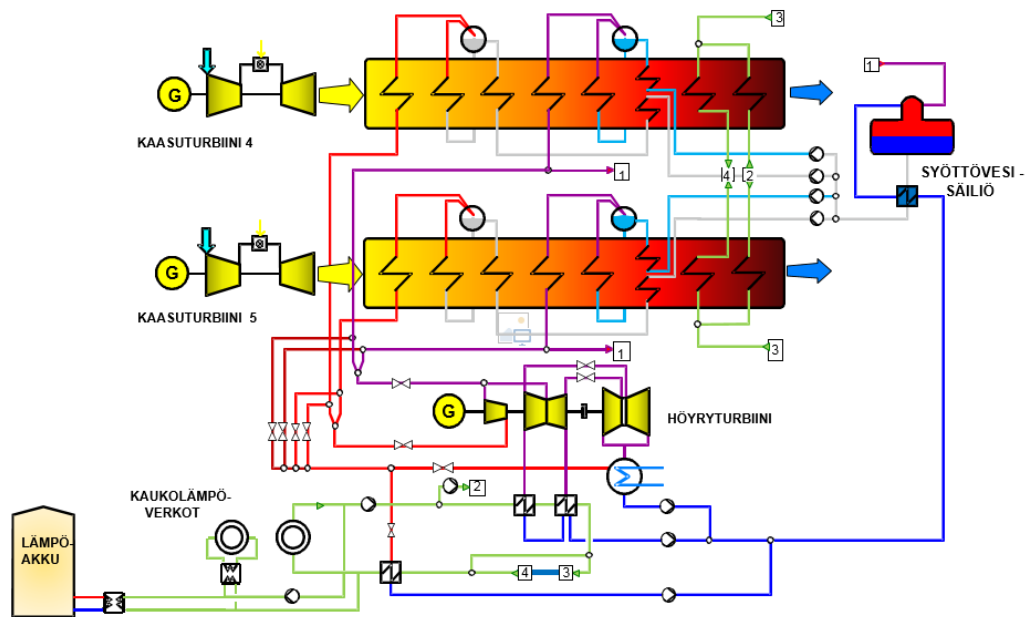
Vuosaari B:n lämmöntalteenottokattiloiden K4 ja K5 valmistaja on Foster Wheeler. Kattiloiden läpi kulkee kaasuturbiineilta tuleva kuuma savukaasu (538 kg/s, 539 °C), ja kattilassa tuotetun korkeapainehöyryn lämpötila on 510 °C, painetaso 74 bar ja massavirta 246 t/h sekä matalapainehöyryn lämpötila 220 °C, painetaso 6,5 bar ja massavirta 50 t/h. Kattilassa on myös kaukolämpöpaketit, joiden kaukolämpöteho on 35 MW. Savukaasujen loppulämpötila lämmöntalteenottokattilan jälkeen on 52 °C. Apukattilan valmistaja on LOOS ja sillä pystytään tuottamaan 14,4 t/h tulistettua höyryä (8 bar ja 230–280 °C). [5.]

Kaasuturbiinien KT4 ja KT5 valmistaja on Siemens AG KWU ja tyyppiltään V94.2. Turbiinien sähköteho on 2 x 173 MW (0 °C) ja hyötysuhteeltaan KT4 on 35,4 % ja KT5 on 34,8 %. Kaasuturbiinilta lämmöntalteenottokattilalle siirtyvät savukaasut 538 kg/s lämpötilassa 539 °C. [5.]

Höyryturbiinin HT6 valmistaja on ABB Stal Ab, ja sen teho on vastapaineajossa 141 MW ja lauhdeajossa 170 MW. Höyryturbiiniin syötetään höyryä kahdesta lämmöntalteenotto-kattilasta. Höyryturbiini on kolmipesäinen väliottolauhdeturbiini, jossa on korkeapaine-, välipaine- ja matalapaineturbiinipesä. Kahdesta välipainepesän väliotosta ohjataan höyryä kaukolämmönvaihtimille. [5.]

Vuosaari B:ssä on kolme kaukolämmönvaihdinta, KLV-1 ja KLV-2 sekä yksi reduktiolämmönvaihdin (KLV-3), joiden valmistaja on Högros Sento Oy, mutta Sahala Works on uudelleen putkittanut KLV-1:n vuonna 2016. KLV-1 teho on 176 MW, KLV-2 170 MW ja KLV-3 269 MW. Kaukolämpövettä pumpppaa yksi kaukolämpöpumppu, jonka valmistaja on Ahlström pumpput Oy. Kaukolämpöpumpun tuotto on 8749 t/h ja nostokorkeus 57 m. [5.]

Vuosaaren B-voimalaitosta ajetaan keskusvalvomon tehopyyntöjen perusteella. Laitoksen kunnossapidon toteuttaa Helen Oy. Kuvassa 1 näkyy Vuosaari B:n yksinkertaistettu prosessikaavio.



Kuva 1. Vuosaaren B-voimalaitoksen yksinkertaistettu prosessikaavio [6.]

4 Energiantuotannon ja -käytön nykytila

Tässä luvussa käydään läpi Vuosaaren B-voimalaitoksen energiantuotannon- ja käytön nykytila. Tämä luku toimii pohjana analyysin suorittamiselle ja ohjaa keskittymään tärkeimpiin kohteisiin energiakatselmuksen kannalta.

4.1 Lähtötiedot

Energia-analyysin tarkasteluvuotena käytettiin vuotta 2017. Edellisvuosiin verrattuna Vuosaaren B-voimalaitosta käytettiin vähemmän (käyttötunnit luvussa 4.2.3, kuvassa 9). Voimalaitoksen käyttötunnit olivat 4779 h ja kaasuturbiinien keskitehot KT4 138,5 MW, KT5 142 MW sekä höyryturbiinin HT6 keskiteho oli 89,9 MW [4].

Opinnäytetyössä käytetyt tuotanto- ja kulutustiedot perustuvat VuB:n automaatiojärjestelmästä kerättyihin tietoihin sekä kuukausiraportteihin. Lämmitystarveluku vertailukaudella 1981–2010 Helsingissä on 3878 ja vuoden 2017 oli 3549, joten vuosi 2017 oli normaalivuotta lämpimämpi [7].

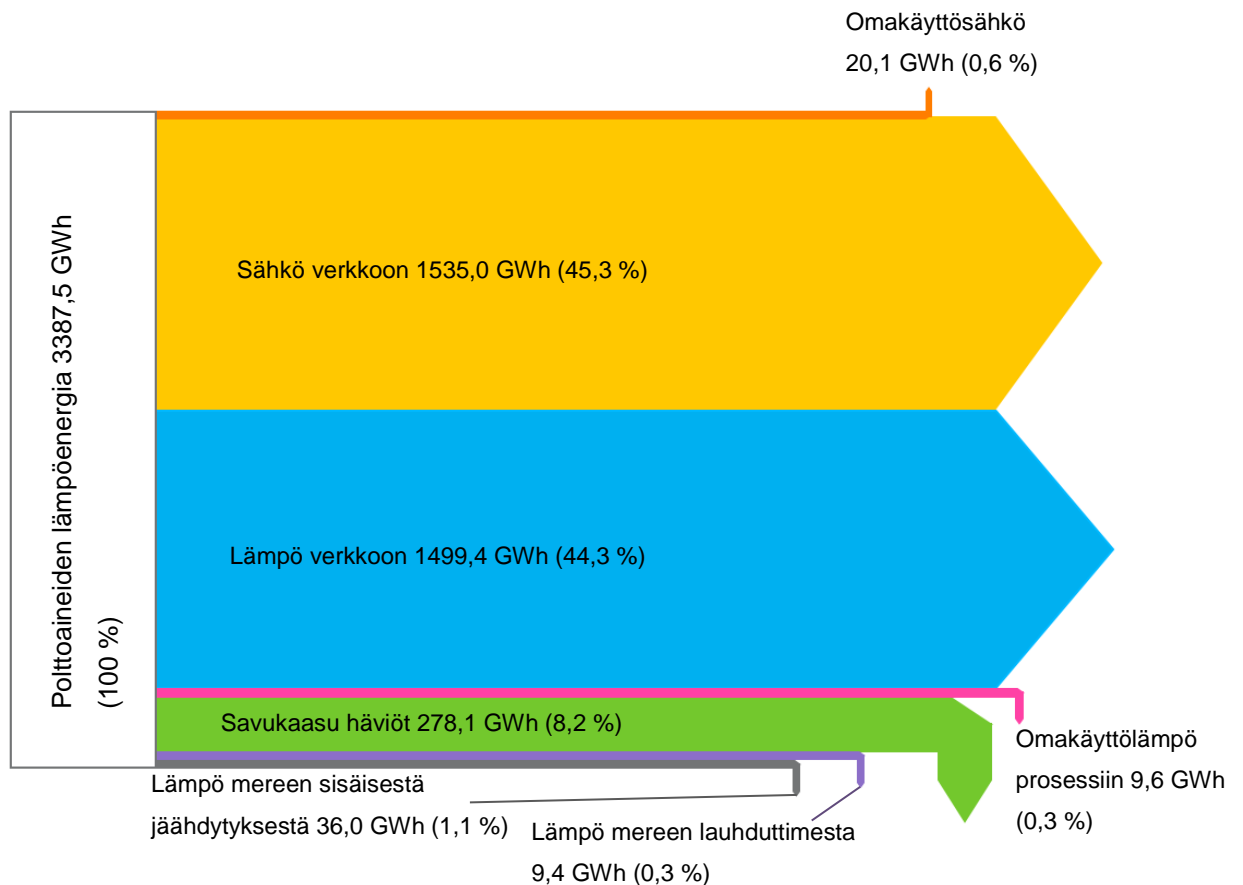
Kartoitus kattilahallin ja turbiinihallin ilman lämmöntalteenotosta tehtiin yhteistyössä Koja Oy:n kanssa. Pumppujen taajuusmuuttajista oltiin yhteyksissä ABB:hen, josta myös moni pumppujen moottori on ostettu. Paineilmakompressorista oltiin yhteydessä Tamrotor Kompessorit Oy:n, joka on nykyisetkin paineilmakompressorit toimittanut.

4.2 Prosessinvalvontajärjestelmä

Voimalaitoksen pääautomaation toimittaja on Siemens Osakeyhtiö. Automaatiojärjestelmän tyyppi Siemens SPPA T-3000. Automaatiojärjestelmä on yhdistetty höyryturbiinin ABB Advant Controller 450-ohjausjärjestelmään. Voimalaitoksen käyttöhenkilökunta tekee mittauksiin perustuvia raportteja kuukausittain polttoaineen käytöstä, savukaasujen päästöistä ja meriveden päästöistä. [5.]

4.3 Voimalaitoksen energiataseet

Vuosilla 2014–2017 bruttoenergiahyötysuhde on vaihdellut välillä 90,2–90,8 %, näistä laskettu keskiarvo on 90,38 %. Kuvassa 2 on esitetty Vuosaaren B-voimalaitoksen energiavirrat vuodelta 2017. Taulukossa 1 näkyy tuotantotiedot viimeisen neljän vuoden ajalta sekä tietojen perusteella laskettu kokonaishyötysuhde. Arvot on poimittu voimalaitoksen vuosiraporteista, ja ne ovat keskenään vertailukelpoisia. Voimalaitoksen polttoaineen kulutukseen on vaikuttanut voimalaitoksen käyttötunnit, joihin on vaikuttanut maakaasun hinnankehitys, sähkön hinta sekä kaukolämmön kysyntä.



Kuva 2. Vuosaaren B-voimalaitoksen vuoden 2017 energiavirrat [4; 8.]

Taulukko 1. Vuosaaren B-voimalaitoksen energiatase vuosina 2014–2017 [4; 8.]

Energiatase vuosina 2014-2017				
	2014	2015	2016	2017
Polttoainelämpö [GWh]				
Polttoaineen kulutus yhteensä	5741,2	6261,3	3601,6	3387,5
Maakaasu KT4	2567,0	2905,4	1707,6	1897,6
Maakaasu KT5	3170,2	3353,6	1883,8	1476,5
Maakaasu apukattilaan	2,3	2,2	9,5	13,4
Kevytpolttoöljy	1,7	0,1	0,6	0,1
Kaukolämpö [GWh]				
Kaukolämpö brutto	2420,0	2682,0	1583,0	1509,0
Kaukolämpö netto	2406,2	2673,1	1576,5	1499,4
Vastapainelämpö	2032,0	2232,0	1179,0	1127,0
Reduktiolämpö	20,0	54,0	165,0	68,0
Kattilan jälkilämpö 1	214,0	226,0	126,0	213,0
Kattilan jälkilämpö 2	154,0	170,0	113,0	101,0
Prosessin omakäyttölämpö	13,8	8,9	6,5	9,6
Kiinteistön omakäyttölämpö	1,5	1,4	1,6	1,7
Lämpö mereen lauhtimesta	27,6	15,1	16,7	9,4
Lämpö mereen sisäisestä jäähdytyksestä	57,9	62,0	35,7	36,0
Laitoksen muut häviöt	479,3	496,0	307,7	278,1
Sähköntuotanto [GWh]				
Sähkön bruttotuotanto	2756,4	3006,1	1658,5	1555,1
Sähkön nettotuotanto	2711,3	2969,1	1633,6	1535,0
KT4	850,7	977,3	568,0	628,3
KT5	1079,9	1133,2	635,8	495,7
HT6	825,8	895,6	454,7	431,1
Omakäyttösähkö	45,1	37,0	24,9	20,1
Raakaveden kulutus [m³]				
Kaukolämpöveden valmistukseen	29399	21965	12746	50707
VuB:n prosessin lisävesi	52699	45033	51710	69626
Raakaveden kulutus yhteensä	82098	66998	64456	120333
Hyötysuhde [%]				
Energiahyötysuhde brutto	90,2 %	90,8 %	90,0 %	90,5 %
Energiahyötysuhde netto	89,1 %	90,1 %	89,1 %	89,6 %
Sähköntuotannon hyötysuhde	48,0 %	48,0 %	46,0 %	45,9 %
KT4	33,1 %	33,6 %	33,3 %	33,1 %
KT5	34,1 %	33,8 %	33,7 %	33,6 %

Taulukko 2. Tuotantotiedot (brutto) kuukausikohtaisesti vuodelta 2017 [4; 8.]

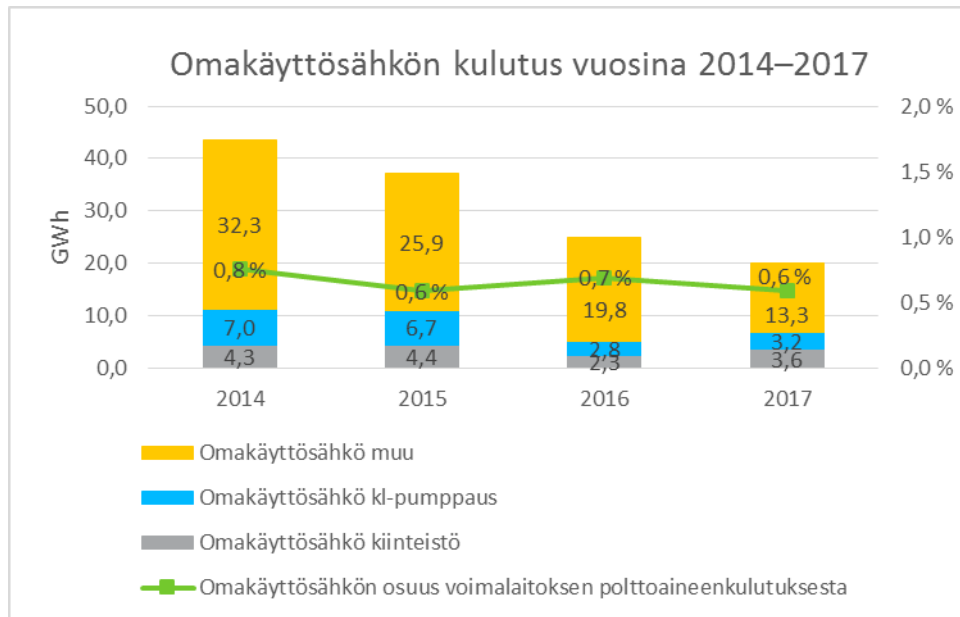
TUOTANTOTIEDOT (brutto)								
2017	KT4	KT5	HT6	VP-SÄHKÖ	LAUHDESÄHKÖ	Maakaasu	Kevyt polttoöljy	KL
	MWh	MWh	MWh	MWh	MWh	m ³ n	t	MWh
Tammi	118 509	120 288	92 277	331 072	2	68 321 840	0,0	300 209
Helmi	98 658	103 957	76 909	279 219	305	58 607 970	0,2	261 814
Maalis	99 646	101 362	82 605	283 581	31	59 934 630	0,1	271 959
Huhti	96 678	2	31 651	127 854	477	28 444 740	0,0	132 801
Touko	32 059	0	11 521	43 165	415	10 448 830	0,2	49 592
Kesä	0	0	0	0	0	112 710	0,0	37
Heinä	0	355	8	0	363	514 695	0,0	345
Elo	0	0	0	0	0	247 714	0,2	0
Syys	57	9 770	3 824	13 622	253	3 391 350	8,4	15 049
Loka	34 448	3 032	14 504	51 901	270	11 952 550	0,0	54 648
Marras	37 910	45 856	35 163	117 195	2 045	27 874 680	0,2	130 859
Joulu	110 293	111 043	82 669	303 760	106	64 322 970	0,0	290 835
Yht.	628 258	495 665	431 131	1 551 369	4 267	334 174 679	9,4	1 508 148

4.3.1 Polttoaineet

Voimalaitoksen pääpolttoaine on maakaasu ja varapolttaine kevyt polttoöljy. Maakaasun lämpöarvo on noin 10 MWh/1000 m³n [8]. Maakaasua kului voimalaitoksella noin 334 miljoonaa kuutiometriä vuonna 2017. Kevyttä polttoöljyä on käytetty tarkasteltavana vuonna hyvin vähän, noin 11 m³:n verran. Kevyttä polttoöljyä käytetään lähinnä vain kaasuturbiinien koekäytöissä ja varapolttaineena. [4; 8.]

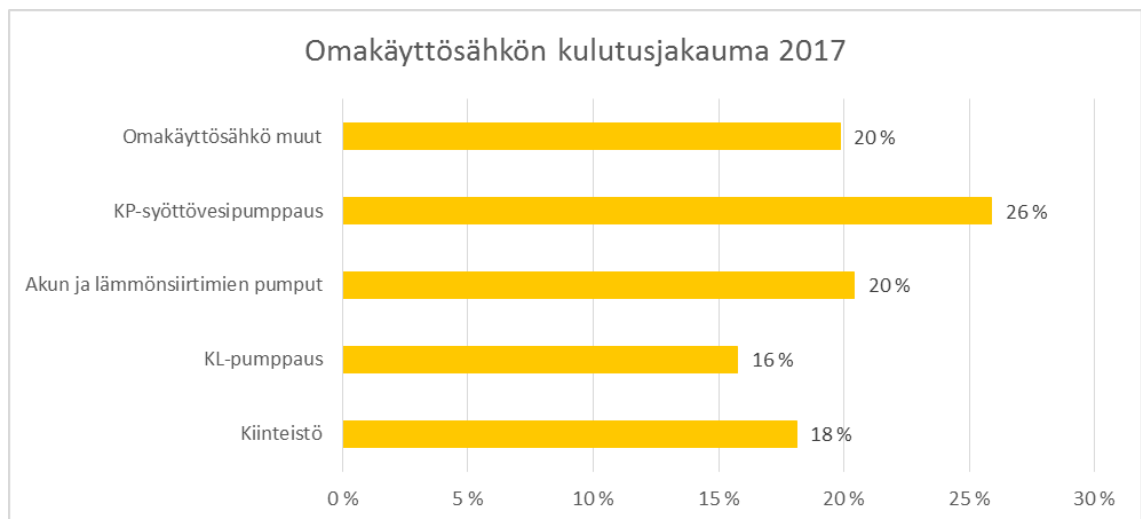
4.3.2 Omakäyttö

VuB:n omakäytösähkön kulutukset vuosilta 2014–2017 näkyvät kuvassa 3. Vuonna 2017 käytettiin omakäytösähköä 20,1 GWh, jolloin omakäytösähkön vuosikustannukseksi tulee 804 000 €, sähkönhinnalla 40 €/MWh [9]. Kuvasta 3 selviää, että omakäytösähkön kulutus on vähentynyt puoleen vuodesta 2014. Voimalaitoksen käyttötunnit ovat pienentyneet vuodesta 2014 vuoteen 2017, mikä on suurin syy omakäytösähkön kulutuksen vähentymiseen (katso kuva 9). Omakäytösähkön kulutus on jaettu kiinteistön, KL-pumppauksen ja muun omakäytösähkön osalta. Omakäytösähkö muu koostuu enimmäkseen syöttövesipumppauksen sähkönkulutuksesta. Kuvasta 3 nähdään myös, että alle prosentti voimalaitoksen polttoaineenkulutuksesta menee omakäytösähkön tekemiseen.



Kuva 3. Omakäyttösähkön kulutus vuosina 2014–2017 [4; 8.]

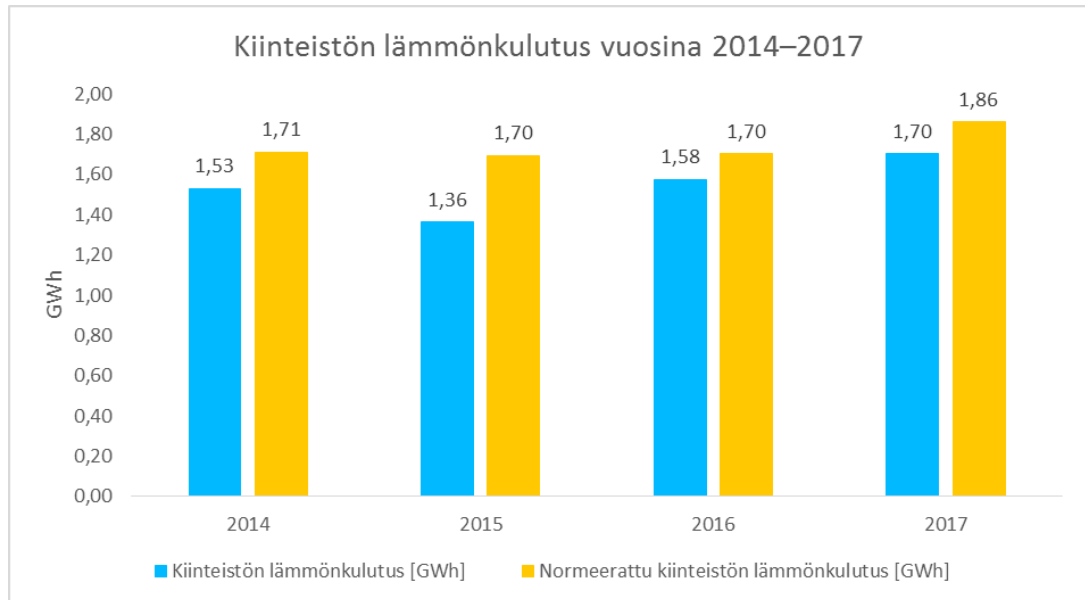
Omakäyttösähkön kulutuksen jakautumisen näkee kuvasta 4. Kuvasta 4 selviää että KP-syöttövesipumppaus on suurin yksittäinen omakäyttösähkön kuluttaja. Toimenpide-ehdotuksessa 7.3 käydään läpi, miten KP-syöttövesipumppujen energiankulutukseen olisi mahdollista vaikuttaa.



Kuva 4. Suurimmat omakäyttösähkön kuluttajat vuonna 2017 [4; 8.]

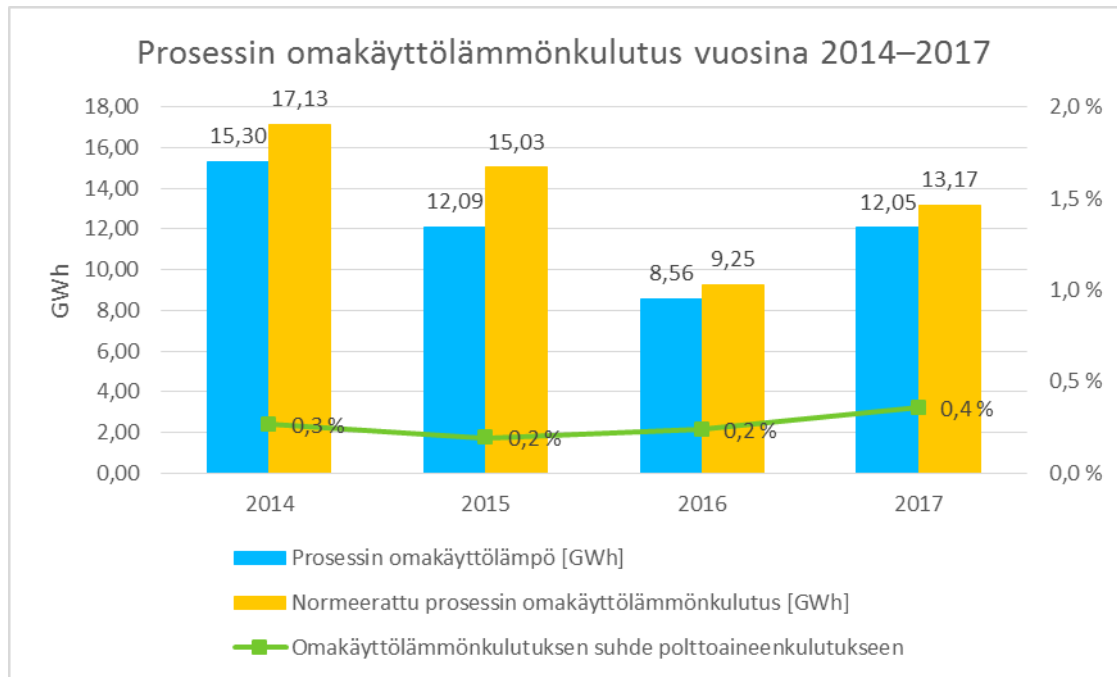
VuB:n kiinteistön omakäyttölämmön kulutukset vuosilta 2014–2017 näkyvät kuvassa 5. Vuonna 2017 kiinteistössä kului omakäyttölämpöä 1,86 GWh verran. Kiinteistön oma-

käyttölämmön kulutus on pysynyt aika tasaisena vuosina 2014–2017. Rahallisesti arvoitettuna lämmönhinnalla 40 €/MWh kiinteistön omakäyttölämmön (vuoden 2017) kustannukseksi tulee 68 104 € [10].

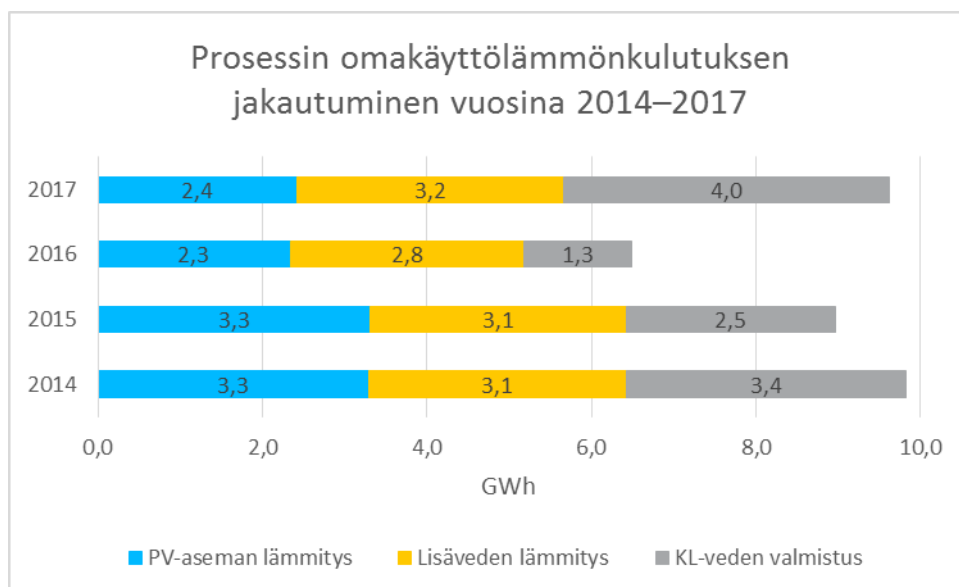


Kuva 5. Kiinteistön lämmönkulutus vuosina 2014–2017 [8].

VuB:n prosessin omakäyttölämmön kulutukset vuosilta 2014–2017 näkyvät kuvassa 6. Vuonna 2017 prosessissa kului omakäyttölämpöä 12,05 GWh verran. Prosessin omakäyttölämmön kulutuksen jakautuminen näkyy kuvassa 7 vuosina 2014–2017. Prosessin omakäyttölämmön jakautuminen on ollut melko samanlaista vuosien 2014–2017 välissä. Prosessin omakäyttölämmön kulutus on vaihdellut vuosina 2014–2017, johtuen voimalaitoksen käyttötunneista (mitä vähemmän voimalaitosta käytetään, sitä vähemmän kuluu prosessissa omakäyttölämpöä). Rahallisesti arvoitettuna lämmönhinnalla 40 €/MWh prosessin omakäyttölämmön (vuoden 2017) kustannukseksi tulee 482 109 € [10].



Kuva 6. Prosessin omakäyttölämmönkulutus vuosina 2014–2017 [4; 8.]

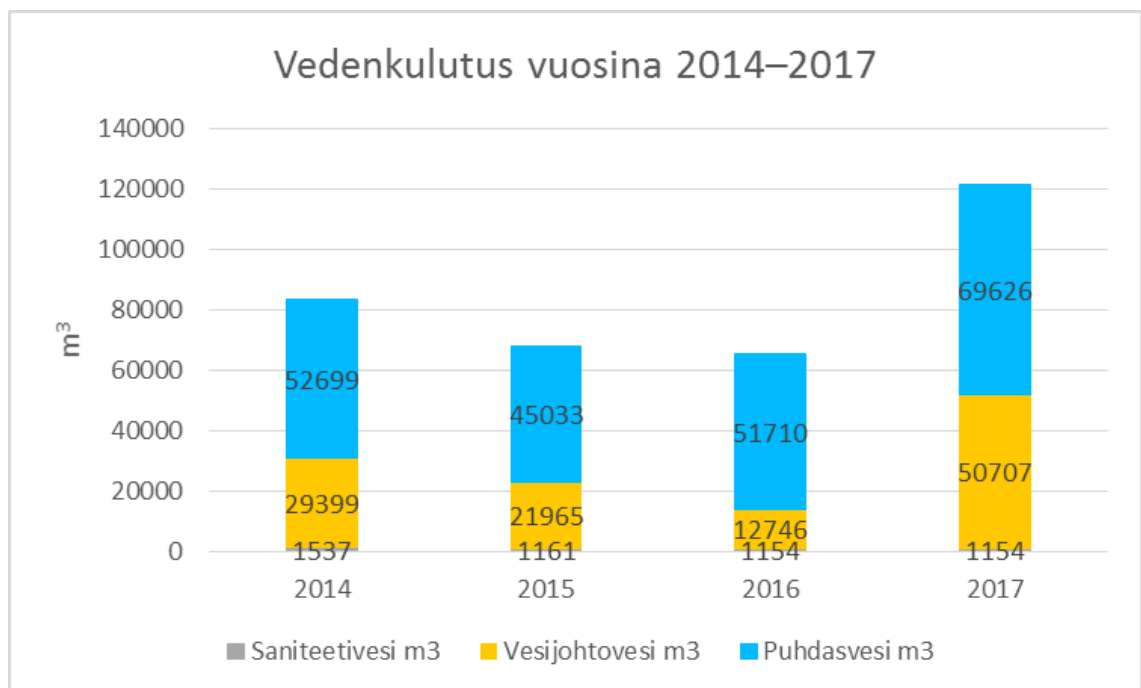


Kuva 7. Prosessin omakäyttölämmönkulutus vuosina 2014–2017 [4; 8.]

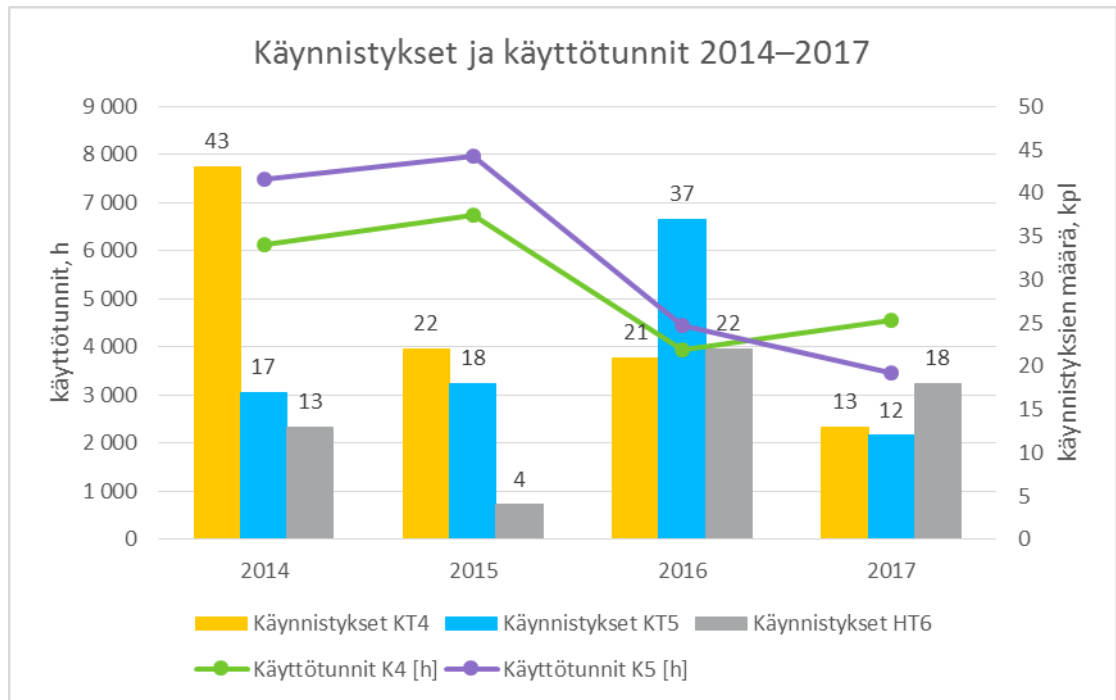
Kuvassa 8 on VuB:n vedenkulutus vuosina 2014–2017. Vedenkulutus on jaettu vesijohtovesi, puhdasveden ja saniteettiveden osalta. Prosessissa puhdasvettä sekä vesijohtovettä kuluu prosessin lisävetenä ja kaukolämpöveden valmistukseen [5]. Saniteettivettä VuB:n kiinteistössä vuonna 2017 kului 1154 m³ [8]. Saniteettiveden kulutus on pysynyt tasaisena vuosien 2014–2017 aikana.

Vesijohtoveden ja puhtasveden kulutus on noussut vaikka laitoksen käyttötunnit ovat vähentyneet vuonna 2017. [6.] Veden kulutukseen vaikuttaa monta muuttuvaa tekijää. Laitoksen lyhyet käynnissä olo jaksot kuluttavat vettä, koska höyryturbiini tulee lämmittää ylös ajettaessa. Lämmitys kestää tavallisesti noin 4–5 h, jolloin lauhteet joudutaan ajamaan mereen KL-vaihtimien ”likaisuuden” vuoksi n. 100 t/h virtauksella, jotta lauhteesta tulee tarpeeksi puhdasta prossiin palauttamiseksi. [11] Vuonna 2017 laitoksen käyttötunnit olivat vähäiset, ja höyryturbiinin käynnistyksiä enemmän kuin vuosina 2014 ja 2015. Kattiloiden märkäsäilöntä VuB:ssa kuluttaa vettä noin 2-3 t/h, jos kattiloita halutaan pitää käyttövalmiina laitoksen seisoessa. [11]

Kaukolämpövettä tehdään VuB:ssa 0–40 t/h, jolloin KL-veden kaasunpoistin ottaa oma-käyttöhöyrylinjasta höyryä n. 0,5–2 t/h verran. Mikäli kaukolämpölinjat joudutaan täyttämään, siihen kuluu noin 100–600 t/km vettä, riippuen putken halkaisijasta. Normaalisissa ajossa VuB:n vedenkulutus noin 6–7 t/h. Vesijohtovettä käytetään vain KL-veden valmistukseen VuB:ssa, joka selittää vesijohtoveden kulutuksen kasvamisen vuodesta 2014 vuoteen 2017. [11]



Kuva 8. Vedenkulutus vuosina 2014–2017 [4; 8.]



Kuva 9. Käynnistykset ja käyttötunnit vuosina 2014–2017 [4.]

5 Voimalaitoksen energiatehokkuuden analysointi

Tässä luvussa käydään läpi Vuosaaren B-voimalaitoksen tärkeimpien järjestelmien toiminta, niiden tärkeimmät komponentit sekä energiatehokkuuden tila sekä energiatehokkuuden parannusmahdollisuudet. Katselmoinnin tulokset on esitelty jokaisen järjestelmäkuvauksen loppuksi.

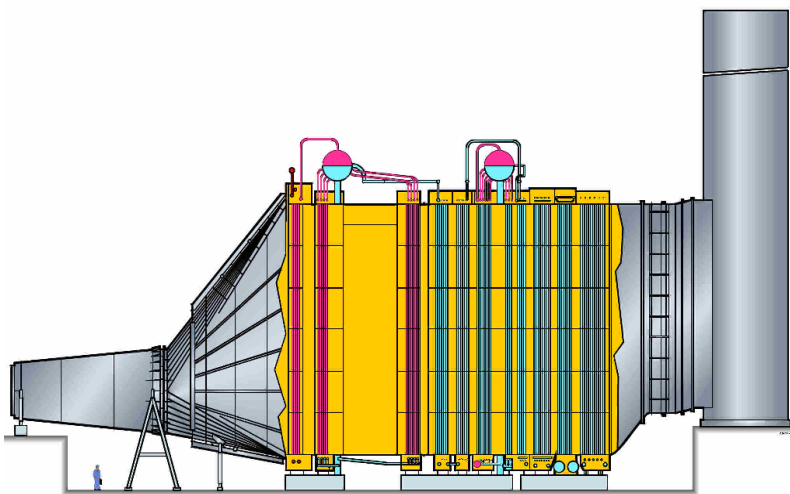
5.1 Kattilat

Vuosaaren B-voimalaitoksella on kaksi lämmöntalteenottokattilaa sekä apukattila, jotka esitellään seuraavissa alaluvuissa. Lämmöntalteenottokattiloiden lämpö tulee kaasuturbiineilta ja apukattilassa poltetaan maakaasua tarpeen mukaan.

5.1.1 Lämmöntalteenottokattila

Lämmöntalteenottokattilat K4 ja K5 on toimittanut Foster Wheeler Energia Oy 1998 (katso kuva 10). Kattilat ovat vaakasuoria luonnonkiertokattiloita. Kattiloissa tuotetaan

korkea- ja matalapainehöyryä höyryturbiinille. Lisäksi kattilassa on kaksi kaukolämpöpakettia, joilla lämmitetään kaukolämpövedtä kaukolämpöverkkoon. Kattiloissa ei ole polttimia vaan kaikki lämpö tuodaan kaasuturbiineista, joissa polttoaineen palaminen tapahtuu. Kattilan putket ovat pystysuoria ripaputkia, joiden suuri pinta-ala parantaa lämmönjohtavuutta. Kattiloita ei voida siis käyttää ilman kaasuturbiineita. Kaasuturbiineitakaan ei voi käyttää ilman kattilaa, koska kattilan materiaalit eivät kestä tyhjänä kaasuturbiineilta tulevan savukaasun lämpötilaa. Yhden kattilan vioittuminen pudottaa laitoksen maksimisähkötehon puoleen (240 MW). Taulukossa 4 näkyy kattiloiden suoritusarvot ulkoilman lämpötilassa 0 °C. [5.]



Kuva 10. Lämmöntalteenottokattila [5.]

Kattiloiden käyttötunnit näkyvät taulukossa 3. Kuten taulukosta voi huomata, vuonna 2017 kattiloiden käyttötunnit ovat vähentyneet vuodesta 2014 vuoteen 2017. Käyttötunteihin on vaikuttanut esimerkiksi maakaasunhinnan vaihtelu sekä sähkön hinnan kehitys.

Taulukko 3. K4:n ja K5:n käyttötunnit 2014–2017 [5.]

Vuosi	Käyttötunnit K4 [h]	Käyttötunnit K5 [h]
2014	6 137	7 500
2015	6 752	7 967
2016	3 937	4 462
2017	4 558	3 476

Taulukko 4. K4:n ja K5:n suoritusarvot tuloilman lämpötilassa 0 °C [5.]

Korkeapainehöyry	
Paine tulistimen jälkeen	74 bar
Lämpötila	510 °C
Massavirta	246 t/h
Matalapainehöyry	
Paine tulistimen jälkeen	6,5 bar
Lämpötila	220 °C
Massavirta	50 t/h
Syöttövesi	
Mitoituslämpötila	73 °C
Alin sallittu lämpötila	40 °C
Savukaasut	
Sisääntulolämpötila	543 °C
Ulostulolämpötila	52 °C
Kattilan kaukolämmönvaihdin 1 (kylmä)	
Teho	20 MW
KL-veden virtaus	648 t/h
KL-vesi sisään	45 °C
KL-vesi ulos	71,5 °C
Kattilan kauko-lämmönvaihdin 2 (kuuma)	
Teho	15 MW
KL-veden virtaus	4968 t/h
KL-vesi sisään	82,4 °C
KL-vesi ulos	85 °C

Kattiloihin liittyy myös jatkuva ulospuhallusjärjestelmä. Jatkuva ulospuhallussäiliö on yhdistetty syöttövesisäiliön kaasunpoistimeen, jonne jatkuvan ulospuhalluksen höyry johdetaan. Jatkuvan ulospuhallussäiliön lauhde johdetaan apulauhdesäilöön ja sieltä KL-raakavedeksi. [5.]

5.1.2 Apukattila

VuB:n apukattila tuottaa prosessiin tarvittavaa omakäyttöhöyryä, jos höyryä ei saada riittävästi korkeapainehöyryjärjestelmästä. Apukattila tuottaa tällöin tulistettua höyryä (8 bar, 250 °C), joka muutetaan höyryn paineensäätöventtiileillä vastaamaan tarvittavaa omakäyttöhöyryn painetta. Apukattilan tuottama höyrymäärä riittää omakäyttöreduktio-

venttiileihin ja syöttövesisäiliön kaasunpoistoon öljyajossa. Kaasuajossa kaasunpoistoon riittävät laitoksen omakäyttöreduktioventtiilit. Omakäyttöreduktioventtiilit päästävät KP/MP-höyryä prosessista. Jos omakäyttöhöyryn lämpötila laskee alle 230 °C, tiiviste-höyrylinjassa oleva sähkötulistin käynnistyy ja nostaa höyryn lämpötilan riittävän korkeaksi höyryturbiinille. Taulukossa 5 on apukattilan teknisiä tietoja. [5.]

Taulukko 5. Apukattilan teknisiä tietoja [5.]

Valmistaja	LOOS
Tyyppi	Tulitorvikattila varustettuna tulistimella
Teho	11,5 MW
Massavita	14,4 t/h
Suunnittelupaine	13 bar
Käyttöpaine	8 bar
Suunnittelulämpötila	350 °C
Käyttölämpötila	230–280 °C
Syöttöveden lämpötila	105 °C
Polttoaine	maakaasu/kevyt polttoöljy
Vesitilavuus	24,1 m ³
Lämpöpinta-ala	330 m ²

5.1.3 Katselmoinnin tulokset

Kattiloiden energiatehokkuuden tila on hyvä, mutta toimenpiteitä energiatehokkuuden parantamiseen löytyi kattiloiden osalta. Suurin säästöpotentiaali on savukaasujen loppulämpötilojen laskemisella.

Lämmöntalteenottokattilat:

Lämmöntalteenottokattiloiden osalta on esiselvityksessä savukaasujen lämpötilan laskeminen absorptiolämpöpumpulla, joka on esitetty luvussa 8.1.

Apukattila:

Apukattilan osalta löytyi toimenpide-ehdotus, joka on apukattilan maakaasunkulutuksen vähentäminen. Toimenpide-ehdotus on esitetty luvussa 7.7 ja toimenpide-ehdotuksen toteutukseen on esitetty kaksi eri vaihtoehtoa. Kumpikin vaihto-ehdoista on kannattavia ja takaisinmaksuajaltaan 0–1,7 vuoden välillä.

5.2 Turbiinit ja generaattorit

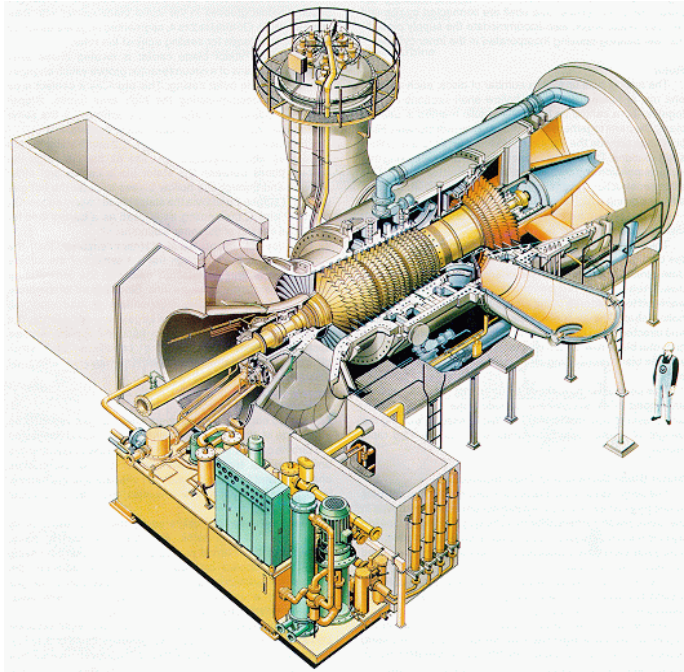
Vuosaaren B-voimalaitoksella on kaksi kaasuturbiinia ja höyryturbiini. Kunkin turbiinin perään on liitetty generaattorit.

5.2.1 Kaasuturbiinit KT4 ja KT5

Kaasuturbiinit KT4 ja KT5 ovat Siemensin toimittamia V94.2 kaasuturbiineja (katso kuva 11). Kaasuturbiinin ahdin on 17-vaiheinen ja turbiini 4-vaiheinen. Polttokammiot on sijoitettu pystyyn ja niissä on 8 esisekoituspoltinta. Esisekoituspolttimien idea on minimoida NO_x-päästöt ja niitä voidaan käyttää polttamalla kaasua kuormitusalueella 40–100 %. Polttokammiossa on myös 8 diffuusiopoltinta, joita käytetään käynnistyksen ja pysäytyksen aikana. Osakuormahyötysuhteen parantamiseksi ahtimen ensimmäinen johtosiipivyöhyke on säädettävä. Yhden kaasuturbiinin suoritusarvot ovat taulukossa 6, 0 °C:n lämpötilassa. [5.] Tehorajoitus on nostettu myöhemmin 186 MW (-13 °C:ssa) [12].

Taulukko 6. Kaasuturbiinien teknisiä tietoja [5.]

	KT4	KT5
Kaasuturbiini	Siemens KWU V94.2	
Sähköteho	173 MW	173 MW
Polttoaineteho	489 MW	497 MW
Maakaasun kulutus	13,6 m ³ n/s	13,8 m ₃ n/s
Kevyen polttoöljyn kulutus	11,6 kg/s	11,6 kg/s
Painesuhde	11	
Savukaasun virtaus	538 kg/s	
Pyörimisnopeus	3 000 1/min	
Savukaasun lämpötila	539 °C	
Hyötysuhde	35,40 %	34,80 %



Kuva 11. Kaasuturbiini [5.]

5.2.2 Generaattorit (KT4 ja KT5)

Kaasuturbiinien generaattorit ovat ilmajäähdytteisiä ja niiden suoritusarvot jäähdytysilman lämpötilassa 40 °C näkyvät taulukossa 7. [5.]

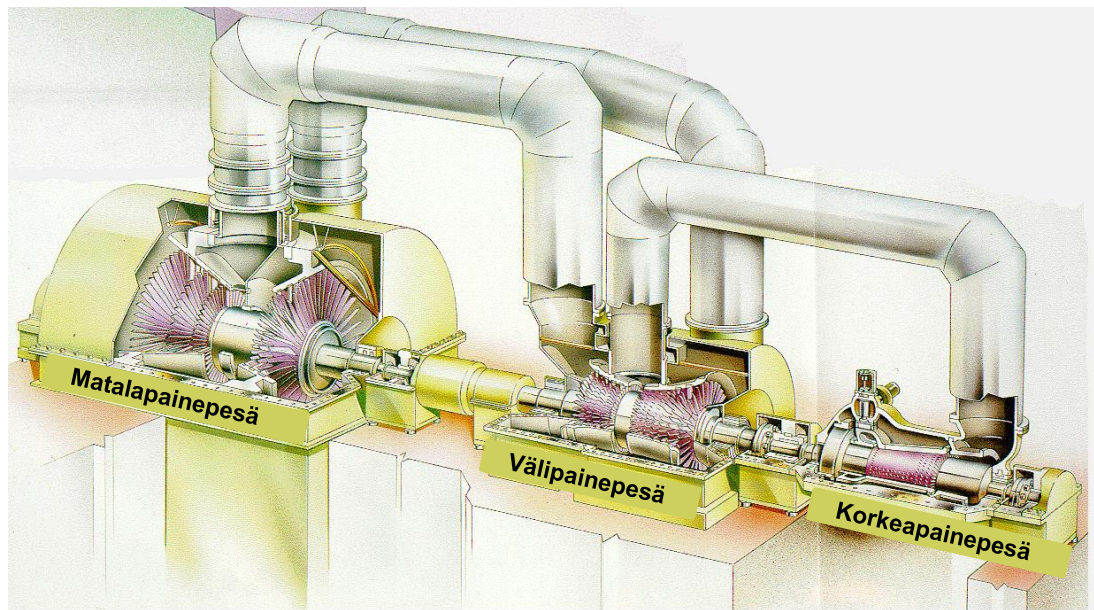
Taulukko 7. Kaasuturbiinien generaattoreiden teknisiä tietoja jäähdytysilman 40 °C lämpötilassa [5.]

Kaasuturbiinien generaattorit	
Generaattori	Siemens TLRI 108/41
Nimellisteho	190 MVA
Tehokerroin	0,85
Nimellisjännite	10,5 kV
Nimellisvirta	10 447 A
Jaksoluku	50 Hz

5.2.3 Höryturbiini HT6

Höryturbiini on kolmipesäinen väliottolauhdeturbiini, jossa kolme aksiaalireaktioturbiinia, korkeapaine-, välipaine- ja matalapaineturbiini. Höryturbiiniin johdetaan lämmöntalteenottokattiloilta (K4 ja K5) korkeapaine- ja matalapainehöyryä. Höryturbiinissa on

kaksi väliottoa kaukolämmitykseen välipainepesän kaksijuoksuisesta ulostulosta. Käytön aikana turbiinin pyörimisnopeus on 3000 rpm. Korkeapaine- ja välipaineturbiinit sekä generaattori ovat toisissaan kiinteästi kiinni taotuilla kytkinlaipoilla. Matalapaineturbiini on varustettu irrottavalla kytkimellä, jolla kiinnitetään tai irrotetaan matalapaineturbiini riippuen, onko matalapaineperä käytössä. Irrotettava kytkin myös helpottaa matalapaineturbiinin huoltoa. Generaattori on kiinni korkeapaineroottorissa. [13.]



Kuva 12. Höyryturbiini [4.]

Höyryturbiiniin korkeapainehöyry johdetaan korkeapaineturbiinin kahden pikasulkuventtiilipesän kautta ja matalapainehöyry johdetaan korkeapaineturbiinin ulostuloon. Matalapainehöyryn pikasulku- ja säätöventtiilit ovat läppäventtiileitä, jotka sijaitsevat putken päähoitotasolla. Korkeapaineturbiinista ulos tuleva höyry ja matalapainehöyry johdetaan välipaineturbiiniin pesien yläpuolella olevan putkiliitoksen kautta. Höyryturbiinilla voidaan ajaa vastapaineajoa, jolloin höyry johdetaan kaukolämmönvaihtimiin. MP-pesän ollessa kytkettynä laitoksella voidaan ajaa lauhdeajoa, jolloin kaikki höyry virtaa turbiinin läpi merivesilauhduttimeen. Höyryturbiinilla on mahdollista ajaa myös seka-ajoa, jolloin osa höyrystä johdetaan kaukolämmönvaihtimiin tuottamaan kaukolämpöä ja osa höyrystä lauhdutetaan mereen. Taulukossa 8 on höyryturbiinin teknisiä tietoja 0 °C:n lämpötilassa. [13.]

Taulukko 8. Höyryturbiinin teknisiä tietoja 0 °C:n lämpötilassa [5.]

Höyryturbiini	
korkeapaineosan höyrymäärä	492 t/h
lämpötila	510 °C
paine	72 bar
välipaineosan höyrymäärä	580 t/h
lämpötila	220 °C
paine	5,8 bar
MP-osan höyrymäärä lauhdeajossa	558 t/h
sähköteho vastapaineajossa	140 MW
sähköteho lauhdeajossa	175 MW
lauhduttimen paine	55 mbar

5.2.4 Generaattori (HT6)

Höyryturbiinin generaattori on kytketty höyryturbiinin korkeapaineosaan. Generaattori on ilmajäähdytteinen ja sen suoritussarvot jäähdytysilman lämpötilassa 40 °C näkyvät taulukossa 9. [5.]

Taulukko 9. Höyryturbiinin generaattorin teknisiä tietoja 40 °C lämpötilassa [5.]

Höyryturbiinin generaattori	
Generaattori	Siemens TLRI 108/41
Nimellisteho	200 MVA
Tehokerroin	0,85
Nimellisjännite	13 kV
Nimellisvirta	8 882 A
Jaksoluku	50 Hz

5.2.5 Katselmoinnin tulokset

Turbiinien energiatehokkuuden tila on hyvä, mutta pieniä parannusehdotuksia on mahdollista toteuttaa. Generaattoreiden energiatehokkuuden tila on hyvä, eikä näiden osalta löytynyt parannusehdotuksia.

Kaasuturbiinit:

KT4:n voiteluöljyjä viilennetään kaukolämpövedellä, samalla saaden lämmöt talteen kaukolämpöverkkoon. KT5:n voiteluöljyjä viilennetään tällä hetkellä sisäisellä jäähdytyskierrolla, josta lämpö siirtyy mereen. Ehdotuksena olisi rakentaa vastaavanlainen järjestelmä KT5:lle. Toimenpide-ehdotus löytyy luvusta 7.8.

Höyryturbiini:

Höyryturbiinin osalta löytyi kaksi toimenpide-ehdotusta ja yksi jatkoselvitettävä ehdotus. Höyryturbiinia ajettaessa yhden kaasuturbiinin ajossa olisi mahdollista pudottaa korkeapainehöyryn painetta. Käytännössä tämä tarkoittaa, että syöttövesipumpun painetta voidaan pienentää 75 baarista jopa 40 baariin teoreettisesti. Tällöin pumppu tarvitsee pienemmän sähkötehon. Toimenpide-ehdotus on esitetty kappaleessa 7.3.

KP-säätöventtiileiden vuotohöyry olisi mahdollista hyödyntää tiivistehöyrynä. Nykyään KP-säätöventtiilien vuotohöyry menee tiivistehöyryjärjestelmän alipaineiselle puolelle, josta se lopulta päätyy lauhdutettavaksi mereen. Toimenpide-ehdotus on esitetty kappaleessa 7.6.

KP-turbiinin akselista vuotaa höyryä höyryturbiinihalliin. Vuotohöyryn syy ei tämän projektin aikana selvinnyt. Jatkoselvitys-ehdotus on esitetty kappaleessa 8.3.

5.3 Päälahdejärjestelmä

Päälahdejärjestelmän tehtävänä on palauttaa kaukolämmönvaihtimissa ja lauhduttimissa lauhtunut höyry takaisin höyry-vesikiertoon. Seuraavissa luvuissa on esitelty päälahdejärjestelmän tärkeimmät komponentit. Kaukolämmönvaihtimien tiedot on esitetty luvussa 5.1.1.

5.3.1 Lauhdutin

Höyryturbiinin lauhdeajossa, höyry paisuu KP-, VP- ja MP-turbiinipesissä ja johdetaan merivesilauhduttimeen, jossa se lauhtuu takaisin vedeksi. Merivesilauhduttimessa höy-

rypuolen alipaine on noin 0,02 bar(a). Lauhduttimesta lauhteet kerätään lauhdekammioon ja lauhdekammioista lauhduttimen lauhdepumppujen avulla lauhteenkäsittelyyn ja takaisin höyry-vesikiertoon. Taulukossa 10 on lauhduttimen teknisiä tietoja. [5.]

Taulukko 10. Lauhduttimen teknisiä tietoja [5.]

Lauhdutin		
Valmistaja	ABB Power Generation, Budapest	
Teho	311 MW	
Lämpöpinta	4738 m ²	
Virtaava aine	höyry	merivesi
Suunnittelupaine	1 ,täysi tyhjö	2
Suunnittelulämpötila	80 °C	50 °C
Lämpötila sisään/ulos	39/39 °C	12/25,9 °C
Massavirta	100,6 kg/s	2120 kg/s

5.3.2 Päälahdepumput

Laitoksella on kaksi 100 %:n päälahdepumppua. Pumput pumppaavat KLV1:ltä ja KLV2:lta tulevat lauhteet lauhteenkäsittelyyn ja kattiloiden syöttöveden jäähdyttimien kautta syöttövesisäiliöön. Pumput toimivat taajuusmuuttajilla. Normaalisti toinen pumppuista on käytössä ja toinen on varalla valmiina käynnistymään pumpunvaihtoautomatiikan ohjaamana. Pumput on kahdennettu, joten toinen pumppu pystytään huoltamaan laitoksen käytön aikana. Taulukossa 11 on päälahdepumppujen teknisiä tietoja. [5.]

Taulukko 11. Päälahdepumppujen teknisiä tietoja [14.]

Päälahdepumput	
Valmistaja	Ahlström pumput Oy
Tuotto	583 t/h (162 kg/s)
Nostokorkeus	92 m
Teho	209 kW
Pyörintänopeus	1 485 1/min
Säätötapa	pyörintänopeus

5.3.3 Lauhduttimen lauhdepumput

Laitoksella on kaksi 100 %:n lauhduttimen lauhdepumppua sekä yksi pieni pumppu lauhduttimen varallaoloa varten. Pumput pumppaavat lauhduttimesta tulevan lauhteen lauhteenkäsittelyyn ja syöttöveden jäähdyttimien kautta syöttövesisäiliöön. Lauhduttimen ollessa varalla, käynnissä on pieni lauhdepumppu, koska turbiini matalapainepesän ruiskutusvesi otetaan pumppujen jälkeisestä linjasta. Lauhde- ja seka-ajossa toinen isoista pumpuista on käytössä. Toinen on varalla valmiina käynnistymään pumpunvaihtoautomaatiikan ohjaamana. Pumput 1 ja 2 toimivat taajuusmuuttajilla. Pumput ovat kahdennettu, joten toinen pumppu pystytään huoltamaan laitoksen käytön aikana. Taulukossa 12 on lauhduttimen lauhdepumpun teknisiä tietoja. [5.]

Taulukko 12. Kahden suuren lauhduttimen lauhdepumpun teknisiä tietoja [14.]

Lauhduttimen lauhdepumput	
Valmistaja	Ahlström pumput Oy
Tuotto	583 t/h (162 kg/s)
Nostokorkeus	92 m
Teho	209 kW
Pyörintänopeus	1 485 1/min
Säätötapa	pyörintänopeus

5.3.4 Reduktiolauhdepumppu

Laitoksella on yksi reduktiolauhdepumppu. Pumppu pumppaa reduktiolämmönvaihtimelta tulevan lauhteen lauhteenkäsittelyyn ja kattiloiden syöttöveden jäähdyttimien kautta syöttövesisäiliöön. Reduktiolauhdepumppua ei ole kahdennettu, joten pumpun vioituessa reduktiolämmöntuotanto on estetty. Reduktiolauhdepumppu pyörii vakionopeudella. Taulukossa 13 on reduktiolauhdepumpun teknisiä tietoja. [5.]

Taulukko 13. Reduktiolauhdepumppu teknisiä tietoja [14.]

Reduktiolauhdepumppu	
Valmistaja	Ahlström pumput Oy
Tuotto	382 t/h (106 kg/s)
Nostokorkeus	64 m
Teho	92 kW
Pyörintänopeus	1 500 1/min
Säätötapa	kuristus

5.3.5 Lauhduttimen merivesipumput

Laitoksella on kaksi 50 %:n lauhduttimen merivesipumppua. Pumppujen tehtävänä on pumpata merivettä lauhduttimen merivesipuolelle turbiinin läpi virranneen höyryn lauhttamiseksi. Lauhduttimen merivesipumppu 3 on käytössä vastapaineajossa ja jäähdyttää merivesilinjaa 2. Merivesilinja 1 pidetään ejektorilinjan merivedellä täynnä. Isot lauhduttimen merivesipumput käynnistyvät höyryturbiinin pikasulussa tai lauhduttimen reduktioventtiilien alkaessa avautua. Pumput on kahdennettu, joten toinen pumppu pysytään huoltamaan laitoksen käytön aikana. Tällöin lauhduttimen maksimi lauhdutusteho putoaa noin puoleen. Lauhduttimen merivesipumput toimivat taajuusmuuttajilla. Taulukossa 14 ja 15 on lauhduttimen merivesipumppujen teknisiä tietoja. [5.]

Taulukko 14. Lauhduttimen merivesipumppujen 1 ja 2 teknisiä tietoja [14.]

Lauhduttimen merivesipumput 1 ja 2	
valmistaja	Ahlström pumput Oy
tuotto	10 800 t/h (3 m ³ /s)
nostokorkeus	18 m
teho	662 kW
pyörintänopeus	740 1/min
säätötapa	pyörimisnopeus

Taulukko 15. Lauhduttimen merivesipumppu 3 [14.]

Lauhduttimen merivesipumppu 3	
valmistaja	Ahlström pumput Oy
tuotto	1666 t/h (3 m ³ /s)
nostokorkeus	26 m
teho	160 kW
pyörintänopeus	1485 1/min
säätötapa	pyörimisnopeus

5.3.6 Katselmoinnin tulokset

Päälauhdejärjestelmän energiatehokkuuden tila on hyvä, eikä kannattavia parannusehdotuksia löytynyt.

Apulauhdepumppu

Apulauhdepumpun muuttaminen taajuusmuuttajakäyttöiseksi tutkittiin, mutta tämä ei osoittautunut kannattavaksi laitoksen nykyisillä käyttötunneilla (kannattamaton toimenpide-ehdotus 9.1.1)

Reduktiolauhdepumppu

Reduktiolauhdepumpun muuttaminen taajuusmuuttajakäyttöiseksi tutkittiin, mutta tämä ei osoittautunut kannattavaksi laitoksen nykyisillä käyttötunneilla (kannattamaton toimenpide-ehdotus 9.1.2)

Lauhduttimen merivesipumppu 3

Lauhduttimen merivesipumppu 3:en muuttaminen taajuusmuuttajakäyttöiseksi tutkittiin, mutta ei osoittautunut kannattavaksi (kannattamaton toimenpide 9.1.3).

5.4 Syöttövesijärjestelmä

Tässä kappaleessa on esitelty voimalaitoksen syöttövesijärjestelmä. Syöttövesijärjestelmä on merkittävä voimalaitoksen energiankuluttaja. Erityisesti syöttövesipumput ovat suurimmat voimalaitoksen omakäyttösähkökuluttajat.

5.4.1 Syöttövesisäiliö

Syöttövesisäiliöön palaava lauhde johdetaan syöttövesisäiliön päällä olevan kaasunpoistimen kautta. Säiliöön syötetään lisävettä linjasta, joka on yhdistetty lauhdelinjaan hie-man ennen kaasunpoistinta. Terminen kaasunpoistin erottaa lämpenevästä lauhteesta kaasut ja kuljettaa ne hönkälauhduttimen kautta ulkoilmaan. Kaasunpoistimen pohjasta vesi pääsee syöttövesisäiliöön. Syöttövesisäiliö on tilavuudeltaan 120 m³ ja paineeltaan 0,4 bar kaasujossa ja 0,5 bar öljyajossa. Syöttövesisäiliö ei tarvitse omaa varoventtiiliä, sillä sen rakennepaine on 7,8 bar ja syöttövesisäiliöön yhteydessä olevan tukin varoventtiilin avautumispaine on 2,8 bar. Syöttövesisäiliöllä on mahdollista ajaa 8 min täydellä teholla ilman lauhteen tai lisäveden syöttöä. [5.]

5.4.2 Syöttöveden jäähdyttimet

Syöttöveden jäähdyttimet jäähdyttävät syöttövettä, jotta mahdollisimman suuri osa lämpötehoa siirtyisi höyrykehitykseen. Syöttöveden jäähdyttimet ovat Alfa Laval toimittanut ja ne on teholtaan 10 850 kW. Syöttöveden jäähdytin esilämmittää päälauhteen ennen sen siirtymistä syöttövesisäiliön kaasunpoistimeen. Päälahde esilämmitetään noin 80 °C:sta 100 °C:seen. Lämpötilaero kaasunpoistimessa maakaasulla ajettaessa tulisi olla vähintään 7 °C, jolloin päälauhteesta saadaan poistettua riittävästi kaasuja kaasunpoistimessa. Lauhteen esilämmitys vähentää omakäyttöhöyryn tarvetta kaasunpoistossa. Öljyajoissa syöttöveden jäähdytin ohitetaan, koska syöttöveden lämpötila on pidettävä 110 °C:ssa savukaasujen rikkikastepisteestä johtuen. Tällöin lämpötilan nousu kaasunpoistimessa on 12 °C. Taulukossa 16 on syöttövesisäiliön mitoitusarvoja. [5.]

Taulukko 16. Syöttöveden jäähdyttimien mitoitusarvoja [5.]

Syöttöveden jäähdyttimet		
Virtaava aine	syöttövesi	Lauhde
Suunnittelupaine [bar]	16/20,8	16/20,8
Suunnittelulämpötila [°C]	120	120
Liitännät DN	250	250
Liitäntä paineluokka [bar]	16	16
Painehäviö [mbar]	199	192
Lämpötilat sisään/ulos [°C]	105/73,4	66/98
Massavirta [t/h]	295	292

5.4.3 Syöttövesipumput

Kattiloilla K4 ja K5 on kaksi 100 %:n korkeapainesyöttövesipumppua. Pumput syöttävät syöttövettä korkeapainelieriöihin pinnansäädön mukaan. Omakäyttöreduktioventtiilin ruiskutusvesi tulee KP-syöttövesipumpuilta. Pumput toimivat taajuusmuuttajilla. Normaalisti toinen pumpuista on käytössä ja toista pidetään varalla käynnistymään pumpunvaihtoautomaatiikan ohjaamana. Pumput ovat kahdennettu, joten toinen pumppu pystytään huoltamaan laitoksen käytön aikana. Taulukossa 17 on KP-syöttövesipumppujen teknisiä tietoja. [5.]

Taulukko 17. Korkeapainesyöttövesipumppujen teknisiä tietoja [14.]

Korkeapainesyöttövesipumput	
valmistaja	Sulzer Weise GmbH
tuotto	251 t/h (69,8 kg/s)
nostokorkeus	1 039 m
teho	884 kW
pyörintänopeus	3 430 1/min
säätötapa	pyörintänopeus

Molemmilla kattiloilla on kaksi 100 %:n matalapainesyöttövesipumppua. Pumput syöttävät syöttövettä matalapainelieriöihin pinnansäädön mukaan. Höyryturbiinin vp-pesän ruiskutusvesi, tiivistehöyryn ruiskutusvesi sekä lauhduttimen ja KLV-1:n puhalluskammio saavat vetensä MP-syöttövesipumpuilta. Normaalisti toinen pumpuista on käytössä ja toista pidetään varalla käynnistymään pumpunvaihtoautomaatiikan ohjaamana. Pumput ovat kahdennettu, joten toinen pumppu pystytään huoltamaan laitoksen käytön aikana. Taulukossa 18 on MP-syöttövesipumppujen teknisiä tietoja. [5.]

Taulukko 18. Matalapainesyöttövesipumppujen teknisiä tietoja [14.]

Matalapainesyöttövesipumput	
valmistaja	Sulzer Weise GmbH
tuotto	57 t/h (15,8 kg/s)
nostokorkeus	144 m
teho	49 kW
pyörintänopeus	2 950 1/min
säätötapa	kuristus

5.4.4 Katselmoinnin tulokset

Syöttövesijärjestelmän energiatehokkuuden tilaa on mahdollista parantaa syöttövesipumppujen osalta sekä lauhdeiden talteenotolla.

Syöttövesisäiliö

Syöttövesisäiliön osalta löytyi yksi toimenpide-ehdotus veden säästämiseksi. Syöttövesisäiliön hönkälauhduttimen lauhdeet olisi mahdollista ottaa talteen apulauhdesäiliöön apulauhdetukin kautta, toimenpide-ehdotus esitetty kappaleessa 7.1.

Syöttövesipumput

KP-syöttövesipumput ovat taajuusmuuttajakäyttöisiä, mutta toimenpide-ehdotus 7.3 (korkeapainehöyryn paineen laskeminen yhden kaasuturbiinin ajossa) liittyy vahvasti KP-syöttövesipumppujen toimintaan.

MP-syöttövesipumput toimivat kuristussäädöllä ja niiden muuttaminen taajuusmuuttajakäyttöiseksi olisi kannattavaa 6,2 vuoden suoralla takaisinmaksuajalla (toimenpide 7.2).

5.5 Kaukolämpöjärjestelmä

Kaukolämpöjärjestelmän tehtävänä on siirtää voimalaitoksen lämpöteho kaukolämpöveden avulla kaukolämpöverkkoon. Kaukolämpöjärjestelmässä on myös mahdollisuus varastoida, ladata ja purkaa kaukolämpöenergiaa kaukolämpöakkuun.

5.5.1 Kaukolämmönvaihtimet

VuB:ssa on kolme kaukolämmönvaihdinta, joista kaksi on mitoitettu nostamaan kaukolämpöveden lämpötilaa kahdessa portaassa paluueden lämpötilasta kattilan kuuman KL-kattilapaketin sisääntulolämpötilaan. Mitoituspisteessä (0 °C) kaukolämmönvaihtinten läpi kulkee noin 88 % koko laitoksessa kiertävästä kaukolämpövedestä. KLV-1 ja KLV-2 höyry tulee VP-turbiinin vastakkaisista päistä. Kolmas on reduktiokaukolämmönvaihdin (KLV-3), joka on mitoitettu ottamaan vastaan yhden kattilan 100 %:n tehon. KLV-3 toimii häiriötilanteissa lauhduttimen ohella turbiinin ohitushöyryn vastaanottajana. [5.] Kattilan kaukolämpöpakettien tekniset tiedot ovat luvussa 5.1.1 taulukossa 4. Taulukossa 19 on kaukolämmönvaihtimien tekniset tiedot.

Taulukko 19. Kaukolämmönvaihtimien teknisiä tietoja [5.]

KLV-1		
Valmistaja	Sento/Sahala	
Tyyppi	makaava putkilämmönsiirrin	
Teho	176 MW	
Pinta-ala	6 700 m ²	
Virtaava aine	höyry	KL-vesi
Lämpötila sisään/ulos	66/66 °C	45/64,3 °C
Massavirta	80,8 kg/s	2175 kg/s
KLV-2		
Valmistaja	Sento	
Tyyppi	makaava putkilämmönsiirrin	
Teho	170 MW	
Pinta-ala	6 500 m ²	
Virtaava aine	höyry	kl-vesi
Lämpötila sisään/ulos	85/85	64/83
Massavirta	80,6 kg/s	2175 kg/s
KLV-3		
Valmistaja	Sento	
Tyyppi	makaava putkilämmönsiirrin	
Teho	269 MW	
Pinta-ala	2 000 m ²	
Virtaava aine	höyry	kl-vesi
Lämpötila sisään/ulos	220/100	70/120
Massavirta	106,1 kg/s	1286 kg/s

5.5.2 Kaukolämpöpumppu

Laitoksella on yksi kaukolämpöpumppu. Pumppu kierrättää kaukolämpövettä kaukolämpötunnelin paluulinjasta kaukolämmönvaihtinten ja kattiloiden kaukolämpöpakettien kautta kaukolämpötunnelin menolinjaan. Kaukolämpöpumppua ei ole kahdennettu, mutta sen vioittuminen ei estä kaukolämmön tuotantoa täysin VuB:ssa. Pumpulla on ohituslinja, jonka kautta saadaan pumpattua noin 70 % maksimi vesimäärästä kaukolämpötunnelin pumppujen avulla. Tällöin kaukolämpöpumppu voidaan korjata käytön aikana, mutta se aiheuttaa 30 % tehorajoituksen. Kaukolämpöpumppu toimii taajuusmuuttajalla. Kaukolämpöpumpun nostokorkeus määräytyy tunneliverkon paine-eron mukaan lisättyinä laitoksella syntyneen painehäviön. Pumpun tuotto riittää täyden kaukolämpötehon talteenottoon. Taulukossa 20 on kaukolämpöpumpun teknisiä tietoja. [5.]

Taulukko 20. Kaukolämpöpumpun teknisiä tietoja [15.]

Kaukolämpöpumppu	
valmistaja	Ahlsröm pumpput Oy
tuotto	8 748 t/h (2 430 kg/s)
nostokorkeus	57 m
teho	1 493 kW
pyörintänopeus	910 1/min
säätötapa	pyörimisnopeus

5.5.3 Katselmoinnin tulokset

Kaukolämpöjärjestelmän energiatehokkuuden tila on hyvällä tasolla. Ainoana parannusehdotus löydettiin PV-aseman säädöistä.

PV-aseman lämmönsiirtimet:

Maakaasun lämmityksen lämmönsiirtimien säätöjen korjaus (toimenpide-ehdotus 7.9) vaikuttaa kaukolämpöjärjestelmän toimintaan. Lämmönsiirtimen läpi kulkee kaukolämpövesi, joka otetaan VuA:n pintaverkosta ja palautetaan VuA:n pintaverkkoon. KL-veden ulostulolämpötila noin 62 °C ja haluttu kaukolämpöveden paluulämpötila on noin 45 °C.

5.6 Vedenkäsittelyjärjestelmät ja katselmoinnin tulokset

VuB:n lisävesi valmistetaan VuA:n vedenkäsittelylaitoksella. Vedenkäsittelylaitoksen tehtävänä on tuottaa suolavapaata vettä HSY:n vesijohtovedestä kattilan lisävedeksi sekä laitoksen muihin käyttökohteisiin. Vedenkäsittelyjärjestelmä sisältää raakavesisäiliön, raakavesipumput (2 kpl), raakavesilämmönvaihtimen, kolme suolanpoistosarjaa, puhdasvesisäiliön, puhdasvesipumput (3 kpl) sekä puhdasvesilämmönvaihtimen. Vesijohtovesi tulee laitoksen 100 m³ raakavesisäiliöön. Raakavesisäiliöön tulee myös prosessista apulauhteita. Raakavesisäiliöstä vesi siirretään suolanpoistolaitoksen läpi puhdasvesisäiliöön. Normaalitylanteessa yksi tai kaksi suolanpoistosarjaa on käytössä ja kolmas elvytyksessä. Mikäli vedenkulutus on erittäin suuri, on mahdollista käyttää kaikkia kolmea suolanpoistosarjaa yhtä aikaan (kokonaiskapasiteetti 55 t/h). Suolanpoistosta tuleva vesi varastoidaan 700 m³ puhdasvesisäiliöön, josta syötetään kattiloiden tarvitsema lisävesi. [15.]

Puhdasvesi ohjataan syöttövesisäiliön kaasunpoistimeen. Pääsyöttövesisäiliön kaasunpoistin ei ole riittävän tehokas, joten lisävesi ajetaan apukattilan syöttövesisäiliön kaasunpoistimen kautta. Näin lisävesi menee kahden kaasunpoistimen läpi, jotta saadaan poistettua riittävästi happea syöttövedestä. [16.]

Lauhtenkäsittelyjärjestelmässä on kaksi patruunasuodatinta, joilla pystyy käsittelemään 600 t/h lauhdevirtausta. Palautuvien lauhteiden kiinteät tai liuenneet epäpuhtaudet poistetaan patruunasuodattimissa. [17.]

KL-lisävesi pehmennetään pehmenyysuodattimella. Pehmenyysuodattimeen vesi pumpataan raakavesipumpulla raakavesisäiliöstä. Pehmenyysuodattimesta vesi johdetaan KL-veden kaasunpoistimeen, jotta vedestä poistuu korroosiota aiheuttava happi. Kaasunpoistimesta kaasunpoistettu vesi siirtyy KL-veden lisävesisäiliöön. [18.]

Katselmoinnin tulokset

Vedenkäsittelyjärjestelmien osalta ei löytynyt toimenpide-ehdotuksia veden tai energiansäästämiseksi. Vedenkäsittelyjärjestelmien energiatehokkuuden tila on hyvä.

5.7 Sisäinen jäähdytysvesijärjestelmät

Sisäisen jäähdytysvesijärjestelmän päätehtävänä on siirtää järjestelmistä ylimääräinen lämpö mereen. Sisäisellä jäähdytyskierrolla jäähdytetään esimerkiksi kaasuturbiinien ja höyryturbiinin generaattoreita.

5.7.1 Sisäisen jäähdytysveden lämmönvaihtimet

Sisäisen jäähdytysveden lämmönvaihtimia on kaksi kappaletta ja niiden tehtävä on jäähdyttää sisäisen jäähdytyskierron vettä merivedellä. Jäähdyttimet on toimittanut Alfa Laval ja ne ovat tyypiltään levylämmönsiirtimiä teholtaan 13 700 kW.

5.7.2 Sisäisen jäähdytyksen kiertopumput

Laitoksella on kaksi 100 %:n sisäisen jäähdytyksen kiertopumppua. Pumppujen tehtävänä on kierrättää laitoksen sisäistä jäähdytysvettä jäähdytettävien kohteiden ja sisäisen

jäähdytyksen lämmönvaih dinten välillä. Normaaliajossa toinen pumppu on käynnissä ja toinen varalla valmiina käynnistymään pumpunvaihtoautomatiikan ohjaamana. Varalla olevan pumpun voi huoltaan käytön aikana, mutta kummankin pumpun pysähtyminen aiheuttaa koko laitoksen pikasulun nopeasti. Sisäisen jäähdytyksen kiertopumput toimivat taajuusmuuttajilla. Taulukossa 21 on sisäisen jäähdytyksen kiertopumppujen teknisiä tietoja. [5.]

Taulukko 21. Sisäisen jäähdytyksen kiertopumput [14.]

Sisäisen jäähdytyksen kiertopumput	
valmistaja	Ahlström pumput Oy
tuotto	1 152 t/h (320 kg/s)
nostokorkeus	38 m
teho	139 kW
pyörintänopeus	1 480 1/min
säätötapa	pyörimisnopeus

5.7.3 Jäähdytysveden merivesipumput

Laitoksella on kaksi 100 %:n jäähdytysveden merivesipumppua. Pumput kierrättää merivettä sisäisen jäähdytyksen lämmönvaih dinten läpi ja siten jäähdyttää sisäisen kierron jäähdytysvettä. Normaalisissa ajossa toinen pumppu on käynnissä ja toinen varalla käynnistymään pumpunvaihtoautomatiikan ohjaamana. Varalla olevan pumpun voi huoltaa käytön aikana, mutta kummankin pumpun pysähtyminen aiheuttaa koko laitoksen pikasulun sisäisen jäähdytysveden lämpötilan noustessa liian korkeaksi. Jäähdytysveden merivesipumput toimivat taajuusmuuttajilla. Taulukossa 22 on sisäisen jäähdytysveden merivesipumppujen teknisiä tietoja. [5.]

Taulukko 22. Jäähdytysveden merivesipumput [14.]

Jäähdytysveden merivesipumput	
valmistaja	Meregalli
tuotto	2 340 t/h (650 kg/s)
nostokorkeus	20 m
teho	170 kW
pyörintänopeus	1 480 1/min
säätötapa	pyörimisnopeus

5.7.4 Katselmoinnin tulokset

Sisäisen jäähdytyksen energiatehokkuuden tilaa on mahdollista parantaa.

Kaasuturbiinit

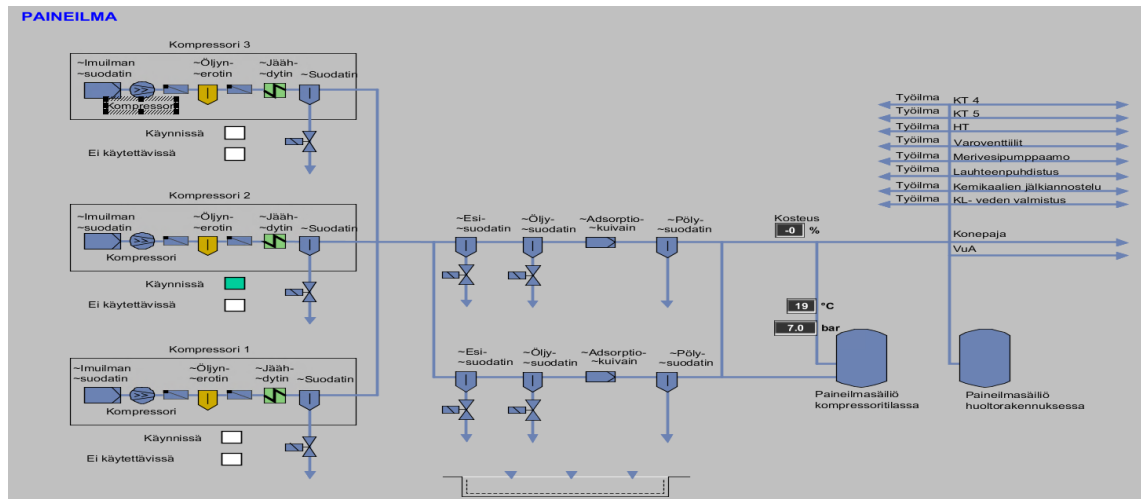
KT4:n voiteluöljyjä viilennetään kaukolämpövedellä, samalla saaden lämmöt talteen kaukolämpöverkkoon. KT5:en voiteluöljyjä viilennetään tällä hetkellä sisäisellä jäähdytyskierrolla, josta lämpö siirtyy mereen. Ehdotuksena olisi rakentaa vastaavanlainen järjestelmä KT5:selle. Toimenpide-ehdotus löytyy luvusta 7.8.

Sisäinen jäähdytyskierto

Sisäisen jäähdytyskierron lämpöjen ja meriveden hukkalämpöjen hyödyntäminen lämpöpumpulla on esiselvityksessä oleva toimenpide. Toimenpide on esitetty lyhyesti kappaleessa 8.2.

5.8 Paineilmajärjestelmä ja katselmoinnin tulokset

Kuvassa 13 on kuvakaappaus automaatiojärjestelmästä paineilman tuottamisesta. Laitoksella on kolme paineilmaa tuottavaa ruuvikompressoria. Voimalaitoksen normaalissa ajotilanteessa paineilman tarve on pieni, jolloin kompressorit ylläpitävät paineilmajärjestelmän painetta noin 7 baarissa. Kompressorit toimivat automatiikan avulla ja käynnistyvät vuorotellen. Paineilmaa käytetään työilmana, instrumentti-ilmana pneumaattisille venttiileille, lauhteenkäsittelyn lauhdepatruunoiden uusien massojen vaihtamiseen, kemikaalien jälkiannosteluihin ja kattiloiden varoventtiileille. Voimalaitoksen vuosihuollon aikaan paineilman kulutus on suurimmillaan. Taulukossa 23 on ruuvikompressoreiden teknisiä tietoja.



Kuva 13. Paineilmajärjestelmä [20.]

Taulukko 23. Paineilmakompressorit [14.]

Paineilmakompressorit	
valmistaja	Tamrotor
tuotto	690 m ³ /h
suurin sallittu käyttöpain	8 bar
teho	75 kW
pyörintänopeus	2968 1/min

Paineilman kulutuksen tutkimisen yhteydessä paineilmajärjestelmän muutkin komponentit käytiin läpi yleisellä tasolla, eikä havaittu järjestelmässä puutteita. Paineilmajärjestelmän komponentteja on huollettu säännöllisin väliajoin.

Katselmoinnin tulokset

Paineilmajärjestelmän energiatehokkuuden tila ei ole parhaimmalla tasolla. Pienemmällä paineilmakompressorilla energiatehokkuuden tila paransi huomattavasti.

Paineilmakompressorit

Paineilman painetasoa pidetään yllä kolmella suurella kompressorilla läpi vuoden. Paineilmajärjestelmän paineenylläpito olisi mahdollista pienemmällä kompressorilla. Pienemmän kompressorin investointi on kannattavaa alle kahden vuoden suoralla takaisinmaksuajalla. Toimenpide-ehdotus on esitetty kappaleessa 7.4.

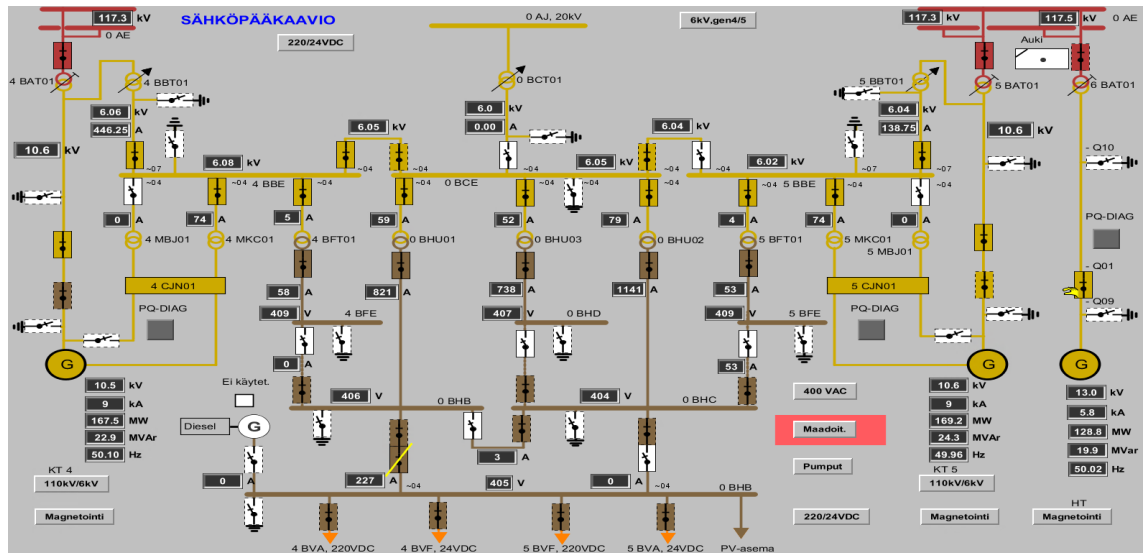
Paineilmajärjestelmän instrumentit:

Paineilmajärjestelmässä havaittiin vuotavia liittimiä ja venttiileitä. Toimenpide-ehdotus on esitelty kappaleessa 7.5. Vuodot on mahdollista korjata kiristämällä tai vaihtamalla instrumentit uusiin.

5.9 Sähköjärjestelmät ja katselmoinnin tulokset

Vuosaari B:n generaattorit on kytketty 110 kV:n kantaverkkoon. Kaasuturbiinien generaattoreiden jännite on 10,5 kV ja höyryturbiinin 13 kV. Kunkin generaattorin jännite nostetaan nostomuuntajalla arvoon 110 kV. Kaasuturbiinien generaattoreiden ja nostomuuntajien välissä on generaattorikatkaisijat (generaattorikatkaisijoilla kytketään generaattorit verkkoon). Höyryturbiinin generaattorin katkaisija 110 kV on nostomuuntajan jälkeen, jolla höyryturbiinin generaattori kytketään verkkoon. Kaasuturbiineilla on myös 110 kV:n katkaisijat, koska generaattorikatkaisijan ja nostomuuntajan välistä otetaan VuB:n omakäyttö sähkö omakäyttömuuntajan kautta. Omakäyttömuuntaja muuntaa 10,5 kV:n sähkön 6 kV:n omakäyttö sähköksi (6 kV korkein omakäyttö sähkö jännitetaso). Vuosi- huoltoja varten on myös omakäyttö sähkö varayhteys yhteiseen 6 kV:n kiskostoon Vuosaaren sähköaseman 20 kV:n kiskostosta. 400 V:n järjestelmä saa syöttönsä yhteisestä 6 kV:n kiskostosta. [5.]

VuB:n tasasähköjärjestelmiä on 220 V ja 24 V jännitetasoille. Järjestelmät ovat akkuvarmennettuja ja akustot on mitoitettu syöttämään 3 tuntia sähköä mitoitusvirralla. Tasasähköjärjestelmät saavat syöttönsä dieselvarmennetusta 400 V kiskostosta. 220 V tasasähkökiskostoja on neljä ja 24 V tasasähkökiskostoja kaksi. VuB:n voimalaitoksen sähköjärjestelmä näkyy kuvassa 14. [5.]



Kuva 14. VuB:n sähköjärjestelmä [20.]

Katselmoinnin tulokset

Taajuusmuuttaja toimenpide-ehdotukset liittyvät sähköjärjestelmiin. Nämä toimenpide-ehdotus matalapainesyöttövesipumpun taajuusmuuttajamuutokseen löytyy luvusta 7.2. Muut tutkitut taajuusmuuttajamuutosehdotukset, jotka eivät tällä hetkellä ole kannattavia, löytyvät luvuista 9.1.1, 9.1.2 ja 9.1.3.

5.10 Automaatiojärjestelmät ja katselmoinnin tulokset

Voimalaitoksen pääautomaation toimittaja on Siemens. Automaatiojärjestelmän tyyppi Siemens SPPA T-3000. Automaatiojärjestelmä on yhdistetty höyryturbiinin ABB Advant Controller 450 -ohjausjärjestelmään. Laitoksella ei ole erillistä prosessinvalvontajärjestelmää vaan automaatiojärjestelmään kuuluu kiinteänä osana laskenta- ja raportointijärjestelmä. Prosessimittausten keskiarvot tallennetaan TOPi-järjestelmään. Prosessin ohjaus tapahtuu voimalaitoksen valvomosta käsin. [5.]

Automaatiojärjestelmien osalta ei löytynyt parannuskohteita, joista voitaisiin saada energiansäästöä. Automaatiojärjestelmä on uusittu 2016 ja sen energiatehokkuuden tila on hyvä.

5.11 Kiinteistötekniikka ja LVI-järjestelmät

Voimalaitosta viilennetään ulkoilmalla, jonka sisään tulolämpötila on säädetty 10 °C:een. (sekoitettu kiertopellillä, jolla säädetään lämpötila ja ilman raikkaus). Kiinteistön käyttövesi lämmitetään kaukolämpövedellä noin 55 °C:een. Huonetiloja lämmitetään kaukolämpövedellä patteriverkoston välityksellä. IV-verkon tuloilmakoneissa on kaukolämpölämmitteiset lämpöpatterit. [21.]

5.11.1 Prosessitilat

VuB:n prosessitilojen ilmanvaihto on toteutettu tuloilmapuhaltimilla, jotka on sijoitettu hallien eri tasoille. Tuloilmapuhaltimet puhaltavat viileää ulkoilmaa, ja ne on säädetty pitämään halleissa alle 40 °C:n lämpötilan, kuitenkin mielellään kattilahallin ylätasolla noin 30 °C:ssa. Ilmanpoisto tapahtuu kattilahallin ylätasolla sijaitsevien poistoilmaluukkujen kautta suoraan ulos lämpöjä talteen ottamatta. [21.]

Sähkötilojen jäädytys on toteutettu jäädytyslaitteilla. Jäädytyslaitteiden tehtävänä on siirtää lämpöä ulos glykolipiirin välityksellä.

5.11.2 Katselmoinnin tulokset

Kattilahalli ja höyryturbiininhalli

Kattilahallin ja höyryturbiininhallin ilmastointi on toteutettu tuloilmapuhaltimilla ja poistoilmakanavilla. Hallien noin 30 °C lämmin ilma päästetään ulos ottamatta lämpöenergiaa talteen. Toimenpide-ehdotus on esitetty kappaleessa 8.4.

5.12 Polttoainejärjestelmät ja katselmoinnin tulokset

Vuosaarella käytetään pääpolttoaineena maakaasua ja varapolttoaineena kevyttä polttoöljyä. Maakaasu tulee Gasumin putkia pitkin paineenvähennysaseman kautta kaasuturbiineille. Paineita vähennetään VuB:n paineenvähennysasemalla noin 30–40 baarista 20 baariin. Apukattilan maakaasu tulee VuA:n paineenvähennysaseman kautta, koska ainoastaan VuA:n paineenvähennysasemalla tuotetaan pienempi paineista maakaasua

(30–40 baarista 3 baariin). Kevytpolttoöljyä varastoidaan 70 000 m³ öljyluolassa. Kevytpolttoöljy on noin 8 asteista. [22.]

Katselmoinnin tulokset

Maakaasun lämmönsiirtimien säätöjen korjaus

VuB:n maakaasun lämpötilaa nostetaan lämmönsiirtimellä PV-aseamalla. Lämmönsiirtimen läpi kulkee kaukolämpövesi, joka otetaan VuA:n pintaverkosta ja palautetaan VuA:n pintaverkkoon. Kaukolämpöveden sisäänmenolämpötila on noin 89 °C ja ulostulolämpötila noin 62 °C. Haluttu kaukolämpöveden paluulämpötila on noin 45 °C. Maakaasun lämmityksen lämmönsiirtimien säätöjen korjauksen toimenpide-ehdotus kappaleessa 7.9.

6 Laskennan pääperiaatteet

Tässä kappaleessa käydään läpi toimenpide-ehdotuksien laskemiseen käytetyt kaavat. Energiateknisten laskentojen lisäksi suoran takaisinmaksuajan laskenta käydään läpi.

6.1 Lämpöteho

Aineesta toiseen siirtyvä lämpöenergia on mahdollista laskea kaavan 1 avulla, jossa c_p on ominaislämpökapasiteetti (J/kgK), Q on lämpöenergia (W), ΔT on lämpötilaero (°C) ja \dot{m} on massavirta (kg/s). Ominaislämpökapasiteetti riippuu aineen lämpötilasta ja se on tyypillisesti hyvin erilainen aineen eri olomuodoissa. Ominaislämpökapasiteetti riippuu myös tapahtuuko lämpötilan muutos vakioaineessa vai vakiotilavuudessa. [23.]

$$Q = \dot{m} * c_p * \Delta T \quad (1)$$

6.2 Kostean ilman laskenta

Kostean ilman ja vesihöyryn seosta käsitellään komponentteittain. Kostean ilman kokonaispaine p_{kok} (Pa) on kuivan ilman osapaineen p_i (Pa) ja vesihöyryn osapaineen p_h (Pa)

summa (kaava 2). Laskusovelluksissa joissa paine ei ole kovin suuri vaan lähellä ilman painetta, käytetään yleensä kokonaispaineena yhtä baaria [16]. Komponenttien osatiheydet käyttäytyvät vastaavanlaisesti. Kuivan ilman tarkastelussa yleensä riittää toteamus, että se koostuu hapesta (O_2 , 21 %) ja typestä (N_2 , 79 %). Muiden kaasukomponenttien huomioiminen lisää laskennan tarkkuutta, mutta ei merkittävästi. [24.]

Kostea ilma eroaa edellä olevasta kuivasta ilmasta siten, että typen ja hapen lisäksi kaasuseoksessa on vesihöyry (H_2O). Kostean ilman kokonaispaineen kaava on $P=P_1+P_2+P_3$, missä P_3 =vesihöyryn osapaine. Kostean ilman sisältämän vesihöyryn osapaineen P_3 voi laskea ideaalikaasun tilanyhtälöllä. [25.]

$$p_{kok} = p_i + p_h \quad (2)$$

Suhteellinen kosteus φ on vesihöyryn osapaineen ilmassa p_h (Pa) ja kylläisen vesihöyryn paineen p'_h (Pa) välinen suhde tietyssä lämpötilassa (kaava 3). Kylläisen vesihöyryn paine on taulukoitu arvo. [25.]

$$\varphi = \frac{p_h}{p'_h(T)} \quad (3)$$

Ilman absoluuttinen kosteus x (kg vesihöyryä/kg kuivaa ilmaa) voidaan määrittää yhtälön 4 mukaan, vesihöyryn massan m_h (kg) tai massavirran \dot{m}_h (kg/s) ja kuivan ilman massan m_i (kg) tai massavirran \dot{m}_i (kg/s) suhteella tai johtamalla kaava erilaiseen muotoon ideaalikaasun tilanyhtälön ja kosteuden määritelmän riippuvan yhteyden nojalla. Savukaasujen molaarinen massa M (mol) on likimain sama kuin ilman, ja tästä syystä laskuissa käytetään ilman molaarista massaa M_i (0,028964 kg/mol) ja vesihöyryn M_h (0,0180153 kg/mol). [25.]

$$x = \frac{m_h}{m_i} = \frac{M_h p_h}{M_i p_s} = 0,6220 * \frac{p_h}{p_{kok} - p_h} \quad (4)$$

Entalpia h_k voidaan määrittää yhtälön 5 mukaan. Kaava 5 pätee kun lämpötilat ovat alhaisia. Veden höyrystymislämmön l_{ho} (J/kg) ja ominaislämpökapasiteetit c_p (J/kg°C) riippuvat lämpötilasta ja löytyvät taulukoituna arvona. Savukaasu sisältää eri aineita, joka on otettu huomioon savukaasun ominaislämpökapasiteetin määrittämisessä, laskuissa on jätetty pienimmät pitoisuudet pois laskennan helpottamiseksi. [25.]

$$h_k = c_{pi}T + x(l_{ho} + c_{ph}T) \quad (5)$$

Lämpötehon Q (kW) pystyy laskemaan kuivan savukaasun massavirran \dot{m} ja entalpioiden Δh erotuksen avulla (kaava 6). [25.]

$$Q = \Delta h * \dot{m} \quad (6)$$

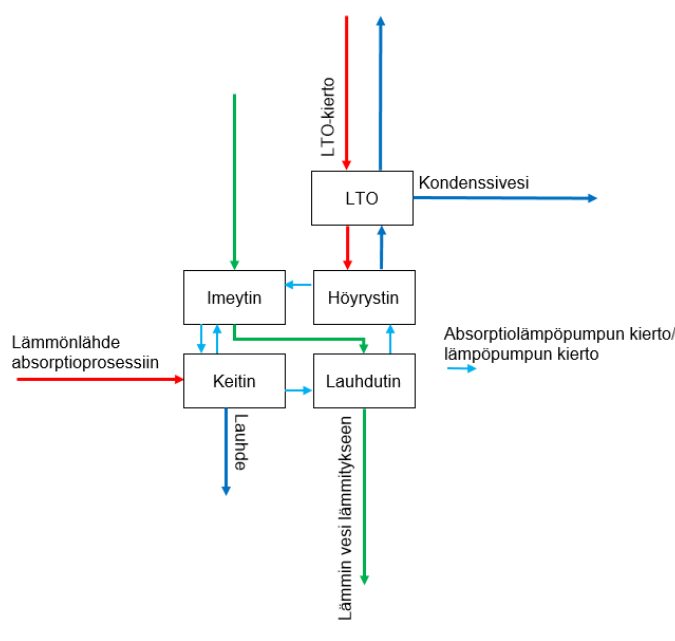
Ilman sisältämä kosteus kondensoituu vedeksi. Kondensaatioveden määrän määrittämiseen voi käyttää ideaalikaasun tilanyhtälöä, jossa käytetään osapaineiden, molaarisen massan ja lämpötilan lisäksi yleistä kaasuvakiota R (8,314 J/molK). Kaavalla 7 voidaan laskea veden määrä kosteassa ilmassa kun se on kaasumaisessa muodossa. Poistuvan veden massavirran voi määrittää myös muuttuvasta absoluuttisesta kosteudesta. [25.]

$$\rho = \frac{\dot{m}}{\dot{V}} = \frac{pM}{RT} \quad (7)$$

6.3 Lämpöpumpun laskenta

Moniin toimenpide-ehdotuksiin liittyy lämmöntalteenottolaitteen ja lämpöpumpun yhdistelmä. Lämpöpumpun pääkomponentit ovat lauhdutin, kompressori, höyrystin ja paisuntaventtiili. Lämpöpumpussa höyry puristetaan kompressorilla tuoden mekaanista tehoa. Lauhduttimessa kylmäaine lauhtuu nestemäiseksi ja luovuttaa lämpöä esimerkiksi kaukolämpökiertoon. Nestemäisen kylmäaineen paine pienenee paisuntaventtiilissä. Paisuntaventtiilin jälkeen nestemäinen kylmäaine siirtyy höyrystimeen. Höyrystimen putkissa kulkee esimerkiksi kaukokylmävesi, joka luovuttaa lämpöä kylmäaineelle höyrystäen sen. Höyrystynyt kylmäaine kulkeutuu kompressorille ja kierto alkaa alusta. [26.]

Aikaisemmissa luvuissa 6.1 ja 6.2 käytiin läpi lämmöntalteenottotehon laskenta nestemäisen aineen sekä kostean ilman osalta. Lämmöntalteenottoteho kertoo suoraan höyrystimen tehon, mikäli lämmöntalteenottolaite on yhdistetty lämpöpumpppuun prosessiin kuvan 15 tavalla.



Kuva 15. Absorptiolämpöpumpun ja lämpöpumpun kytkentä LTO-laitteeseen

Lauhduttimen teho on mahdollista laskea kaavan 8 avulla, missä COP on lämpökerroin, Q_H (W) on höyrystinteho, Q_L lauhdutinteho (W) ja P_k kompressoriteho (W) [26]. COP lämpökerroin kertoo, kuinka paljon prosessista saadaan energiaa verrattuna prosessiin tuotuun energiamäärään. COP määräytyy käytettävistä lämpötilatasoista ja käytettävästä lämpöpumpputyypistä. Kompressoriteho P_k on ”normaalissa” lämpöpumppuprosessissa tuotu sähköenergia ja absorptiolämpöpumppuprosessissa tuotu lämpöenergia.

$$COP = \frac{Q_L}{P_k} = \frac{Q_L}{Q_L - Q_H} \quad (8)$$

6.4 Pumppujen laskenta

Pumpun tehontarve voidaan laskea kaavan 9 avulla. Pumpun tehon määrittämiseen tarvitaan \dot{m} massavirta (kg/s), H nostokorkeus (m), g putoamiskiihtyvyys (vakio 9,81 m/s²) sekä pumpun hyötysuhde. Pumpun tehon voi katsoa myös pumpun ominaiskäyristä. [27.]

$$P_{tod} = \frac{\dot{m} \cdot g \cdot H}{\eta} \quad (9)$$

Jos pumpulta ei ole saatavilla ominaiskäyrästä eri kierrosnopeuksilla, on pumpun kierrosnopeuden muutoksen vaikutusta mahdollista arvioida affiniteetilakien avulla. Affiniteetilait määrittävät kierrosnopeuden, tuoton, nostokorkeuden ja tarvittavan tehon välisen suhteen. Pumpun taajuusmuuttajamuutoksessa voidaan arvioida pumpun kierrosnopeuden muutoksen vaikutusta. Pumpun tuotto on suoraan verrannollinen kierrosnopeuksiin (kaava 10). Pumpun nostokorkeus on suoraan verrannollinen kierrosnopeuksien neliöön (kaava 11). Kolmantena affiniteetilakina, pumpun teho on suoraan verrannollinen kierrosnopeuksien kolmanteen potenssiin (kaava 12). [23.]

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{n_1}{n_2} \quad (10)$$

$$\frac{H_1}{H_2} = \left(\frac{n_1}{n_2}\right)^2 \quad (11)$$

$$\frac{P_1}{P_2} = \left(\frac{n_1}{n_2}\right)^3 \quad (12)$$

6.5 Investointien laskentamenetelmät

Toimenpide-ehtotuksien investoinneille laskettiin suora takaisinmaksuaika. Suora takaisinmaksuaika on yksinkertainen laskutapa energiatehokkuusinvestoinnin kannattavuuden tarkastelussa, mutta se ei ota huomioon rahan arvon kehitystä. Suorassa takaisinmaksuajassa lasketaan toimenpiteen energiakustannussäästöt tarkasteluhetken hintatason perusteella. [28.] Suorassa takaisinmaksuajassa N (a) jaetaan hankkeen investointikustannukset I (€) energiakustannussäästöillä A (€), kuten kaavassa 13 tehdään.

$$N = \frac{I}{A} \quad (13)$$

Säästö laskennassa käytetyt voimalaitoksen tuotanto- ja kulutustiedot perustuvat vertailuvuoden 2017 tietoihin. Taulukossa 24 näkyvät arvot on poimittu 2017 vuoden keskiarvoina eri lähteistä, kuten kuvassa 16 on Helen Oy:n kaukolämmön- ja vesivirtamaksut.

Taulukko 24. Laskelmissa käytetyt arvot [19.]

Laskelmissa käytetyt arvot		Lähde
Sähkön hinta	40 €/MWh	Nordpool
Lämmön hinta	40 €/MWh	Helen Oy
Maakaasu (veroton)	24 €/MWh	Tilastokeskus
Kevyt polttoöljy (veroton)	44 €/MWh	Tilastokeskus
Vesijohtovesi	1,41 €/m ³	HSY



Kaukolämmön energia- ja vesivirtamaksut 1.1.2019 alkaen

Energiamaksut

Kausi		Alv %	€/MWh, alviton	€/MWh, alvillinen
Talvikausi	01.01.2019 - 28.02.2019	24	58,33	72,33
Syyskausi	01.10.2018 - 31.12.2018	24	55,64	68,99
Kesäkausi	01.05.2018 - 30.09.2018	24	30,29	37,56
Kevätkausi	01.03.2018 - 30.04.2018	24	49,92	61,90
Talvikausi	01.01.2018 - 28.02.2018	24	51,75	64,17
Syyskausi	01.10.2017 - 31.12.2017	24	46,58	57,76
Kesäkausi	01.05.2017 - 30.09.2017	24	27,78	34,45
Kevätkausi	01.03.2017 - 30.04.2017	24	46,84	58,08
Talvikausi	01.01.2017 - 28.02.2017	24	49,89	61,86
Syyskausi	01.10.2016 - 31.12.2016	24	43,18	53,54
Kesäkausi	01.05.2016 - 30.09.2016	24	25,96	32,19
Kevätkausi	01.03.2016 - 30.04.2016	24	40,16	49,80
Talvikausi	01.01.2016 - 29.02.2016	24	44,77	55,51

Kuva 16. Kaukolämmön energia- ja vesivirtamaksut 2019 [33.]

7 Toimenpide-ehdotukset ja vaikutukset

Tässä luvussa on esitelty suoritetun energia-analyysin perusteella ehdotettavat energiantuotannon tehostamismahdollisuudet, eli toimenpiteet energian tai veden säästämiseksi. Toimenpide-ehdotukset on karsittu takaisinmaksuajan perusteella, joka pyritään pitämään alle 10 vuoden mittaisena.

7.1 Syöttövesisäiliön hönkälauhduttimen lauhteiden talteenotto apulauhdesäiliöön

Syöttövesisäiliön hönkälauhduttimen lauhteita ei oteta talteen, vaikka ne olisi mahdollista siirtää putkella apulauhdetukkiin. Hönkälauhduttimen lauhteet menevät tällä hetkellä viemäriin. Syöttövesisäiliö ja sen hönkälauhdutin sijaitsevat kattilahallin ylätasolla. Tästä johtuen hönkälauhduttimen lauhteiden hydrostaattinen paineen ansiosta lauhde on mahdollista siirtää apulauhdesäiliön tukkiin. Tukissa on vapaita paikkoja hönkälauhduttimen lauhteen linjalle, kuten kuvassa 17 näkyy. Hönkälauhduttimen lauhdetta syntyy noin 2000 m³/a, noin 50 °C lämmintä, joten siinä syntyy pieni säästö myös lämmön osalta. Apulauhdesäiliön vesi päätyy lopulta KL-raakavesisäiliöön, jossa veden lämpötila on noin 50 °C. [29.] KL-raakavettä valmistetaan vesijohtovedestä, jonka lämpötila on noin 10 °C. Lämmönsäästö syntyy siitä, ettei hönkälauhduttimen lauhteita tarvitse lämmittää 10 °C:sta 50 °C:seen. Laskettu lämmönsäästön osuus on 93 MWh/h. Säästölaskelmissa on käytetty vuoden 2018 HSY:n ilmoittamaa vesijohtoveden hintaa (1,41 €/m³). Laskentataulukko hönkälauhduttimen lauhteiden talteenottoon löytyy liitteestä 1.



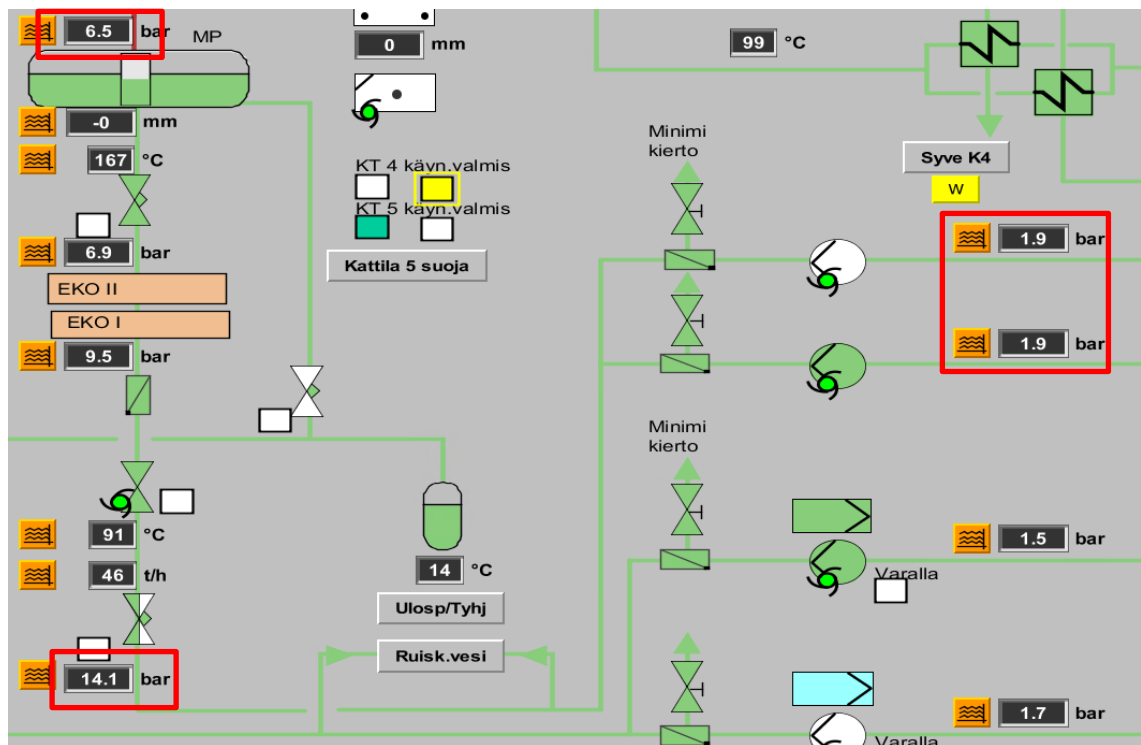
Kuva 17. Apulauhdetukki

Säästö (vesi)	2000 m ³ /a
Säästö (lämpö)	93 MWh/a
Yhteensä	6544 €/a

Investointi	14 800 €
Takaisinmaksuaika	2,3 a

7.2 Matalapainesyöttövesipumppujen muuttaminen taajuusmuuttajakäyttöiseksi

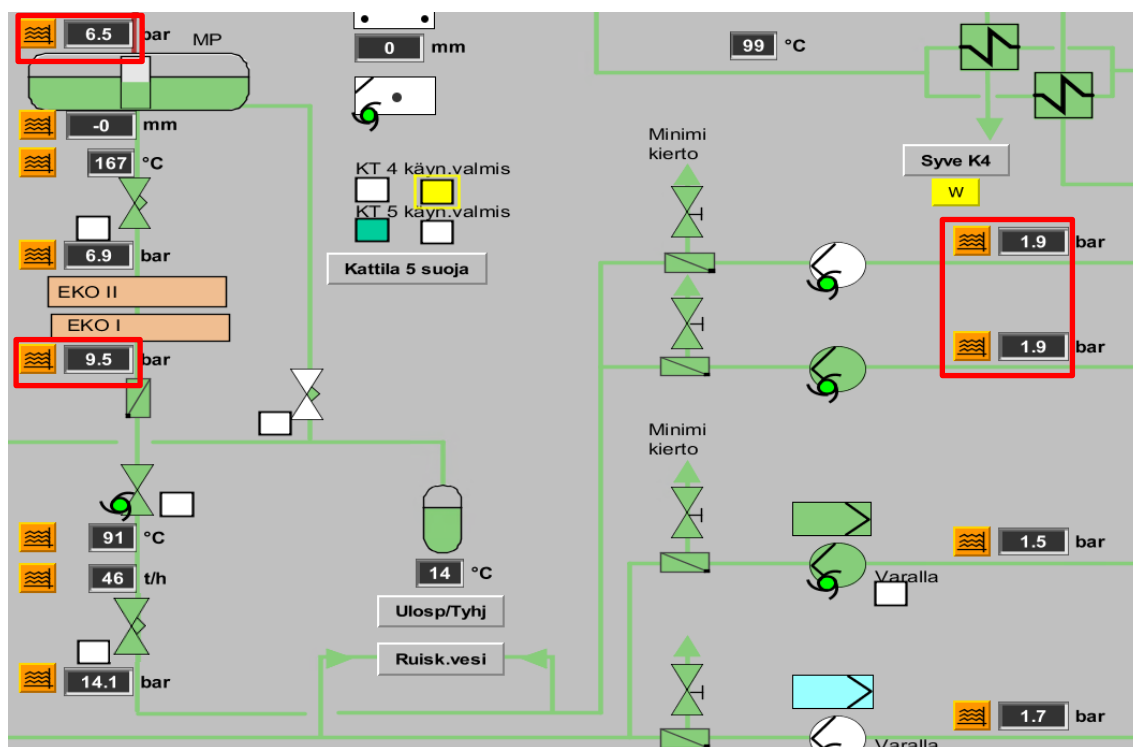
Matalapainesyöttövesipumppuja säädetään kuristussäädöllä, eli paineputken säätöventtiiliä kuristetaan, jolloin putkivastus kasvaa lisäten nostokorkeutta ja pienentäen tilavuusvirtaa. Kuristussäätö ei ole taloudellinen säätötapa, sillä pumpulla joudutaan tuottamaan paljon suurempi paine kuin todellisuudessa tarvittaisiin nesteen siirtämiseen [27 s. 141]. Kuvassa 18 näkyy matalapainesyöttövesipumppujen toiminta normaalissa ajotilanteessa. Pumput nostavat paineen noin kahdesta baarista noin 14 baariin, jonka jälkeen kuristusventtiili kuristaa virtauksen (venttiili auki noin 45 %) noin 9,5 baariin. Matalapainelieriön paine pidetään noin 6,5 baarissa, jolloin paine-ero ennen lieriön ja kuristussäädön välillä on noin kahdeksan baaria normaalissa ajotilanteessa.



Kuva 18. Matalapainesyöttövesipumpun toiminta normaalissa ajotilanteessa kuristussäädöllä [20.]

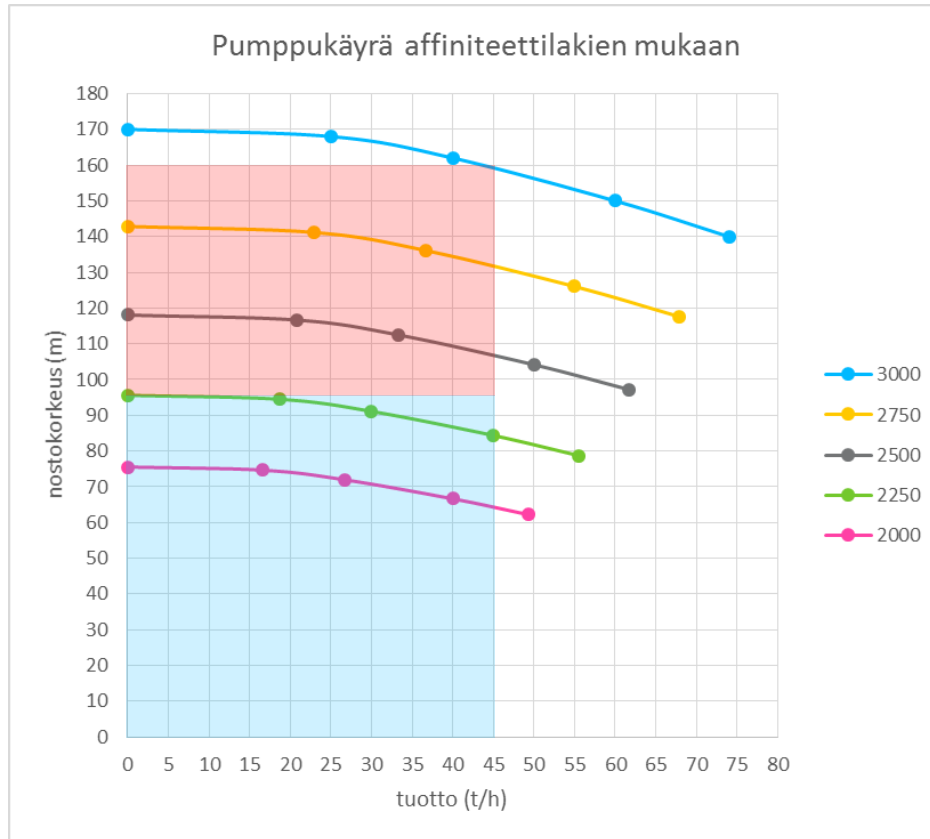
Matalapainesyöttövesipumppuja olisi mahdollista säätää kierrosnopeussäädöllä. Kierrosnopeussäätöä käytettäessä voidaan pumpulla tuottaa juuri tarvittava paine. Kuvassa

19 näkyy matalapainesyöttövesipumppujen toiminta normaalissa ajotilanteessa taajuusmuuttajasäädöllä. Tarvittava pumpuilla tuotettava paine on noin 9,5 bar, joka on mahdollista toteuttaa ilman kuristusventtiiliä taajuusmuuttajalla. Matalapainelieriön paine pidetään noin 6,5 baarissa, jolloin paine-ero ennen lieriön ja ennen ekonomaisereita olisi noin 3 baaria normaalissa ajotilanteessa. Kierrosnopeussäädön myötä pumpun tehon tarve pienenee, johtuen pienemmästä paine-erosta.

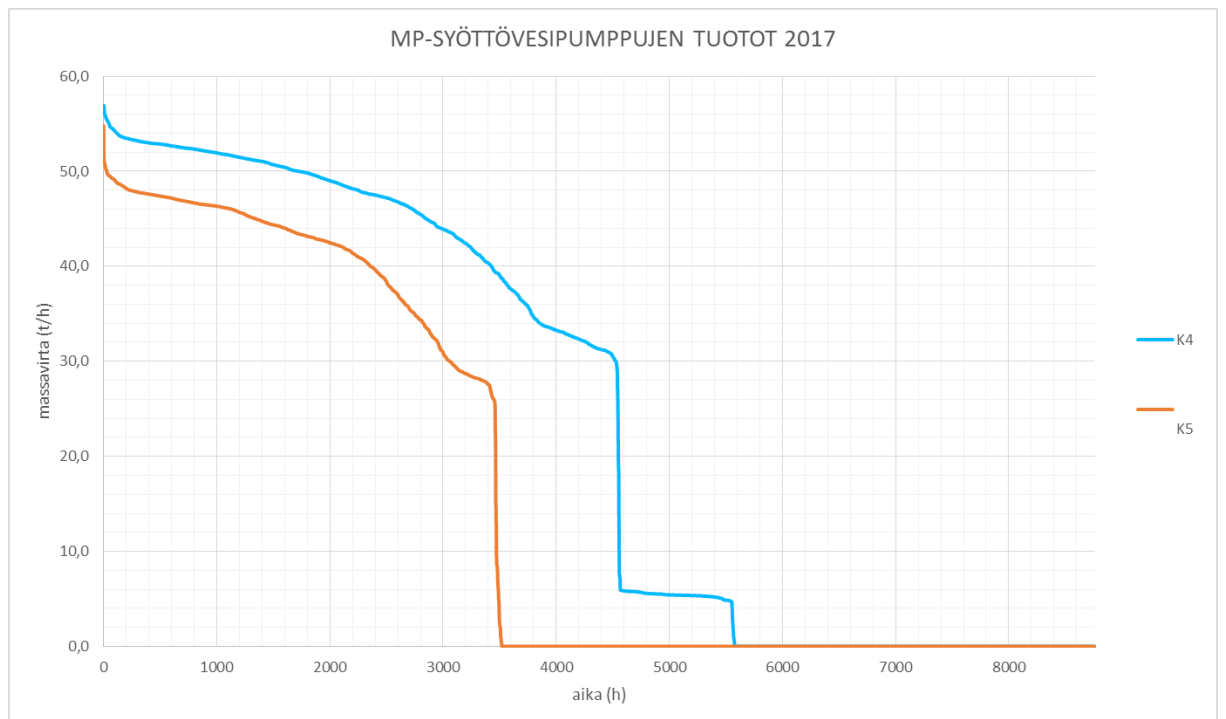


Kuva 19. Matalapainesyöttövesipumpun toiminta normaalissa ajotilanteessa taajuusmuuttajasäädöllä [20.]

Laittevalmistajalta ei ollut ominaiskäyrästä kierrosnopeuksilla (valmistajan ominaiskäyrä liitteessä 2), joten pumpun suoritusarvoja arvioitiin laskennallisesti ja ominaiskäyrästä luotiin affiniteettilakien avulla. Kuvassa 20 näkyy kierrosnopeus nostokorkeus käyrästä affiniteettisääntöjen avulla luotuna. Pumpun keskimääräinen tuotto on noin 45 t/h (tuotot ja käyttötunnit näkyvät kuvassa 21). Kuvasta 20 voidaan nähdä että pumpu nykyisin tuottaa käyrästäön piirretyn punaisen ja sinisen alueen suuruisen tehon. Kierrosnopeussäädön myötä pumpu tuottaisi sinisen alueen suuruisen tehon, jolloin moottori vaatisi pienemmän tehon. Kuvassa 21 näkyy MP-syöttövesipumppujen tuotot ja käyttötunnit vuonna 2017. Laskentataulukko MP-syöttövesipumppujen energiansäästöistä löytyy liitteestä 2.



Kuva 20. Pumppukäyrä affiniteetilakien mukaan



Kuva 21. MP-syöttövesipumppujen tuotot vuonna 2017 [32.]

Vaihtoehto 1

Mikäli kaikki neljä matalapainesyöttövesipumppua päätetään muuttaa taajuusmuuttajakäyttöisiksi, niiden investointikulut koostuvat taajuusmuuttajan hankinnasta, asennus- ja kytkentätöistä sekä automaatiomuutoksista. Säästölaskemat on toteutettu keskiarvokulutuksen mukaan. Alla on säästölaskemat koskien kaikkien neljän pumpun muuttamista taajuusmuuttajakäyttöisiksi. Matalapainepumppujen muuttamista taajuusmuuttajakäyttöisiksi kannattaa harkita.

Säästö (sähkö)	142 MWh/a
Yhteensä	6403 €/a
Investointi	40 000 €
Takaisinmaksuaika	6,2 a

Vaihtoehto 2

Prosessi on mahdollista toteuttaa muuttamalla vain kaksi neljästä matalapainesyöttövesipumpusta taajuusmuuttajakäyttöiseksi (toinen pumppu kummastakin kattilasta). Investointikulut koostuvat taajuusmuuttajan hankinnasta, asennus- ja kytkentätöistä sekä automaatiomuutoksista, mutta tällöin taajuusmuuttajia tarvitsee vain kaksi ja automaatiomuutoksien investointikulut kasvavat säätöteknisistä syistä. Automaatiota suunniteltaessa tulee muistaa ottaa huomioon, jos päätetään kesken ajon muuttaa ajotapa pyörimisnopeussäädöstä vakiokierroksille (että kuristusventtiili osaa reagoida pumpun paineen muuttumiseen). Alla on säästölaskemat koskien kahden pumpun muuttamista taajuusmuuttajakäyttöisiksi.

Säästö (sähkö)	142 MWh/a
Yhteensä	5867 €/a
Investointi	25 000 €
Takaisinmaksuaika	4,3 a

7.3 Korkeapainehöyryn paineen laskeminen yhden kaasuturbiinin ajossa

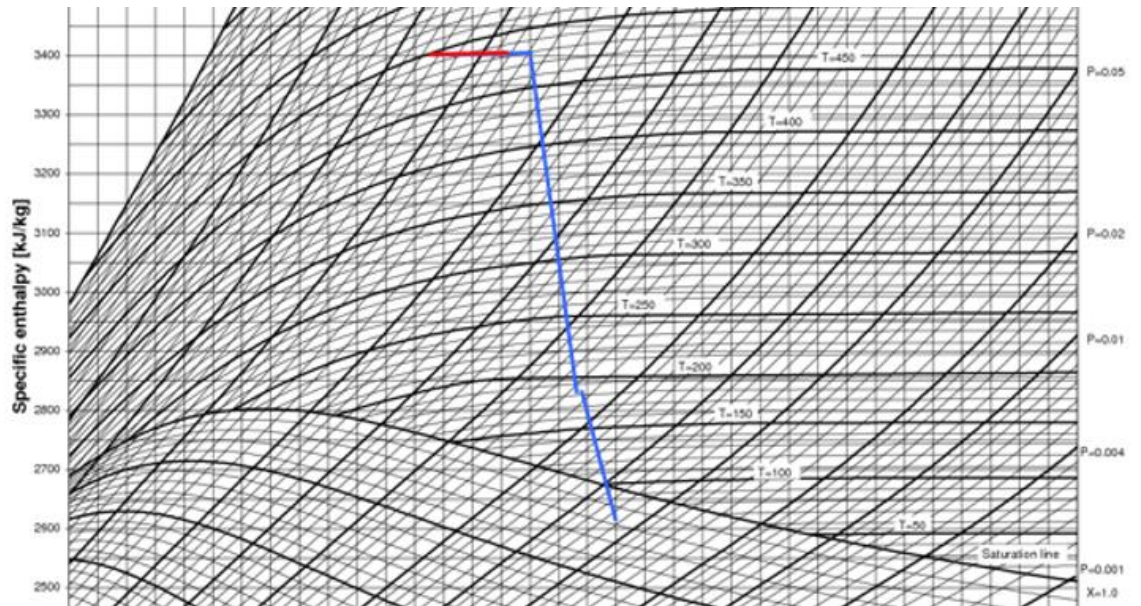
VuB:n höyryturbiinia ajetaan pääsääntöisesti etupainetta säätämällä. Etupainesäädössä turbiinin säätöventtiili säätää turbiinille päästettävän höyrymäärän, jotta kattilassa pysyy

haluttu paine. KP-syöttövesipumput pitävät huolen lieriön pinnankorkeudesta. Jos höyrynkulutus on suuri, syöttövesipumput pumppaavat enempi syöttövettä lieriöön. Etupainetta olisi mahdollista pienentää yhden kaasuturbiinin ajossa, jonka seurauksena syöttövesipumppujen kierrosluvut ja siten myös niiden ottamat tehot pienenesi. [30; 31]

Teoreettisesti tarkasteltuna korkeapainehöyryn painetta olisi mahdollista pienentää 40 baariin asti. Kahden kaasuturbiinin ajossa (75 bar, 500 t/h, 500 °C) höyryn tilavuusvirtaus on noin 22 850 m³/h. Jos yhden kaasuturbiinin ajossa noin 22 850 m³/h halutaan saavuttaa, niin höyryn painetta täytyy laskea. Tällöin höyryn ominaistilavuus kasvaa, jolloin voidaan saavuttaa sama tilavuusvirta pienemmällä massavirralla. Jos paine lasketaan 40 baariin (lämpötila 400–500 °C), niin tilavuusvirta pysyy lähes samana (22 000 m³). Kahden kaasuturbiinin ajossa tilavuusvirta on jakautunut kahden kattilan putkistoille. Yhden kaasuturbiinin ajossa tilavuusvirtausta on yhdessä kattilassa ja kun paine on laskettu 40 baariin, niin virtausnopeus kasvaa ajossa olevan kattilan höyryputkistoissa suuremmaksi. Päähöyryputken (johon molempien kattiloiden korkeahöyrypaineputket yhdistyvät) virtausnopeus on sama kuin kahden kaasuturbiinin ajossa. Höyryn virtausnopeus kattilassa nykyään on noin 29 m/s, mutta muutoksen jälkeen virtausnopeus kasvaisi noin kaksinkertaiseksi 56 m/s. Virtausnopeuden kasvaessa virtausvastus kasvaa, joka voi kuluttaa putkea (tämä kannattaa ottaa huomioon painetason muutoksen suunnittelussa).

PSK-standardin (PSK 2421) mukaan yli 40 baarin höyryputkessa, jossa menee tulistettua höyryä, saisi virtausnopeus olla maksimissaan 40 m/s (DN350 putki). Jos höyrynpaineen laskee 40 baariin, virtausnopeus on 56 m/s joka saattaa aiheuttaa värinää ja meteliä. Jotta pysytään PSK-standardin ilmoittamissa virtausnopeusrajoissa, painetta pystytään pudottamaan 60 baariin. Jos paine lasketaan 60 baariin (lämpötila 400–500 °C), niin tilavuusvirta olisi noin 13 025 m³. Tällöin virtausnopeus on 40 m/s. Punainen + sininen viiva kuvaavat höyryn paisuntaa 75 baarista 0,6 baariin. Sininen viiva kuvaa höyryn paisuntaa 40 baarista 0,6 baarin paineeseen. Kuvassa 22 näkyy höyryn paisunta höyryturbiinissa yhden kaasuturbiinin ajossa. Höyryn paineenpudotuksessa säätöventtiilin ohi, oletetaan entalpiian säilyvän vakiona. Paisuntakäyrästä huomaa punaisen viivan olevan ”turhaa” paineen nostoa, eli lähes saman energiamäärän saamiseen riittää pienempi paineenkorotus KP-syöttövesipumpulla. Taulukossa 25 näkyy höyryn arvoja yhden ja kahden kaasuturbiinin ajossa, sekä KP-höyrynpaineen muutoksen arvot. Liitteessä 3 on taulukko höyryn ominaistilavuuksista paineilla 40–80 bar.

Materiaaliongelmia paineen alennuksesta ei synny. Liitteessä 3 on taulukko tyypillisistä materiaaliongelmista mollier-diagrammin eri alueilla. Kun painetta lasketaan, paisunta-käyrä siirtyy oikealle, jolloin materiaaliongelmien pienenevät. [40.]

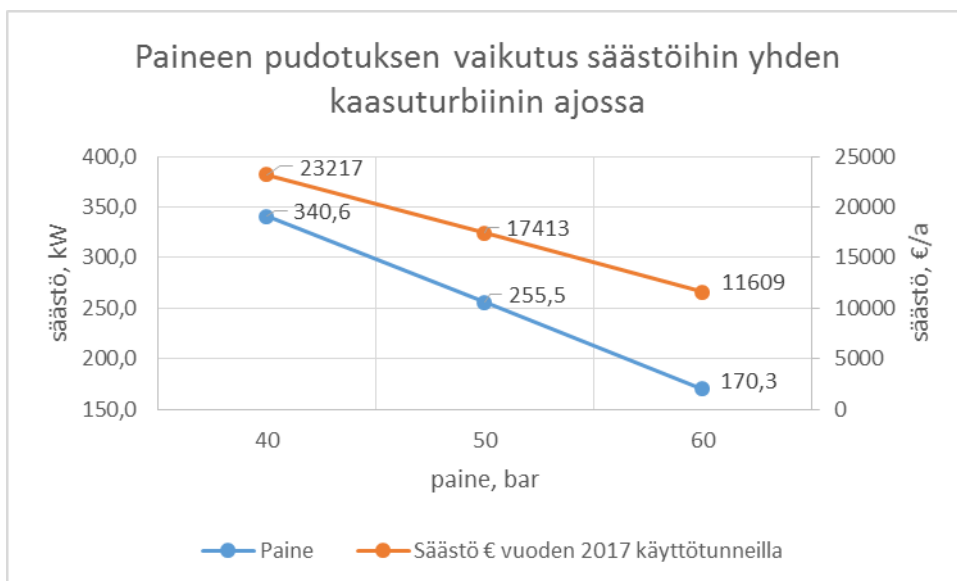


Kuva 22. Höyryn paisunta höyryturbiinissa yhden kaasuturbiinin ajossa

Taulukko 25. Höyryn arvoja eri tilanteissa [20.]

Höyryarvot kahden kaasuturbiinin ajossa		
säätöventtiilin asento	≈ 45	mm
lämpötila	500	°C
paine	75	bar
höyryn ominaistilavuus (80 bar)	0,0417	m ³ /kg
massavirta	500	t/h
tilavuusvirta	20850	m ³ /h
Höyryarvot yhden kaasuturbiinin ajossa		
säätöventtiilin asento	≈ 13	mm
lämpötila	500	°C
paine	75	bar
höyryputken halkaisija	355,6	mm
höyryn ominaistilavuus (40 bar)	0,0417	m ³ /kg
massavirta	250	t/h
tilavuusvirta	10425	m ³ /h
virtausnopeus	29	m/s
Muutos yhden kaasuturbiinin ajoon (40 bar)		
säätöventtiilin haluttu asento	≈ 40	mm
lämpötila	400-500	°C
paine	40	bar
höyryputken halkaisija	355,6	mm
höyryn ominaistilavuus (80 bar)	0,08	m ³ /kg
massavirta	250	t/h
tilavuusvirta	20000	m ³ /h
virtausnopeus	56	m/s
Muutos yhden kaasuturbiinin ajoon (60 bar)		
säätöventtiilin haluttu asento	≈ 30	mm
lämpötila	400-500	°C
paine	60	bar
höyryputken halkaisija	355,6	mm
höyryn ominaistilavuus (80 bar)	0,0521	m ³ /kg
massavirta	250	t/h
tilavuusvirta	13025	m ³ /h
virtausnopeus	36	m/s

KP-syöttövesipumppujen kierrosnopeuden pienentäminen (paineen laskeminen) tuo säästön toimenpiteelle. Kuvassa 23 näkyy paineen pudotuksen vaikutus säästöihin. Investointikulut sisältävät suunnitteluun ja prosessin koeajoon käytettävän ajan. Muita investointikustannuksia toimenpiteestä ei koidu.



Kuva 23. Höyryn paisunta höyryturbiinissa yhden kaasuturbiinin ajossa

Säästö (sähkö)	575,5 MWh/a
Yhteensä	11 609 €/a
Investointi	3000 €
Takaisinmaksuaika	0,1 a

7.4 Paineilmajärjestelmän paineenylläpito pienemmällä kompressorilla

VuB:n paineilma tuotetaan kolmella 75 kW:n paineilmakompressorilla. Paineilmakompressoreiden teho kevennyksellä on noin 18 kW 184 sekunnin ajan ja tuotolla noin 90,5 kW 50 sekunnin ajan. [33.] Vuorokauden painetiedoista näkee että tuotto pysyy samantaisena melkein läpi vuoden, lukuun ottamatta vuosihuoltoa. Paineilman tuottamiseen kuluu vuodessa energiaa noin 330 MWh (vuosihuollon paineilmapiiikkiä ei ole huomioitu) ja paineilmajärjestelmän kuluttaman sähkön hinnaksi 13 210 €, 40 €/MWh sähkön hinnalla. Paineilmajärjestelmää olisi mahdollista ylläpitää pienemmällä kompressorilla suurimman osan aikaa vuodesta (ei vuosihuolloissa). Jos paineilman kulutus kasvaa, eikä pienen kompressorin teho riitä tuottamaan tarvittavaa paineilmaa, niin suuremmat kompressorit käynnistyvät automatiikan ohjaamana.

Mikäli pienempi paineilmakompressorin päätetään hankkia ja muutos toteuttaa, niin tulee muistaa ottaa huomioon kolmen suuren kompressorin mahdolliset vikaantumiset. Vi-

kaantumista voi aiheuttaa pitkä seisonta-aika. Kompressorin ollessa käyttämättömänä pitkän aikaa, tiivisteet alkavat kovettua, laakerit vaurioitua sekä ilman kosteus aiheuttamaan syöpymiä. Tätä on mahdollista ehkäistä koekäyttämällä suuria kompressoreita taasisin väliajoin (esimerkiksi kahden viikon välein). Liitteessä 4 on laskentataulukko liitteen paineilmakompressorin muutokseen.

Säästö (sähkö)	138 MWh/a
Yhteensä	5502 €/a
Investointi	9300 €
Takaisinmaksuaika	1,7 a

7.5 Paineilmajärjestelmän vuotojen korjaaminen

Vuotoja paineilmatoimisien laitteiden liittimistä löytyi viidestä eri kohteesta. Paineilma- vuotoja etsittiin vuodonilmaisinnesteellä. Kolme näistä on paineilmatoimisia venttiileitä (katso kuva 24) ja kaksi paineilman jakotukkia. Paineilman jakotukit vuosisivat eniten paineilmaa useasta eri liitännästä. Vuodot tulee korjata ensisijaisesti kiristämällä liitännää tai vaihtamalla liittin uuteen. Paineilmaliittimet ovat noin 20 vuotta vanhoja, joten uusien liittimien/kumiletkujen vaihtoa kannattaa harkita.

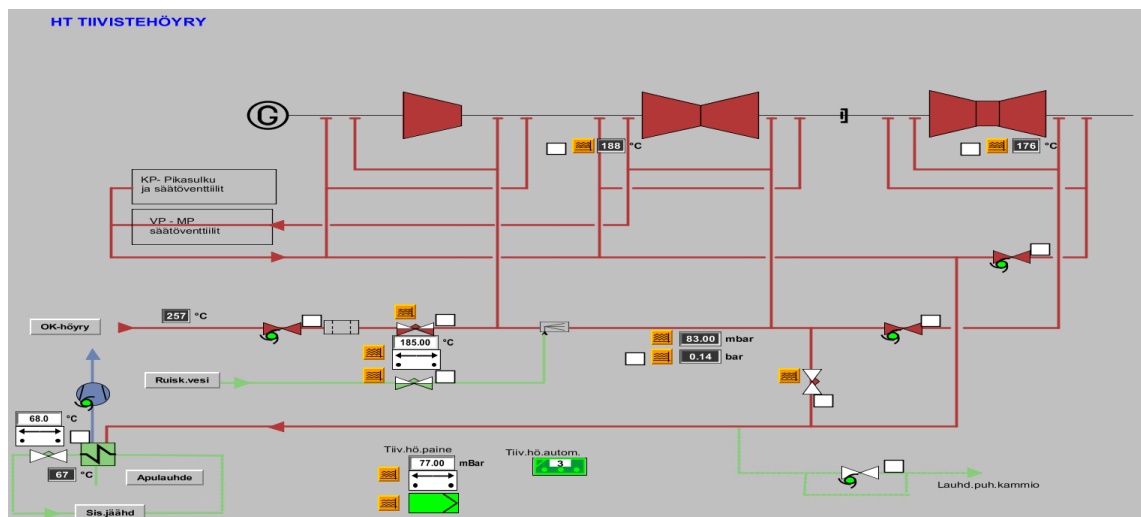


Kuva 24. Paineilmavuoto venttiileissä sekä paineilmatukeissa

Säästö (sähkö)	5,7 MWh/a
Yhteensä	229 €/a
Investointi	280 €
Takaisinmaksuaika	1,2 a

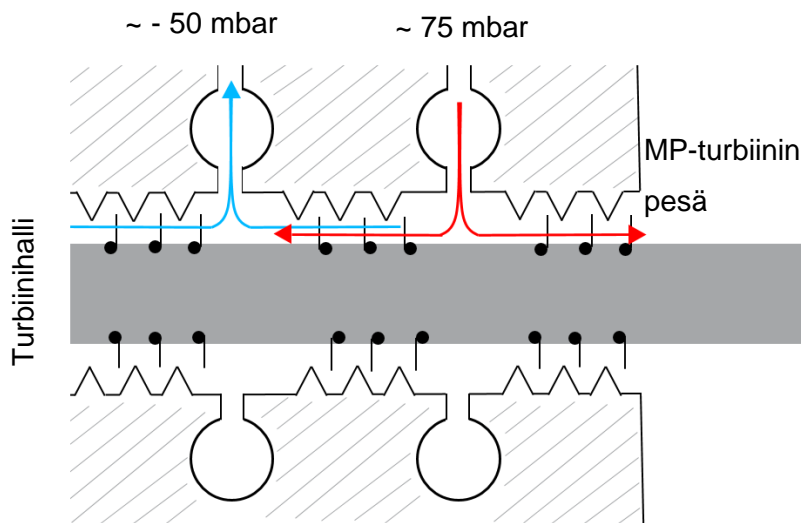
7.6 KP-säätöventtiilien vuotohöyryn hyödyntäminen tiivistehöyrynä

Tiivistehöyryjärjestelmän tarkoituksena on tiivistää turbiinin akseli siten, ettei KP-turbiinista pääse vuotamaan höyryä akselitiivisteiltä turbiinirakennukseen eikä VP- tai MP-turbiinin sisään ilmaa. Tiivistehöyryjärjestelmä koostuu kahdesta painetasosta, joista toinen on yli ilmanpaineen ja toinen alipaineen puolella. Alipaineen saa aikaiseksi tiivistehöyrymuri. KP-turbiinin akselitiivisteiltä vuotaa höyryä ylipaineiselle puolelle, jota oma käyttöhöyryn kanssa käytetään MP-turbiinin ja VP-turbiinin akselien tiivistyksessä. Kuvassa 25 on ajokuva tiivistehöyryjärjestelmästä.



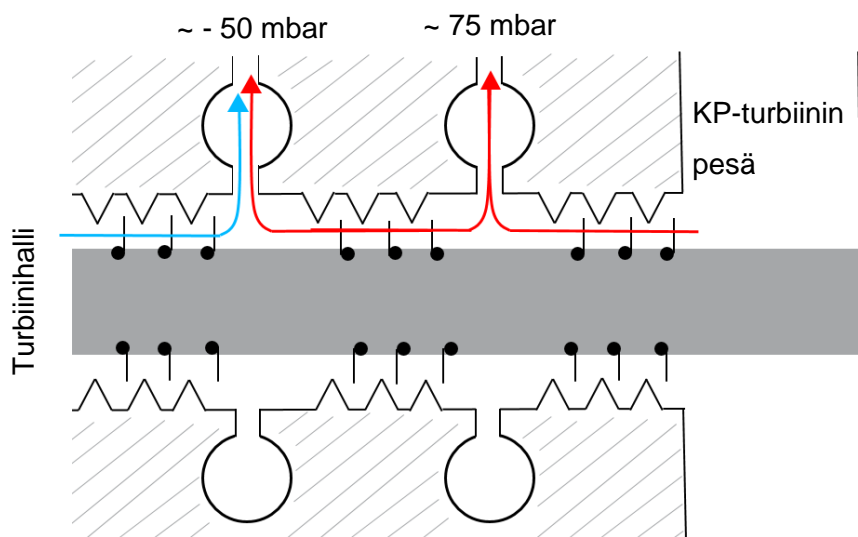
Kuva 25. Tiivistehöyry järjestelmä [20.]

Kuvasta 26 selviää tiivistehöyryn käyttäytyminen MP- ja VP-turbiinien akselitiivisteellä. MP- ja VP- turbiineissa höyry paisuu alipaineiseksi, jolloin noin 75 millibaarista tiivistehöyryä syötetään sisemmästä tiivistehöyrykanavasta. Alipaineisesta noin -50 millibaarin tiivistehöyrykanavasta imetään tiivisteiden lävitse vuotanut 75 millibaarin tiivistehöyry sekä turbiinihallista vuotanut ilma. Näin estetään turbiinihallin ilman vuotaminen MP- ja VP-turbiineille sekä tiivistehöyryn vuotamisen turbiinihalliin.



Kuva 26. MP-turbiinin tiivistehöyryn käyttäytyminen roottorin akselitiivisteellä

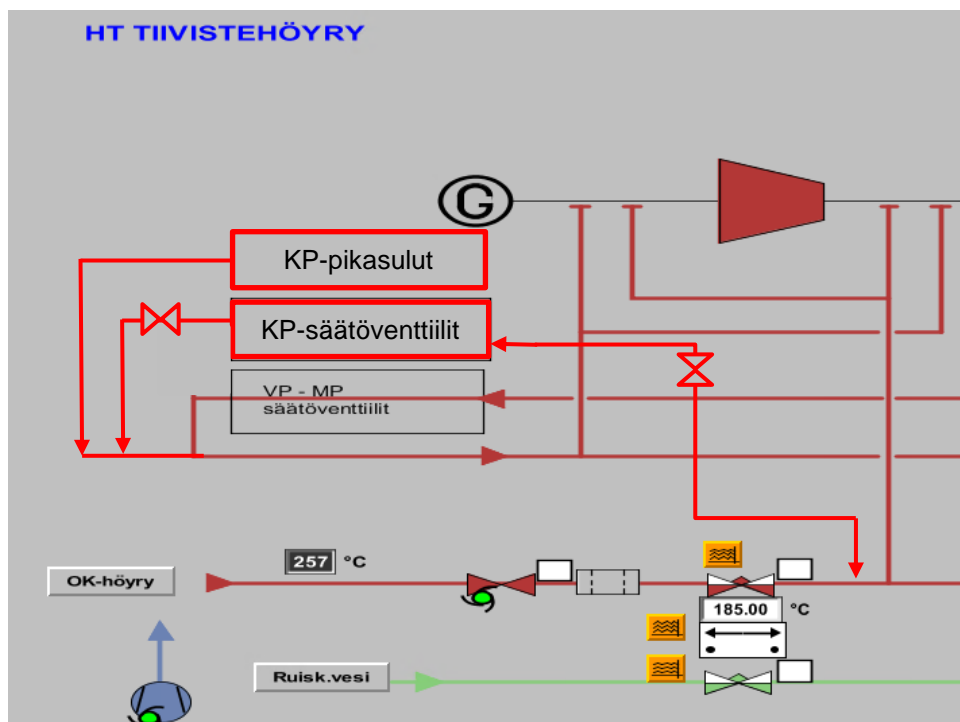
Kuvasta 27 selviää KP-turbiinin vuotohöyryn käyttäytyminen roottorin akselitiivisteellä. KP-turbiinissa höyry on ylipaineen puolella, jolloin ei ole vaaraa, että turbiinihallin ilma pääsisi vuotamaan turbiinin sisälle, vaan ylipaineinen höyry pyrkii ulos turbiinin akselitiivisteiltä. KP-turbiinille ei syötetä tiivistehöyryä kuin käynnistyksen yhteydessä ja alasajon jälkeen. KP-turbiinin vuotohöyry hyödynnetään tiivistehöyrynä, kuten kuvasta 25 voidaan havaita.



Kuva 27. KP-turbiinin vuotohöyryn käyttäytyminen roottorin akselitiivisteellä

VuB:n höyryturbiinin tiivistehöyryjärjestelmä ei toimi mitoitettulla tavalla. Omakäyttöhöyryä ajetaan turbiinin tiivistehöyryksi aina höyryturbiinin ollessa käytössä vaikka omakäyttöhöyryä tulisi tarvita tiivistehöyryä vain 50 %:n tehoon asti [34]. Kun on saavutettu 50 % tehosta, niin tiivistehöyryä ei pitäisi tarvita vaan kaiken pitäisi tulla vuotohöyryä.

Höyryturbiinin (HT6) KP-säätöventtiileistä ja KP-pikasulkuventtiileistä on paineentasauksen vuoksi vuotohöyrylinjat tiivistehöyryyn alipainepuolelle, jolloin ne lauhtuvat tiivistehöyrylauhduttimessa luovuttaen lämpöenergian sisäiseen jäähdytyskiertoon. Sisäisen jäähdytyskierron lämpö ajetaan tällä hetkellä mereen. KP-säätöventtiilien vuotohöyrylinja olisi mahdollista yhdistää tiivistehöyryyn ylipaineiselle puolelle, jolloin omakäyttöhöyryä kuluisi vähemmän ajon aikana. KP-säätöventtiileille tuleva höyry on noin 500 °C ja 70 bar. KP-säätöventtiilin vuotohöyryyn paine on kuitenkin pienempi, koska höyryyn virtaus kuristuu vuodon yhteydessä. Lämpötilaltaan vuotohöyry on kuumempaa kuin tiivistehöyrylinjassa olevan höyryyn lämpötila, joten pitää varmistua ennen MP- ja VP-turbiineita olevan ruiskutuksen riittävydestä. Mikäli muutos päätetään toteuttaa, se pitää johtaa ruiskutuksen etupuolelle ennen sen siirtymistä MP- ja VK-osien tiivistehöyryksi. Putkimuutos näkyy kuvassa 28. Putkimuutos kannattaa toteuttaa venttiilien avulla ja säilyttää entinen putki varmistaen muutoksen toimivuuden, jolloin voi kokeilla ruiskutuksen riittävyyden. Mahdollista myös uusia ruiskutuksen suutin, jos ruiskutusmäärä ei riitä. Mikäli vuotohöyryä tulisi yli tarpeen, ylipaineisen tiivistehöyrylinjan painetta säädetään säätöventtiilillä. Säätöventtiili johtaa ylimääräisen tiivistehöyryyn tiivistehöyrylauhduttimeen, tällöin paine on vakio tiivistehöyryjärjestelmässä, eikä ole vaaraa höyryyn virtauksesta väärään suuntaan.



Kuva 28. KP-säätöventtiilien putkimuutos [20.]

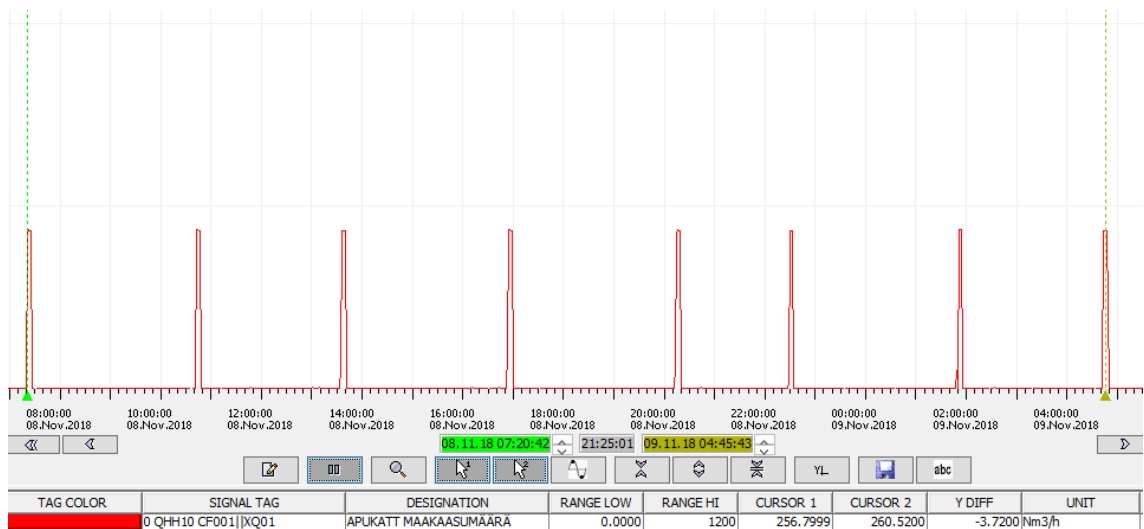
KP-pikasulkuventtiileistä olisi myös mahdollista ottaa vuotohöyry talteen, mutta tämä ei välttämättä ole kaikissa tapauksissa kovin viisasta. Jos turbiini menee pikasulkuun, niin kattilalta saapuvat höyryt ovat pikasulkuventtiiliä vasten ja pääsevät vuotamaan ylipaineisen tiivistehöyrylinjan kautta MP- ja VP-turbiinien akselitiivisteille. Tämä aiheuttaisi pesien venymistä päästessään ylipaineisena niiden sisään (on pesiä kuumempaa, eikä tällöin pesissä ole muuta höyryvirtausta).

Investointi 5000 €

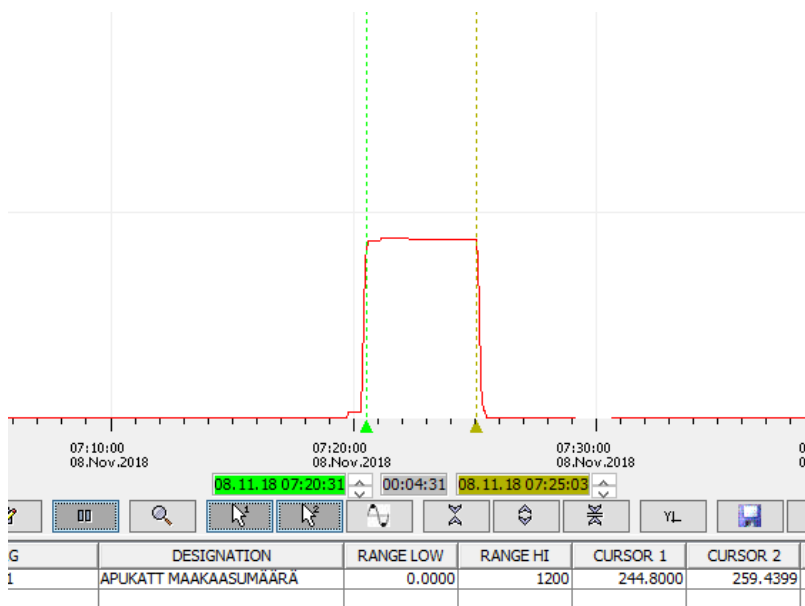
7.7 Apukattilan maakaasun kulutuksen vähentäminen

Voimalaitoksen ollessa pois päältä apukattilan tuottamaa omakäyttöhöyryä käytetään KL-veden valmistukseen sekä varalla olevien kattiloiden lämmitykseen. Nykyisin apukattilaa pidetään paineellisena jatkuvasti käynnistämällä kaasupolttimet noin 8 kertaa vuorokaudessa. Kuvassa 29 nähdään yhden vuorokauden apukattilan käynnistykset. Kuvassa 30 nähdään otos yhdestä käynnistyksestä, joka on kestoaltaan noin 2–3 minuuttia ja maakaasun syöttö tapahtuu noin 250 t/h maakaasun massavirralla. Maakaasua kuluu apukattilassa noin 13,2 GWh verran, ja maakaasun hinnalla 24 €/MWh se olisi 317

059 €. Apukattila kuitenkin kulutti maakaasua eniten silloin, kun laitos ei ollut päällä, n. 12,6 GWh. Laitoksen ollessa päällä maakaasua kului 546 MWh verran, eli 13 104 €.



Kuva 29. Apukattilan käynnistyminen vuorokauden aikana



Kuva 30. Maakaasu apukattilalle

Vaihtoehto 1

Apukattila olisi mahdollista pitää paineellisena MP-höyryn avulla, jolloin säästö olisi maakaasun osalta 13 104 €. Vuonna 2017 höyryä apukattilalla tehtiin 16 902 tonnia, suurimaksi osaksi silloin kun kattilat eivät olleet päällä. Apukattilan paineistukseen tarvittava

höyry on promillejen luokkaa kaikesta K4:n ja K5:n tuottamasta MP-höyrystä, joten tätä ei otettu huomioon laskelmissa. Apukattilan paineistaminen MP-höyryllä onnistuisi vetämällä putkilinja omakäyttöhöyry tukista apukattilan pohjapuhallusputkeen (kuva 31). Putkimuutos vaatisi lisäksi takaiskuventtiilin, vesityksen sekä automaattisen sulkuventtiilin. Jos VuB:n ajotunnit kasvavat, niin investoinnista tulee entistä kannattavampi. Apukattila olisi mahdollista pitää paineellisena omakäyttöhöyryllä kun vähintään toinen kattiloista on päällä. Kattiloiden ollessa pois päältä, toimittaisiin niin kuin ennenkin. Liitteessä 5 on toimenpide-ehdotuksen laskentataulukko.



Kuva 31. Omakäyttöhöyrytukin yhde ja apukattilan pohjapuhallusputki

Säästö (maakaasu)	546 MWh/a
Yhteensä	13 104 €/a
Investointi	7690 €
Takaisinmaksuaika	1,7 a

Vaihtoehto 2

Apukattila olisi mahdollista pysäyttää kokonaan vähintään toisen kattiloista (K4 tai K5) ollessa päällä. Apukattilan ollessa pois päältä ajon aikana, säästö olisi maakaasun osalta 13 104 €. Jos apukattila päätetään sammuttaa, niin tulee huomioida mahdolliset riskit. Laitoksen ollessa päällä apukattilan tarkoitus on suojella höyryturbiinia mahdolliselta pikasulkutilanteelta. Apukattila tuottaa omakäyttöhöyryä, jota käytetään höyryturbiinin tii-

vistehöyrynä. Kaasuturbiinin mennessä pikasulkuun pähöyryventtiilit sulkeutuvat. Kattiloiden höyryntuotto lakkaa, jolloin omakäyttöhöyryä on mahdollista saada vain apukattilalta. Tällöin on vaarana, että turbiinin akselitiivisteillä ei ole riittävästi tiivistehöyryä ja turbiinihallin ilma pääsee vuotamaan höyryturbiinin sisälle ja sieltä kaukolämmönvaihtimiin. Lauhteisiin pääsee ilmaa, jolloin ne joudutaan ajamaan mereen ja samoten kaukolämmönvaihtimiin pääsee muodostumaan ruostetta. Myös kylmän apukattilan ylös ajamiseen menee aikaa 4–6 h, joka on suhteellisen pitkä aika. Tällöin apukattila ei toimisi varolaitteena yli 4 h ylös ajoajan perusteella. [22.]

Säästö (maakaasu)	546 MWh/a
Yhteensä	13 104 €/a
Investointi	0 €
Takaisinmaksuaika	0 a

7.8 Kaasuturbiinin voiteluöljyn lämmön talteenotto

Kaasuturbiinin voiteluöljyjärjestelmä syöttää öljyä kaasuturbiinin ja generaattorin laakereille, akselinpyörittimelle ja ohjausjärjestelmään. Voiteluöljypumpulla pumpataan öljy säiliöstä jäähdyttimelle ja sieltä suodattimien kautta laakereille. [35.]

KT4:n voiteluöljyjä viilennetään kaukolämpövedellä, samalla saaden lämmöt talteen kaukolämpöverkkoon. KT5:n voiteluöljyjä viilennetään tällä hetkellä sisäisellä jäähdytyskierrolla, josta lämpö siirtyy mereen. Ehdotuksena olisi rakentaa vastaavanlainen järjestelmä KT5:lle. [35.] Järjestelmä on kopio KT4:n järjestelmästä, joten sitä ei käydä tässä opinäytetyössä sen enempää läpi. Energiansäästö on laskettu vuoden 2017 KT5:n käyttötunneilla, jos oletetaan voiteluöljyn lämmön talteenoton toimivan aina kun KT5 on päällä.

Säästö (lämpö)	1042,8 MWh/a
Yhteensä	41 712 €/a
Investointi	50 000 €
Takaisinmaksuaika	1,2 a

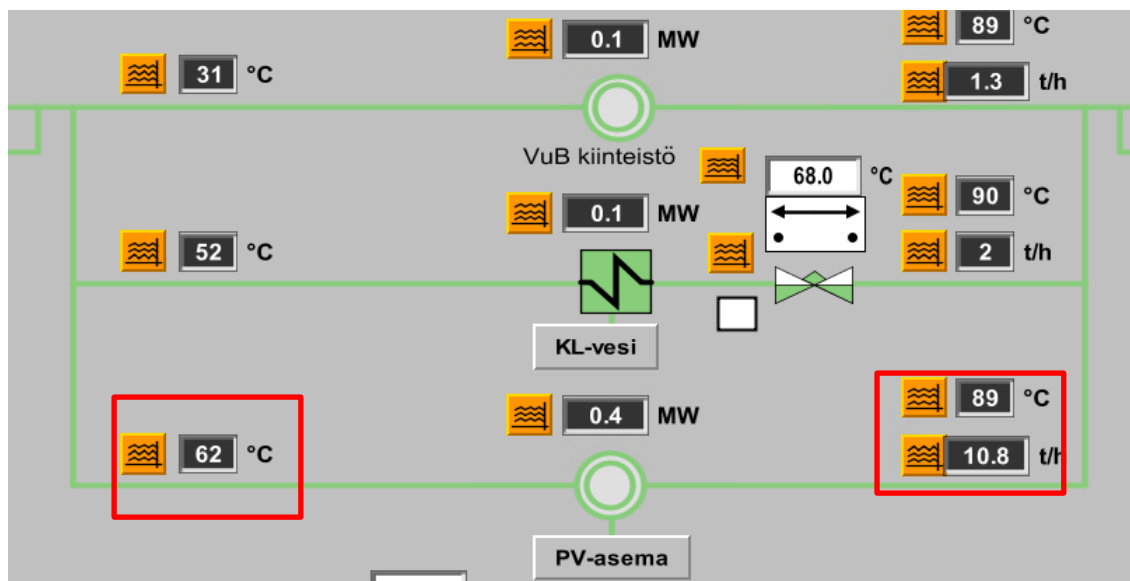
7.9 Maakaasun lämmityksen lämmönsiirtimien säätöjen korjaus

VuB:n maakaasun lämpötilaa nostetaan lämmönsiirtimellä PV-asemalla (kuva 32). Lämmönsiirtimen läpi kulkee kaukolämpövesi. Kaukolämpöveden sisäänmenolämpötila on noin 89 °C ja ulostulolämpötila noin 62 °C. Haluttu kaukolämpöveden paluulämpötila on noin 45 °C. Asettamalla PV-aseman säädöt oikeaksi (45 °C KL-paluu lämpötila), massavirta pienenee arvosta 10,8 t/h arvoon 6,7 t/h. Taulukossa 26 näkyy maakaasun lämmityksen lämmönsiirtimien säätöjen muutos.

Taulukko 26. Maakaasun lämmityksen lämmönsiirtimien säädöt

Maakaasun lämmityksen lämmönsiirtimien säätöjen korjaus	
massavirta ennen säätöä, m_1	10,8 t/h
kl-menolämpötila ennen säätöä, T_1	89 °C
kl-paluulämpötila ennen säätöä, T_2	62 °C
H ₂ O (l) (0...100 °C)	4,19 kJ/kg°C
Laskennallinen teho ennen säätöä, Q	0,34 MW
kl-menolämpötila säädön jälkeen, T_1	89 °C
kl-paluulämpötila säädön jälkeen, T_2	45 °C
massavirta lämpötilasäädön jälkeen, m_2	1,8 kg/s
massavirta lämpötilasäädön jälkeen, m_2	6,6 t/h

VuA:n laitoksen ollessa käynnissä kaukolämpöveden lämpötila nousee 45 °C -> 45,17 °C. Tämä ei ole suuri lämmönkorotus, joten vaikutukset eivät ole merkittävät. Lämmön nousu näkyy VuA:n höyryturbiinin vastapaineajossa pienissä määrin. Kun VuA:n laitos on seisonnassa, PV-asemalta tuleva lämpö lämmittää pintaverkkoa, jolloin pintaverkossa oleva ylimääräinen lämpö joudutaan priimaamaan mereen käynnistettäessä laitosta. [34.] Lämpötilasäädön muutos vähentäisi priimauksen tarvetta VuA:n ylös ajossa, joka ei suoraan vaikuta VuB:n energiankulutukseen. Muutos kuitenkin vaikuttaisi kokolaitosalueen energiatehokkuuteen.



Kuva 32. PV-aseman lämmönsiirrin [20.]

Säästö (lämpö)	0 MWh/a
Yhteensä	0 €/a
Investointi	0 €
Takaisinmaksuaika	0 a

8 Jatkoselvitykset ja –tutkimukset

Tässä luvussa käsitellään energiansäästötoimenpiteet, jotka ovat jo esiselvityksessä tai vaativat vielä tarkempia lisäselvityksiä.

8.1 Savukaasujen lämpötilan laskeminen absorptiolämpöpumpulla

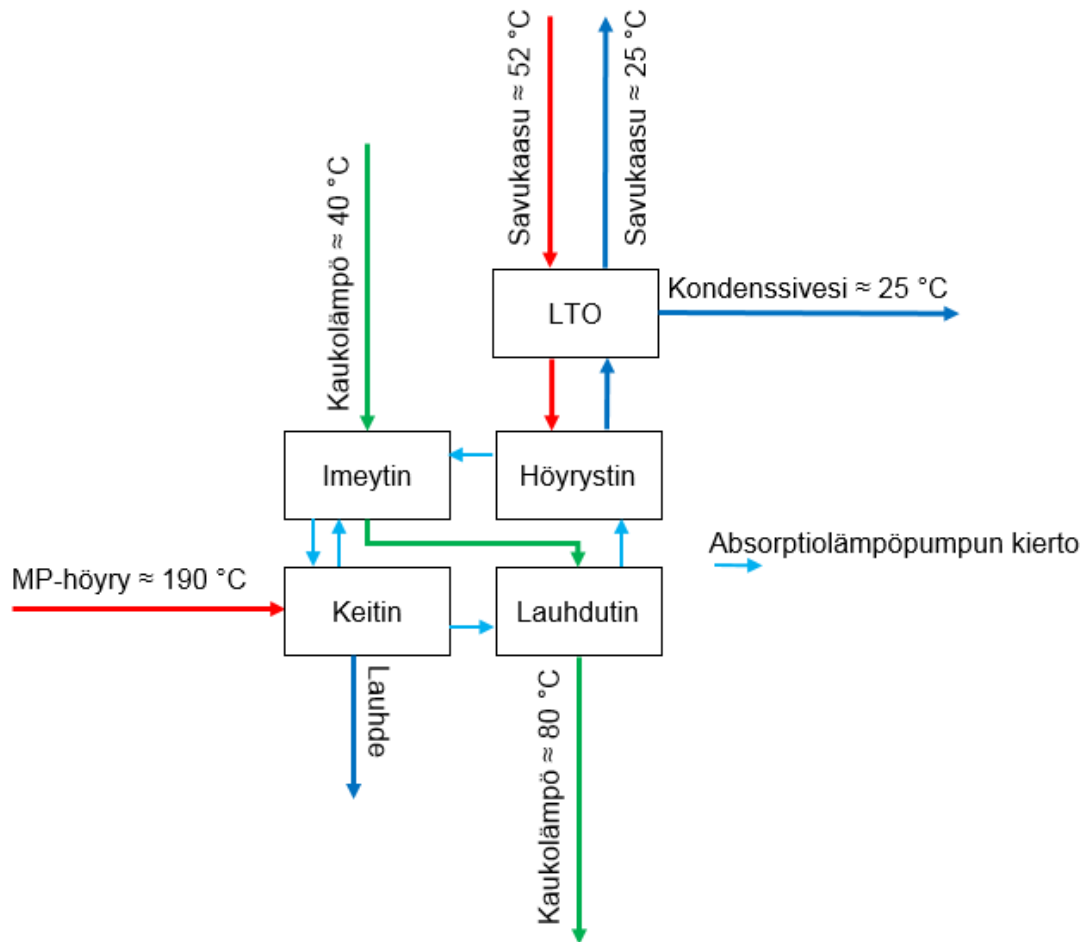
Lämmöntalteenottokattiloiden suurin häviö muodostuu kuumien savukaasujen mukana menevästä lämmöstä. Savukaasuvirtaus on tavallisesti 52 °C, mutta savukaasusta olisi mahdollista ottaa sivuvirta, jonka lämpötila laskettaisiin 25 °C:seen absorptiolämpöpumpun avulla.

Laskennan perusteella savukaasuista saatava lämpö olisi noin 50 MW (eli noin 10 % polttoainetehosta), jos LTO-laitteeseen syötettävä savukaasuvirta olisi 100 % (520 kg/s).

Jos savukaasuista otettava sivuvirta olisi 20 %, niin LTO:n teho olisi noin 10 MW. Savukaasun sivuvirta siirrettäisiin LTO-laitteelle ja tämä vaatisi piipun modifioinnin (korroosiosuojaus) tai täysin uuden oman piipun, johtuen savukaasujen jäähtymisestä 25 °C:seen. Savukaasujen jäähtyessä 25 °C:seen tulee vastaan kastepiste, jolloin piipun tulee olla korroosionkestävä.

Absorptiolämpöpumppu kytkettäisiin prosessiin siten, että keittimeen tuodaan lämpöenergiaa MP-höyrystä, joka höyryttää litiumbromidivesiliuoksen. Liuoksesta höyrystynyt vesi nostaa liuoksen väkevyyttä, jolloin väkevämpi osuus vajoaa keittimen pohjalle ja siirretään imeyttimeen. Höyrystynyt vesi siirtyy keittimestä lauhduttimeen, jossa höyry lauhtuu takaisin vedeksi luovuttaen energiaa kaukolämpöveten. Lauhtunut vesi pumpataan höyrytimelle, jossa savukaasujen lämmittämä vesikierto höyryttää lauhduttimesta tulleen veden takaisin höyryksi. Vesi höyryttyä matalan paineen vuoksi ja höyrystynyt vesi menee imeyttimeen. LTO-kierron vesi puolestaan viilenee ja lähtee takaisin LTO-laitteelle viilentämään savukaasunsivuvirtausta. Imeyttimellä litiumbromidi liukenee vesihöyryyn ja ne pumpataan takaisin keittimeen, jotta kierto voi alkaa alusta. Prosessi näkyy yksinkertaistettuna kuvassa 33.

Imeytin vaatisi noin puolet lämmöntalteenottokattilan tuottamasta MP-höyrystä (n. 14,3 MW verran). Tästä johtuen höyryturbiinilla tuotettavan sähkön määrä pienenesi (- 2,7 MW), mutta vastaava energia saataisiin MP-höyrystä eri muodossa, eli absorptiolämpöpumpulla kaukolämpövetenä. Näin ollen absorptiopumpusta saatava kokonaislämpöteho olisi n. 24,2 MW. Käytettävyysoongelmia tai minimivirtaustilanteita höyryturbiinilla ei pitäisi tapahtua. Liitteessä 6 on laskentataulukko liittyen absorptiolämpöpumppu muutokseen. Absorptiolämpöpumpun esiselvitys on jo käynnissä ja tästä syystä tämä toimenpide on esitetty jatkoselvitystä vaativissa toimenpide-ehdotuksissa.



Kuva 33. Lämpö talteen savukaasuista absorptiolämpöpumpulla

Säästö (lämpö)	47 790 MWh/a
Säästö (sähkö)	-13 492 MWh/a (siirtyy KL-veteen)
Yhteensä	1 911 600 €/a
Investointi	8 904 000 €
Takaisinmaksuaika	4,7 a

8.2 Sisäisen jäähdytyskierron ja meriveden hukkalämpöjen hyödyntäminen lämpöpumpulla

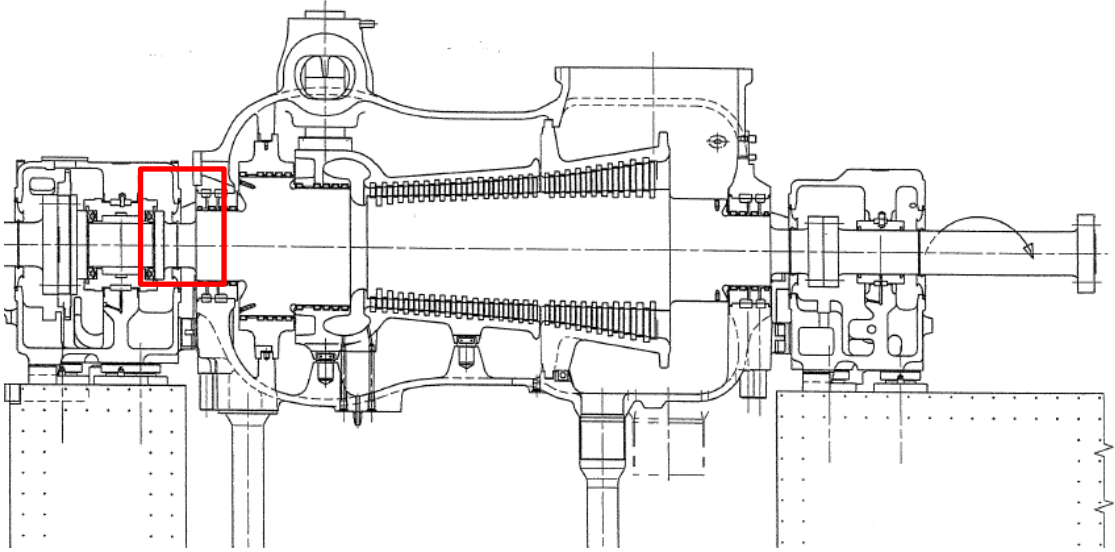
Vuosaaren B-voimalaitoksen sisäinen jäähdytysvesikierto lauhdutetaan mereen. Lämpöpumpulla olisi mahdollista tuottaa sisäinen jäähdytys ja samalla kaukolämpöä kaukolämpöverkkoon. [36.]

Sisäisen jäähdytyksen vesi kiertää suoraan lämpöpumpun höyrystimellä. Tuotettavan kaukolämpöveden lämpötila nostetaan kaukolämpöverkon menoveden tasolle noin 80 °C:seen. Kaukolämpöpumppu kytketään kaukolämpöverkon linjoihin siten, että lämpöpumppu on käytettävissä myös silloin, kun VuB ei ole käytössä. Tällöin lämmönlähteenä käytettäisiin merivettä sisäisen jäähdytyksen sijaan, nykyisten sisäisen jäähdytyksen merivesilämmönvaihtimien kautta. Lämpöpumpun esiselvitys on jo käynnissä ja tästä syystä tämä toimenpide on esitetty jatkoselvitystä vaativissa toimenpide-ehdotuksissa. [36.]

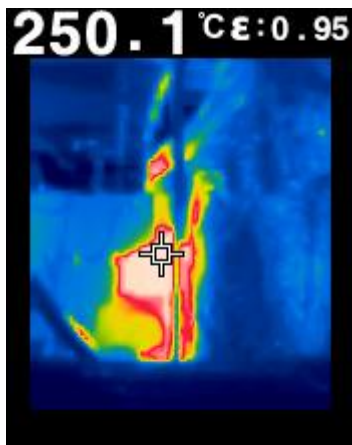
Säästö (lämpö)	57 348 MWh/a
Säästö (sähkö)	-16 727 MWh/a
Yhteensä	1 624 840 €/a
Investointi	11 478 000 €
Takaisinmaksuaika	9 a

8.3 KP-turbiinin vuodon selvittäminen

KP-turbiinin akseli on tiivistetty tiivistehöyryjärjestelmällä sekä labyrinttitiivisteillä. KP-turbiinin kuumemman päädyn päästä vuotaa höyryä höyryturbiinihalliin, jonka syy on vielä selvittämättä. Kuvaan 34 on merkitty höyryturbiinin vuotokohta. Vuotohöyryn lämpötila on noin 250 °C, joka näkyy myös lämpökamerakuvassa 35. Vuoto voi johtua monesta eri syystä, kuten vaurioituneista labyrinttitiivisteistä, asennusvirheestä tai vääristä tiivistehöyryjärjestelmän painetasoista.



Kuva 34. KP-turbiini [37.]

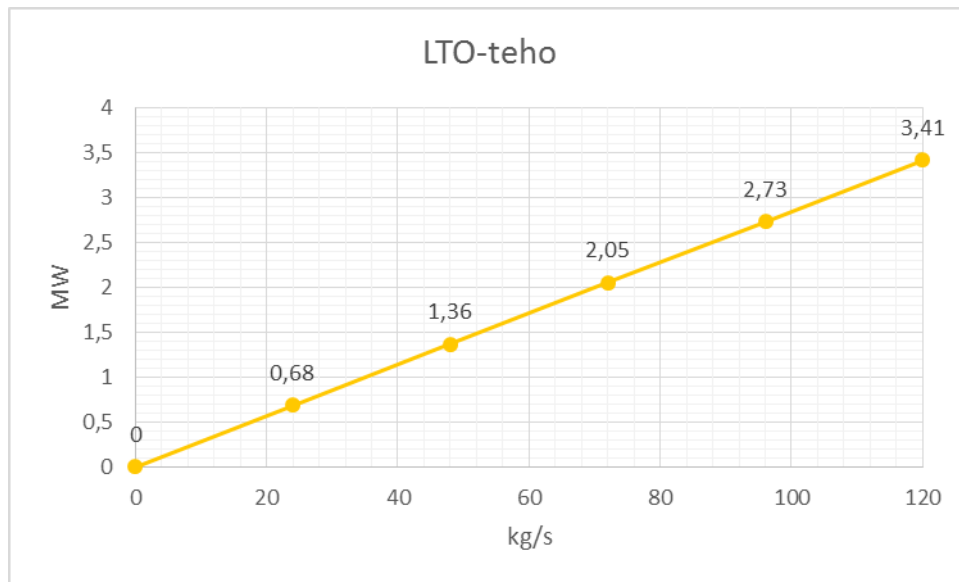


Kuva 35. KP-turbiinin höyryvuodon lämpökamerakuva

8.4 Kattilahallin ja höyryturbiinihallin ilmanvaihdon lämmöntalteenotto

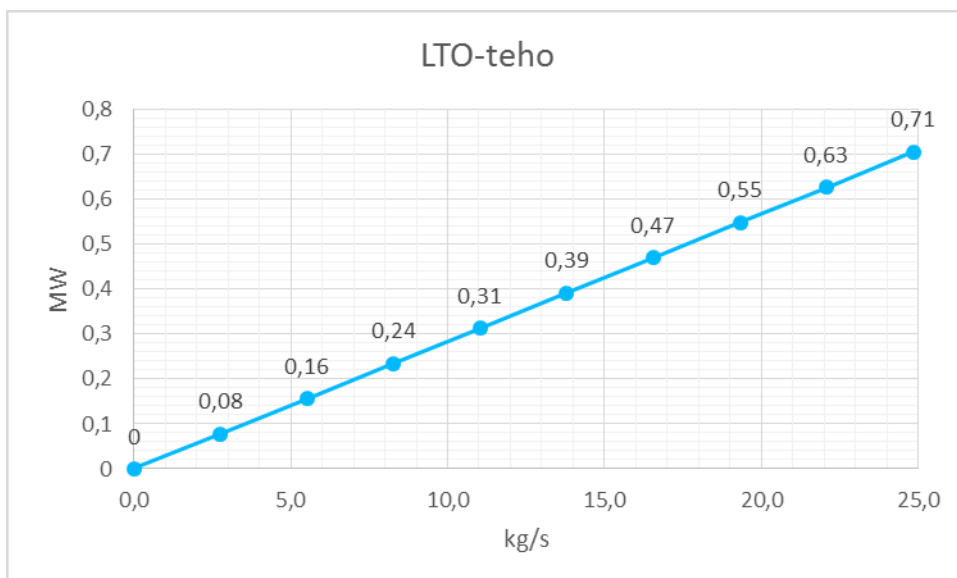
Kombivoimalaitoksessa ei hyödynnetä kattiloiden kattilahalliin luovuttamaa lämpöä prosessissa, kuten perinteisessä voimalaitosprosessissa. Perinteisessä voimalaitosprosessissa kattilan palamisilma otetaan kattilahallista, mutta kombivoimalaitoksessa on lämmöntalteenottokattila, jossa itsessään ei polteta mitään. Kaasuturbiinin tehokkuus kasvaa kun lämpötilaero on mahdollisimman suuri turbiinin yli, tästä syystä kaasuturbiinin ilma otetaan viileämmästä ulkoilmasta. Kattilahallia viilennetään puhaltamalla ulkoilmaa kattilahalliin kymmenellä 10 m³/s puhaltimella ja noin 30 asteinen ilma johdetaan ulos.

Yhden kattilan ollessa päällä kattilahallin ylätason lämpötilaksi mitattiin 31,4 °C ja 29,2 % suhteellista kosteutta (laskuissa käytetään 30 °C ja 30 %:n suhteellista kosteutta). Kattilahallin ilmanvaihdon lämmöntalteenottotehoon vaikuttaa ilmavirtaus. Maksimi-ilmavirtaus on 100 m³/s (120 kg/s). Jos kaikki kymmenen puhallinta on päällä ja koko ilman massavirta saadaan johdettua LTO-laitteelle, on lämmöntalteenottoteho 3,4 MW. Kuvassa 36 näkyy ilman massavirran vaikutus lämmöntalteenottotehoon.



Kuva 36. Ilman massavirran vaikutus lämmöntalteenottotehoon

Höyryturbiinihallia viilennetään puhaltamalla ulkoilmaa höyryturbiinihalliin yhdeksällä 2,3 m³/s puhaltimella ja noin 30 °C:n ilma johdetaan ulos. Höyryturbiinin ollessa päällä-, höyryturbiinihallin alatason lämpötilaksi mitattiin 26,4 °C ja 38,7 % suhteellista kosteutta. Lämmin ilma kuitenkin nousee ylöspäin, joten höyryturbiinihallin katonrajassa lämpötilan voidaan olettaa olevan noin 30 °C ja 30 % suhteellista kosteutta. Näitä oletettuja arvoja käytetään myös laskennoissa. Höyryturbiinihallin ilmanvaihdon lämmöntalteenottotehoon vaikuttaa ilmavirtaus. Maksimi-ilmavirtaus on 20,7 m³/s (25 kg/s). Jos kaikki kymmenen puhallinta on päällä ja koko ilman massavirta saadaan johdettua LTO-laitteelle, on lämmöntalteenottoteho 0,71 MW. Kuvassa 37 näkyy ilman massavirran vaikutus lämmöntalteenottotehoon.

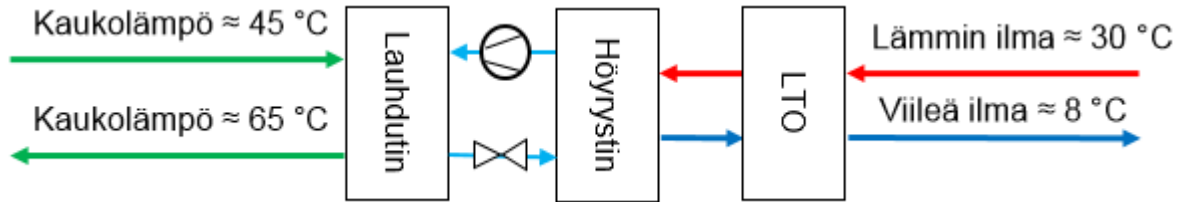


Kuva 37. Ilman massavirran vaikutus lämmöntalteenottoon

Kattilahallin ja höyryturbiinihallin lämmöntalteenottoratkaisuja selvitettiin yhteistyössä Koja Oy:n kanssa. Annetuilla parametreilla (30 °C ja 30 % suhteellista kosteutta) Koja Oy:n laskema kokonaislämmöntalteenottoteho kattilahallissa olisi 311 kW yhden puhaltimen ollessa päällä. Höyryturbiinihallissa Koja Oy:n laskema kokonaislämmöntalteenottoteho olisi 72,3 kW yhden puhaltimen ollessa käynnissä, jotka eivät suuresti eroa liitteessä 7 olevista laskelmista. Koja Oy:n tarjoama lämmöntalteenottoratkaisu olisi sijoittaa lämmöntalteenottopattereita poistoilmaluukkujen etupuolelle, jotka keräisivät noin 30 °C:n ilman lämpöenergiaa. Halleista talteen otettu energia johdettaisiin lämpöpumpuille erillisen välipiirin kautta ja lämpöpumpusta saatu lämpöenergia kaukolämpöveeten. Pattereita tulisi yhteensä 19 kappaletta, 10 kpl kattilahalliin ja 9 kpl höyryturbiinihalliin. Lämpöpumppuja tulisi 4 kappaletta, tehoiltaan 1 MW per lämpöpumppu. Lämpöpumppujen kompressoreiden sähkönkulutus on noin 324 kW per lämpöpumppu, eli yhteensä 1,3 MW. [21.]

Säästölaskelmissa on käytetty vuoden 2017 VuB:n käyttötunteja. Koja Oy:n antama hinta-arvio on suuntaa-antava, sillä putkistovedot on arvioitu karkeasti sekä lämpöpumpun hinta on otettu vastaavan hieman pienemmissä lämpötiloissa toimivasta lämpöpumpusta (oikeanlaisen lämpöpumpun hinta kuitenkin samaa suuruusluokkaa). Kuvassa 38 on yksinkertaistettu kuva LTO-laitteen toiminnasta ja liitteessä 7 on laskentataulukko.

Kattilahallin ja höyryturbiinihallin ilmanvaihdon lämmöntalteenotto toimenpide-ehdotus on jatkoselvitystä vaativissa toimenpiteissä, sillä investoinnin hinta-arvio on erittäin korkea. Suurissa investoinneissa tehdään erikseen esiselvitys ennen investointipäätöstä.



Kuva 38. LTO-laitteen toiminta

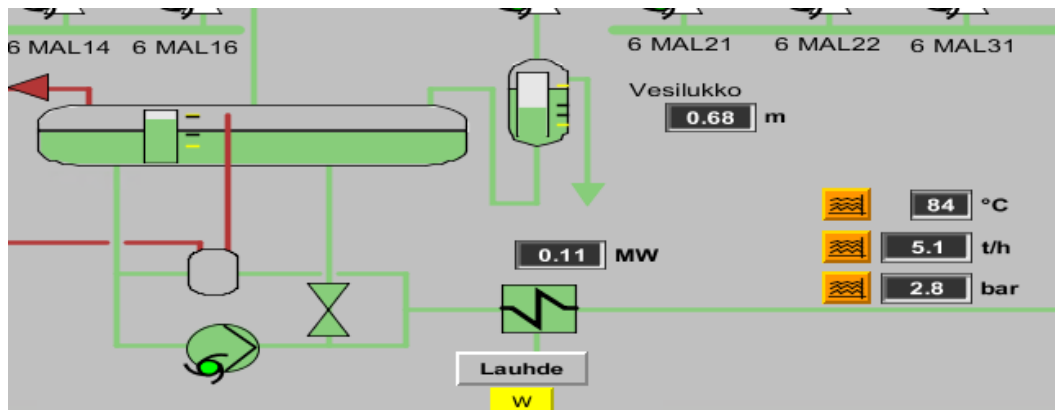
Säästö (lämpö)	19 116 MWh/a (4 MW)
Säästö (sähkö)	- 6 213 MWh/a (1,3 MW)
Säästö yhteensä	12 903 MWh/a (2,7 MW)
Yhteensä	516 120 €/a
Investointi	1 350 000 €
Takaisinmaksuaika	2,6 a

9 Tutkittuja ehdotuksia, jotka eivät tällä hetkellä ole kannattavia

Tässä luvussa esitellään ehdotukset, jotka on todettu kannattamattomiksi nykyisillä ajo-tunneilla tai investointihinnoilla. Ehdotukset voivat kuitenkin muuttua kannattaviksi tulevaisuudessa hintojen ja ajotuntien muuttuessa.

9.1 Apulauhdepumpun muuttaminen taajuusmuuttajakäyttöiseksi

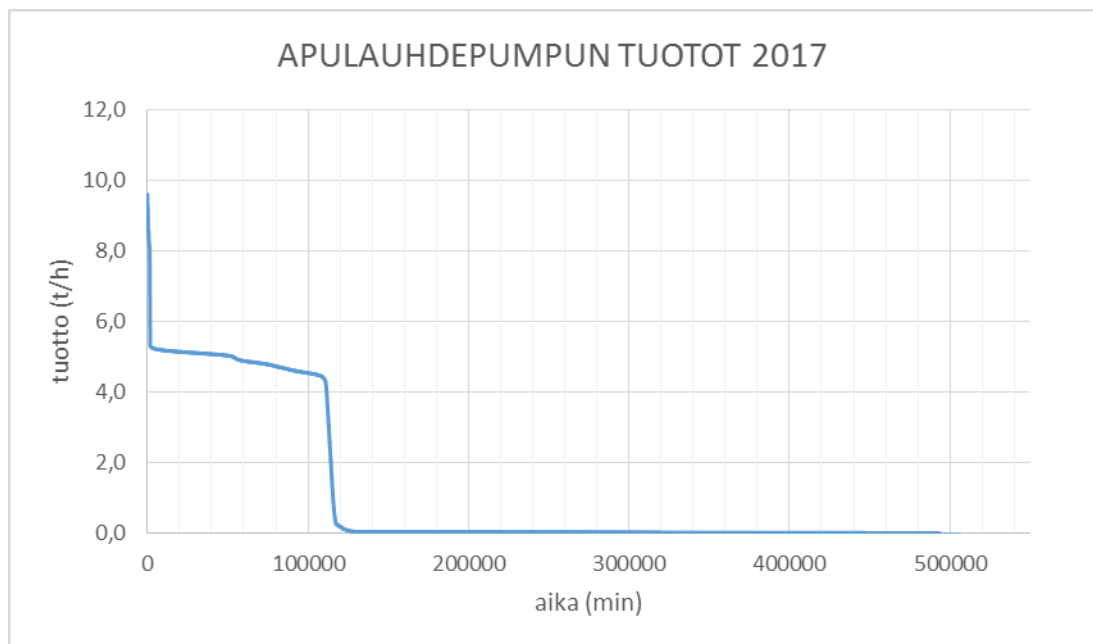
Apulauhdepumppua säädetään kuristussäädöllä. Kuvassa 39 näkyy apulauhdepumpun toiminta normaalissa ajotilanteessa. Kuvassa 39 ei kuitenkaan näy pumpun tuottamaa painetta, vaan tämä testattiin koeajolla avaamalla kuristusventtiili täysin auki (pumpun tuottama paine oli noin 6 bar). Pumppu nostaa paineen noin 0,4 baarista noin 6 baariin, jonka jälkeen kuristusventtiili kuristaa virtauksen (venttiili auki noin 40–45 %) noin 3 baariin.



Kuva 39. Apulauhdepumppu ajotilanteessa [20.]

Apulauhdepumppua olisi mahdollista säätää kierrosnopeussäädöllä. Kierrosnopeussäätöä käytettäessä voidaan pumpulla tuottaa juuri tarvittava paine. Tarvittava pumpuilla tuotettava paine on noin 3,4 bar, joka on mahdollista toteuttaa ilman kuristusventtiiliä taajuusmuuttajalla. Kierrosnopeussäädön myötä pumpun tehon tarve pienenee, johtuen pienemmästä paine-erosta.

Laitevalmistajalta ei ollut ominaiskäyrästää kierrosnopeuksilla, joten pumpun suoritusarvoja arvioitiin laskennallisesti. Pumpun keskimääräinen tuotto on noin 5 t/h (tuotot ja käyttötunnit näkyvät kuvassa 40).



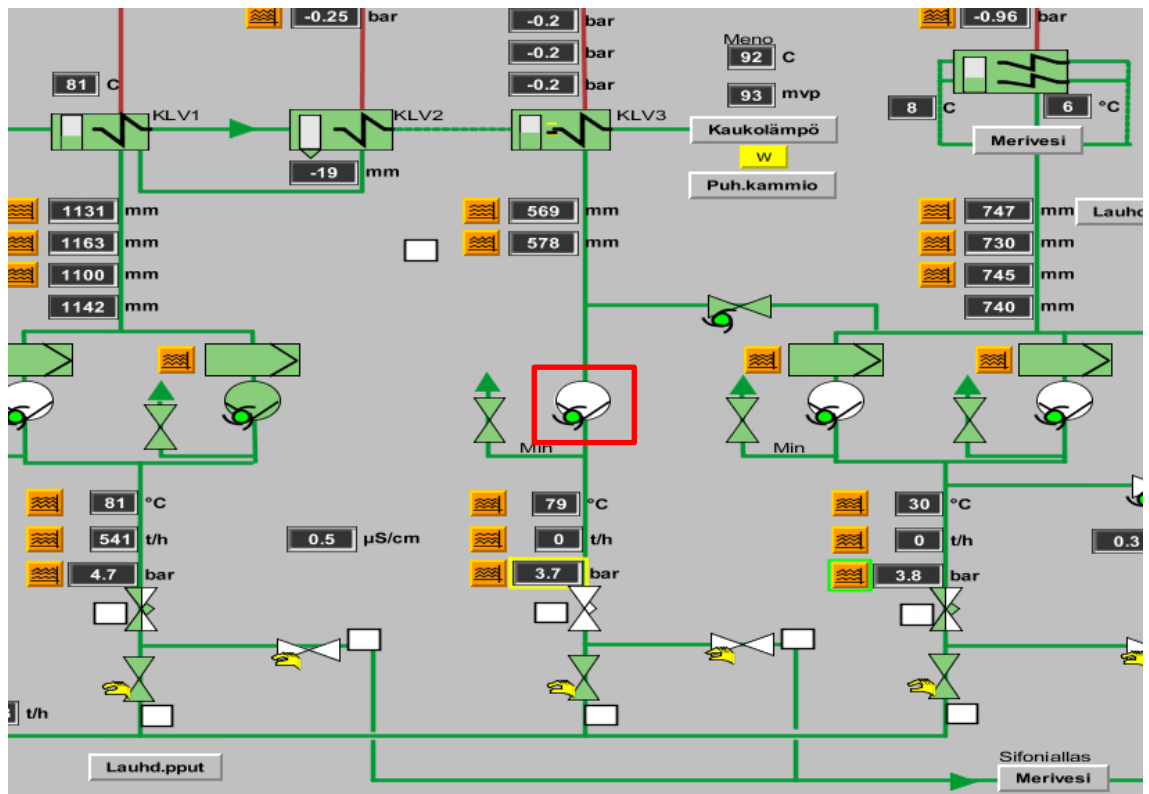
Kuva 40. Apulauhdepumpun tuotot vuonna 2017

Mikäli apulauhdepumppu muutetaan taajuusmuuttajakäyttöiseksi, niiden investointikulut koostuvat taajuusmuuttajan hankinnasta, asennus- ja kytkentätöistä sekä automaatiomuutoksista. Säästölaskemat on toteutettu keskiarvokulutuksen mukaan. Apulauhdepumpun muuttamista taajuusmuuttajakäyttöiseksi ei tämän tarkastelun perusteella ole kannattavaa. Alla on säästöt, mikäli apulauhdepumppu päätetään muuttaa taajuusmuuttajakäyttöiseksi, mutta investointikulut säästöihin verrattuna ovat liian suuret ja tästä syystä takaisinmaksuaika on yli 30 vuotta. Liitteessä 8 on laskentataulukko.

Säästö (sähkö)	4,2 MWh/a
Yhteensä	92,9 €/a
Investointi	3000 €
Takaisinmaksuaika	32,3 a

9.2 Reduktiopumpun muuttaminen taajuusmuuttajakäyttöiseksi

KLV-3:n pintaa säädetään reduktiolauhteen säätöventtiilillä ja reduktiolauhdepumpulla. Vaikkei reduktioajoa ajettaisi, KLV-3:seen vuotava höyry lauhtuu ja sinne kertyy pieni vesimäärä. Kun KLV-3:n pinta nousee riittävän korkealle, reduktiolauhdepumppu käynnistyy hetkellisesti. Kuvassa 41 näkyy reduktiolauhdepumppu automaatiojärjestelmässä. Säätöventtiilin asento riippuu KLV-3:seen lauhtuvasta veden määrästä, eli kuinka paljon reduktioajoa ajetaan. Pumppu siirtää lauhteen syöttövesisäiliöön, joka sijaitsee noin 30 metriä korkeammalla kuin reduktiopumppu. Pumpun pitää pumpata 35 mvp, jotta vesi siirtyy syöttövesisäiliöön (syöttövesisäiliön paine noin 0,4 baaria, joka pumpun täytyy myös voittaa).



Kuva 41. Reduktiolauhdepumppu automaatiojärjestelmässä [20.]

Reduktiolauhdepumppua olisi mahdollista säätää kierrosnopeussäädöllä. Kierrosnopeussäädöllä pumppua voitaisiin ajaa kuhunkin tarpeeseen sopivilla kierroksilla pitäen KLV-3:n pinnankorkeuden oikeana. Säästö tässä tapauksessa syntyisi reduktiopumpun pienemmästä tehontarpeesta.

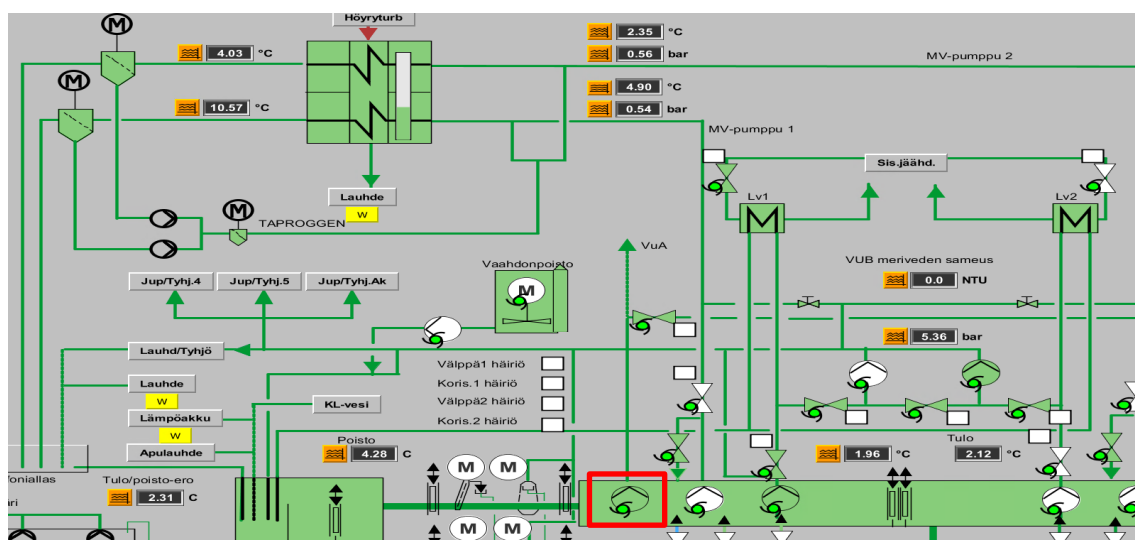
Mikäli reduktiolauhdepumppu muutetaan taajuusmuuttajakäyttöiseksi, sen investointikulut koostuvat taajuusmuuttajan hankinnasta, asennus- ja kytkentätöistä sekä automaatiomuutoksista. Säästölaskemat on toteutettu keskiarvokulutuksen mukaan. Reduktiolauhdepumpun muuttamista taajuusmuuttajakäyttöiseksi ei tämän tarkastelun perusteella ole kannattavaa. Reduktiolauhdepumpun nykyiset käyttötunnit ovat noin 600 h. Mikäli reduktiolauhdeajoa ajetaan yli 2000 tuntia vuodessa suurilla massavirroilla, niin taajuusmuuttajamuutoksen takaisinmaksuaika laskee alle viiteen vuoteen.

Alla on säästöt, mikäli reduktiolauhdepumppu päätetään muuttaa taajuusmuuttajakäyttöiseksi, mutta investointikulut säästöihin verrattuna on liian suuret ja tästä syystä takaisinmaksuaika on yli 17 vuotta. Liitteessä 9 on laskentataulukko.

Säästö (sähkö)	417,7 MWh/a
Yhteensä	566 €/a
Investointi	10 000 €
Takaisinmaksuaika	17,7 a

9.3 Lauhduttimen merivesipumppu 3:en muuttaminen taajuusmuuttajakäyttöiseksi

Lauhduttimen merivesipumppu 3:n tehtävä on kierrättää lauhduttimen läpi merivettä, kun lauhdeajoa ei ajeta. Lauhduttimeen pääsee pieni määrä höyryä sen ollessa varalla, joka lauhdutetaan merivesipumppu 3:lla. Kuvassa 42 näkyy lauhduttimen merivesipumppu 3 automaatiojärjestelmässä. Pumpun kuristusventtiili on jatkuvasti auki asennossa ja pumpun nostama paine lauhduttimella on noin 0,5 baarin luokkaa, joten painetta ei ole mahdollista merkittävästi laskea.



Kuva 42. Lauhduttimen merivesipumppu 3 automaatiojärjestelmässä [20.]

Lauhduttimen merivesipumpun tuottoa ei ole mahdollista säätää kierrosnopeussäädöllä, jos halutaan paineen pysyvän samana. Mikäli pumpun kierrosnopeutta muutetaan, niin samalla paine pienenee. Ainoa tapa pienentää massavirtaa ja pitämällä pumpun paine samana, on investoitava kokonaan uudenlaiseen pumppuun.

10 Yhteenveto

Energiatehokkuuden parantamisella pyritään vähentämään tuotannon päästöjä ja käyttämään energiaa mahdollisimman tehokkaasti. Voimalaitokselle energiatehokkuudella tarkoitetaan energiantuottamista mahdollisimman pienellä polttoainemäärällä, laitoksen hyötysuhteen pysyen mahdollisimman korkeana. Helen Oy:lla kehitetään tuotantoa jatkuvasti energiatehokkaammaksi pienempien sekä suurempien toimien myötä. Vuosaaren B-voimalaitoksen energiatehokkuuden tila on jo erittäin hyvällä tasolla. Sen voi päätellä yli 90 % kokonaishyötysuhteesta.

Vuonna 2017 Vuosaaren B-voimalaitoksen maakaasun kulutus noin 3387 GWh ja kevyen polttoöljyn kulutus noin 0,1 GWh. Kaukolämpöä toimitettiin noin verran ja omakäyttölämpönä kului noin 12,1 GWh. Voimalaitos toimitti sähköä noin 1555,7 GWh (brutto) ja omakäyttösähköä voimalaitoksella kului 20,1 GWh. Raakavedenkäyttö oli noin 121 487 m³ vuonna 2017. [4.]

Kohdekatselmuksen yhteydessä toimenpide-ehdotuksia löytyi 9. Toimenpide-ehdotuksien säästöpotentiaali polttoaine-energiassa on noin 546 MWh vuodessa, joka merkitsisi noin 13 104 €/a säästöjä. Kyseisen polttoaine-energian säästön saavuttaminen edellyttää noin 7690 € investointia. Sähkön säästöpotentiaali on noin 575,7 MWh vuodessa, joka johtaisi 23 743 € säästöihin vuodessa. Kyseisten sähköenergian säästöjen saavuttaminen edellyttää noin 52 580 € investointeja. Säästöpotentiaali lämpöenergiassa on noin 1135,8 MWh vuodessa ja tämä johtaisi 41 712 € säästöihin vuodessa. Lämpöenergian säästöjen saavuttaminen edellyttää 50 000 € investointia. Vedenkulutuksesta löytyi säästöjä 2000 m³ verran vuodessa, joka olisi rahallisesti arvotettuna 6533 €/a. Vedenkulutuksen säästön saavuttaminen edellyttäisi 14 800 € investointia.

Jatkoselvityksiä ja -tutkimuksia vaativia toimenpiteitä on neljä, joista kaksi on esiselvitysvaiheessa. Toimenpide-ehdotukset jotka on todettu kannattamattomiksi nykyisillä ajotunneilla tai investointihinnoilla, löytyi yhteensä kolme. Ehdotukset voivat kuitenkin muuttua kannattaviksi tulevaisuudessa hintojen ja ajotuntien muuttuessa.

Lähteet

- 1 Energiavirasto. Verkkoaineisto. <<https://www.energiavirasto.fi/suurten-yritysten-pakolliset-katselmukset>>. Luettu 20.9.2018.
- 2 Voimalaitoksen energia-analyysimalli. 2015. Verkkoaineisto. Motiva. <https://www.motiva.fi/ratkaisut/energiakatselmustoiminta/tem_n_tukemat_energiakatselmukset/energiakatselmusmallit/voimalaitoksen_energia-analyysi>. Päivitetty 17.11.2016. Luettu 20.9.2018.
- 3 Energiatehokkuus. 2018. Verkkoaineisto. Helen Oy. <<http://intranet/Yritystietoa/vastuullisuus/Sivut/Energiatehokkuus.aspx>>. Päivitetty 15.6.2018. Luettu 18.12.2018.
- 4 Hanioja, Jyrki. 2018. Vuosittaiset käyttöluvut. Yrityksen sisäinen dokumentti. Helen Oy.
- 5 Hanioja, Jyrki. 2018. VuB Toimintakuvaukset. Yrityksen sisäiset dokumentit. Helen Oy.
- 6 Hanioja, Jyrki. 2018. Powerpoint-esitys: Helenin energiahankinta ja Vuosaaren voimalaitokset. Yrityksen sisäinen dokumentti. Helen Oy.
- 7 Lämmitystarveluvut. 2018. Verkkoaineisto. Ilmatieteen laitos. <<https://ilmatieteenlaitos.fi/lammitystarveluvut>>. Luettu 22.11.2018.
- 8 Partanen, Markku. 2018. Prosessimestari, Helen Oy, Helsinki. Keskustelut syksyllä 2018.
- 9 Nord Pool Sport- sähköpörssin kuukausikeskiarvot. 2018. Verkkoaineisto. Tilastokeskus. <https://www.stat.fi/til/ehi/2017/04/ehi_2017_04_2018-03-13_kuv_006_fi.html>. Luettu 30.11.2018.
- 10 Kaukolämmön energia- ja vesivirtamaksut. 2018. Verkkoaineisto. Helen Oy. <<https://www.helen.fi/globalassets/hinnastot-ja-sopimusehdot/lampo-ja-jaahdytys/kotitaloudet/kaukol%C3%A4mm%C3%B6n-energia--ja-vesivirtamaksut.pdf>>. Luettu 14.12.2018.
- 11 Salo, Mikko. 2018. Vuoromestari, Helen Oy, Helsinki. Keskustelut syksyllä 2018.
- 12 Lampinen, Taneli. 2018. Kehityspäällikkö, Helen Oy, Helsinki. Keskustelut syksyllä 2018.
- 13 Löken, Egil. 1995. Voimalaitos Vuosaari B höyryturpiinin järjestelmä. Yrityksen sisäinen dokumentti. Helen Oy.

- 14 IFS kunnonhallintajärjestelmä
- 15 VuA vedenkäsittely. G.W.Berg & Co. 1996. Yrityksen sisäinen dokumentti. Helen Oy.
- 16 Antikainen, Aki. 2018. Laitoksenhoitaja-laborantti, Helen Oy, Helsinki. Keskustelut syksyllä 2018.
- 17 VuB koulutusaineista lauhteenkäsittely. G.W.Berg & Co. 1996. Yrityksen sisäinen dokumentti. Helen Oy.
- 18 KL-lisävesi. G.W.Berg & Co. 1996. Yrityksen sisäinen dokumentti. Helen Oy.
- 19 Tuontipolttoaineiden hinnat. 2018. Verkkoaineisto. Tilastokeskus. <https://www.stat.fi/til/ehi/2017/04/ehi_2017_04_2018-03-13_tie_001_fi.html>. Luettu 30.11.2018.
- 20 Siemens SPPA T-3000 Automaatiojärjestelmä
- 21 Kuivainen, Janne. 2018. Ivi-asentaja, Helen Oy, Helsinki. Keskustelut syksyllä 2018.
- 22 Toijanen, Tero. 2018. Vuoromestari, Helen Oy, Helsinki. Keskustelut syksyllä 2018.
- 23 Lämpötila, lämpölaajeneminen ja ideaalikaasu. 1997. Verkkoaineisto. <<http://butler.cc.tut.fi/~trantala/opetus/files/LO-76102P.Lampooppi/LO97.ss1-62.pdf>>. Luettu 25.9.2018.
- 24 Hämäläinen, Tomi. Lehtori, Metropolia, Helsinki. Sähköpostikeskustelut syksyllä 2018.
- 25 Lampinen, Markku & Seppälä, Ari. 2008. Kemiallinen termodynamiikka energiatekniikassa, Aalto-yliopiston teknillinen korkeakoulu.
- 26 Kontu, Kaisa. 2017. Lämpöpumppu luentokalvot. Metropolia.
- 27 Huhtinen, Markku; Korhonen, Risto; Pimiä, Tuomo; Urpalainen, Samu. 2013. Voimalaitostekniikka. 2.Painos. Tampere: Juvenes Print.
- 28 Toimenpiteen taloudellinen kannattavuus. 2018. Verkkoaineisto. Motiva. <https://www.motiva.fi/files/14771/Toimenpiteen_taloudellinen_kannattavuus_laskurin_ohje_2018.pdf>. Luettu 29.11.2018.

- 29 Leppälahti, Jan-Peter. 2018. Tuotantopäällikkö, Helen Oy, Helsinki. Keskustelut syksyllä 2018.
- 30 Nurmi, Kalle. 2018. Tuotannon kehityspäällikkö, Helen Oy, Helsinki. Keskustelut syksyllä 2018.
- 31 Hanioja, Jyrki. 2018. Yksikön päällikkö, Helen Oy, Helsinki. Keskustelut syksyllä 2018.
- 32 TOPi Energiatiedon hallintajärjestelmä
- 33 Laakso, Veli-Pekka. 2018. Sähköasentaja, Helen Oy, Helsinki. Keskustelut syksyllä 2018.
- 34 Itänen, Jukka. 2018. Tuotannon asiantuntija, Helen Oy, Helsinki. Keskustelut syksyllä 2018.
- 35 Wilén, Kari. 2008. VuB Kaasuturbiinin voiteluöljyn lämmön talteenotto. Insinööri-työ. Stadia Helsingin Ammattikorkeakoulu.
- 36 Muukkonen, Karoliina. 2018. Vu lämpöpumppu esiselvitys. Yrityksen sisäiset dokumentit. Helen Oy.
- 37 Koulutusmateriaali ABB höyryturbiini. 1997. Yrityksen sisäiset dokumentit. Helen Oy.
- 38 Kallio, Antti. 2018. Prosessi-insinööri, Helen Oy, Helsinki. Keskustelut syksyllä 2018.
- 39 Steam tables. 2015. Verkkoaineisto. SlideShare. <https://www.slideshare.net/muhammad_anam/steam-tables>. Luettu 26.11.2018.
- 40 Ekholm, Katri. 2017. Eroosiokorroosion ja vesipisaraeroosion hallinta vastapaineturbiinissa. Diplomityö. Tampereen teknillinen yliopisto.

Syöttövesisäiliön hönkälauhduttimen lauhteiden talteenotto apulauhdessa- liöön

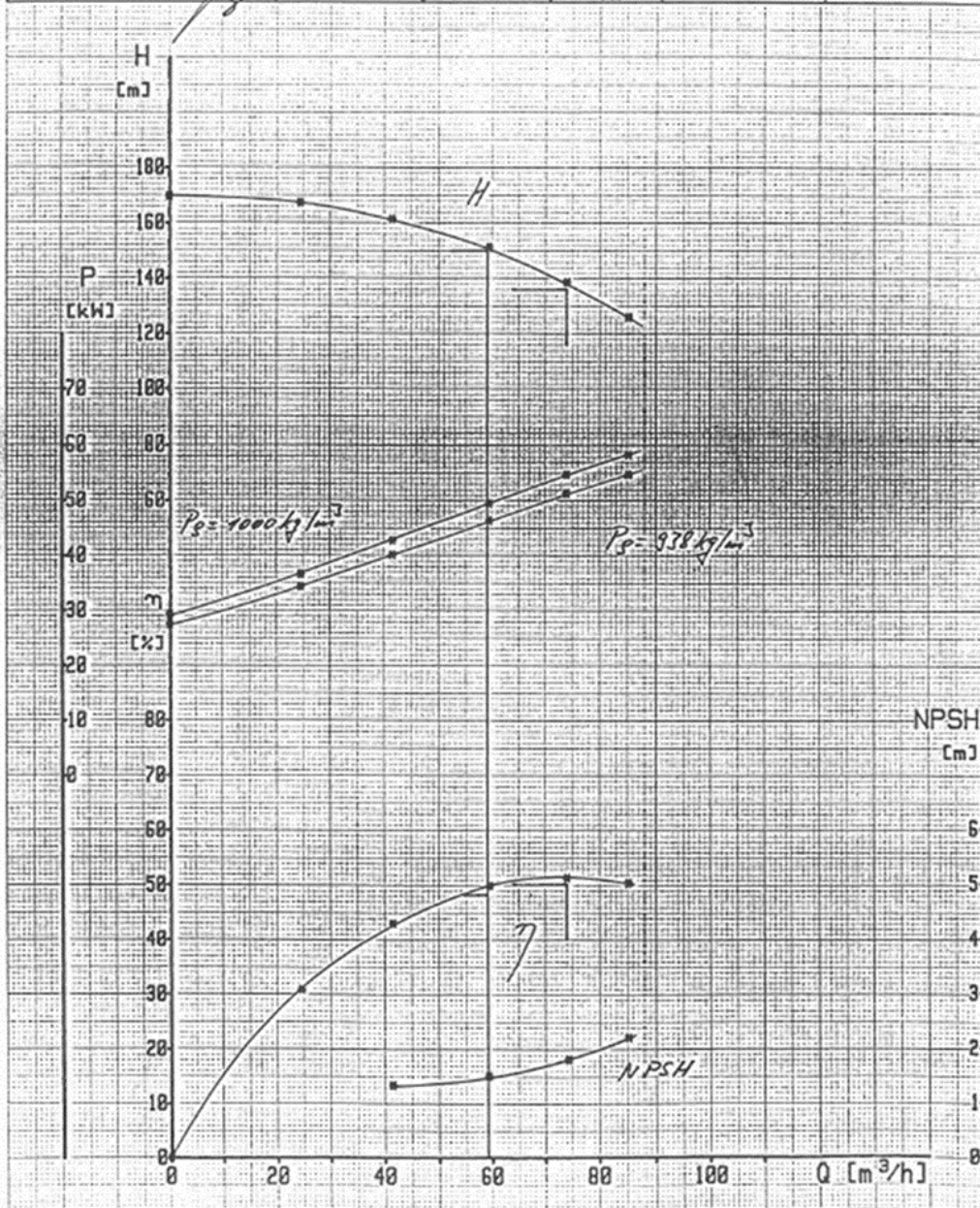
Hölkähöyrylauhduttimen lauhteiden talteenotto	
hölkähöyrylauhduttimen lauhteen lämpötila	50 °C
virtaus	172 m ³ /kk
virtaus	2000 m ³ /a
vesijohtoveden hinta	1,41 €/m ³
vesijohtoveden lämpötila	10 °C
veden ominaislämpökapasiteetti	4190 J/kgs
säästö (vesi)	2820 €
säästö (lämpö)	10,6 kWh
säästö (lämpö)	93 MWh/a
lämmön hinta	40 €/MWh
säästöä vuodessa (lämpö)	3724 €/a
säästöön vuodessa (vesi)	2820 €/a
yhteensä	6544 €/a

Matalapainesyöttövesipumppujen muuttaminen taajuusmuuttajakäyttöiseksi

MP-syöttövesipumppujen taajuusmuuttaja muutos			
Massavirta	45	t/h	
Nostokorkeus	160	m	
Hyötysuhde	45 %		
Tiheys (vesi)	1000	kg/m ³	
Putoamiskiikkyvyys	9,81	m/s ²	
Teoreettinen moottorin ottamateho ilman taajuusmuuttajaa			19,6 kW
Todellinen moottorin ottamateho ilman taajuusmuuttajaa			43,6 kW
Massavirta	45	t/h	
Nostokorkeus	95	m	
Teoreettinen moottorin ottamateho taajuusmuuttajan kanssa			11,6 kW
Todellinen moottorin ottamateho taajuusmuuttajan kanssa			25,9 kW
Säästö sähköenergiassa yhden pumpun suhteen			17,7 kW
K4 käyttötunnit (2017)	4558	h	
K5 käyttötunnit (2017)	3476	h	
K4 säästö	80,7	MWh	
K5 säästö	61,6	MWh	
Säästö yhteensä	142,3	MWh	
Sähkön hinta	45	€/MWh	
Säästö euroina	6403,6	€/a	
Investoinnin hinta	40 000	€	
Suora takaisinmaksuaika	6,2	a	

Matalapainesyöttövesipumppujen ominaiskäyrä

SULZER		Zeichnung-Nr. Drawing-No.	Material Material	C-Nr. C. No.	1-1.1-95715/1	
Abnahme-Prüfkurve Test curve		Laufrad Impeller	2-067540	1.4008	Typ Type	ZA 50 - 3400
Kunde Customer		Leitrad Diffuser			Kennwort Code	
Auftrags-Nr. Order No.		Gehäuse Casing	0-092992	1.0619.01	Vuossari B	
Bestell-Nr. Indent No.		D ₂ ausgef. D ₂ design.	∅ 350	Schiff. Vane	c	350
Pos.-Nr. Item No.		D ₂ min. ∅		Schiff. Vane	c	
Dateum Date		D ₂ max. ∅		Entlastung: Scheibe / Kolben, Rückschäufeln, Einzel Balancing: Disc / Piston, Back Vanes, Holes		Protokoll Nr. 1 Test Report No.
gez.: sig.:				n = 2970 1/min.		i = 1 Stufen Stages
Datum Date		Name		vom dated		11.09.96
11.09.96		[Signature]		100 mm		50 mm



Korkeapaineen alentaminen 40 baariin yhden kaasuturbiinin ajossa

Korkeapainesyöttövesipumppujen painetason muutos		
Massavirta	250	t/h
Nostokorkeus	800	m
Hyötysuhde	80 %	
Tiheys (vesi)	1000	kg/m ³
Putoamiskiihtyvyys	9,81	m/s ²
Teoreettinen moottorin ottamateho	545,0	kW
Todellinen moottorin ottamateho	681,3	kW
Massavirta	250	t/h
Nostokorkeus	400	m
Teoreettinen moottorin ottamateho	272,5	kW
Todellinen moottorin ottamateho	340,6	kW
Säästö sähköenergiassa yhden pumpun suhteen	340,6	kW
Käyttötunnit yhden KT ajossa yhteensä (2017)	1704	h
Säästö	580,4	MWh
Sähkön hinta	40	€/MWh
Säästö euroina	23217,0	€/a

Tulistetun höyryn ominaisuuksia

SUPERHEATED STEAM

v in m^3/kg , u in kJ/kg , h in kJ/kg , s in $\text{kJ}/(\text{kg}\cdot\text{K})$

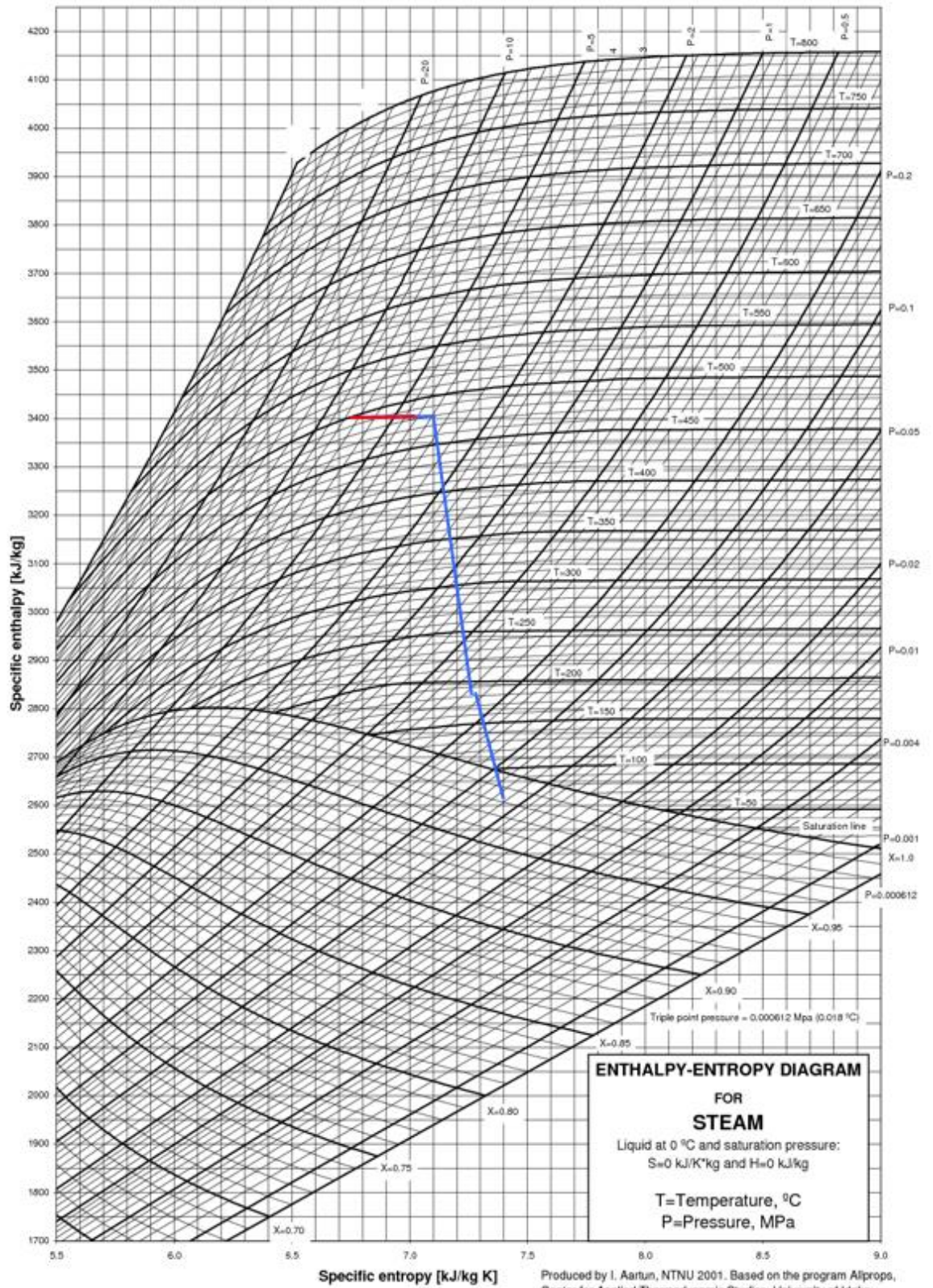
P = 40 bar					P = 60 bar			
T	v	u	h	s	v	u	h	s
280	0.0555	2680	2902	6.257	0.0332	2605	2804	5.925
320	0.062	2767	3015	6.455	0.0387	2720	2952	6.184
360	0.0679	2846	3117	6.621	0.0433	2811	3071	6.378
400	0.0734	2920	3213	6.769	0.0474	2893	3177	6.541
450	0.08	3010	3330	6.936	0.0521	2989	3302	6.719
500	0.0864	3100	3445	7.090	0.0567	3082	3422	6.880
550	0.0927	3189	3560	7.233	0.061	3175	3541	7.029
600	0.0988	3279	3674	7.369	0.0653	3267	3658	7.168
650	0.1049	3370	3790	7.497	0.0694	3360	3776	7.299
700	0.1109	3462	3906	7.620	0.0735	3453	3894	7.423
750	0.1169	3556	4023	7.737	0.0776	3547	4013	7.542

SUPERHEATED STEAM

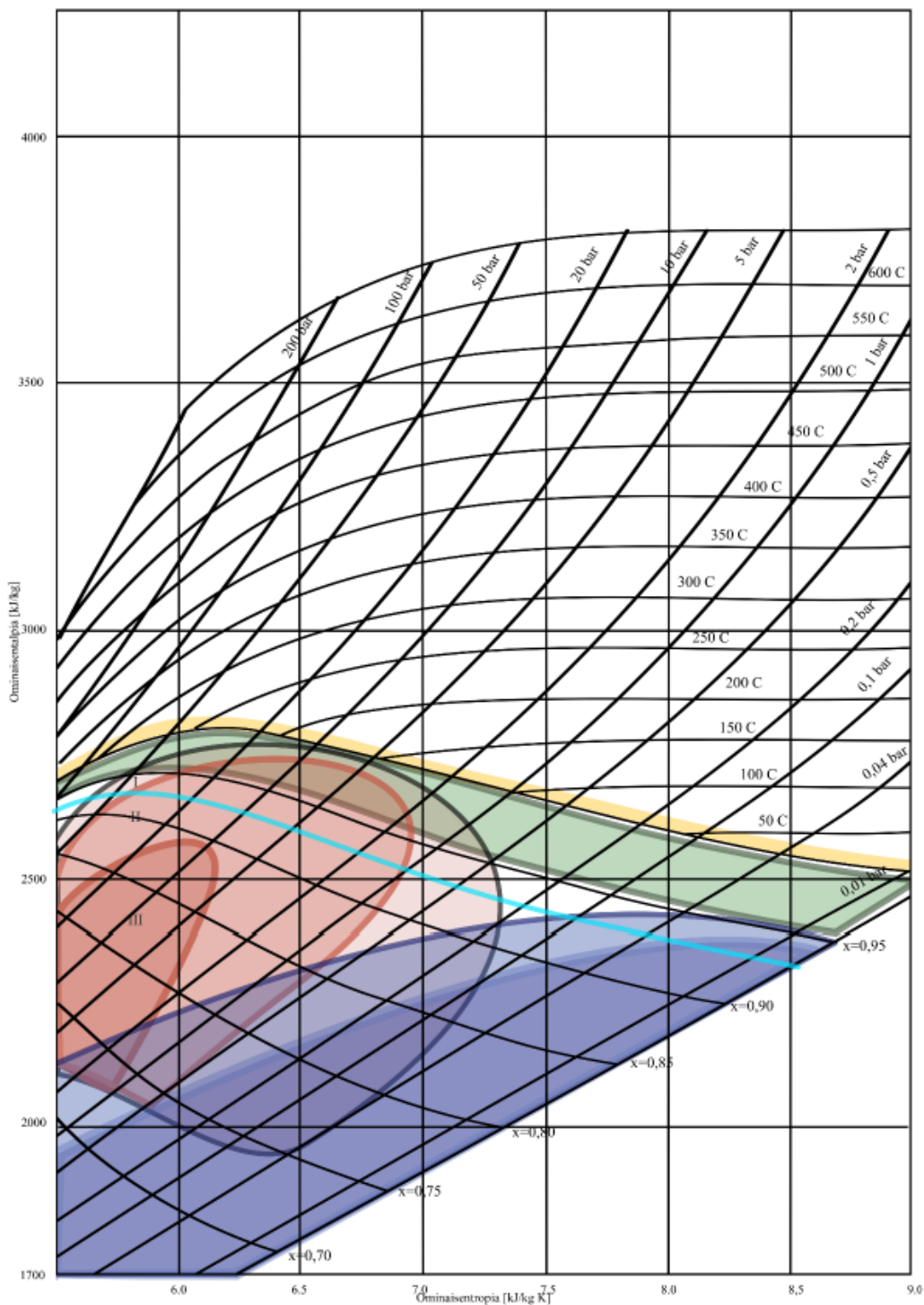
v in m^3/kg , u in kJ/kg , h in kJ/kg , s in $\text{kJ}/(\text{kg}\cdot\text{K})$

P = 80 bar					P = 100 bar			
T	v	u	h	s	v	u	h	s
320	0.0268	2663	2877	5.949	0.0193	2588	2781	5.710
360	0.0309	2773	3020	6.182	0.0233	2729	2962	6.006
400	0.0343	2864	3138	6.363	0.0264	2832	3096	6.212
450	0.0382	2966	3272	6.555	0.0297	2944	3241	6.419
500	0.0417	3065	3398	6.724	0.0328	3046	3374	6.597
550	0.0451	3160	3521	6.878	0.0356	3145	3501	6.756
600	0.0485	3254	3642	7.020	0.0384	3241	3625	6.903
650	0.0517	3349	3762	7.154	0.041	3338	3748	7.040
700	0.0548	3444	3882	7.281	0.0436	3434	3870	7.169
750	0.0579	3540	4003	7.402	0.0461	3532	3993	7.291

Höyryn paisunta höyryturbiinissa yhden kaasuturbiinin ajossa



Tyypilliset materiaaliongelmat mollier-diagrammin eri alueilla



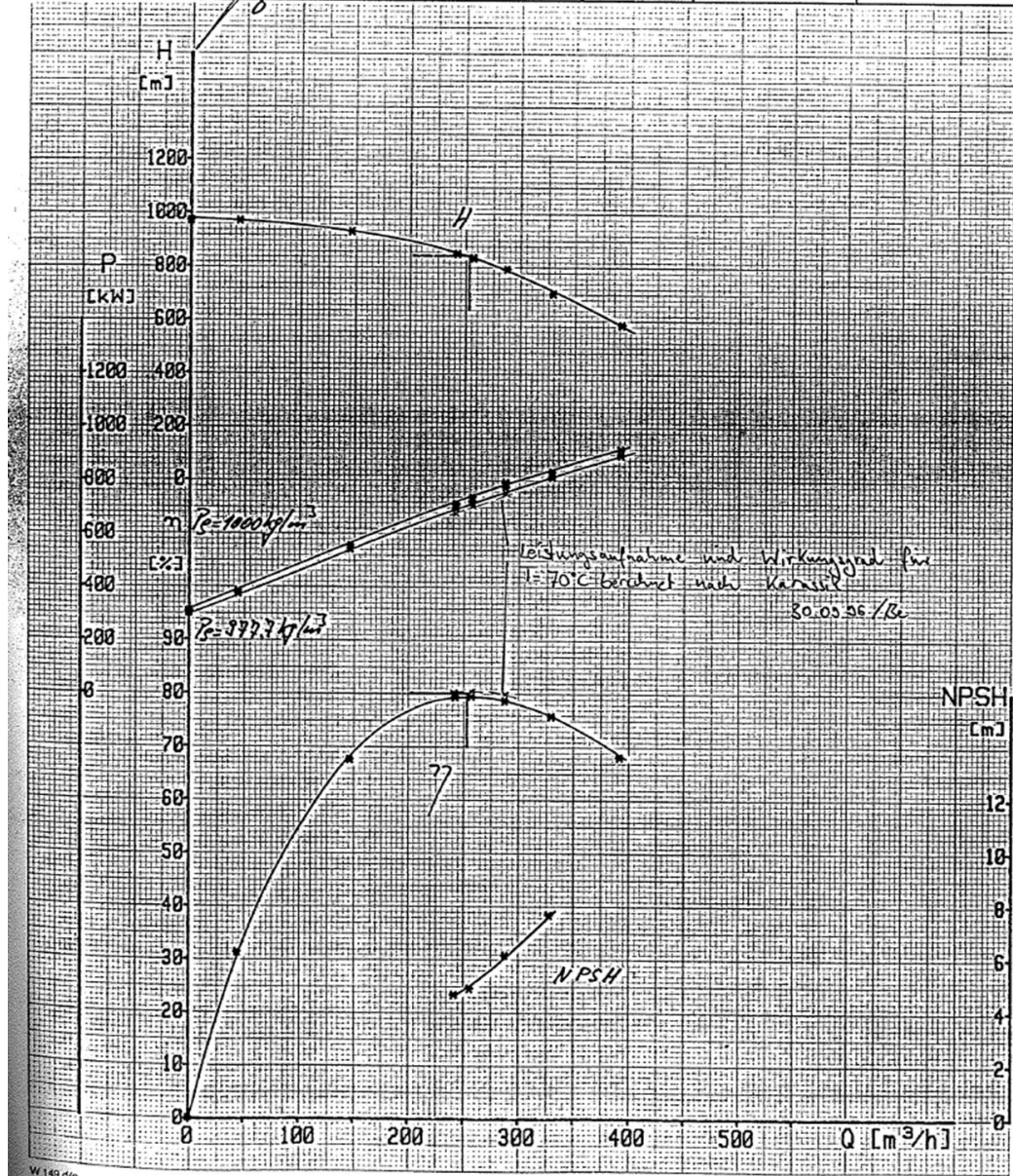
Vihreä alue = faasimuutoalue

Punainen alue = eroosiokorroosioalue (I = lievä, II = vakava, III= erittäin vakava)

Sininen alue = vesipisaraeroosioalue

Korkeapainesyöttövesipumpun pumppukäyrä

SULZER		Zeichnung-Nr. Drawing-No.	Material Material	C-Nr. C. No.
Abnahme-Prüfkurve Test curve		1-002387	1.4008	1-1.1-95714/1
Kunde Customer	HELINGIN ENERGIA	1-002383	1.4008	Typ Type
Auftrags-Nr. Order No.		1-002941	1.4008	MC 100-300/6
Bestell-Nr. Order No.	E 92420 TP 1	1-094371	1.4408	Kennwort Code
Pos.-Nr. Item No.	4 LAC 11 AP001	D ₂ ausgef. ∅ 300 D ₂ design. 300	Schfl. Vane ∅ 300 Schfl. Vane 300	Entlastung: Scheibe / Kolben, Rückschäufeln, Einzel Balancing: Disc / Piston, Back Vanes, Holes
gez.: sig.:		D ₂ min. ∅	Schfl. Vane ∅	Protokoll Nr. 1 C vom dated 6.09.96 Test Report No.
Datum Date	6.09.96 Name Name	D ₂ max. ∅		n = 3110 1/min. i = 6 Stufen Stages
				DN ₁ 200 mm DN ₂ 100 mm



W 140 d/e

Paineilman tuotto pienemmällä kompressorilla

Nykyinen paineilmakompressori		
Käyttötunnit	8760	h
Kevennys	184,0	s
Kevennys teho	18,0	kW
Tuotto	50,0	s
Tuotto teho	90,5	kW
Tuotto/kevennys	0,27	
Kevenyksellä	115	MWh
Tuotolla	215	MWh
Sähkön kulutus yhteensä	330	MWh
Sähkön hinta	40	€/MWh
Paineilman hinta	13210	€/a
Uusi paineilmakompressori		
Teho	22	kW
Sähkön kulutus	193	MWh
Energiasäästö	138	MWh
Säästö	5502	€
Paineilmakompressorin hinta	8300	€
Takaisinmaksuaika	1,5	a
Paineilmavuodot		
Vuotojen määrän arvio	100	l/min
Vuotojen määrän arvio	52560	m3/a
Energiahäviö	5,7	MWh
Säästö	228,5	€

Apukattilan paineistaminen omakäyttöhöyryllä

Maakaasun kulutus apukattilassa		
maakaasun lämpöarvo	10	kWh/m ³ n
maakaasun kulutus apukattilassa 2017	1321079	Nm3
maakaasun kulutus apukattilassa 2017	13211	MWh
maakaasun hinta	24	€/MWh
apukattilan maakaasun hinta 2017	317059	€
maakaasua apukattilaan kun KT4 tai KT5 ei ole käytössä	1266431	Nm3
maakaasua apukattilaan kun KT4 ja KT5 ovat käytössä	54648	Nm3
maakaasua apukattilaan kun KT4 ja KT5 ovat käytössä	546	MWh
säästö maakaasun hinnassa	13115	€

Maakaasunkulutus apukattilassa 2017	
tammi	4 140,00
helmi	5 170,00
maalis	5 030,00
huhti	22 740,00
touko	186 430,00
kesä	94610,0
heinä	295 094,60
elo	247 614,00
syys	209 750,00
loka	163 150,00
marras	77 780,00
joulu	9 570,10
yhteensä	1 321 078,70

Savukaasun lämpötilan laskeminen absorptiolämpöpumpulla

LTO-teho			Kuivan savukaasun ominaislämpökapasiteetti			
savukaasun massavirta, \dot{m}_s	104	kg/s	Aine	Moolia	%	kJ/kgC
sivuvirta %	20%		CO ₂ (g)	45,753	12%	0,844
suhteellinen kosteus alussa, φ_1	50%		N ₂ (g)	337,9999	88%	1,04
suhteellinen kosteus lopussa, φ_2	100%		Yhteensä	383,75	100%	1,0166
paine alussa, p_1	1,03	bar				
paine lopussa, p_2	1,01	bar				
			Veden ominaislämpökapasiteetit			
kokonaispaine, p_{kok}	1,02	bar	H ₂ O (g) (-10...40 °C)	1,85	kJ/kg°C	
savukaasun lämpötila alussa, T_1	52	°C	H ₂ O (l) (0...100 °C)	4,186	kJ/kg°C	
savukaasun lämpötila alussa, T_1	325	K				
savukaasun lämpötila lopussa, T_2	25	°C	Savukaasun vesipitoisuusvirrat			
savukaasun lämpötila lopussa, T_2	298	K	massavirta, mv kostea	520	kg/s	
kylläisen höyryn paine, $p_{kyläinen\ höyry1}$	0,1361	bar	tilavuusvirta, Vv kostea	488,3258	m ³ /s	
kylläisen höyryn paine, $p_{kyläinen\ höyry2}$	0,02642	bar	massavirta, mv kuiva	497,8582	kg/s	
höyryn osapaine, p_{h1}	0,0681	bar	tilavuusvirta, Vv kuiva	385,9366	m ³ /s	
höyryn osapaine, p_{h2}	0,02642	bar	massavirta, mv vesi	23,1265	kg/s	
savukaasun osapaine, p_{s1}	0,9519	bar	tilavuusvirta, Vv vesi	102,3892	m ³ /s	
savukaasun absoluuttinen kosteus alussa, x_1	0,0445	kgH ₂ O/kgk.s.				
savukaasun absoluuttinen kosteus lopussa, x_2	0,01654	kgH ₂ O/kgk.s.	Lämpöteho kaukolämpö			
savukaasun ominaislämpökapasiteetti, c_{ps}	1,0166	kJ/kg°C	kl-veden tulolämpötila, T_1	45	°C	
höyryn ominaislämpökapasiteetti, c_{ph}	1,85	kJ/kg°C	kl-veden menolämpötila, T_1	80	°C	
entalpia alussa, h_{k1}	165,6823	kJ/kg k.s.	COP, lämmitys	1,7		
entalpia lopussa, h_{k2}	65,4999	kJ/kg k.s.	massavirta, m_{kl}	165	kg/s	
höyryn osatiheys, ρ_{h1}	0,04534	kg/m ³	Lämpöteho, Q_L	24,2	MW	
savukaasun osatiheys, ρ_{s1}	1,01952	kg/m ³				
kokonaistiheys, ρ_{kok1}	1,06486	kg/m ³	MP-höyryn määrä			
ilman tiheys, ρ_{ilma}	1,29	kg/m ³	MP-höyryn teho, Q_K	14,3	MW	
kaasuvakio, R	8,3140	J/molK				
vesihöyryn molaarinen massa, M_h	0,0180	kg/mol	Vesi talteen			
veden höyrystymislämpö (25 °C)	2440,5	kJ/kg	Käyttötunnit	4000	h	
veden höyrystymislämpö (52 °C)	2377,3	kJ/kg	Vuodessa vettä	40053,59	m ³	
kondenssivesi	2,8	kg/s	Veden hinta	1,41	€/m ³	
kondenssivesi	10,0	m ³ /h	Säästö	56475,6	€	
LTO-teho	10,0	MW				
MP-höyry			MP-virtaus nykyään			
MP-höyry	54	t/h	MP-höyry	54	t/h	
Lämpötila	100	°C	Lämpötila	220	°C	
Entalpia	420	kJ/kg	Paine	6	bar	
			Entalpia	2870	kJ/kg	
Sähköteho pois turbiinilta						
MP-höyryn teho, Q_K	14,3	MW				
Lämpötila	5,8	kg/s				
MP-höyry ennen VP-turbiinia	2870	kJ/kg				
MP-höyry jälkeen turbiinin	2400	kJ/kg				
Sähköteho	2,7	MW				

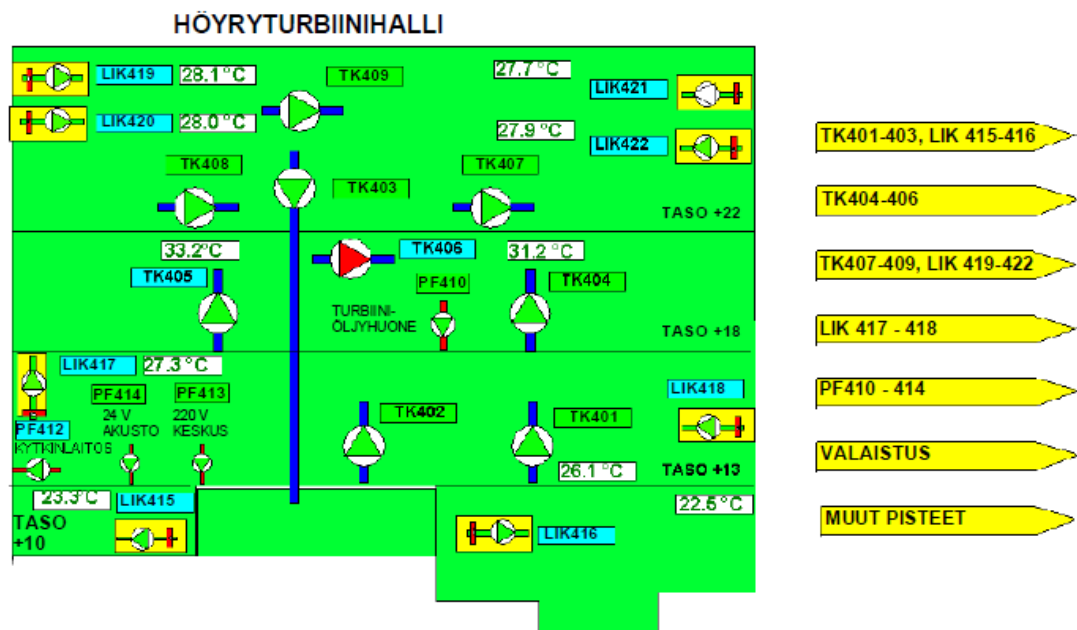
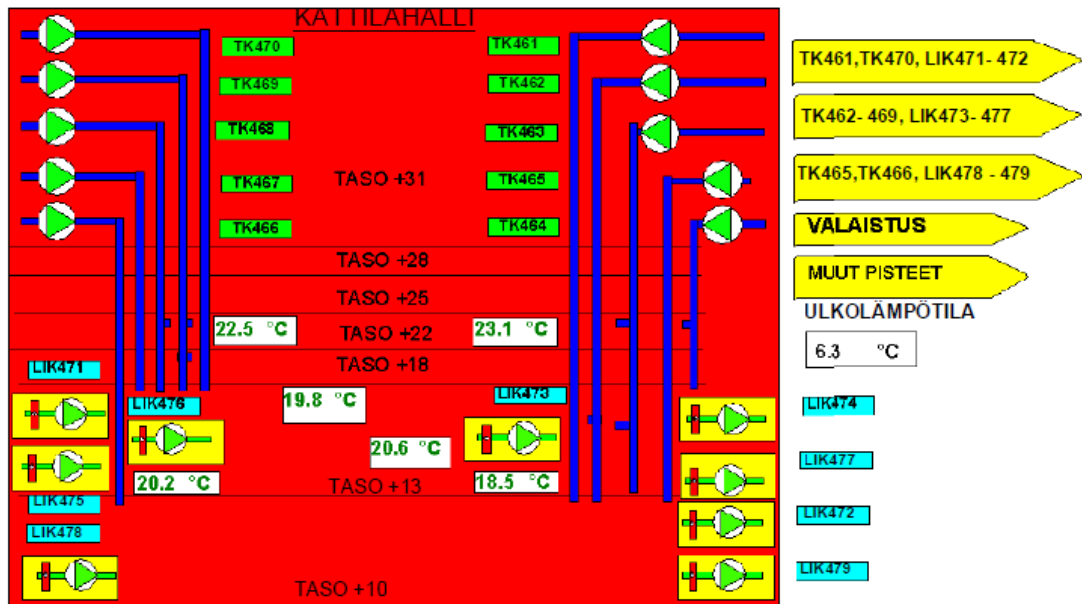
Kattilahallin ilmastoinnin lämmöntalteenotto

Maksimi ilmvirtauksella lämmöntalteenottoteho				
LTO-teho		Veden ominaislämpökapasiteetit		
ilman massavirta, \dot{m}_s	120	kg/s	H2O (g) (-10...40 °C)	1,85 kJ/kg°C
kuinka monta LTO-puhallinta on päällä (0-10)	10	kpl	H2O (l) (0...100 °C)	4,186 kJ/kg°C
suhteellinen kosteus alussa, φ_1	30 %		Ilma	1,006 kJ/kg°C
suhteellinen kosteus lopussa, φ_2	97 %			
paine alussa, p_1	1,03	bar	Ilman vesipitoisuusvirrat	
paine lopussa, p_2	1,00	bar	massavirta, mv kostea	116,5 kg/s
kokonaispaine, p_{kok}	1,02	bar	tilavuusvirta, Vv kostea	99,8962 m ³ /s
ilman lämpötila alussa, T_1	30	°C	massavirta, mv kuiva	115,5918 kg/s
ilman lämpötila alussa, T_1	303	K	tilavuusvirta, Vv kuiva	89,6061 m ³ /s
ilman lämpötila lopussa, T_2	8,2	°C	massavirta, mv vesi	0,9082 kg/s
ilman lämpötila lopussa, T_2	281,2	K	tilavuusvirta, Vv vesi	10,2901 m ³ /s
kylläisen höyryn paine, $p_{\text{kylläinen höyry1}}$	0,0424	bar		
kylläisen höyryn paine, $p_{\text{kylläinen höyry2}}$	0,00873	bar	Lämpöteho kaukolämpö	
höyryn osapaine, p_{h1}	0,0127	bar	COP, lämmitys	3,6
höyryn osapaine, p_{h2}	0,0084681	bar	Lämpöteho	4,72 MW
ilman osapaine, p_{s1}	1,0073	bar		
ilman kosteus alussa, x_1	0,0079	kgH ₂ O/kgk.s.	Kompressoriteho	
ilman kosteus lopussa, x_2	0,00521	kgH ₂ O/kgk.s.	Kompressoriteho	1,31 MW
ilman ominaislämpökapasiteetti, c_{ps}	1,0060	kJ/kg°C		
höyryn ominaislämpökapasiteetti, c_{ph}	1,85	kJ/kg°C		
entalpia alussa, h_{k1}	49,7058	kJ/kg k.s.		
entalpia lopussa, h_{k2}	21,2892	kJ/kg k.s.		
höyryn osatiheys, ρ_{h1}	0,00909	kg/m ³		
ilman osatiheys, ρ_{s1}	1,15712	kg/m ³		
kokonaistiheys, ρ_{kok1}	1,16621	kg/m ³		
ilman tiheys, ρ_{ilma}	1,29	kg/m ³		
kaasuvakio, R	8,3140	J/molK		
vesihöyryn molaarinen massa, M_h	0,0180	kg/mol		
veden höyrystymislämpö (30 °C)	2429,8	kJ/kg		
veden höyrystymislämpö (5 °C)	2489,1	kJ/kg		
kondenssivesi	3,1	kg/s		
kondenssivesi	11,0	m ³ /h		
LTO-teho	3,41	MW		

Höyryturbiinihallin ilmastoinnin lämmöntalteenotto

Maksimi ilmavirtauksella lämmöntalteenottoteho			
LTO-teho		Veden ominaislämpökapasiteetit	
savukaasun massavirta, \dot{m}_s	24,84 kg/s	H2O (g) (-10...40 °C)	1,85 kJ/kg°C
sivuvirta %	100 %	H2O (l) (0...100 °C)	4,186 kJ/kg°C
suhteellinen kosteus alussa, φ_1	30 %	Ilma	1,006 kJ/kg°C
suhteellinen kosteus lopussa, φ_2	97 %		
paine alussa, p_1	1,03 bar	Savukaasun vesipitoisuusvirrat	
paine lopussa, p_2	1,00 bar	massavirta, mv kostea	10 kg/s
kokonaispaine, p_{kok}	1,02 bar	tilavuusvirta, Vv kostea	8,5748 m ³ /s
savukaasun lämpötila alussa, T_1	30 °C	massavirta, mv kuiva	9,9220 kg/s
savukaasun lämpötila alussa, T_1	303 K	tilavuusvirta, Vv kuiva	7,6915 m ³ /s
savukaasun lämpötila lopussa, T_2	8 °C	massavirta, mv vesi	0,0780 kg/s
savukaasun lämpötila lopussa, T_2	281 K	tilavuusvirta, Vv vesi	0,8833 m ³ /s
kylläisen höyryn paine, $p_{kyläinen\ höyry1}$	0,0424 bar		
kylläisen höyryn paine, $p_{kyläinen\ höyry2}$	0,009346 bar	Lämpöteho kaukolämpö	
höyryn osapaine, p_{h1}	0,0127 bar	kl-veden tulolämpötila, T_1	45 °C
höyryn osapaine, p_{h2}	0,00906562 bar	kl-veden menolämpötila, T_1	80 °C
ilman osapaine, p_{s1}	1,0073 bar	COP, lämmitys	2,5
ilman kosteus alussa, x_1	0,0079 kgH ₂ O/kgk.s.	Lämpöteho, Q_L	1,18 MW
ilman kosteus lopussa, x_2	0,00558 kgH ₂ O/kgk.s.		
ilman ominaislämpökapasiteetti, c_{ps}	1,0060 kJ/kg°C	Kompressoriteho	
höyryn ominaislämpökapasiteetti, c_{ph}	1,85 kJ/kg°C	Kompressoriteho	0,47 MW
entalpia alussa, h_{k1}	49,7899 kJ/kg k.s.		
entalpia lopussa, h_{k2}	21,3907 kJ/kg k.s.		
höyryn osatiheys, ρ_{h1}	0,00909 kg/m ³		
ilman osatiheys, ρ_{s1}	1,15712 kg/m ³		
kokonaistiheys, ρ_{kok1}	1,16621 kg/m ³		
ilman tiheys, ρ_{ilma}	1,29 kg/m ³		
kaasuvakio, R	8,3140 J/molK		
vesihöyryn molaarinen massa, M_h	0,0180 kg/mol		
veden höyrystymislämpö (25 °C)	2440,5 kJ/kg		
veden höyrystymislämpö (52 °C)	2377,3 kJ/kg		
kondenssivesi	0,0 kg/s		
kondenssivesi	0,1 m ³ /h		
LTO-teho	0,71 MW		

Kattilahallin ja höyryturbiinihallin ilmastointi automaatiojärjestelmässä



Apulauhdepumpun muuttaminen taajuusmuuttajakäyttöiseksi

Apulauhdepumppu taajuusmuuttaja muutos		
Massavirta	5	t/h
Nostokorkeus	60	m
Hyötysuhde	37 %	
Tiheys (vesi)	1000	kg/m ³
Putoamiskiintyyvyys	9,81	m/s ²
Teoreettinen moottorin ottamateho ilman taajuusmuuttajaa		
	0,82	kW
Todellinen moottorin ottamateho ilman taajuusmuuttajaa		
	2,2	kW
Massavirta	1,5	t/h
Nostokorkeus	35	m
Teoreettinen moottorin ottamateho taajuusmuuttajan kanssa		
	0,1	kW
Todellinen moottorin ottamateho taajuusmuuttajan kanssa		
	0,4	kW
Säästö sähköenergiassa yhden pumpun suhteen		
	1,8	kW
Apulauhdepumpun käyttötunnit (2017)	1888	h
Käyttötunnit (2017)	4779	h
Energiankulutus 2017	4,2	MWh
Ennustettu energiankulutus	1,8	MWh
Säästö tamulla	2,3	MWh
Sähkön hinta	40	€/MWh
Säästö euroina	92,9	€/a
Investoinnin hinta	3 000	€
Suora takaisinmaksuaika	32,3	a

Reduktiopumpun muuttaminen taajuusmuuttajakäyttöiseksi

Reduktiopumpun taajuusmuuttaja muutos				
Massavirta	100	t/h		
Nostokorkeus	70	m		
Hyötysuhde	39 %			
Tiheys (vesi)	1000	kg/m ³		
Putoamiskiikkyvyys	9,81	m/s ²		
Teoreettinen moottorin ottamateho ilman taajuusmuuttajaa			19,1	kW
Todellinen moottorin ottamateho ilman taajuusmuuttajaa			48,9	kW
Massavirta	100	t/h		
Nostokorkeus	40	m		
Teoreettinen moottorin ottamateho taajuusmuuttajan kanssa			10,9	kW
Todellinen moottorin ottamateho taajuusmuuttajan kanssa			27,9	kW
Säästö sähköenergiassa yhden pumpun suhteen			21,0	kW
käyttötunnit (2017)	600	h		
Säästö	12,6	MWh		
Sähkön hinta	45,0	€/MWh		
Säästö euroina	566,0	€/a		
Investoinnin hinta	10000	€		
Suora takaisinmaksuaika	17,7	a		