

KYMENLAAKSON AMMATTIKORKEAKOULU

Energiatekniikan koulutusohjelma / Käyttö- ja kunnossapito

Timo Koivikko

KAASUTURBIININ JÄLKEISEN PAKOKAASUKATTILAN
YMPÄRYSLAITTEIDEN SOVELTUVUUS KÄYTTÖPAINEEN NOSTOON
VANAAN VOIMALAITOKSESSA

Opinnäytetyö 2013

TIIVISTELMÄ

KYMENLAAKSON AMMATTIKORKEAKOULU

Energiatekniikan koulutusohjelma

KOIVIKKO, TIMO

Kaasuturbiinin jälkeisen pakokaasukattilan
ympäryslaitteiden soveltuvuus käyttöpaineen nostoon
Vanajan voimalaitoksessa

Opinnäytetyö

50 sivua + 6 liitesivua

Työn ohjaajat

Lehtori Risto Korhonen, Tutkimusinsinööri Tuomo Pimiä
Ohjaaja DI Pekka Kuisma

Toimeksiantaja

Elenia Lämpö Oy, Hämeenlinna

Marraskuu 2013

Avainsanat

höyryturbiini, kaasuturbiini, lämmön talteenotto,
voimalaitokset

Elenia Lämpö Oy omistaa Hämeenlinnassa sijaitsevan Vanajan vastapainevoimalaitoksen, joka tuottaa kaukolämpöä Hämeenlinnan kaupungin alueelle. Voimalaitoksen tuotto on tyypillisesti noin 100 MW, mutta tarvittaessa voidaan saavuttaa 170 – 180 MW:n huipputeho.

Opinnäytetyön tarkoituksena oli tutkia, minkälaisia muutoksia jouduttaisiin tekemään Vanajan voimalaitoksella, jos sen käyttöpainetta nostettaisiin sähköntuoton lisäämiseksi, pyrkiä laatimaan kokonaiskustannusarvio investoinneista sekä kannattavuusselvitys nykyarvomenetelmään perustuen.

Työssä tutustuttiin olemassa olevaan kirjallisuuteen voimalan toiminnoista: toimitusraportit, piirustukset ja niiden muutokset tutkittiin pakokaasukattilan toimituksesta nykyhetkeen (1989 – 2013).

Tutkimusten avulla selvisi, että suurin osa pakokaasukattilan ympäryslaitteista vastaa jo tarvittavia kriteereitä: putkilinjoihin on asennettu tuplaventtiilit, ja putkilinjosten suunnittelupaine sekä suunnittelulämpötila tukevat tuotantoarvojen korotusta. Tulosten perusteella voidaan kuitenkin suositella tehtäväksi joitakin muutoksia jo olemassa oleviin linjoihin; erityisesti höyryputkiston vesiruiskutus tulisi uusia.

ABSTRACT

KYMENLAAKSON AMMATTIKORKEAKOULU

University of Applied Sciences, Energy Engineering

KOIVIKKO, TIMO

The Feasibility of Intensifying the Operating Pressure in the Piping of an Exhaust Gas Boiler and Surrounding Equipment, at Vanaja Power Plant

Bachelor's Thesis

50 pages + 6 pages of appendices

Supervisor

Senior Lecturer Risto Korhonen, Research Engineer
Tuomo Pimiä, MSE Pekka Kuisma

Commissioned by

Elenia Heat Oy

November 2013

Keywords

steam turbine, gas turbine, heat recovery, power plants

Elenia Heat Oy, Hämeenlinna, is the parent company of the Vanaja power plant, which produces district heat for the city. The power plant typically yields approximately 100 MW of heat energy, but can produce between 170 - 180 MW at peak load.

The purpose of this study was, firstly, to investigate the level of modifications necessary to the power plant, to increase the operational pressure to produce greater amounts of electricity; and secondly, to provide a total estimate of investment, using current (net) values as a basis.

The thesis relies on information from the power plant, i.e. delivery and maintenance reports, process and piping drawings. It analyzes these and additional reports for the changes to the exhaust gas boiler, from installation to present day (1989 – 2013).

In conclusion, it is evident that in the majority of the installed essential equipment - for example, pipelines with double valves, the design pressures and temperatures are capable of supporting a rise, which would result in greater electricity production. However, it is recommended that a number of changes be made on existing pipelines. Specifically, the water injection for the steam lines would need to be replaced.

ALKUSANAT

Tämä opinnäytetyö tehtiin vuosina 2012 – 2013 Elenia lämpö Oy:n Vanajan voimalaitoksen toimeksiannosta. Ohjaavana opettajana toimi työn alkuvaiheessa lehtori Risto Korhonen ja loppuvaiheessa tutkimusinsinööri Tuomo Pimiä sekä yrityksen ohjaavana henkilönä DI Pekka Kuisma.

Haluan kiittää sekä ohjaavaa opettajaani että Elenia lämmön ohjaajaa avusta ja hyvistä neuvoista opinnäytetyön aikana. Kiitän samalla koko Elenia lämmön henkilökuntaa, erityisesti automaatiopäällikkö Ville Kajania sekä kunnossapitopäällikkö Jukka Varosta.

Opinnäytetyön tilaajan toiveiden mukaisesti, työstä on salattu kappaleet 5.5 ja 5.8 sekä taulukko 11, eikä niitä ole julkaistu.

Kotkassa 26.11.2013

Timo Koivikko

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

ALKUSANAT

1	JOHDANTO	7
2	VANAJAN VOIMALAITOS	7
2.1	Voimalaitoksen nykytila	7
2.2	Höyryturbiini	9
2.2.1	Käyttövarmuus	12
2.3	Pakokaasukattila	13
2.3.1	Pakokaasukattilan päärakennneosat ja niiden suunnitteluarvot	14
2.3.2	Pakokaasukattilaan vaadittavat muut muutokset	15
2.3.2.1	Rikkomaton aineenkoetus	15
2.3.3	Pakokaasulämmönvaihtimet	16
2.4	Kaasuturbiini	17
2.4.1	Vanajan voimalaitoksen kaasuturbiini	18
2.4.2	Kombivoimalaitos	20
2.5	Kattila K4	21
2.6	Kattila K5	22
2.7	Kattila K6	23
3	PAKOKAASUKATTILAN YMPÄRYSLAITTEET	24
3.1	Pumput	24
3.2	Putkistolinjat	26
3.2.1	Venttiilien toimilaitteet	28
4	AUTOMAATIO	29
4.1	PID-säätöpiiri	29
4.2	Kaasuturbiinin automaatio	31
5	TALOUS JA HANKINNAT	31
5.1	Yleistä	31
5.2	Venttiilit	32
5.3	Automaatiokustannukset	33

5.4	Kaasuturbiinin automaatiopäivitys	33
5.4.1	Kaasuturbiinin huollot	34
5.5	Putkistolinjakustannukset	34
5.6	Alemmalla paineella	34
5.7	Korkeammalla paineella	35
5.8	Polttoaineen hinta ja hintakehitys	36
5.9	Käyttö- ja kunnossapitokustannukset, Vanaja	37
6	PROJEKTIN TULOKSET	38
6.1	Projektin aikataulu	38
6.2	Nykyarvomenetelmä	38
6.3	Projektin takaisinmaksuaika	39
6.3.1	Takaisinmaksuajan laskeminen	40
6.4	Laskennan tulokset	41
6.4.1	Maakaasun hintakehitys laskennassa	41
6.5	Takaisinmaksuaika projektille	42
6.6	Kannattavuuslaskelmia eri muuttujilla	43
6.6.1	Herkkyyserroin sähkön hintamuutokselle	43
6.6.2	Herkkyyserroin maakaasun hintamuutokselle	44
7	YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET	45
	LÄHTEET	48
	LIITTEET	51
	Liite 1. Pakokaasukattilan PI-kaavio, lämmönvaihtimien sijainti	
	Liite 2. Taulukko, alemmalla paineella	
	Liite 3. Taulukko, korkeammalla paineella	
	Liite 4. Projektin aikataulu	
	Liite 5. Kaaviokuva, alemmalla paineella	
	Liite 6. Kaaviokuva, korkeammalla paineella	

Kappaleet 5.5 ja 5.8 sekä taulukko 11 ovat salattuja ja poistettu tästä versiosta

1 JOHDANTO

Elenia Lämpö Oy:n omistama Vanajan voimalaitos tuottaa kaukolämpöä ja sähköä Hämeenlinnan kaupungille ja ympäröiville kunnille lähes yksinomaan uusiutuvista energialähteistä. Voimalaitoksen vuonna 1952 rakennettu höyryturbiini on päätetty uusida lähivuosina. Nykyisen pakokaasukattilan käyttöarvot ovat 26 bar / 400 °C, mutta uuden turbiinin sopimusvaiheessa on otettu tavoitteeksi nostaa käyttöarvoiksi 40 bar / 450 °C.

Opinnäytetyön aiheena on selvittää kaasuturbiinin jälkeisen pakokaasukattilan ympäryslaitteiden ja putkiston soveltuvuutta tulevaan käyttöpaineen nostoon. Opinnäytetyön toimeksiantaja on Elenia Lämpö Oy. Työn keskeisenä tavoitteena on selvittää eri osien käyttökelpoisuutta ja niiden mahdollista uusintatarvetta.

Työssä on lisäksi pyritty tekemään kustannusselvitys mahdollisista osien vaihtamisista ja samalla paineennoston kannattavuudesta sähköntuoton kannalta. Laskelmissa on huomioitu myös mahdolliset investointimuutokset sekä kuinka sähkönhinnan tai maakaasuhinnan muutos vaikuttaa lopputulokseen.

2 VANAJAN VOIMALAITOS

2.1 Voimalaitoksen nykytila

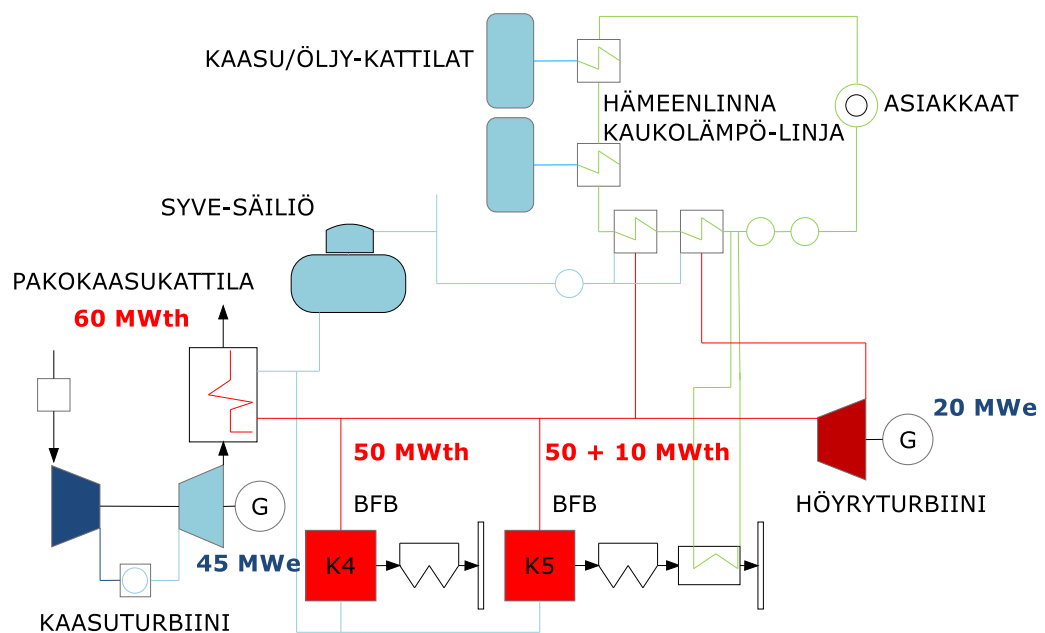
Vuonna 1939 käyttöön otettu Vanajan voimalaitos on vuosikymmenten aikana muuttunut pelkästä sähköntuottajasta sähkön ja lämmön yhteistuottajaksi. Alkuperäinen energianlähde eli hiili on korvattu biomassalla, turpeella ja maakaasulla vastaamaan nykyajan kysyntää ja ympäristövaatimuksia. Näillä muutoksilla on CO₂-päästöjä saatu tuotannon osalta vähennettyä noin 50 %.

Voimalaitoksella oli alun perin neljä hiilikattilaa (K1, K2, K3 ja K4), joista yksi on sittemmin purettu (K3) ja yksi muunnettu (K4). Vuonna 1983 voimalassa aloitettiin kaukolämpötuotanto, ja vuonna 1989 lisätyn kaasuturbiinin ja lämmöntalteenottokattilan jälkeen voimalaitoksella on voitu käyttää polttoaineena maakaasua. Leijukerros poltto aloitettiin vuonna 1997 perinteisen rakoarinakattilan muutostöillä (K4). Vuonna 2009 lisättiin K5-leijukerroskattila K3-kattilan tilalle sekä savukaasupesuri, jossa on lämmöntalteenottoyksikkö ilmapäästöjen vähentämiseksi.

Vanajan voimalaitos on niin sanottu CHP-laitos (Combined Heat and Power): se tuottaa lämpöä ja sähköä Hämeenlinnan kaupungille sekä teollisuudelle. Voimalaitoksen lisäksi kaupungin alueella on useita lämpökeskuksia, joita käytetään varalaitoksina sekä kaukolämpöveden välilämmitykseen. Nämä lämpökeskukset käyttävät polttoaineenaan pääasiassa polttoöljyä ja kaasua.

Voimalaitoksen kaukolämpötuotanto vaihtelee 15 MW:n (kesäaika) ja 100 MW:n (talviaika) välillä. Kylmimpinä vuodenaikoina voimalaitoksen 100 MW:n tuotanto on ollut yleensä riittävä, mutta tuotantoa voidaan tarvittaessa tehostaa kaukolämpökeskuksilla ja näin ollen päästä 170–180 MW:n tehoihin.

Vanajan voimalaitoksen periaatekaavio on esitelty kuvassa 1. Kaukolämmön tuotanto Vanajalla perustuu kaasuturbiiniin (45 MW sähkö / 58 MW höyry), kahden biokattilan (K4: 50 MW, K5: 50–60 MW) sekä höyryturbiiniin (20 MW) käyttöön. Niiden tuotanto optimoidaan polttoainehintojen, sähkön hinnan sekä ajotarpeen mukaan.

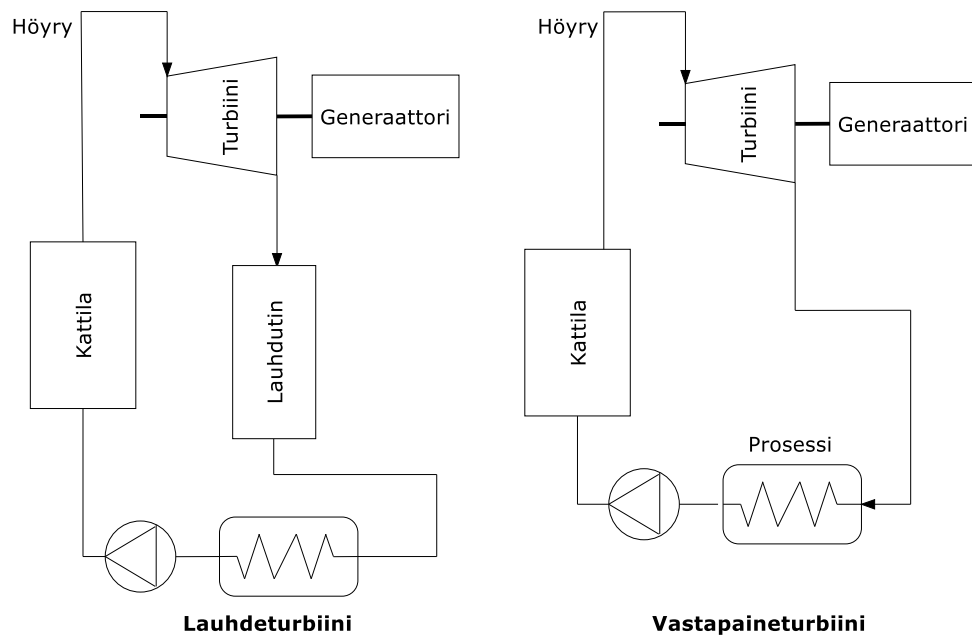


Kuva 1. Periaatekaavio Vanajan voimalaitoksesta

2.2 Höyryturbiini

Höyryturbiinin tehtävä on muuttaa tulevan höyryn paine- ja lämpötilaenergia mekaaniseksi liike-energiaksi. Korkeassa paineessa ja lämpötilassa oleva vesihöyry laajenee liikkeessaan turbiinin siivistön läpi, samalla energia muuntuu turbiinin akselin pyörimisenergiaksi. Turbiinin akseliin sijoitettu generaattori muuttaa edelleen turbiinin pyörimisenergian sähköenergiaksi (Höyryturbiinit, Wikipedia).

Höyryturbiinit voidaan jakaa tulevan höyrynpaineen perusteella lauhdeturbiineihin ja vastapaineturbiineihin. Kuvassa 2 on esitetty molempien turbiinityyppien periaate. Lauhdeturbiinissa tuorehöyryn tilavuus laajenee ja paine laskee lauhdutinpaineeseen, joka on tavallisesti noin 0,02 - 0,05 bar. Lauhdeturbiineja käytetään sähköntuottoon yleensä silloin, kun laitoksella ei ole lämmöntuottotarvetta. Lauhduttimessa höyry muuntuu vedeksi, joka johdetaan takaisin kattilaan. Lauhdeturbiinien heikkous on niiden huono hyötysuhde: jopa 60 % sisään tulleesta lämmöstä katoaa jäähditysveden mukana. Lauhdeturbiineissa höyryn korkealla lämpösisällöllä eli entalpialla pyritään saavuttamaan mahdollisimman suuri akseliteho. Vastapaineturbiinissa sen sijaan ainoastaan osa höyrystä käytetään akselitehon saavuttamiseen, ja jäljelle jäävä höyry käytetään ylipaineisena joko kaukolämpöverkon veden tai prosessiveden lämmittämiseen. Vastapaineturbiineja käytetään voimalaitoksilla silloin, kun halutaan samaan aikaan tuottaa sekä lämpö- että sähköenergiaa. Usein kuitenkin lämpöenergian tarve on suurempi, ja sähköenergian tuotanto jää käytännössä huomattavasti pienemmäksi. Lämmön ja sähkön yhteistuotanto vastapaineturbiinilla onkin hyötysuhteeltaan tyypillisesti paljon korkeampi kuin pelkkä sähköenergian tuotto lauhdeturbiinilla. Molempiin turbiinityyppeihin voidaan rakentaa väliottoja, jolloin yhdestä tai useammasta väliotosta johdetaan korkeapaineista höyryä laitoksen omaan käyttöön. Esimerkiksi höyryä tuottavan kattilan syöttöveden lämmittäminen turbiinista tehdyllä väliotolla parantaa prosessin kokonaishyötysuhdetta. (Huhtinen ym. 2008, Voimalaitostekniikka s.109 - 111)



Kuva 2. Lauhdeturbiinin (vasemmalla) ja vastapaineturbiinin (oikealla) periaatekuva (muokattu lähteestä Cogeneration)

Turbiinityypit voidaan lisäksi luokitella rakenteensa perusteella tasapaine- ja ylipaineturbiineihin. Tasapaineturbiini eli impulssiturbiini muuttaa höyryn entalpiain virtausenergiaksi (höyryn nopeus kasvaa) kiinteissä johtosiivissä, ja höyry virtaa tasapaineisena juoksusiipien läpi. Tasapaineturbiinia kutsutaan myös nimellä kammioturbiini, koska rakenteellisesti juoksupyörän siivet on kiinnitetty turbiinin akselin kiekkoihin ja johtosiivet turbiininkotelon reunoihin. Näin juoksupyörän väliin syntyy kammioita, joissa virtaa vakioaine. (Huhtinen ym. 2008, s.109)

Ylipaineturbiinissa eli reaktioturbiinissa juoksupyörän siivet sijaitsevat rumpumaisella akselilla (rumpiturbiini). Ylipaineturbiinissa entalpia hyödynnetään muuttamalla painetta virtausnopeudeksi niin johto- kuin juoksupyörässä. Tällöin höyrystuuhkun nopeuden kasvu juoksupyörässä aiheuttaa kehävoiman, joka tuottaa akselin vääntömomentin. Juoksupyörän tuloreunalla paine on suurempi kuin menoreunalla, minkä takia turbiinia kutsutaan ylipaineturbiiniksi. (Huhtinen ym. 2008, s.109)

Nykyinen Vanajan voimalaitoksen höyryturbiini on rakennettu 1952. Alun perin turbiini oli tyypiltään lauhdeturbiini, mutta vuonna 1982, kun kaukolämmöntuotanto alkoi, turbiini muunnettiin reaktioturbiiniksi. Nykyinen turbiini toimii alemmilla käyttöparametreilla kuin

suunniteltu uusi höyryturbiini, ja lisäksi sen hyötysuhde on huomattavasti pienempi kuin tulevan turbiinin. Sekä nykyisen että tulevan turbiinin kokonaistuotantoteho on 20 MW.



Kuva 3. Vanajan höyryturbiini (punainen kuori) sekä sen akselilla oleva sähkögeneraattori (keltainen kuori) (kuva T. Koivikko, 2011).

Kuvassa 3 on esitelty Vanajan voimalaitoksen nykyinen turbiini. Sille tehtiin vuonna 2008 iso huolto, jonka tarkoituksena oli jatkaa turbiinin käyttöikää vuoteen 2015 asti. Huollon yhteydessä havaittiin kuitenkin vakavia ongelmia turbiinin sisäosissa. Vuosina 2009 - 2012 turbiinissa on havaittu öljyvuotoja sekä tulipaloja toisen laakeripesän alapuolella. 2012 vuosihuollossa huomattiin lisäksi turbiinin säätöventtiilin akselissa vika, ja akseli uusittiin. Turbiinin sähkö- ja ohjausjärjestelmät ovat edelleen alkuperäisiä.

Jotta voimalaitoksen käytettävyyttä ja turvallisuutta voitaisiin parantaa, päätettiin hankkia uusi turbiini. Hankinta ajoittuisi vuodelle 2015. Turbiinille suunniteltu koko on noin 21 MW, ja tämänhetkinen hinta-arvio perustuu samantyyppiseen jo toteutettuun turbiiniprojektiin. Alustavan hinta-arvio on 15,9 miljoonaa euroa. Lisäksi voimalaitokseen tulisi asentaa uusi keskijännitemuuntaja. Nykyinen muuntaja on kooltaan 40 MVA, ja se on valmistettu 1938 sekä muunnettu höyryturbiinin kanssa 1952 vastaamaan reaktiiturbiinituotantoa. Kuten höyryturbiinin tapauksessa, muuntaja on jo ylittänyt käyttöikänsä ja vikojen esiintymisen todennäköisyys on suuri.

Uuden höyryturbiinin sijoituspaikka tulee olemaan eri kuin nykyisen, joten samalla joudutaan uusimaan generaattorille menevä päälinja. Myös muuntajan nykyinen koko on aivan liian kapea uudelle kytkinkaapeloinnille, joten muuntajalle menevä kaapelointi joudutaan samalla uusimaan. Kustannustehokkain vaihtoehto onkin uusia molemmat yhtä aikaa. Näin voitaisiin säästää toimitusajoissa sekä välttää turhia alasajoja sekä samalla lisätä käyttövarmuutta koko tuotetulle prosessille, kun koko laitteisto on uusittu.

2.2.1 Käyttövarmuus

Uuden turbiinin toivotaan parantavan sekä voimalaitoksen tehokkuutta että käyttövarmuutta huomattavasti. Voimalaitoksen tapauksessa käyttövarmuudella viitataan sen kykyyn toteuttaa siltä vaadittavaa tehtävää tai toimintoa moitteettomasti tietyissä olosuhteissa suunniteltuna ajankohtana. Käyttövarmuus voidaan jakaa kahteen olennaiseen tekijään (Ramentor, Käyttövarmuus):

- kohteen kyky toimia vikaantumatta
- kohteen palautettavuus käyttökuntoon sen vikaannuttua.

Heikko käyttövarmuus tarkoittaa, että koneessa tai laitteessa on paljon odottamattomia vikaantumisia ja ylimääräisiä pysäytyksiä, jotka voivat pahimmillaan aiheuttaa koko tuotantoprosessin keskeytymisen. Kustannukset menetetyistä tuotannosta voivat kasvaa hyvinkin korkeiksi lyhyessä ajassa. Usein heikko käyttövarmuus lisää tarpeettomien riskien määrää, mikä voi vaikuttaa sekä henkilöstöön että ympäristöön. (Ramentor, Käyttövarmuus)

Käytettävyys ja luotettavuus ovat käyttövarmuuteen läheisesti liittyviä termejä. *Käytettävyydellä* tarkoitetaan todennäköisyyttä, jolla kohde on ehjä satunnaisella tarkastushetkellä, ja *luotettavuudella* todennäköisyyttä, jolla kohde ei vikaannu kertaakaan tiettyyn ajanhetkeen mennessä. (Ramentor, Käyttövarmuus)

Prosessin käyttövarmuus koostuu koneen tai laitteen eri osien ja niiden yhdistelmien osakäyttövarmuuksista. Jos järjestelmässä S on osat A, B, ..., n, jotka ovat toisistaan riippuvaisia, virheellisen toiminnan kokonaistodennäköisyys P_S on (Koskinen & Paavilainen 2003, Tietoturvallinen Ohjelmointi s.9)

$$(1) P_S = P_A + P_B + \dots P_n. \quad (\text{Kaava 1})$$

jossa P_A , P_B , ... P_n viittaa eri osien virheellisen toiminnan todennäköisyyksiin. Osien lukumäärien kasvaessa todennäköisyys järjestelmähäiriöön kasvaa. Mitä monimutkaisempi järjestelmä, sen todennäköisempää on järjestelmän virheellinen toiminta. (Koskinen, J. 2003, s.9)

Jos järjestelmän komponentit sen sijaan ovat rinnakkaisia, ne eivät rikkoutuessaan vaikuta järjestelmän kokonaisturvallisuuteen. Esimerkiksi tuplaventtiilit olemassa oleville putkilinjoille, yhden venttiilin mennessä rikki, toinen pitää paineen yllä putkessa. Toisistaan riippumattomilla rinnakkaisjärjestelmillä voi näin ollen parantaa prosessin turvallisuutta kaavan (2) mukaisesti (Koskinen 2003, s.9):

$$(2) P_S = P_A \times P_B \times \dots P_n. \quad (\text{Kaava 2})$$

2.3 Pakokaasukattila

Maakaasu johdetaan kaasuturbiiniin, ja siellä syntyvä pakokaasu edelleen pakokaasukattilaan, jossa kaasuun sitoutuneella lämpöenergialla tuotetaan tulistettua höyryä voimalaitoksen höyryturbiiniin. Pakokaasujen loppulämpö otetaan talteen höyrykattilaosan jälkeen 14 MW:n lämmönsiirtimessä, joka on kytketty rinnan kaukolämmönsiirtimien kanssa.

Vanajan voimalaitoksen pakokaasukattilan (HRSG, Heat Recovery Steam Generator), on valmistanut B.V. Machinefabriek Breda (Alankomaat). Valmistaja on vastannut suunnittelusta ja toimituksesta yhteistyössä Vanajan voimalaitoksen kanssa ja SFS-standardien mukaisesti. Kattila on tyypiltään pystyyn rakennettu pakkokiertoinen lieriökattila. Pakkokiertoisessa kattilassa syöttövesi pumpataan esilämmittimen kautta lieriöön. Lieriöstä vesi menee höyrytimeen, josta veden sekä vesihöyryn seos virtaa pakkokiertopumppujen aiheuttaman paineen avulla takaisin lieriöön. Lieriössä vesi ja höyry erottuvat ja höyry siirtyy tulistimille.

Pakkokiertokattilat soveltuvat korkeammille paineille kuin luonnonkiertokattilat. (Lindsey, D. 2000 s.13)

Pakokaasukattila on tehty ferrittisestä kuormalujasta teräksestä (2-tulistin EN 16 Mo3, vanha tunnus DIN 15 Mo3; muut osat EN P235G1TH , vanha tunnus St 35,8 / I). Taulukossa 1 on esitetty kyseisten teräslaatuojen alkuainekoostumukset.

Taulukko 1. Alkuainekoostumukset teräksille P235GH ja 16Mo3 (Lukkari 1998).

Teräs EN (uusi)	Teräs DIN (vanha)	C (%) max	Si (%)	Mn (%)	Cr (%)	Mo (%) max
P235G1TH	St35,8	0,16	0,35	0,40 - 1,20	0,30	0,08
16Mo3	15Mo3	0,12 - 0,20	0,35	0,40 - 0,90	0,30	0,25 - 0,35

2.3.1 Pakokaasukattilan pääraakenneosat ja niiden suunnitteluarvot

Pakokaasukattilan pääraakenneosat on lueteltu taulukossa 2. Kattilan suunnitteluarvoilla tarkoitetaan niitä lämpö- ja painearvoja, jotka laitteiston on kestävä laitteen suunnitellun käyttöajan ajan. Vanajan voimalaitoksen pakokaasukattilan suunnitteluarvoissa on otettu huomioon korvaavan höyryturbiinin asennusmahdollisuus (korkeammat paine- ja lämpötila-arvot). Suurimmat sallitut arvot ovat 40 bar ja 450 °C (Bredan toimitus- ja suunnitteluraportit pakokaasukattilalle, Elenia).

Taulukko 2. Pakokaasukattilan pääraakenneosat, positiotunnukset ja suunnitteluarvot

Komponentti	Positiotunnus	Suunnittelupaine	Suunnittelu- lämpötila
2- tulistin	3NA60W001	46 bar	485 °C
1- tulistin	3NA40W001	46 bar	435 °C
Höyrystin	3NA20W001	46 bar	284 °C
Ekonomaiser	3ND10W001	48 bar	284 °C
Pakokaasulämmön-vaihdin	3UM72W001	17 bar	200 °C
Lieriö	3NA10B001	46 bar	259 °C

Taulukosta 2 nähdään, että nykyiset putkirakenteet kestävät tulevan höyryturbiinin myötä tapahtuvan tuorehöyryn lämpötilan ja paineen nousun (26 bar → 45 bar / 400 °C → 450 °C). 1-tulistin, höyrystin, ekonomiser ja pakokaasulämmönvaihdin ovat tällä hetkellä ripaputkirakenteisia, mutta 2-tulistin on sileäputkirakenteinen. Breda edellyttää myös 2-tulistimen vaihtamista ripaputkirakenteiseksi eri materiaalien välillä tavattavien lämpöiskujen minimoimiseksi.

2.3.2 Pakokaasukattilaan vaadittavat muut muutokset

Vesiruiskutus on sijoitettu pakokaasukattilan tulistimien (tulistin 1 ja 2) väliin. Nykyisillä ajoarvoilla sen massavirta on noin 1,05 kg/s. Kattilan paineen kohotessa tarvitaan kumminkin höyryruiskutukselle suurempi massavirta. Mikäli painetta korotetaan suunnitelmien mukaisesti 14 bar, massavirtaa pitää kasvattaa arvoon 2,7 kg/s. Tämä perustuu jo Elenian aikaisemmin tilaamaan laskentaraaporttiin, jonka perusteella pyrittiin selvittämään pakokaasukattilan massavirtojen mahdollisia muutoksia painetta korotettaessa (Fundacon, 2012).

2.3.2.1 Rikkomaton aineenkoetus

Pakokaasukattilan käyttäminen uusilla lämpötila- ja painearvoille antaa aiheita koko kattilan putkiston kunnan tarkistamiseen sekä olemassa olevien venttiilien testaukseen. Non-destructive Testing (NDT) eli rikkomaton aineenkoetus viittaa tarkastusmenetelmiin, joilla voidaan testata muun muassa metallirakenteita, valuja ja hitsejä ilman, että lopputuotetta rikotaan. NDT-menetelmillä pyritään löytämään heikkouksia, halkeamia, säröjä tai muita poikkeamia tarkasteltavasta materiaalista. Yleisimpiä NDT-menetelmiä ovat silmämääräinen tarkastus, ultraäänitarkastus, magneettijauh tarkastus, tunkeumanestetarkastus ja teollisuusradiografia (NDT, Wikipedia).

Tulistimien pinnat ja muut kattilan kovalla kulutuksella olevat putkistolinjat tulisi tarkistaa esimerkiksi asiantuntijan tekemällä ultraäänitarkastuksella. Kunnossapitoraporttien mukaan tulistimien pinnat on aiemmin käyty läpi vain pesemällä putkisto. Lisäksi HRSG-kattiloissa, erityisesti alhaisella paineella pidetyssä ekonomaiserissa, on todettu virtauksesta johtuvia korroosiovaurioita (Nakatsu & Yamamoto, 2000).

2.3.3 Pakokaasulämmönvaihtimet

Bredan pakokaasukattilatoimituksen yhteydessä kaukolämpöputkilinjaan asennettiin pakokaasulämmönvaihtimet 3UM72W001 ja 3NA-55, joilla kattilan loppulämpötilaa voidaan alentaa. 3UM72W001-lämmönvaihdin sijaitsee pakokaasukattilan yläosassa, ekonomaiserin alapuolella ja on sijoitettu rinnan kaukolämpösiirtimien kanssa. 3NA-55-vaihdin sijaitsee pakokaasukattilan ensimmäisen ja toisen tulistimen välissä. Lämmönvaihtimien sijainti pakokaasukattilan yhteydessä on esitelty liitteessä 1 (liite 1).

Lämmönvaihdin on energiatekniikassa esiintyvä komponentti. Lämmönvaihtimen tehtävänä on siirtää lämpöä aineesta toiseen konvektion avulla, jossa lämpö siirtyy kaasussa tai nesteessä lämmön aiheuttamien virtausten takia. Kaukolämpötuotannossa käytetään avuksi pumppua (kaukolämpöpumppu), jolla saadaan lämmönvaihtimeen ajettu lämpö siirtymään sen läpi ajettuun kaukolämpöveeten.

Kaasuturbiinin tuottamista pakokaasuista siirretään lämpöä pakokaasulämmönvaihtimien avulla kaukolämpöveeten. Pakokaasujen loppulämpö kaasuturbiinilta otetaan talteen pakokaasukattilan lämmönvaihtimissa. Tällöin kun kaasuturbiinia ajetaan, kaukolämpöverkon kuorman ylittävä lämpö (hukkalämpö) voidaan ottaa talteen pakokaasulämmönvaihtimissa.

Pakokaasukattilassa tuotettua tuorehöyryä voidaan ruveta toimittamaan höyryturbiinille ja höyryturbiinia ajamaan kun on saavutettu halutut tuorehöyryarvot (24 bar ja lämpötila 370 °C). Virtaamaa 3UM72W001-vaihtimen läpi ohjataan säätämällä kaukolämpöpumppuja ja säätöventtiileitä UM72S101 ja UM72S102. Säätöventtiili UM72S101 on kaukolämpöveden läpivirtauksen säätöventtiili ja UM72S102-säätöventtiili säätää kaukolämpöveden lämpötilaa ulkoilman lämpötilan perusteella.

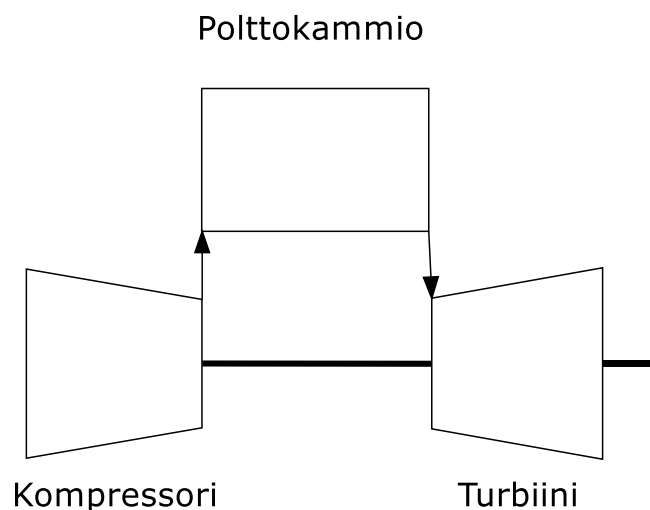
Tulistetun höyryn paine ja lämpötila ovat suoraan verrannollisia kaasuturbiinin tuottaman pakokaasun lämpötilaan. Näin ollen kaasuturbiinin kuorman kasvaessa höyryn lämpötila ja paine kasvavat suhteessa. Tuotettua lämpötilaa voidaan pienentää jäähdyttämällä höyryä lämmönvaihtimella 3NA-55. Höyryn painetta hallitaan höyryturbiinille menevällä ohitusventtiilillä, jolla voidaan ohittaa pakokaasukattilan kaukolämmönvaihdin, ja kun höyryn arvot ovat optimaaliset höyryturbiinille, höyry voidaan ohjata itse turbiiniin. Tämän jälkeen

lämmönvaihtimelle menevä ohitus voidaan sulkea ja höyryn lämpötilan hallinta jatkuu automaattisena järjestelmän kautta.

Pakokaasulämmönvaihtimien suunnitteluarvot ovat 17 bar / 200 °C (3UM72W001) ja 45 bar / 400 °C (3NA-55). Lämmönvaihtimen 3UM72W001 ulos antama teho on riippuvainen kaasuturbiinin ajotehosta. Pakokaasuvaihtimelle 3UM72W001 ei tarvitse tehdä muutoksia painetta korotettaessa. Myöskään pakokaasulämmönvaihtimelle 3NA-55 ei tarvitse tehdä muutoksia; vaihdin kestää suunnitteluarvoiltaan tulevan höyryturbiinin mukaisen paineenkorotuksen. Tällä hetkellä höyryturbiinia ajetaan arvoilla 27 bar / 400 °C. Mikäli tulevan höyryturbiinin korkeammat paine- ja lämpötila-arvot johtavat kuitenkin suunnitteluarvot ylittäviin prosessiarvoihin kyseisessä positiossa, kaukolämmönvaihtimet ja mahdollisesti siihen liittyvä putkisto on vaihdettava. Tällä hetkellä käytössä on putkikoko DN 250.

2.4 Kaasuturbiini

Kaasuturbiini on lämpövoimakone, jossa kuuma kaasu käyttää turbiinia. Kaasuturbiini muuntaa polttoaineeseen sitoutuneen energian lämmöksi ja edelleen muodostuneen lämmön mekaaniseksi energiaksi (Kaasuturbiinit, Wikipedia).



Kuva 4. Kaasuturbiinin muodostavat kolme pääosaa (kompressori, polttokammio ja turbiini).

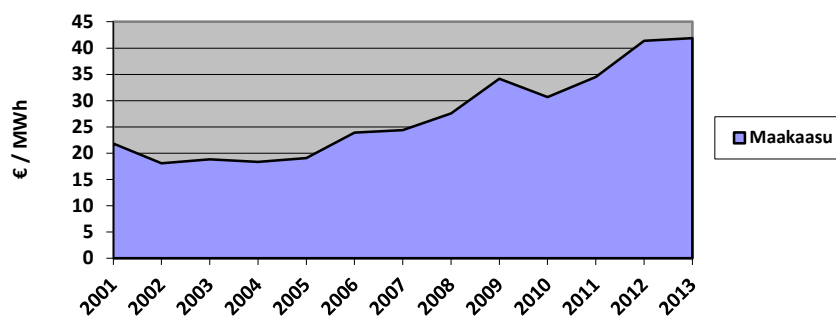
2.4.1 Vanajan voimalaitoksen kaasuturbiini

Vanajan voimalaitoksen kaasuturbiini on mallia Frame 6B (PG 6351B) yksiakselinen kaasuturbiini, jonka valmistaja Alstom Atlantique asennutti samaan aikaan pakokaasukattilan kanssa. Kaasuturbiinin nimellinen pyörimisnopeus 5135 rpm (revolutions per minute).

Taulukko 3. Vanajan kaasuturbiinin pääosien teknisiä tietoja.

Kaasuturbiinin osa	Tyyppi / muuta
Kompressori 3QE10D001	aksiaali, johtosiipisäätö / ilmamäärä 145,5 kg/s, painesuhde 12,7 bar, lämpötila kompressorin jälkeen 310 °C.
Palokammio 3QD10N001	vastavirta / palokammioiden sijoitus kompressorin ympärillä.
Turbiini 3QA10D001	aksiaali / kaasumäärä 147,0 kg/s, savukaasujen lämpötila <ul style="list-style-type: none"> • turbiinia ennen 1104 °C • turbiinin jälkeen 535 °C

Vanajan voimalaitoksessa kaasuturbiinia käytetään ainoastaan, mikäli höyryturbiinin tuottama teho ei riitä lämmöntuotantoon. Normaalisissa tilanteissa kaukolämpö ja sähkön tuotto pyritään tuottamaan kattiloilla K4 ja K5. Kaasuturbiinin vähäiseen käyttöön vaikuttaa olennaisesti korkea maakaasun hinta. Maakaasun hinta onkin viime vuosina rajusti kasvanut (ks. kuva 5).



Kuva 5. Maakaasun verottoman kokonaishinnan kehitys teollisuus-, voima- ja lämpölaitosasiakkaille maakaasun vuotuisen käytön ollessa 50 GWh ja huippukäyttöaika 4000 h. (Kuva lähteestä Energiamarkkinavirasto). Vaikkakin maakaasun hinta on kasvanut paljon

aikavälillä 2010 – 2012, on hintojen kasvu lieventynyt vuonna 2013 ja toisella neljänneksellä siirtynyt jo laskuun (Voimalaitostenpolttoaine hinnat lämmöntuotannossa, Tilastokeskus 2013).

On vaikea arvioida, kuinka maakaasun hinta kehittyy tulevaisuudessa. Olettaessa huomioon hinnan kehityshistoria 2001 – 2013 (kuva 5), jossa veroton hinta on muuttunut 22 € (2001) – 43 € (2013) (kasvua 21 € / 12 vuotta). Tarkasteltaessa 12 vuoden aikaväliä kokonaisuutena on kasvu ollut miltei 6 % / vuosi.

$$22X^{12} = 43$$

$$X = 1,057 \approx 5,7 \%$$

Korkeasta maakaasun hinnasta huolimatta kaasuturbiinia voidaan pitää hyödyllisenä lisälämmön- ja sähköntuottajana. Kaasuturbiinin teho pyritään normaaliajossa pitämään yli 80%:ssa. Tällöin saavutetaan hyvä hyötysuhde. Jatkossa kaasuturbiinin käyttö tulee todennäköisesti olemaan katkoajoa energiantarvepiikkien kattamiseksi talven kylmimpinä aikoina.

Vanajan voimalaitoksen vuoden 2011 vuosihuollon yhteydessä muun muassa kaasuturbiinin kuumapää tarkastettiin ja roottorin siivet huollettiin (ks. kuva 6). Turbiinilla on huhtikuuhun 2013 mennessä ajettu noin 120 000 käyttötuntia, ja seuraava huolto tulee tehdä ennen 200 000 käyttötunnin rajaa, käytännössä ennen vuosihuoltoa 2016. Samalla tulee uusia kaasuturbiinin automaatio.



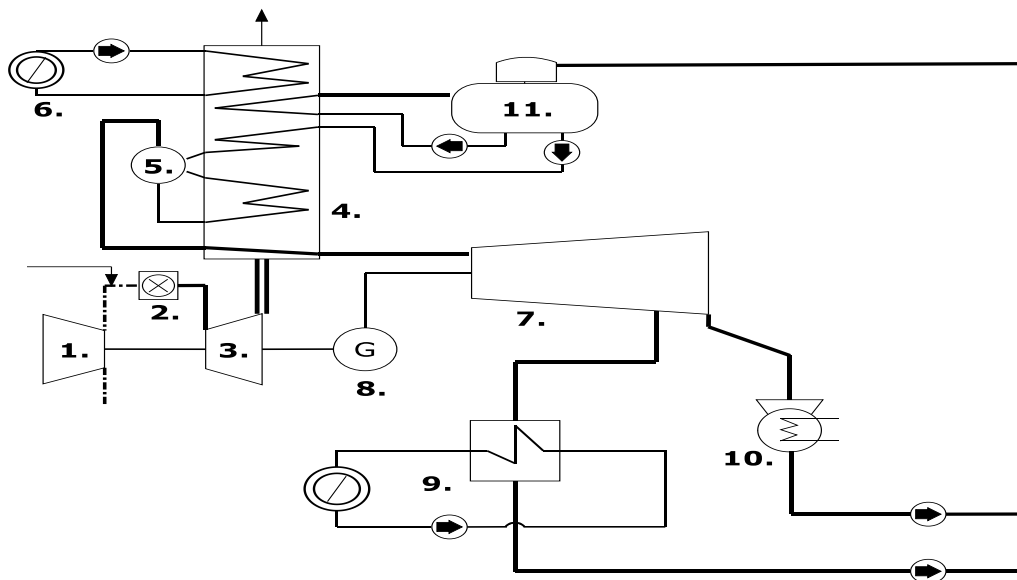
Kuva 6. Vanajan voimalaitoksen kaasuturbiinin akselin siipien uudelleenkiinnitys 2011 vuosihuollon jälkeen (kuva T. Koivikko).

2.4.2 Kombivoimalaitos

Kombivoimalaitoksessa (Combined Cycle Gas Turbine, CCGT) yhdistetään kaasuturbiini ja höyrykattila sähkötuotannon parantamiseksi. Kombilaitoksen toimintaperiaate on esitetty kuvassa 4. Pelkän kaasuturbiiniprosessin hyötysuhde sähköntuotannossa on yleensä melko heikko, n. 30 % (Huhtinen, 2008 s.209). Kombivoimalaitoksen hyötysuhde on paljon parempi, lauhdekäytössä n. 60% (Kaasuturbiini, Wikipedia) ja vastapainetuotannossa lämmön- ja sähköntuotannon kokonaishyötysuhteeksi voidaan saada jopa 90 % (Larjola, 2009). Kuvassa 7 on esitelty periaatekaavio kombivoimalaitosprosessista. Kaasuturbiinille tehtäviä muutoksia kombin optimoimiseksi ei tässä työssä käsitellä.

Taulukko 4. Kuvan 7 kombivoimalaitosprosessin osat.

1. kaasuturbiinin ahdin	7. höyryturbiini
2. polttokammio, polttoaineen syöttö ja vesiruiskutus	8. generaattori
3. turbiini	9. kaukolämpöpiiri
4. pakokaasukattila	10. lauhdutin
5. lieriö ja höyrystin	11. syöttövesisäiliö (SYVE)
6. kaukolämpöveden esilämmityspiiri	



Kuva 7. Periaatekaavio kombivoimalaitosprosessista (kuva on muokattu lähteestä Vihinen 1993 s.62).

2.5 Kattila K4

K4-kattila rakennettiin 1950-luvulla toimimaan voimalaitoksen hiilikattilana. Vuonna 1997 arinakattila muutettiin leijupetikattilaksi, ja se tuottaa täydellä ajolla 50 MW. K4-kattilan polttoaineena käytetään biopolttoaineita, turvetta ja puuhaketta, suhteessa 30 / 70. Kattilalle on tehty normaalit kunnossapitohuollot ja vuonna 2012 vuosihuollon yhteydessä sen muurauksia korjattiin ja kattilan ilmasuuttimet automaatioantureineen tarkastettiin.

Kattila toimii tällä hetkellä arvoilla 27 bar / 400 °C eli höyryturbiinin arvojen mukaisesti. Kattilan laskennallista toiminta-aikaa on jäljellä n. 5000 h, eli sen toiminta päättyy n. 2015 - 2016. Tällöin kattila vaatisi joko täydellisen huollon tai se tulisi korvata uudella kattilalla. Uuden kattilan hankinnasta on ollut jo suunnitelmia: mahdollisesti hankittava K6-kattila asetettaisiin nykyisen K1- tai K2-kattilan paikalle ja K4 poistuisi kokonaan käytöstä.

Jos K4-kattilan toiminta-aikaa haluttaisiin lisätä, se tulisi täydellisesti huoltaa ja lisäksi sen tulisi läpäistä tiukentuneet EU:n päästödirektiivit. Pääasiallisesti jatkossa teollisuuden ympäristöluvut tukeutuvat enemmän parhaisiin käytössä oleviin tekniikoihin (BAT, Best Available Technology), ja nämä päästörajat tulevat voimaan vuoden 2016 alusta (Energiateollisuus, 2012). Täydellinen huolto K4-kattilalle voidaan arvioida kustannuksellisesti erittäin kalliiksi investoinniksi. Näin ollen voidaan olettaa, että K4-kattilan käyttöön jatkaminen ei ole taloudellisesti kannattavaa.

2.6 Kattila K5

Vanajan voimalaitoksen K5-kattila on Metso Power Oy:n rakentama leijupetikattila (Bubbling Fluidized Bed, BFB), ja se otettiin käyttöön vuonna 2009. Se on mallia Hybex, ja se rakennettiin kattilan K3 tilalle. Sen suunnitteluarvot ovat 45 bar / 450 °C, mutta sitä ajetaan vanhan höyryturbiinin arvoilla, kuten K4:n tapauksessa. K5 on normaalisti aina käytössä; lisäksi tilanteen mukaan ajetaan samanaikaisesti joko K4- tai pakokaasukattilaa.

Leijupetikattiloilla on korkea hyötysuhde ja pienet päästöt, ne ovat luotettavia, polttoaineiden käyttö on joustavaa, huoltoja tarvitaan harvoin ja niiden oma käyttöteho on pieni (Ylitalo, 2010).

Hybex-kattiloiden kapasiteetti vaihtelee välillä 10 - 300 MWh. Polttoaineina niissä voidaan käyttää seuraavia: kuori, liete, sahanpuru, turve, metsätähde, kannot, kasvit ja jättemateriaalit (purkupuuh, muovijäte) (Metso Power Oy, Hybex-kattila).

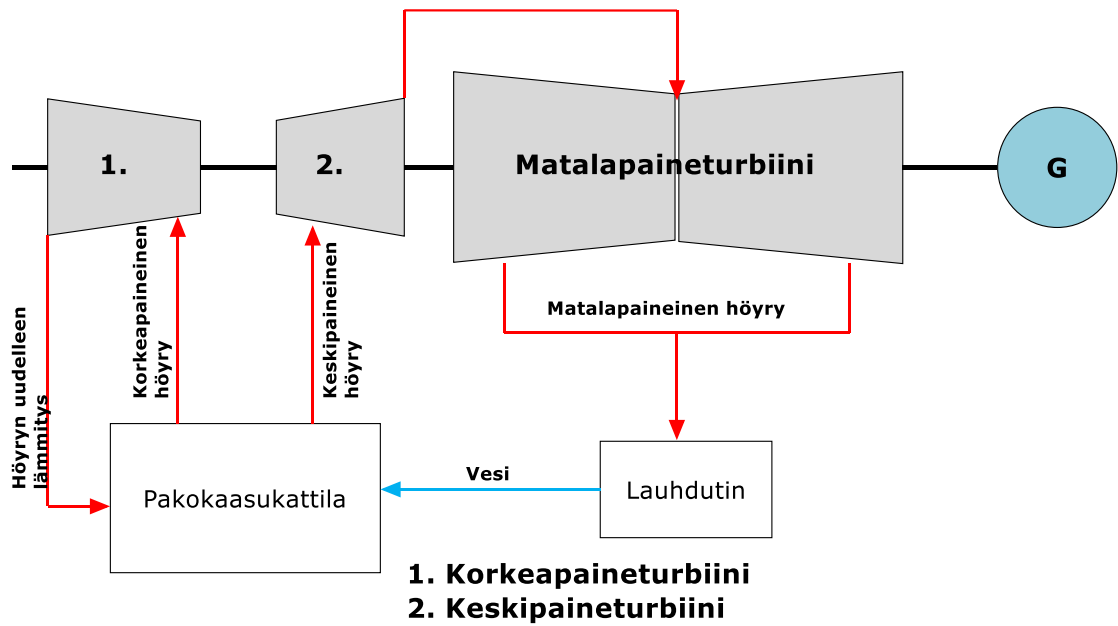
Tulevien korotettujen paine- ja lämpötila-arvojen vuoksi (45 bar / 450 °C) kattilaan joudutaan tekemään pieniä muutostöitä tulistimille ja automaatiopuolelle. Lisäksi sen varoventtiilit tulee säätää joko uudelleen tai korvaata ne uusilla. Lisäksi vesiruiskutus K5-tuorehöyrylinjaan tulee uusiksi.

Korotettaessa höyryn arvoja ja käytettäessä vaihtelevia polttoaineita tulee huomioida laitteiden materiaalien kestävyys. Kattilan K5 polttoaineen syöttötorvet on vahvistettu 2012 vuosi- ja huollon yhteydessä. Huolto jouduttiin tekemään, koska syyksi epäilty huonolaatuinen polttoaine oli kuluttanut niin polttoaineen syöttötorvet kuin myös osaltaan voimalaitoksen polttoaineen kuljettimien ketjuja ja kolia.

2.7 Kattila K6

Uuden leijupetikattilan hankinnasta on tehty talous- ja kustannusarvioita, mutta tässä työssä kattilan toimintaa ei käsitellä laajemmin. Mikäli kattila K4 korvataan uudella kattilalla, uusiksi tuotantoarvoiksi on suunniteltu 90 bar / 500 °C. Tällöin höyryturbiinille pitää rakentaa erilliset HP (high pressure) ja LP (low pressure) -linjat, jolloin K5-kattilan höyryä voitaisiin johtaa matalan paineen höyryturbiiniin ja K6-kattilan höyryä korkean paineen turbiiniin. LP-linjat käyttäisivät alempia tuorehöyryn tuotantoarvoja jolla voitaisiin ajaa rinnan olevaa alemmilla tuotantoarvoilla toimivaa turbiinia (Investointi suunnitelmat kattila K6, Elenia).

Kuvassa 8 on otettu huomioon vielä keskipaineinen höyryturbiini, jota voidaan ajaa esimerkiksi pakokaasukattilan tuottamalla matalampipaineisella höyryllä. Korkeapaineinen höyry ajetaan korkeapaineturbiiniin (1.), josta höyry voidaan uudelleen lämmittää K6-kattilassa. Keskipaineisella höyryllä voidaan ajaa keskipaineturbiinia (2.), josta turbiinin paineen laskiessa voidaan vielä pyörittää matalapaineturbiinia. Kaikki turbiinit sijaitsevat samalla akselilinjalla, jonka perässä on generaattori, jolla voidaan tuottaa sähköenergia. Kuvaan ei ole merkitty mahdollisia muita väliottoja muille laitteille, joita voidaan prosessin ylimääräisellä höyryllä hyödyntää.



Kuva 8. Periaatekuva ajettaessa kolmea erillistä samalla akselilinjalla sijaitsevaa turbiinia: korkeapaineturbiinia, keskipaineturbiinia sekä matalapaineturbiinia (muokattu lähteestä Electropaedia).

3 PAKOKAASUKATTILAN YMPÄRYSLAITTEET

3.1 Pumput

Taulukossa 4 on esitelty Vanajan voimalaitoksen käytössä olevia pumppuja. Pumpuissa mekaaninen teho muutetaan hydrauliseksi. Pumppu voi olla tyypiltään syrjäytys- tai keskipakopumppu: tässä esitellyt Vanajan voimalaitoksen pumput ovat syrjäytyspumppuja. Syrjäytyspumppun (ruuvipumpun) toiminta perustuu nesteen syrjäyttämiseen pesästä paineenalaiseen poistoputkeen. Syrjäytyspumppuja käytetään tapauksissa, joissa nestevirran määrä pidetään vakiona vastapaineesta huolimatta (Huhtinen ym. 2008, s.134-135). Keskipakopumppuissa (dynaamisissa pumppuissa) siivet panevat nesteen pyörivään liikkeeseen, mikä nostaa painetta juoksupyörän ulkoreunalla. Keskipakopumput ovat teollisuuden yleisimpiä pumpputyyppejä. Pumppua valittaessa tulee pyrkiä estämään kavitaation syntyminen huolehtimalla riittävästä paineesta pumpun imupuolella. Syrjäytyspumppuissa kavitaation ilmeneminen on melko harvinaista.

Taulukko 5. Vanajan voimalaitoksessa käytössä olevia pumppuja.

Pumput	Positiotunnus	Paine	Lämpötila
Sultzer ZF 250 – 3315 (kiertovesipumppu x 2)	3NA11D001 3NA12D001	31,23 - 48,83 bar	230 °C – 259 °C
Varasyöttövesipumppu	RL06D001	40 bar	450 °C
Syöttövesipumppu(K5)	05RL10D001	60 bar	450 °C

Tällä hetkellä käytössä on kaksi Sulzerin pumppua (ZF 250 – 3315). Valmistajan mukaan kyseisten pumppujen korkein sallittu käyttölämpötila on 259 °C, mutta tätä korkeampiin lämpötiloihin päästään lisäjähdytyksen avulla. Lisäjähdytys on vesikiertoinen jäähdytys, jonka tarkoituksena on jäähdyttää pesässä kiertävän öljyn lämpötilaa kylmällä jäähdytysnesteellä. Jäähdytettävä kohde ympäröidään jäähdytysputkilla tai jäähdyttimellä, jossa virtaava neste vastaanottaa pumpun lämpöenergian ja näin alentaa itse pumpun lämpötilaa.

Kahdella pumpulla pystytään varmistamaan kierto sekä pakokaasu- että K5-kattiloille, mutta alunperin toinen pumppu rakennettiin varapumpuksi. Häätätilanteessa pakokaasukattilan paineen laskiessa nopeasti voitaisiin käynnistää toinen kiertovesipumppu ja siten varmistaa riittävä kiertovesimäärä. Molemmilla pumpuilla on oma häiriöautomaattikkansa. Jos molemmat pysähtyvät, seuraa kaasuturbiinin pikasulku.

Kattilalla K5 on oma syöttövesipumppunsa 05RL10D001, jolla voidaan ajaa syöttövettä kaikille kattiloille yhtä aikaa. Lisäksi varasyöttövesipumppua RL06D001 voidaan käyttää pakokaasukattilalle ja K4:lle.

Koska 05RL10D001 kestää 60 bar paineen, ei tuleva systeemin paineen ja lämpötilan nosto johda tältä osin muutostarpeisiin. Sen sijaan vanha syöttölinja kestää vain 40 bar paineen, ja siksi systeemiin on jo rakennettu painelaukaisu vanhaa syöttövesilinjaa suojaamaan. Tuleva painennosto ei aiheuta pumppuihin muita muutoksia.

3.2 Putkistolinjat

Taulukossa 6 on esitelty Vanajan voimalaitoksen pakokaasukattilaan liittyvät putkilinjat, jotka on suurimmaksi osaksi rakennettu samaan aikaan pakokaasukattilan kanssa. Putkisto on kuitenkin rakennettu niin, että sen suunnitteluarvot sallivat nykyistä korkeampaa painetta ja lämpötilaa. Kaikille olemassa oleville putkilinjoille löytyi alkuperäiset dokumentaatiot, jotka tukevat laitetoimittaja Bredan alkuperäistä raporttia, jonka mukaan putkistot on suunniteltu kestäämään prosessiarvoja 40 bar / 450°C.

Taulukko 6. Putkistolinjojen positiotunnukset ja prosessiarvot.

Putkistolinja	Positiotunnus	Suunnittelupaine	Suunnittelu- lämpötila
Päähöyrylinja	3RA-10	45 bar	450 °C
Primääri- ja sekundäärilinja	3NA-50/-55/-60	45 bar	400 °C
Pakokaasukattilan kiertovesilinjat	3NA-10/-20/-22, 3NA-30...-35.	45 bar	259 °C
Pakokaasukattilan lieriön yhteyslinjat.	3NA-40/-41/-42, 3ND-10.	47 bar	259 °C
Pakokaasuvaihtimen putkistolinja	UM70	16 bar	200 °C
Syöttövesilinja	3RL10	47 bar	259 °C
Kierrätyslinja	3NA21	47 bar	259 °C

3.3 Venttiilit

Taulukko 7. Vanajan voimalaitoksen pakokaasukattilan ympäryslaitteiden venttiilien positiot ja prosessiarvot.

Venttiili	Positiotunnus	Suunnittelupaine	Suunnittelu- lämpötila
Lieriön varoventtiili	3NA10S001/1	34 bar (säädetävissä 45 bar)	ei ilmoitettu
Tulistimen varoventtiili	3RA10S001/39	29 bar (säädetävissä 42 bar)	ei ilmoitettu
Höyryrumpu varoventtiili	3NC20B001/12	43 bar	256 °C
Tulistimen varoventtiili (Vaimennin)	3NC30B001/40	42 bar	450 °C
Näkölasi	L002/L005	47 bar	259 °C
Näkölasin tasoanturi	LSZ-L003	47 bar	259 °C
Lauhdutin	3NA55	45 bar	400 °C

Taulukko 8. Vanajan voimalaitoksen pakokaasukattilan positiotunnukset ja prosessiarvot.

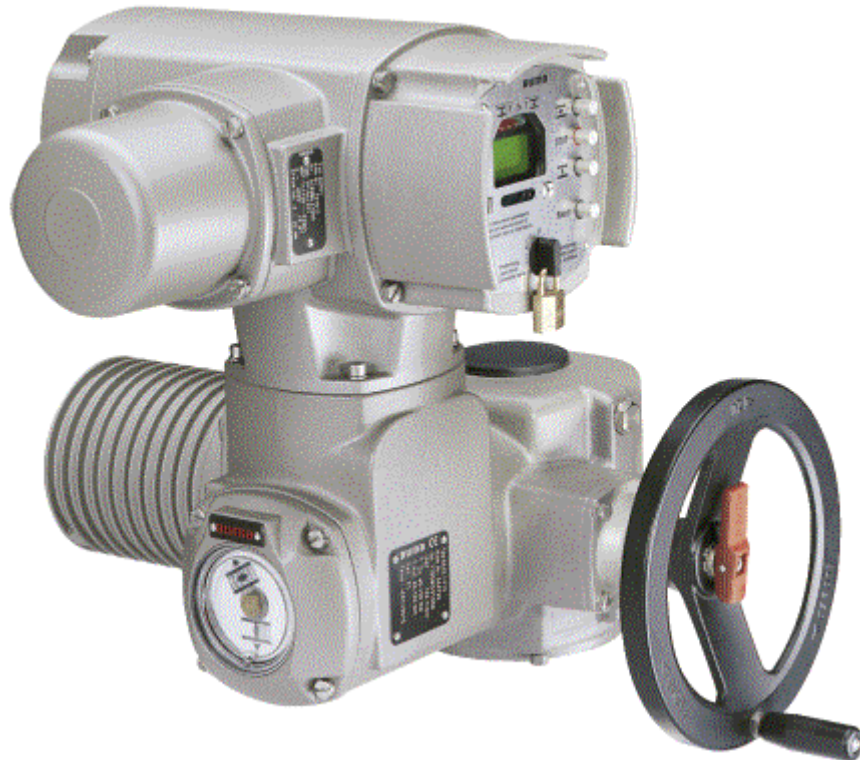
Säätöventtiili	Positiotunnus	Suunnittelupaine	Suunnittelu- lämpötila
Höyryn lämpötilan säätöventtiili	3NA50S101	46 bar	400 °C
Käynnistys säätöventtiili	3RA11S101	46 bar	450 °C
Ekonomaiserin kierrätysventtiili	3NA21S101	48 bar	259 °C
Korkean tason ulospuhallusventtiili	3NC01S101	46 bar	259 °C
Jatkuva ulospuhallus, venttiili	3NC02S101	46 bar	259 °C

Painetta korotettaessa jo olemassa olevaan linjaan tulee ottaa huomioon, että linjalle asennetaan tuplaventtiilit valmistajan ohjeen mukaan, mutta putkistolinjalle asetettiin tuplaventtiilit pakokaasukattilaa rakennettaessa.

3.2.1 Venttiilien toimilaitteet

Tällä hetkellä käytössä olevien venttiilien toimilaitteiden valmistaja on AUMA. Ne ovat sähkötoimilaitteita tyypiltään SA 07.1 – SA 16.1. Auma-toimilaitteet on tarkoitettu teollisuusventtiilien (kuten istukka-, luisti-, läppä- ja palloventtiilit) ohjaukseen. Niitä voidaan asentaa myös vaihteisiin. Ne on yleensä ohjelmoitu yksinkertaisiin AUKI – KIINNI – toimintoihin (Open – Close).

Sähkötoimilaitteen ohjainyksikkönä toimii Aumatic, joka mahdollistaa AUKI – KIINNI – käytön, asennointikäytön, prosessisäädinkäytön, käyttötietojen keräämisen kohteesta sekä diagnostiikan. Toimilaitetta ohjataan joko paikallisesti tai etäkäyttönä esimerkiksi valvomosta antamalla sille analoginen ohjaussignaali (esim. 4 – 20 mA).



Kuva 9. AUMA-toimilaitteventtiili käsipyörällä (Lähde: AUMA).

4 AUTOMAATIO

4.1 PID-säätöpiiri

PID (Proportional - integral - derivative) -säädin on säätötekniikassa yksi perussäätimistä. PID-säätimiä käytetään teollisuudessa yleisesti, mikä johtuu sen hyvistä ominaisuuksista, kuten suuresta käyttöalueesta eri olosuhteissa sekä vakaasta toimintakyvystä. Säätimen nimi tulee kolmesta toimintoa kuvaavasta termistä: suhde, integroiva, derivoiva. Näitä kertoimia muuntelemalla saadaan optimaalinen vaste. PID-säädin lukee anturilta tietoa ja laskee näiden kertoimien avulla ohjaussuureen eli lähdön (Tervaskanto 2011, s.16).

Säätimen ulostulo koostuu kolmesta termistä jotka voidaan laskea kaavan (3) avulla

$$(3) u = K_p e + K_I \int e dt + K_D \frac{de}{dt} \quad (\text{Kaava 3})$$

missä $u =$ säätimen ulostulo

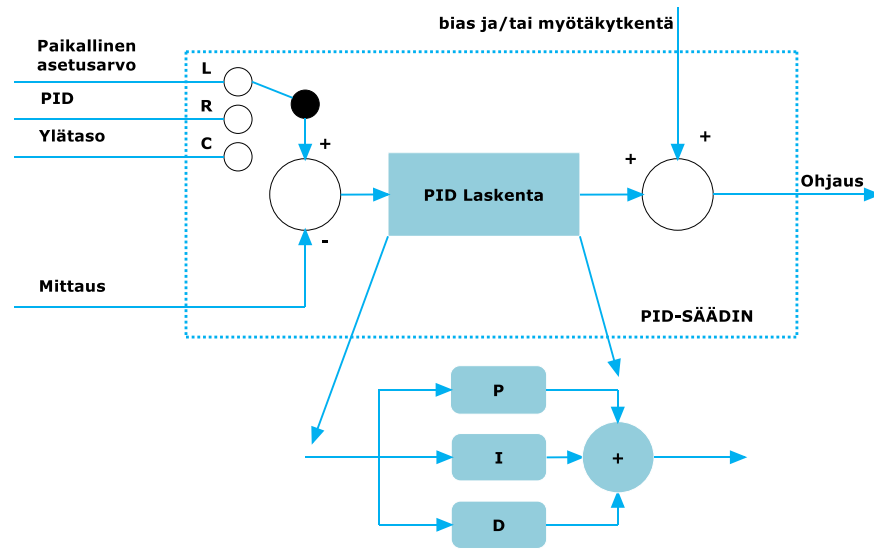
$K_p =$ vahvistus, kuvaa säätötoimenpiteen voimakkuutta

$e =$ erosuure, asetusarvon ja mittausarvon erotus

$K_I =$ integrointivahvistus

$K_D =$ derivointivahvistus

Suhdeosa (P) kuvaa toimintoa, jossa säätimen ulostulo (ohjaussuure) on suoraan verrannollinen säätimen sisäänmenoon. Integroiva osa (I) integroi erosuuretta ajassa. Derivoiva osa (D) taas tarkastelee erosuureen muutosnopeutta, ja sitä kutsutaan myös ennakoivaksi säädöksi, sillä se pyrkii kompensoimaan poikkeaman jo sen muodostumisvaiheessa. Puhuttaessa säätöpiirin virityksestä säätöpiirille etsitään sopivat säätöparametrit. (PID-säätimen rakenne, Koneautomaation wiki)



Kuva 10. PID-säätimen periaatekuva (Kuva mukailtu lähteestä Harju & Marttinen 2001, s.165).

Suljetussa järjestelmässä prosessimuuttuja on tyypillisesti parametri, jota säädetään mitattaessa esimerkiksi lämpötilaa ($^{\circ}\text{C}$), painetta ($\text{psi} \approx 0,0689476 \text{ bar}$) tai virtausta (kg/m^3). Prosessimuuttujan mittaamiseen käytetään anturia, joka antaa tietoa mitattavasta järjestelmästä. Prosessimuuttujan ja asetusarvon välistä eroa käytetään suhteena, jolla määritetään ohjaussuure joka ajetaan järjestelmälle (Ohtonen 2007, s. 8). Kontrollointijärjestelmässä ohjaussuure voi käynnistää esimerkiksi lämmittimen, jos lämpötilan suhde muuttuu asetusarvon (135°C) ja prosessimuuttujan välillä (105°C).

Painetta ja tai lämpötilaa korotettaessa suljetussa järjestelmässä tulee säätöpiiri käydä uudelleen läpi mukaan lukien PID-säädin, jotta niiden ohjaus tukee järjestelmän uusia parametreja. Säätöpiiri muodostuu anturista (lähetin), säätimestä sekä toimiyksiköstä (säätöventtiili / pumppu sekä taajuusmuuttaja). Suositeltu PID-säätöpiiri tulevassa systeemissä on esitelty liitteessä 6.

Syöttövesilinjaan asennetaan painemittaukset suojaamaan vanhaa syöttövesilinjaa paineiskuilta ajettaessa K5:n syöttöpumpulla syöttövettä vanhaan linjaan. Uuden pumpun maksimituoton ollessa 60 bar vanhaa syvelinjaa (maksimissaan 45 bar) tulee suojata paineiskuilta.

Kaikki asennetut painemittaukset ovat samanlaisia SIL2-tason täyttäviä Enress + Hauserin lähettämiä, tyypiltään Cerabar M PMP51.

- 05RL11P002 ja 05RL11P003, kaksi painemittausta linja 05RL11
- 05RL10P001 ja 05RL10P002, kaksi painemittausta linja 05RL10

4.2 Kaasuturbiinin automaatio

Kaasuturbiinin automaatio on toteutettu Speedtronic Mark IV-järjestelmällä, joka hoitaa turbiinin ohjaukset ja säädöt. Tällöin kaasuturbiinin kierrosluvun nostot ja laskut tapahtuvat kaikki automatiikan avulla, jota ohjataan voimalaitoksen valvomosta. Kaasuturbiinin hälytyskeskus sijaitsee valvomossa.

Järjestelmä sisältää seuraavat säädöt kaasuturbiinin sisäisten säätöjen lisäksi (valvomosta säädettävät)

- kaasuturbiinin tehon säätö
- lieriön pinnan säätö
- tuorehöyryn paineensäätö
- tuorehöyryn lämpötilan säätö
- jatkuva lieriön ulospuhallus
- käynnistyshöyryn määrä
- Ekon (ekonomaiser)kierrätysvesi.

5 TALOUS JA HANKINNAT

5.1 Yleistä

Tehtäessä hinta-arviota koko projektille tulee ottaa huomioon useita tekijöitä. Usein on toivottavaa käyttää samaa alihankkijaa, jota on käytetty aikaisemmin, mutta jätettäessä hintatarjouksia voivat eri toimittajien hinnat vaihdella paljonkin. Nykyään mitoitus tehdään niin tarkkaan, ettei suunnitteluarvoissa ole juurikaan joustovaraa. Tämä tarkoittaa, että materiaaleja ja eristyksiä käytetään juuri niin paljon, kuin on tarpeen.

Tässä työssä käytetyt ostohinnat perustuvat Elenian hankintahistoriaan tai voimassa oleviin tarjouksiin. Kokonaisinvestointimäärää arvioitaessa ei voida määrittää kaikkia tekijöitä, mikä johtuu mm. vanhoista ostohinnoista (laskettuna tarpeellisella inflaatiokorotuksella), muuttuvista asiantuntijan/toimittajantuntihinnoista sekä asennusvaiheessa ilmenevistä lisäkustannuksista.

5.2 Venttiilit

Kuten aikaisemmin todettiin, tarvitaan paineen korotuksen yhteydessä tuplaventtiilit tuorehöyrylinjaan. Monessa kohtaa linjaa on jo olemassa oleva tuplaventtiilit, mutta niiden kunto tulee tarkistaa NDT-menetelmin, kuin myös putkiston osalta. Tämä saattaa tuoda lisäkustannuksia jo suunniteltujen muutosten lisäksi. Osaksi on mahdollista, että toimilaitteventtiileitä joudutaan uusimaan mahdollisen korroosion takia.

Taulukko 9. Hinnasto toimilaitte-venttiileistä (Elenia historiatieto, 2004).

Tyyppi	DN / PN	Toimilaitte / valmistaja	Materiaali	Hinta
Varoventtiili	PN63 / 40	Leser 4552.6035	H 3	2 745 € 3077 € (inflaatio korotus)
Moottori-sulkuventtiili	300 / 40	AUMA SA14.5 (TP110/001) 400V/50Hz	H II	7 221 € 9147 € (inflaatio korotus)
Takaiskuventtiili	PN 63 / 100	Valmistaja KSB	C22.8 13CrMo44	9 000 €

Tarkkoja hankintahintoja ei saatu eri luokan toimilaitteventtiileille (tässä tapauksessa AUMA), joten jouduttiin käyttämään vanhoja olemassa olevia hinnastoja. Taulukon 9 hankintahintojen mukaan voidaan arvioida hankintahinta vuodelle 2014, ottamalla mukaan inflaatiokorotus. Tässä tapauksessa inflaatiokorotus on laskettu 3% (ks. Liite 3.). Taulukossa 8 on merkitty myös takaiskuventtiili (yksi suuntaventtiili / vastaventtiili), jonka tarkoitus on päästää virtaus kulkemaan vain toiseen suuntaan.

Näitä uuteen linjaan tarvitaan kaksi kappaletta ja niiden hinta perustuu saatuun tarjoukseen 2013:

- takaiskuventtiili 9000 € x 2 kappaletta
- varoventtiili 3077 € x 2 kappaletta
- moottorisulkuventtiili 9147 € x 1 kappaletta

Kokonaishinta uusille venttiileille yhteensä 33 301 €.

5.3 Automaatiokustannukset

Venttiileitä ja putkistoa asennettaessa tulee linjaan tehdä automaatiomuutokset ja asennukset. Automaatiokustannukset on lueteltu erikseen taulukossa 10, jotta saadaan kokonaiskuva kaikkien asennusten eri osista ja kuinka ne vaikuttavat loppuhintaan.

Taulukko 10. Kokonaiskustannukset tehtäville automaatiolisäyksille. Suunnitellut automaatiokustannukset ovat yhteensä 23 500 €.

Suoritettava työ	Hinta
Apuhöyryn automaatio	3 000 €
Toimilaitteventtiilien automaatio	4 500 €
Laitelisäysautomaatio	3 000 €
Automaation koestukset	10 000 €
Automaation muutostarkastukset / dokumentaatio	3 000 €

5.4 Kaasuturbiinin automaatiopäivitys

Kaasuturbiinin automaatio tulee päivittää samalla, kun turbiinille tulee tehdä 200 000 tunnin huolto (täyshuolto). Automaation osalta päivitysvaihtoehtoja on kaksi. Vanhan Speedtronic-järjestelmän päivitys uuteen tulisi maksamaan arviolta noin 350 000 € tai järjestelmä voidaan päivittää Siemens T3000-järjestelmään, joka tulisi maksamaan arviolta 450 000 €.

Paineluokkaa korotettaessa vaaranarvioinnit sekä muutokset automaatioon ja kenttälaitteisiin tulee tehdä uudestaan. Automaation muutoksiin koestuksineen voidaan laskea arviolta 10 000-15 000 €, ja sen lisäksi muutostarkastukset/dokumentaation hyväksyntä lisäävät kustannuksia arviolta 2 000-3 000 €. Kokonaishinnaksi voidaan arvioida Siemens-automaatiopäivitykselle 468 000 € tai Speedtronic automaatiopäivitykselle 368 000 €.

5.4.1 Kaasuturbiinin huollot

Kaasuturbiinille jaksottuu erilaisia huoltoja, jotka pitää ottaa huomioon laskettaessa lopullista kustannustulosta projektille.

(Taulukko 11. On salattu ja poistettu tästä versiosta)

5.5 Putkistolinjakustannukset

(Kappalle 5.5 on salattu ja poistettu tästä versiosta).

5.6 Alemmalla paineella

Tässä tapauksessa oletetaan, että K4-kattilalla ajetaan edelleen ja näin ollen säästetään liitoskustannuksissa, joita tarvitsee tehdä voimalaitoksella. Tällöin K5-kattila tulee kuitenkin erottaa vanhasta höyrylinjasta erotusventtiilillä (taulukossa 12 oleva toimilaitteventtiili), kun K5-kattila yhdistetään reduktiolämmönvaihtimen jälkeiseen osuuteen (ks. liite 2 ja liite 5).

Taulukko 12. Tarvittavat muutostyöt hintoineen alemmalla paineella.

Suoritettava työ	Hinta	Muuta huomioitavaa
Tulppaus+asbestityöt	5 000 € + 5 000 €	vanhalle höyryturbiinille menevän linjan tulppaus
Vanhan reduktion poisto	20 000 €	tarvitaan jos matalapaineisempaa höyryä ei tarvitse tuoda
Toimilaitteventtiili+automaatio	8 000 € + 4 500 €	K5 yhdistetään reduktioventtiilin jälkeiseen osuuteen
Putkistosuunnittelu	10 000 €	-
K5-kattilan erotus	43 000 €	PKK-kattilan höyryliitynnän muutostyö

Näin ollen alemmalla paineella ajettaessa kustannukset tulisivat olemaan yhteensä 95 500 €.

5.7 Korkeammalla paineella

Korkeammalla paineella ajettaessa tarvitaan enemmän muutoksia tulevaan linjaan (ks. liite 3 ja liite 6) verrattaessa alemman paineen vaihtoehtoon.

Taulukko 13. Kustannusarviot, ajettaessa korkeampaa painetta linjaan.

Suoritettava työ	Hinta	Muuta huomioitavaa
Putkistosuunnittelu	10 000 €	-
Automaattivesitysventtiilin lisäys	20 000 €	lisäys edellyttää vanhan ulospuhallussäiliön uusimista pohjatasolle
Vesityslinjan asennus	22 510 € (inflaatio hinta)	asennushinta (eristys + telinetyöt + materiaalit). Tarvittava määrä uutta linjaa 20 metriä
Putkiliitoksen purkutyö	33 000 €	purkutyö välillä PKK-liityntä, turbiiniliityntä, K4-liityntä sekä K5-liityntä
Uuden putkistoliityntöjen materiaalit	10 000 €	-
Asennustyöt	19 200 €	hinta perustuu neljän työmiehen tekemään työhön + tuntipalkka + työtunnit
Tarkastukset	2 000 €	automaatiotarkastukset
Eristys	10 000 €	-

Yhteensä nämä työt tekisivät 124 200 €. Näiden lisäksi korkeammalla paineella tulisi uusia vielä venttiilit, automaatio sekä niiden asennus, yhteensä 56 801 € (automaatiokustannukset + venttiilikustannukset). Näin ollen kokonaiskustannukset olisivat yhteensä 181 001 € + (PKK-ripariputkimuutos) 461 250 € = 642 251 €.

5.8 Polttoaineen hinta ja hintakehitys

(Kappalle 5.8 on salattu ja poistettu tästä versiosta)

5.9 Käyttö- ja kunnossapitokustannukset, Vanaja

Tehtäessä lopullisia laskelmia investointien lisäksi laskuihin tulee ottaa mukaan joka vuodelta käyttö- ja kunnossapito kustannukset kyseessä oleville laitteille / laitoksille.

(Kustannuslaskelmat 2011, Elenia)

Vuotuiset käyttö- ja kunnossapito kustannukset:

- CCGT (Combined-Cycle Gas Turbine) - kaasuturbiini 900 k /a.
- K5- kattila, 750 k / a (vertailu kohta kaasuturbiinille).

6 PROJEKTIN TULOKSET

6.1 Projektin aikataulu

Aikataulu on laitettu alkamaan päivästä 1.1.2014, jolloin kaikki hankintasuunnitelmat sekä päätökset on saatu tehtyä. Lopetuspäivämäärä projektille on asetettu syksyille 2015, koska tällöin höyryturbiinin tulisi olla jo asennettu ja valmiina tuotantoon. Aikataulu on pyritty tekemään, jotta Vanajan voimalaitoksen tuotannossa tapahtuisi mahdollisimman vähän tarpeettomia alasajoja tai käyttöseisakkeja. Kaikki tarpeettomat käyttökatkot voivat aiheuttaa mittavia lisäkustannuksia, sekä myös projektin edetessä ilmenevät mahdolliset ongelmat voivat venyttää aikataulua, ja tämä on pyritty ottamaan huomioon taulukon eri välitavoitteiden kestossa.

Tuorehöyryputken jatkon tekeminen voidaan aloittaa tuotannon ollessa vielä päällä, mutta varsinaisten liitosten tekeminen olemassa oleviin putkiin vaatii putkien paineiden normalisoinnin ja tulppauksen. Putkiliitoksen alku on asetettu alkamaan noin 3 viikkoa ennen Vanajan voimalaitoksen vuosihuoltoa, ja näin ollen pyritään lyhentämään mahdollista seisakkeja. Voidaan olettaa alustavasti seisakin kestoksi 8 päivää, jolloin kustannukset tältä ajalta ovat 107 200 € (Tuotantokustannukset, Elenia).

Koko projektin aikataulutukset tuleville tehtäville sekä niiden arvioidulle kestolle on kuvattu liitteessä 4.

6.2 Nykyarvomenetelmä

Nykyarvomenetelmä eli (NPV, Net Present Value) on menetelmä, jossa lasketaan investointien vuotuisten nettotulojen nykyarvo. Tällöin yrityksen tuotot ja kulut diskontataan nykyhetkeen valitulla laskentakorkokannalla, jolloin saadaan niiden nykyarvo selville. (Jadelcons Oy. Nykyarvomenetelmä).

Diskonttaus on tulevan rahavirran nykyarvon laskemista, ja kun nämä nykyarvot lasketaan yhteen, kertoo yhteenlaskun tulos, kuinka paljon investointi tuottaa voittoa nykyarvossa mitattuna (Siivola 2011, Nykyarvomenetelmä).

Laskuissa otetaan huomioon pitoajalta

- perusinvestointi
- investoinnin jäännösarvo
- kulut
- menot.

Nykyarvomenetelmä on kannattava kaavan (4) mukaan, jos saatu tulos on positiivinen.

$$(4) \sum_{t=1}^n \frac{(T_t - K_t)}{(1+i)^t} + \frac{J}{(1+i)^n} - H \geq 0 \quad (\text{Kaava 4})$$

jossa $H =$ kaikki investointikulut

$J =$ jäännösarvo

$K_t =$ vuosikulut vuonna t ($t = 1, t = 2..$)

$T_t =$ vuosituotot vuonna t

$i =$ laskennallinen vuosituotto desimaalimuodossa

$n =$ kokonaisinvestointiaika vuosina

6.3 Projektin takaisinmaksuaika

Takaisinmaksuajan menetelmällä määritetään, kuinka monen vuoden kuluttua projektin investointi maksaa itsensä takaisin, eli nettotuottojen summa ylittää hankintakustannukset. Laskennassa voidaan ottaa huomioon myös vuotuiset koron vaikutukset, ja tällöin vuotuiset nettotuotot tulee diskontata nykyhetkeen. Diskonttokorkona käytetään usein pääomankustannusta, joka on markkinakorko korjattuna rahavirran epävarmuustekijöillä. Otettaessa korko huomioon tulee diskontata vuotuiset nettotuotot nykyhetkeen sekä laskea, kuinka monen vuoden päästä diskontatut vuosituotot ylittävät hankintahinnan.

Takaisinmaksuaikamenetelmää käytetäänkin usein, kun yritys haluaa laskea pitkän aikavälin tuoton kokonaisinvestoinneille (Marttila 2011, s.37-38).

Laskettaessa tälle projektille takaisinmaksuaika on otettava huomioon kaikki mahdolliset huollot sekä investoinnit vuotuisesti. Investointeja tässä tapauksessa ovat tarvittavat muutoinvestoinnit, kaasuturbiini-investoinnit sekä mahdolliset tuotantotappiot. Nämä sijoitetaan laskentataulukkoon, otetaan huomioon laskennassa käytettävä korko ja näin saadaan laskettua lyhin takaisinmaksuaika investoinneille.

Työssä pyrittiin selvittämään takaisinmaksuaikaa kahdelle eri vaihtoehdolle. Vaihtoehto yksi (1), olisi ajaa laitosta edelleen alemmalla paineella ja näin ollen pyrkiä pienempiin investointeihin ja pienempiin voittoihin. Vaihtoehto kaksi (2), olisi hankkia uusi höyryturbiini ja pyrkiä ajamaan korkeammalla paineella, mutta näin ollen investointien määrä kasvaa huomattavasti. Laskettaessa takaisinmaksuaikaa molemmille tuloksille on inflaatiokorkona käytetty 3 %.

Molemmat vaihtoehdot on laskettu Excel-taulukoinnin avulla. Lähtökohtina taulukon laskennalle valitsin Elenian suosituksesta aikaisemmin yrityksen käyttämiä lähtöarvoja isojen investointien takaisinmaksun määrittämisessä.

Taulukko 14. Lähtötiedot laskentaan.

Takaisinmaksuaika	25 vuotta (enimmillään 30 vuotta)
Laskentakorko	10 %
Arvon alennus - / Poisto - prosentti	25 %
Verotusprosentti	24,50 %
Inflaatio	3 %
Lämmön hinta (2013)	53 € / MWh
Sähkön hinta (2013)	50 € / MWh

6.3.1 Takaisinmaksuajan laskeminen

Laskennassa tarvitaan lisäksi keskiarvomyyntitulokset aikaisemmilta vuosilta, ja joissa vuotuista myynninhintojen kasvun osuutta ei ole otettu huomioon. Tämä johtuu siitä, että

markkinoita on miltei mahdoton ennakoida. Toisiin muuttujiin, kuten polttoainehinnan kehitykseen, on laskettu 2,5 % /a inflaatiokorotus.

Taulukko 15. Myynti- sekä polttoainemäärät vaihtoehdoille yksi (1) ja kaksi (2).

Myynti 2013	Vaihtoehto yksi (1), alemmalla paineella (2013).	Vaihtoehto kaksi (2), korkeammalla paineella (2013).
Sähkönmyynti	115 200 MWh	144 000 MWh
Lämmönmyynti	167 040 MWh	184 320 MWh
Kokonaismyynti	282 240 MWh	328 320 MWh
Polttoainemäärä (MWh)	316 800 MWh	361 152 MWh

6.4 Laskennan tulokset

Taulukon tarkoitus oli laskea nopein mahdollinen takaisinmaksuaika investoinneille, jotta yritys vähintään ylittäisi kokonaisinvestointien määrän ja tekisi voittoa. Tuloksen tuli olla positiivinen ja antaa toivoa pienemmälle takaisinmaksuajalle kuin asetetulle 25 vuodelle. Jos saatu tulos on negatiivinen, laskennassa on esitetty vaihtoehtoja, kuinka projekti voitaisiin saada tuottoisaksi.

6.4.1 Maakaasun hintakehitys laskennassa

Taulukko 16. Maakaasun hintakehitys 3 %:n inflaatiolla.

Vuosi	Hinta (€ / MWh)
2013	53 € / MWh
2023	71,2 € / MWh
2033	95,7 € / MWh
2038	111 € / MWh

Taulukko 17, kuvaa maakaasun hintakehitystä 25 vuoden aikana. Näin ollen hinta kasvaisi 58 € vuosina 2013 - 2038.

6.5 Takaisinmaksuaika projektille

Taulukko 17. Laskentataulukon tuottamat tulokset takaisinmaksuajalle.

Toiminto	Vaihtoehto yksi (1)	Vaihtoehto kaksi (2)
Investointi	5 008 k€	5 612 k€
Nettonykyarvo (Net present value, NPV)	-30 205 k€	-31 388 k€
Takaisinmaksuaika (NPV < 0)	Ei mahdollinen	Ei mahdollinen
Suora takaisinmaksu	Ei mahdollinen	Ei mahdollinen

Taulukosta 18 voidaan huomata, ettei takaisinmaksu onnistu asetetun 25 vuoden aikana. Näin ollen suora investointien takaisinmaksu ei ole mahdollista ja nettonykyarvoksi saadaan negatiivinen luku. Nettonykyarvo mittaa projektin kannattavuutta. Se saadaan tulo- ja menovirtojen nykyarvojen erotuksella (kaava (5)).

$$NPV = PV(\text{tulovirta}) - PV(\text{menovirta})$$

$$NPV = -H + \sum_{t=1}^a \frac{k_t}{(1+i)^t} \quad (\text{Kaava 5})$$

missä $-H = \text{Perusinvestointi (€)}$

$a = \text{kesto (jakso)}$

$t = \text{vuosi}$

Jos nettonykyarvon tulokseksi saadaan positiivinen lukema, tulovirta on arvokkaampi korkojen kanssa kuin menovirta. Tällöin projekti on käytetyllä laskentakorolla kannattava, jos $NPV < 0$.

Tarkasteltaessa tulosta lähemmin voidaan huomata, kuinka suuri nettonykyarvon antama negatiivinen lukema on. Pelkästään vaihtoehdolle yksi (1), lukema on -30 205 000 €.

Yksinkertaisesti näillä annetuilla muuttujilla ja esitiedoilla ei saada taulukosta laskettua hyväksyttävää takaisinmaksuaikaa.

Taulukko 18. Muuttamalla maakaasun lähtöhintaa 53 € / MWh – 43 € / MWh, saadaan projektin molemmille vaihtoehdoille positiivinen tulos.

Toiminto	Vaihtoehto yksi (1)	Vaihtoehto kaksi (2)
Investointi	5 008 k€	5 612 k€
Nettonykyarvo (Net present value, NPV)	1 028 k€	4 217 k€
Takaisinmaksuaika (NPV < 0)	11 vuotta	6 vuotta
Suora takaisinmaksu	8 vuotta	5 vuotta

Näin ollen projekti on kannattava, jos maakaasun verollinen lähtöhinta on 43 €/ MWh. Tämä vaihtoehto on erittäin epätodennäköinen, kun otetaan huomioon viime vuosien maakaasuhinnan kehitys.

6.6 Kannattavuuslaskelmia eri muuttujilla

6.6.1 Herkkyyskerroin sähkön hintamuutokselle

Excel-tilukoon lisättiin sensitiivisyys- eli herkkyyskerroin, jolla voidaan jälkikäteen tarkkailla, kuinka muuttamalla tiettyjen muuttujien prosenttia voidaan vaikuttaa kokonaislopputulokseen.

- Investointimäärien mahdolliset muutokset
- Perusmaksumuutokset asiakkailta
- Energiamaksumuutokset asiakkailta
- Valtakunnallinen sähkönhinnan muutos
- Valtakunnallinen perusmaksu/polttoainehinta muutos

Normaalitaulukon mukaisten muuttujien laskenta oli merkattuna herkkyysmittariin 0 %. Herkkyyskerroin helpottaa arvioimaan nopeasti kokonaisvaikutusta lopputulokseen, jos joku

lähtöarvo on muuttumassa tai sillä on mahdollisuus muuttua takaisinmaksuajan puitteissa. Tämä tarjosi myös vaihtoehdon pyrkiä saamaan aikaiseksi toimiva takaisinmaksusuunnitelma, muokkaamalla herkkyyserroimen prosenttia.

Muokkaamalla valtakunnallista sähkönhintaa antamalla sille 50 % kasvun option, näin ollen kasvattamalla sähkön hintaa 50 € - 75 €, pystyin näkemään, kuinka paljon tämä muuttujan kasvaminen vaikuttaisi lopputulokseen. Vaikkakin nykyisessä markkinatilanteessa on erittäin epätodennäköistä, että sähkön hinta kasvaisi niinkin radikaalisti kuin 50 %, ovat laskennassa käytetyt lukemat riippuvaisia tarjolla olevista markkinoista ja hinnoista.

Taulukko 19. Herkkyyserroimen vaikutus lopputulokseen, kun sähkön hintaan vaikuttaa 50 %:n kasvuennuste.

Toiminto	Vaihtoehto yksi (1)	Vaihtoehto kaksi (2)
Investointi	5 157 k€	5 864 k€
Nettonykyarvo (Net present value, NPV)	-1 812 k€	4 103 k€
Takaisinmaksuaika (NPV < 0)	Ei ratkaisua	6 vuotta
Suora takaisinmaksu	Ei mahdollinen	5 vuotta

6.6.2 Herkkyyserroin maakaasun hintamuutokselle

Tässä tapauksessa pyritään saamaan taloudellisesti kannattava takaisinmaksuaika investoinneille laskemalla maakaasun hintaan vaikuttavaa inflaatioprosenttia. Tuloksiin käytetään herkkyyserrointa maakaasun hintaan -2 % / vuosi, inflaation ollessa 3 % / vuosi. Näin saadaan maakaasunhinnalle kasvuennusteeksi 1,3 % / vuosi.

Taulukko 20. Maakaasun hintakehitys 1,3 % / vuosi.

Vuosi	Hinta (€ / MWh)
2013	53 € / MWh
2023	60,4 € / MWh
2033	66,3 € / MWh
2038	69,4 € / MWh

Taulukko 21. Herkkyysmittarin vaikutus lopputulokseen, kun maakaasun hinnan vuotuista kasvua hidastetaan.

Toiminto	Vaihtoehto yksi (1)	Vaihtoehto kaksi (2)
Investointi	5 008 k€	5 612 k€
Nettonykyarvo (Net present value, NPV)	-1 100 k€	1 791 k€
Takaisinmaksuaika (NPV < 0)	Ei mahdollinen	23 vuotta
Suora takaisinmaksu	17 vuotta	16 vuotta

Taulukosta voidaan suoraan arvioida, että 1,3 %:n vuotuinen kasvu ennuste on miltei mahdoton.

7 YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET

Työn tarkoituksena oli pyrkiä selvittämään, minkälaisia muutoksia jouduttaisiin tekemään Vanajan voimalaitoksella, jos sen käyttöpainetta nostettaisiin sähköntuoton lisäämiseksi. Vaihtoehdoiksi otettiin käyttöpaineen nostaminen sekä nykyinen alemman käyttöpaineen tuottaminen voimalaitoksella.

Tutkimalla Vanajan voimalaitoksen vanhoja piirustuksia sekä kunnossapitoraportteja pyrimme selvittämään, kuinka suuria muutoksia tarvitsee voimalaitoksella tehdä projektin suorittamiseksi. Pakokaasukattila sekä sen ympärillä olevat putkistot ja venttiilit olivat erityisen tutkinnan kohteena tässä työssä.

Tutkimuksista selvisi, että pakokaasukattilan ympäryslaitteiden muutokset tulevat olemaan vähäisiä, koska jo pakokaasukattilaa valmistettaessa oli valmistauduttu mahdolliseen paineen korottamiseen myöhemmin. Pieniä muutoksia joudutaan tekemään painetta korotettaessa, ja ne on listattu työssä.

Kombivoimalaitoksen hyödyllisyydestä tulevaisuutta ajatellen voidaan päätellä, että se olisi hyvä säilyttää Vanajan voimalaitoksella, koska sen olemassaololla voidaan varmistaa yhteistuotannon jatkuminen ongelmien sattuessa esimerkiksi K4- ja K5-kattiloiden tuotannossa.

Projektin kustannusten selvittäminen oli yksi työn keskeisiä tavoitteita. Tarkoituksena olikin saada selkeät arviot kokonaiskustannuksille niin uusittavien komponenttien osalta kuin pyrkiä laskemaan koko projektin kannattavuus Elenialle.

Tehdyistä laskenta tuloksista pystytään päättelemään, että projektin toteuttaminen sellaisenaan ei ole kannattavaa taloudellisesti. Takaisinmaksuajan määrittämisellä pyrittiin saamaan selville, millä aikavälillä investoinnit rupeavat tekemään voittoa. Tuloksista voidaan huomata, että vaikkakin takaisinmaksuaika oli edeltä asetettu 25 vuoden aikavälille, ei projekti tuota positiivista taloudellista tulosta. Projekti on tosin mahdollista saada tuottavaksi, jos esimerkiksi hankittavien komponenttien (venttiilit, urakkatarjoukset, huoltotarjoukset) investointihintaa saadaan pienennettyä. Maakaasun hinnan vaikutus on huomattava, kun lasketaan tuloksia. Jos kaasun hinta saataisiin laskettua veroineen tasolle 43 € / MWh, olisi projekti kannattava. Tässä työssä lasketuilla nykyarvoilla ei tosin päästä lähelle kannattavaa tulosta.

Projektille oli tärkeätä myös saada aikataulutusta tehtyä, jotta investoinnit voidaan rytmittää järkevästi alasajojen sekä normaalihuoltojen yhteyteen. Ylimääräiset koneiden tai laitosten tarpeettomat alasajot lisäävät kustannuksia, jotka voivat olla pienelläkin aikavälillä suuria. Tällaisten kustannusten arvioiminen voi olla erittäin haasteellista etukäteen, ja olenkin pyrkinyt järjestämään aikataulussa tarvittavat muutokset muiden huoltojen / katkojen yhteyteen voimalaitoksella. Aikataulun hyötyä voidaan soveltaa muidenkin voimalaitoksella tapahtuvien investointien suunnitteluun tulevaisuudessa ja näin pyrkiä minimoimaan tarpeettomat kustannukset.

Vaikkakin laskennallisten tulosten valossa projekti ei ole kannattava, uskon, että joitakin työssä mainittuja investointeja joudutaan tekemään lähitulevaisuudessa voimalaitoksella.

Voimalaitoksen valmiutta pitää voida ylläpitää mahdollisten muiden tuotanto-ongelmien (konerikot, polttoaineen saatavuus) tai taloussuhdannemuutosten sattuessa (polttoaineiden hintamuutokset). Tätä varten onkin järkevää pitää pakokaasukattilan ja kaasuturbiinin käyttövalmius varalla tulevaisuudessa.

LÄHTEET

AUMA. Toimilaitteventtiilit. Saatavissa: <http://www.auma-usa.com/auma-new/actcon.html> (Viitattu 9.4.2013).

Bredan toimitus- ja suunnitteluraportit pakokaasukattilalle. Elenia. Ei saatavissa.

Cogeneration. Lodz University of Technology. Saatavissa: <http://www.i15.p.lodz.pl/strony/EIC/ec/technical-options.html> (Viitattu 17.1.2013).

Electropaedia. Steam Turbine Electricity Generation Plants. Saatavissa http://www.mpoweruk.com/steam_turbines.htm (Viitattu 5.11.2013).

Energiamarkkinavirasto, Maakaasuenergian keskihintojen kehitys. Saatavissa: <http://www.energiamarkkinavirasto.fi/data.asp?articleid=3418&pgid=188&languageid=246> (Viitattu 12.2.2013).

Energiateollisuus. Lausunto suuria polttolaitoksia koskevasta asetuseräluonnoksesta 14.9.2012. Saatavissa: http://energia.fi/sites/default/files/ym_lausunto_ied_lcp-asetus_14092012.pdf (Viitattu 20.6.2013).

Harju, T. & Marttinen, A. 2001. Säättöpiirin Virityksen Perusteet. Espoo: Otamedia Oy.

Huhtinen, M; Korhonen, R., Pimiä, T. & Urpalainen, S. 2008. Voimalaitostekniikka. Helsinki: Opetushallitus

Höyryturbiinit. Wikipedia. Saatavissa: <http://fi.wikipedia.org/wiki/H%C3%B6yryturbiini>

Investointi suunnitelmat kattila K6. Elenia. Ei saatavissa.

Jadelcons Oy. Nykyarvomenetelmä. Investoinnin Laskentaopas. Saatavissa: http://www.yritystulkki.fi/files/yt22_investoinnin_laskenta_pls.pdf (Viitattu 15.10.2013)

Kaasuturbiinit. Wikipedia. Saatavissa: <http://fi.wikipedia.org/wiki/Kaasuturbiini>

Koskinen, J & Paavilainen, J. 2003. Tietoturvallinen Ohjelmointi, TTY Seminaari.
Saatavissa: http://www.cs.tut.fi/~8306000/TK-TT/tt_ohjelmointi.pdf (Viitattu 12.6.2013).

Elenia historiatieto, 2004. Vaneritehtaan voimalaitoksen laiteuusinta excel taulukko.
Elenia. Ei saatavissa.

Kustannuslaskelma 2011. Elenia. Ei saatavissa.

Ramentor. Käyttövarmuus Teoriaa. Saatavissa: <http://www.ramentor.com/etusivu/teoria/>
(Viitattu 12.2.2013).

Larjola, J. 2009. Energianmuuntoprosessit luentomateriaali. LTY. Ei saatavissa.

Laskentaraaportit Fundacon lämpötekniset laskelmat. Elenia. Ei saatavissa.

Lindsey, D. 2000. Power-Plant Control and Instrumentation, the Control of Boilers and HRSG Systems. London, UK: The Institution of Electrical Engineers.

Lukkari, J. 1998. Kuumalujat teräkset. Kunnossapito-lehti, osa 49 (Viitattu 12.1.2013).

Marttila, A-K. 2011. Investoinnin Kannattavuus ja Takaisinmaksuaika. Opinnäytetyö.
Saatavissa: http://publications.theseus.fi/bitstream/handle/10024/32608/Marttila_Aino-Kaisa.pdf?sequence=1 (Viitattu 13.6.2013).

Metso Power Oy. Hybex-kattilan esite. Saatavissa:
[www.metso.com/energy/boiler_prod.nsf/WebWID/WTB-090517-22575-35FC6/\\$File/HYBEX.pdf](http://www.metso.com/energy/boiler_prod.nsf/WebWID/WTB-090517-22575-35FC6/$File/HYBEX.pdf) (Viitattu 10.1.2013).

Nakatsu, K. & Yamamoto, T. 2000. Water Treatment Trouble and its Countermeasure in Combined Cycle Heat Recovery Steam Generator. Saatavissa:
<http://www.iapws.jp/Proceedings/Symposium08/507Nakatsu.pdf> (Viitattu 1.3.2013).

NDT (Non-Destructive Testing). Wikipedia. Saatavissa: <http://fi.wikipedia.org/wiki/NDT>

Ohtonen, O. 2007. Lämpötilan PID-säätö reaaliaikajärjestelmässä. Opinnäytetyö.

Saatavissa: <http://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/13008/TTI9SOlliO.pdf?sequence=1> (Viitattu 22.3.2013).

PID-säätimen rakenne. Koneautomaation wiki. Metropolia. Saatavissa:

<https://wiki.metropolia.fi/pages/viewpage.action?pageId=12159966> (Viitattu 10.3.2013).

Siivola, T. 2011. Nykyarvomenetelmä. Investointilaskelma ja päätöksentekomuistiinpanoja. Saatavissa:

<https://wiki.metropolia.fi/pages/viewpage.action?pageId=23856578> (Viitattu 26.7.2013).

Tervaskanto, M. 2011. PID-säädön perusteet. Oulun Yliopisto. Saatavissa:

http://cc.oulu.fi/~ylikoant/PID/PID_saadon_perusteet_2011.pdf (Viitattu 12.3.2013).

Tuotantokustannukset. Elenia. Ei saatavissa.

Vihinen, S. 1993. Typen oksidien vähentämiskokeet teollisuuskaasuturbiinissa.

Diplomityö. LTY.

Voimalaitospolttoaineiden hinnat lämmöntuotannossa. Tilastokeskus 18.9.2013.

Saatavissa: [https://tilastokeskus.fi/til/ehi/2013/02/ehi_2013_02_2013-09-](https://tilastokeskus.fi/til/ehi/2013/02/ehi_2013_02_2013-09-18_tie_001_fi.html)

[18_tie_001_fi.html](https://tilastokeskus.fi/til/ehi/2013/02/ehi_2013_02_2013-09-18_tie_001_fi.html) (Viitattu 26.11.2013).

Ylitalo, M. 2010. Kerrosleijukattila-Hiekan Avulla Parempaa Palamista. Tekniikan päivät

2010, Metso. Saatavissa: webcast.digitalbakar.fi/tekniikanpaivat/openfile/2 (Viitattu

11.12.2012).

Liite 2

Alemmalla paineella, vaihtoehto 1.

Työ kustannukset					
	2014	2015			
Työ	Hinta	Inflaatio hinta	Valmistaja	Tarvittava määrä	Muuta
Höyrylinjan tulppaus vanhalle turbiinille	10 000 €	10 300 €		1	
Red.läm.vaiht.liityntä	20 000 €	20 600 €		1	
Toimilaitteventtiili	12 500 €	12 875 €		1	
Putkistosuunnittelu	10 000 €	10 300 €		1	
PKK-kattilan höyryliitynnän muutostyö	43 000 €	44 290 €		1	
Yhteensä	95 500 €	98 365 €			
Kaasuturbiini huollot/käyttökustannukset					
	2013	2015			
Uudet komponentit	Hinta	Inflaatio hinta	Valmistaja	Suoritusväli / vuosia	Muuta
Tarkastushuolto	81 400 €	83 842 €	Ahlstom	4	30000 tunnin välein
Isompitarkastus	115 000 €	118 450 €	Ahlstom	10	
Major-korjaus	500 000 €	515 000 €	Ahlstom	17	
Poltinmuutos	2 350 000 €	2 644 946 €	Ahlstom		2015
Automaatiomuutos	350 000 €	393 928 €	Speedtronic		2015
Käyttökustannukset / a	50 000 €	51 500 €	Ahlstom		
Yhteensä	3 446 400 €	3 807 666 €			
Kokonaiskustannukset	3 541 900 €	3 906 031 €			

Liite 3

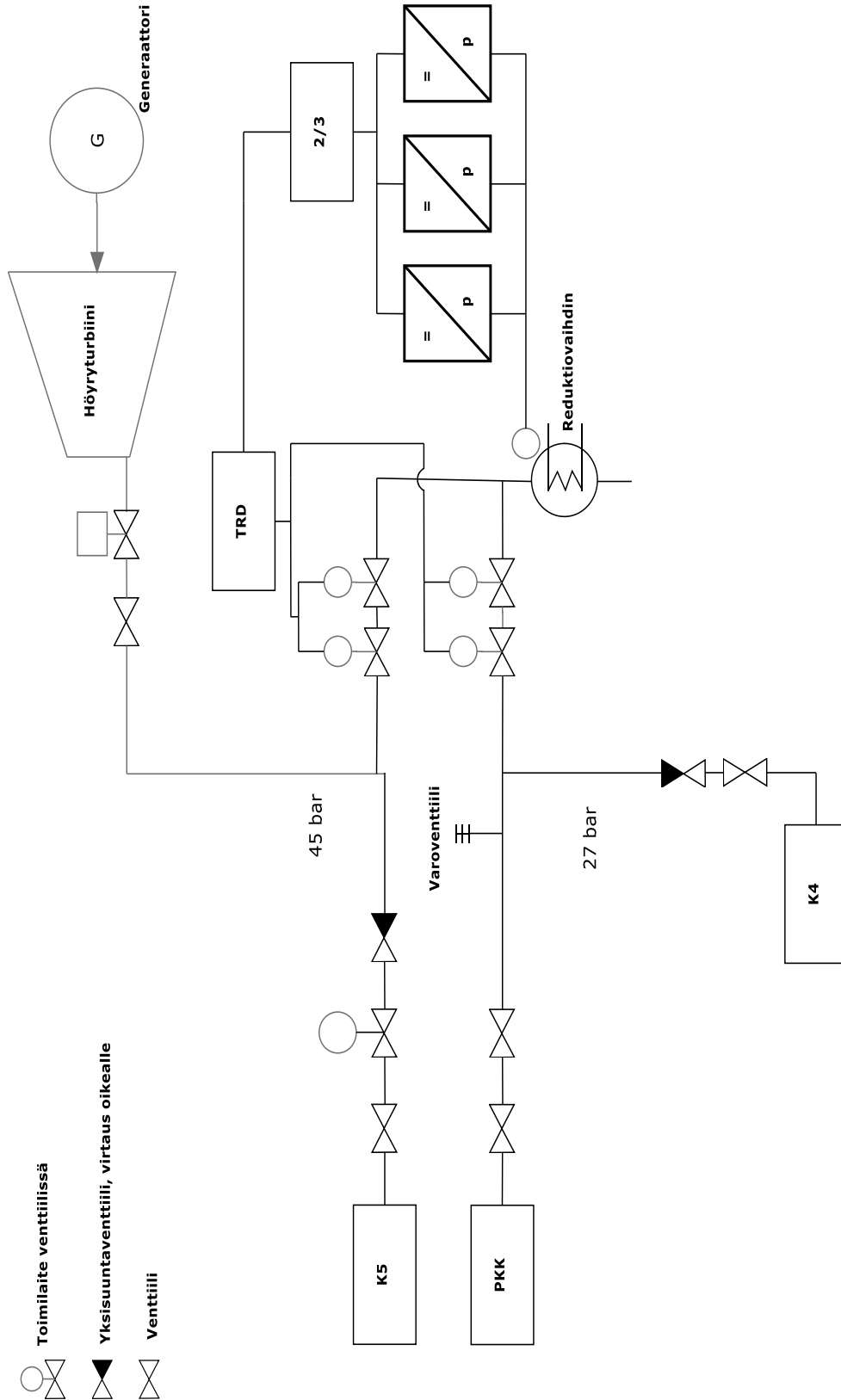
Korkeammalla paineella, vaihtoehto 2.

Automaatiokustannukset					
	2013	2014			
Automaatio	Hinta (€)	Inflaatio hinta (€)	Valmistaja	Tarvittavamäärä	Muuta
Apuhöyry_automaatio	3 000 €	3 090 €		1	
NDT	2 000 €	2 060 €		1	
Automaatiot	2 000 €	2 060 €		1	
HW-lisäykset	2 000 €	2 060 €		1	
Automaation koestukset	10 000 €	10 300 €		1	
Toimilaitteventtiilien automaatio	4 500 €	4 635 €		1	
Yhteensä	23 500 €	24 205 €			
Venttiilit					
	2013	2014			
Venttiili	Hinta (€)	Inflaatio hinta (€)	Valmistaja	Tarvittavamäärä	Muuta
Takaiskuventtiili	9 000 €	9 270 €		2	
Varoventtiili	3 077 €	3 169 €		2	
Moottorisulkuventtiili	9 147 €	9 421 €		1	
Yhteensä	33 301 €	34 300 €			
Pakokaasukattila muutokset					
	2013	2014			
Osa	Hinta (€)	Inflaatio hinta (€)	Valmistaja	Tarvittavamäärä	Muuta
Höyryruiskutus	31 250 €	32 188 €		1	
Ripaputkityö	430 000 €	442 900 €		1	
Yhteensä	461 250 €	475 088 €			
Korkeammalla paineella					
	2013	2014			
Uudet komponentit	Hinta (€)	Inflaatio hinta (€)	Valmistaja	Tarvittava määrä	Muuta
Putkistosuunnittelu	10 000 €	10 300 €		1	
Automaattivesitysventtiili lisäys	20 000 €	20 600 €		1	
Vesityslinja	20 000 €	20 600 €		1	linjan asennus eristykset + materiaalit + telinetyöt
Putkiliitos purkutyö	33 000 €	33 990 €		1	
Putkistoliityntöjen materiaalit	10 000 €	10 300 €		1	
Asennustyö	19 200 €	19 776 €		1	4 miestä * 80 * 60
Tarkastukset	2 000 €	2 060 €		1	
Eristys	10 000 €	10 300 €		1	
Yhteensä	124 200 €	127 926 €			
Yhteensä	642 251 €	661 519 €			
Kaasuturbiinihuollot	3 541 900 €	3 906 031 €			
Kokonaiskustannukset	4 184 151 €	4 567 550 €			

Liite 4

Toiminta	Aloituspäivämäärä	Lopetuspäivämäärä	Työnkuvaus	Käytetyt päivät
Projektin aloitus	1.1.2014	31.1.2014	Projektin läpikäynti, aikataulun tarkistus	31 päivää
1. Välitavoite	5.3.2014	25.3.2014	Pakokaasukattilan ripaputkien tilaus. PKK:n venttiilien läpikäynti.	20 päivää
2. Välitavoite	5.5.2014	29.5.2014	Tuorehöyryputken mitoitus/suunnittelu, uusien venttiilien tilaus,	24 päivää
3. Välitavoite	2.6.2014	20.7.2014	Pakokaasukattilan ripaputkien asennus.	48 päivää
4a. Välitavoite	5.7.2014	4.8.2014	Tuorehöyryputken liitoksen asentaminen alkaa, vesitykset, tarvittavan automaatio suunnittelu/valmistelu.	30 päivää
4b. Välitavoite	5.7.2014	9.8.2014	Tuorehöyryputken rakentaminen, erotukset, automaatio lisäykset, varoventtiilien asennus,	35 päivää
5a. Välitavoite	1.9.2014	22.9.2014	Apuhöyryruiskutus tilaus,	22 päivää
5b. Välitavoite	1.9.2014	22.9.2014	Painerajoitus-säädön suunnittelu K5	22 päivää
6. Välitavoite	1.11.2014	16.12.2014	Olemassa olevien venttiilien läpikäynti K4-putkilinja, varoventtiilien tilaus, höyryturbiinin alasajon aloitus	45 päivää
7. Välitavoite	1.1.2015	12.3.2015	Kaasuturbiinin täyshuolto + automaatio uusinta,	70 päivää
8. Välitavoite	31.5.2015	30.6.2015	Apuhöyryruiskutus asennus, höyryturbiinin asennus alkaa	30 päivää
9. Välitavoite	13.7.2015	14.8.2015	Uuden höyryturbiinin asennus alkaa, linjojen paineistus, automaatio asennukset,	32 päivää
Projekti valmis	1.9.2015	30.9.2015	Uusi höyryturbiini käytössä, mahdollisten ongelmien korjaamista.	29 päivää

Liite 5



PI-Kaavio: Alemmalla Paineella

Elenia Lämpö Oy

Timo Koivikko

Liite 6

