

Arttu Tamminen

SEINÄJOEN VOIMALAITOKSEN EBL-AJOMALLI
Kannattavimman ajopisteen määrittäminen

SEINÄJOEN VOIMALAITOKSEN EBL-AJOMALLI

Kannattavimman ajopisteen määrittäminen

Arttu Tamminen
Opinnäytetyö
Syksy 2016
Energiatekniikka
Oulun ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu
Energiatekniikka

Tekijä: Arttu Tamminen

Opinnäytetyön nimi: Seinäjoen voimalaitoksen EBL –ajomalli

Työn ohjaaja: Jukka Ylikunnari

Työn valmistumislukukausi- ja vuosi: Syksy 2016

Sivumäärä: 38

Opinnäytetyö tehtiin Vaskiluodon Voiman omistamalle Seinäjoen voimalaitokselle, joka on sähköteholtaan 120 MW ja tuottaa 90 % Seinäjoen kaukolämmöstä. Nykyisin entistä suurempi osa tuotosta tulee nykyisin kaukolämmön myynnillä johtuen sähkömarkkinana huonosta sähköhinnasta. Vuoden lämpiminä päivinä kaukolämpöä ei kuitenkaan tarvita, minkä vuoksi laitoksella on etsitty keinoja säästää niinä aikoina polttoainetta. Tätä varten päätettiin tehdä koeajo erittäin matalan tehon ajolle, jotta polttoainetta voitaisiin säästää.

Testattiin, onko mahdollista ajaa laitosta 36 kg/s höyryvirtauksella. Opinnäytetyössä tutkittiin testiajajon tuloksia ja ehdotettiin mahdollisia investointeja kesäkuun huoltojen yhteydessä.

Huhtikuun 2016 lopulla laitoksella tehtiin 12 tunnin mittainen matalatehokoeajo. Koeajon jälkeen pohdittiin, mitä lisäyksiä laitokselle pitää tehdä, ja tehtävänä oli kyseisten muutosten dokumentointi. Kesän aikana tavattiin Eteläpohjanmaan voiman erityisasiantuntijan Mauri Blomberg. Päätettiin, että tehtäisiin Seinäjoen voimalaitoksesta kannattavimman ajopisteen laskuri matalille tehoille käyttäen laitoksen kulutussuhdetta. Työssä käytettiin teoriaa lämpövoimaprosesseista ja kattiloista. Tiedot Seinäjoen voimalaitoksen kattilasta on saatu kattilan toimittajan dokumenteista. Metson toimittama voimalaitoksen käyttöliittymä keräsi ja varastoi mittaustietoja prosessista koeajon aikana. Kerätyt tiedot sijoitettiin Exceliin.

Ennen koeajoa kattilaan asennettiin 3 pidennettyä petilämpötila-anturia, joilla saatiin tarkempaa tietoa kattilan palamisesta matalalla polttoaineteholla. Koeajon aikana päästiin jopa 35 kg/s höyryvirtaukseen, mutta höyryn vähäisyyden takia väliotto 4:n, 3,5 bar omakäyttötukin, lauhduttimen höyryejektorien ja syöttövesisäiliön esilämmityksen kanssa oli ongelmia. Voimalaitokselle tehtiin kannattavuuslaskuri perustuen laitoksen kulutussuhteeseen, jolloin huomattiin, että aina ei ole kannattavinta ajaa matalimmalla teholla. Tiedot laskuriin kerättiin laitoksen logeista. Kannattavuuslaskurin antamalle taloudellisimman tehon ajomallille annettiin nimeksi Economical Boiler Load, EBL.

Kulutussuhteesta tehdystä laskurista huomattiin, että on kannattavaa ajaa laitosta niin matalalla teholla kuin mahdollista, mikäli sähköhinta on todella matala ja polttoaine kallista.

Laskurista löytyi myös kohta, jolloin on kannattavampaa ajaa laitosta vähän korkeammalla teholla kuin matalimmalla. Laskuria varten ajettiin uusi koeajo, jolloin kaukolämpö pidettiin tasaisena matalana ja sähkötehoa nostettiin. Tämä kuitenkin ei tuottanut selvää tulosta, ja syyksi on epäilty liian nopeaa tehon laskua. Ongelman voisi ratkaista järjestämällä uusi koeajo.

Asiasanat: höyrykattilat, kiertoleijupetikattila, minimiteho, kannattavuus, säästäminen

ABSTRACT

Oulu University of Applied Sciences
Energy technology

Author: Arttu Tamminen

Title of thesis: Seinäjoki power plant's EBL minimum power test and estimation of most cost-efficient point

Supervisor: Jukka Ylikunnari

Term and year when the thesis was submitted: autumn 2016 Number of pages: 38

Thesis was made for power plant in Seinäjoki which is owned by Vaskiluodon Voima company. Power plant has electric power of 120 MW and it produces 90 % of district heating for city of Seinäjoki. Because of poor prices in the electricity market power plant earns most of its profits by selling heat to city during colder times. Power plant thought of ways to save fuel during warmer times so they decided to arrange a test day for boiler's minimum power test also known as Economic Boiler Load.

It was tested if the plant can be operated with steam production of 36 kg/s. As thesis worker, I examined the results and provided suggestions for possible investments for incoming maintenance period. At the end of April, 12 hour long minimum power test period was held for boiler. After the test, it was thought what needs to be done to prevent possible problems occurring during the minimum power. Documenting these changes was also part of thesis. After having a meeting with the EPV company's senior adviser I started to make calculator using excel to estimate prospective profits using the power plants fuel consumption relation to produced electricity.

Lectures of thermal power processes and steam boilers was used as a base of this thesis. Information regarding the power plants circulating fluidized bed boiler was received from boiler manufacturer's documents. Automation provided by company Metso, collected and stored measured information from the process during the EBL test. Collected information was placed on Excel. Before the EBL experiment took place, three temperature sensors inside the boiler were lengthened out to get more accurate readings of the bed temperature. Steam production of 35 kg/s was achieved but this caused some problems with the self-usage steam supply, vacuum ejectors and preheating of the feedwater tank. Calculation to estimate prospective profits was made that was based on power plants fuel consumption relation to produced electricity. It was noticed that it might be more profitable to operate power plant on little higher power output than keeping it in the minimum power during bad electricity price. Information to calculator was collected from the plants logs.

As stated in calculations it was noticed that it's only profitable to use EBL mode if price of electricity is low and price of fuel high. There was also a spot that it might be more beneficial to keep power output not at its minimum but a bit higher. New test was conducted to provide calculations with more accurate and real results. Production of district heating was kept constant while the power output was slowly raised. Results in the calculator did not prove to be accurate and reason for this was believed to be too rapid power change. It is believed that this can be fixed by making the test longer and with that keeping the power output change slow. New test was impossible to set because of classified reasons.

Keywords: circulating fluidized bed boiler, minimum power output, fuel economy, economize

SISÄLLYSLUETTELO

TIIVISTELMÄ.....	3
ABSTRACT.....	4
SISÄLLYSLUETTELO	5
1 JOHDANTO.....	7
2 VASKILUODON VOIMAN SEINÄJOEN LAUHDEVOIMALAITOS.....	8
2.1 Vaskiluodon Voima OY.....	8
2.2 Seinäjoen voimalaitos	8
3 HÖYRYKATTILA	9
3.1 Höyrykattilan osat ja toiminta.....	9
3.2 Luonnonkiertokattila	9
4 LEIJUPOLTTO.....	11
4.1 Leijukerrosoltto	11
4.2 Kiertoleijupoltto.....	12
5 VOIMALAITOKSEN APUHÖYRY	14
5.1 Omakäyttöhöyrytukki.....	14
5.2 Tiivistyshöyry.....	15
5.3 Nuohoushöyry	15
5.4 Palamisilman höyryesilämmitys.....	15
5.5 Ejektorihöyry.....	16
6 KATTILAN HYÖTYSUHDE.....	17
6.1 Tulistimet.....	17
6.2 Ekonomaiser	17
6.3 Luvo	18
6.4 Kiertoleijupetikattilan kuorman vaikutus hyötysuhteeseen.....	19
7 MINIMITEHOKOEAJO (EBL).....	20
7.1 Koeajo	20
7.2 Ilmenneet ongelmat.....	20
7.3 Toimenpiteet koeajoon perustuen	22
8 DOKUMENTOIDUT MUUTOKSET LAITOKSELLA.....	23
8.1 Petilämpötila-antureiden pidennys	23
8.2 Luvon laakerin hätäjähdytyspuhaltimen taajuusmuuntaja	28

8.3	EBL-ajon automatiikka	29
9	KANNATTAVUUSLASKELMA.....	31
9.1	Kulutussuhde.....	31
9.2	Kannattavuuslaskuri	32
9.3	Kannattavuuslaskelman yhteenveto	33
10	YHTEENVETO	36
	LÄHTEET.....	37

1 JOHDANTO

Opinnäytetyö tehtiin Vaskiluodon Voiman omistamalle Seinäjoen voimalaitokselle. työ on erittäin ajankohtainen johtuen sähkön huonosta markkinahinnasta, jonka takia voimalaitokset etsivät erilaisia tapoja säästää rahaa. Seinäjoen voimalaitos tuottaa 800 GWh sähköä vuodessa ja 90 % Seinäjoen kaupungin kaukolämpötarpeesta (1). Laitoksella on yksi 325 MW:n Foster Wheelerin toimittama Pyroflow-kiertopetikattila ja korkeapaine-, välipaine- ja matalapainepesästä koostuva 125 MW:n sähkötehon turbiinigeneraattori (2). Laitos on alun perin rakennettu lauhdevoimalaitokseksi, mutta nykyisten sähkömarkkinoiden takia suurin tuotto tulee kaukolämpömyynnistä. Sähkön alhainen hinta on aiheuttanut laitokselle tarpeen säästää polttoainetta lämpimänä kevät-syysaikana.

Opinnäytetyö keskittyy toukokuussa tehtyyn minitehokoeajoon (EBL:ään), sen myötä ilmeneviin ongelmiin ja niiden korjauksiin sekä kesäkuun huoltojen yhteydessä tehtyjen muutosten dokumentointiin. Voimalaitokselle tehdään myös kannattavuuslaskuri matalille sähkötehoille. Työn lopussa pohditaan työn tärkeyttä yritykselle.

2 VASKILUODON VOIMAN SEINÄJOEN LAUHDEVOIMALAITOS

2.1 Vaskiluodon Voima OY

Seinäjoen voimalaitoksen omistaa Vaskiluodon voima osakeyhtiö, jonka omistaa puoliksi Etelä-Pohjanmaan Voima Oy (EPV) ja Pohjolan Voima (PVO) (3, s. 7). Vaskiluoto toimittaa kaiken tuottamansa sähkön EPV:lle ja PVO:lle Mankala-periaatteella. Mankala-periaatteessa eri yhtiöt perustavat yhdessä esimerkiksi sähköyhtiön, jonka päätehtävänä on tuottaa energiaa osakasyrityksille.

2.2 Seinäjoen voimalaitos

Voimalaitos päätettiin rakentaa Seinäjoelle ensi sijassa kattamaan kaupungin kaukolämmitystarpeen. Kannattavuustutkimusten jälkeen EPV totesi, että kaupunki tarvitsee lauhdevoimalaitoksen, joka tuottaa kaupungin kaukolämpötarpeet koko laitoksen eliniän ajan. Jotta investointi oli mahdollinen, täytyi EPV:n ottaa mukaan Pohjolan voima Oy toiseksi osakkaaksi, jolloin laitoksen rakenuttajaksi tuli yhtiöiden aikaisemmin perustama Vaskiluodon voima Oy.

Laitoksen tulee käyttää hyödyksi maakunnan energiavaroja ja lisätä työllisyyttä kunnassa. Vuoden 1980 alussa rakennetusta Kyrkösjärvestä laitos saa kaiken tarvittavan jäähdytysveden. Laitos valmistui vuonna 1990 kaupalliseen käyttöön, ja polttoaineena se käyttää biopolttoaineita kuten puuhaketta, jyrshinturvetta, sahanpurua tai jyvänkuoria. Jotta turvevoimalaitoksesta saatiin kilpailukykyinen, tuli turpeen saanti polttoaineena varmistaa 15–25 vuoden päähän. Sopimus tehtiin Vapo Oy:n kanssa, joka varmistaa polttoaineen tuonnin ja täten sen kilpailukykyyn säilyttämisen muiden polttoaineiden, kuten kivihiiilen rinnalla.

Laitos on tyypiltään turvetta ja biomassaa käyttävä väliottolauhdutusvoimalaitos. Sillä on 100 MW:n kaukolämpöteho ja 125 MW:n sähköteho. Järjestelmät on mitoitettu 6000 tunnin huipunkäyttöajan mukaan, ja vuosittain käyntiaika on 6500–8000 tuntia. 325 MW:n kiertoaijupetikattilan toimitti A. Ahlström Oy:n höyrykattilatehdas ja kolmiosaisen väliottolauhdutushöyryturbiinin Skoda Export Tšekkoslovakiasta. Laitoksen hyötysuhde sähkön- ja kaukolämpötehon mukaan on 45–53 %, kun taas pelkkänä lauhdevoimalaitoksena hyötysuhde tippuu 36–38 %:n alueelle. Automaation toimitti Siemens Oy ja prosessisähköistystoimittajana oli ABB Strömberg Teollisuus Oy. (3, s. 7–11.)

3 HÖYRYKATTILA

Höyrykattila on voimalaitoksen yksi keskeisimmistä osista. Vesi kuumennetaan höyrykattilassa korkeisiin lämpötiloihin korkeassa paineessa, jolloin sen entalpia kasvaa ja vesi höyrystyy. 1700-luvulta nykyaikaan höyrykattiloiden kehityksessä on ollut päämääränä saavuttaa yhä korkeammat höyrynpaineet sähköntuotannon hyötysuhteen parantamiseksi. (4, s. 111.)

3.1 Höyrykattilan osat ja toiminta

Höyrykattilan keskeisimmät osat ovat veden esilämmitin, lieriö, tuliputket eli höyrystin ja tulistin. Veden esilämmittimessä eli ekonomaiserissa vesi esilämmitetään lähelle kylläistä lämpötilaa. Tämän jälkeen esilämmitetty vesi saapuu lieriöön, jossa höyryn ja veden erotus tapahtuu. Lieriön pohjassa on laskuputket kattilan pohjalle tuliputkiin. Tuliputket eli höyrystimet ovat kattilan tulipesän ympärillä olevia putkia, joissa vesi höyrystyy kylläiseksi höyryksi.

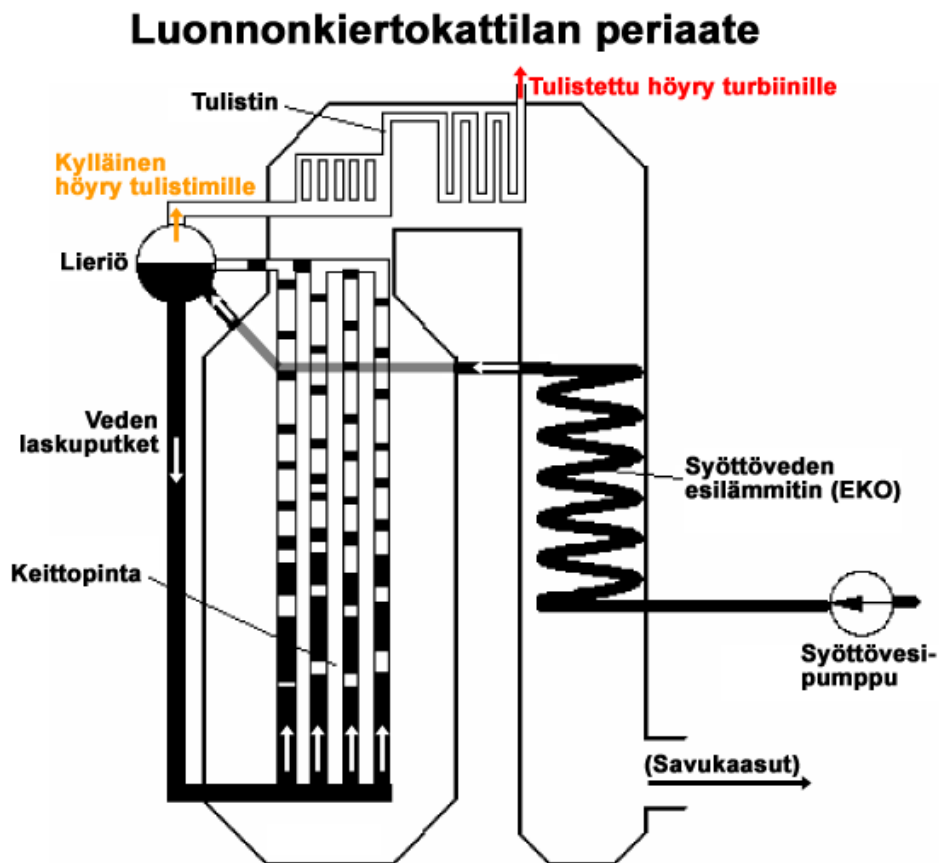
Lämpölaajenemisen takia kattilat joko riippuvat katosta tai ovat maasta tuettuja, jolloin kattila on vapaa laajenemaan pituussuunnassa. Kaikki vesi ei höyrysty tuliputkissa, minkä takia kattilassa tarvitaan lieriö. Lieriön päätehtävänä on erottaa kylläinen höyry vedestä. Vedessä olevat epäpuhtaudet eivät lähde höyryn mukana kiertoa, joten kattilavedestä voidaan ulospuhalluksen avulla poistaa epäpuhtauksia. Kylläinen höyry kulkeutuu lieriöstä tulistimille, joissa höyry tulistetaan nostamalla sen lämpötilaa. Tällä tavoin saadaan höyryn entalpia korkeammaksi turbiinille. Nykyään voimalaitoksissa käytetään vesiputkikattiloita, koska ne soveltuvat paremmin korkeille paineille. Vesiputkikattiloissa vesi höyrystyy kattilassa olevien putkien sisällä. Vesiputkikattiloita on vedenvirtauksen mukaan luonnonkierto-, läpivirtaus- ja pakkokiertoalleina. Kattilatyyppinä on monenlaisia kuten tulitorvi-, soodakattila, arina-, leijupeti- ja kierto-leijupetikattiloita. (4, s. 113.)

3.2 Luonnonkiertokattila

Luonnonkierrossa vesi kiertää kattilassa tiheyserosta johtuen. Kun vesi höyrystyy kattilassa, sen tiheys laskee, jolloin se aiheuttaa imupaineen ja virtauksen. Kattilan lieriöstä laskevat laskuputket tulipesän alaosaan, josta vesi höyrystyessään nousee kattilan seinissä olevia putkia pitkin lieriöön.

Lieriöön virtaa uutta kylläistä vettä höyrystyneen veden tilalle. Luonnonkiertokattiloissa veden kiertoluku on 5–30. Kiertoluku on arvio, kuinka monta kierrosta vesi kiertää teoriassa laskuputkien ja höyrystimen kautta lieriöön (10). Kuvassa 1 on esitetty luonnonkiertokattilan toimintaperiaate. Koska kattilassa ei tarvita pumppua vedenkiertoon, sen omakäyttöteho on pienempi kuin läpivirtaus- ja pakkokierto-kattilan.

Kun vallitseva paine on suuri, luontainen kierto hankaloituu, koska veden ja höyryn tiheys alkavat lähestyä toisiaan. Tulistimesta tullessaan höyryn paineen pitää olla alle 170 bar luonnonkiertoa varten. Vedenkierron aikaansaamiseksi tarvitaan kattilaan pumppuja. Vedenkiertovoima on sitä suurempi, mitä korkeampi kattila on. Tämän vuoksi luonnonkiertokattilat rakennetaan korkeiksi ja kapeiksi. (4, s.113-114.)



KUVA 1 Luonnonkiertokattilan periaate (7)

4 LEIJUPOLTTO

Leijukerros poltto on yleistynyt kaupalliseen käyttöön vasta 1970-luvulla. Suomi on ollut yksi maailman johtavia maita leijutekniikan polttosovellusten kehittäjänä. Leijupolttto soveltuu erityisen hyvin huonolaatuisille polttoaineille, ja se sietää hyvin nopeita laadun muutoksia. Polttoaine ei myöskään tarvitse erityisesti esikäsitteilyä. Sen muina etuina voidaan pitää halpaa rikinpoistoa sekä typenoksidien (NO_x) ja palamattomien aineiden vähäisiä määriä. Leijupolttto tapahtuu joko kerrosleijupoltttona tai kiertoleijupoltttona. Lämpötila vaihtelee 750 ja 950 °C:n välillä. Mikäli lämpötila nousee liian korkeaksi, tuhka alkaa sulamaan ja sintraantumaan. (5, s. 490.)

4.1 Leijukerros poltto

Leijukerros poltossa ilmaa puhalletaan kattilassa olevan hiekkapedin alla olevasta ilmanjakoarinasta (kuva 2), jolloin hiekka alkaa kuplia. Ilmajakoarina on vuorattu tulenkestävällä massalla, joka suojaa arinaa kulumiselta ja lämmöltä. Hiekkapeti muodostaa kuplivan patjan taaten näin tasalämpöisen pedin. Yleensä leijutettava hiekka tai kalkkikivimateriaali on halkaisijaltaan noin 1 mm ja hiekkakerroksen korkeus on noin 0,4–0,8 m. Polttoilmasta tuodaan kattilaan yleensä noin puolet kattilan leijutusarinan kautta. Loput ilmasta syötetään pedin yläosaan, mikä vähentää polton NO_x -päästöjä. Polttoaine syötetään pedin päälle mekaanisesti syöttöruuveilla, ja yleensä syöttimiä on useita, millä taataan polttoaineen tasainen syöttö. Ennen pääpolttoaineen syöttämistä kattilaan on peti esilämmitettävä polttoaineen syttymistasolle eli noin 500–600 °C:een. Esilämmitys toteutetaan kaasui- tai öljypolttimilla, jotka on sijoitettu petiin tai sen päälle. Leijukattiloissa tulipesän seinät alaosassa muurataan tulenkestävällä massalla, mikä suojaa seiniä ja putkia hiekan aiheuttamalta kulumiselta.

Pohjalla on ilmanjakoarina, joka koostuu teräslevyyn hitsatuista suuttimista. Myös arina on suojattu tulenkestävällä massalla. Tuhka poistetaan päästämällä pieni määrä hiekkaa arinan pohjasta. Tuhkainen hiekka vuorostaan seulotaan erottaen hiekka ja karkea kuona. Puhdistettu hiekka palautetaan takaisin kattilaan. Leijukerros polton etuna voidaan pitää yksinkertaista ja halpaa rakennetta. (4, s. 157–159; 5, s. 500.)

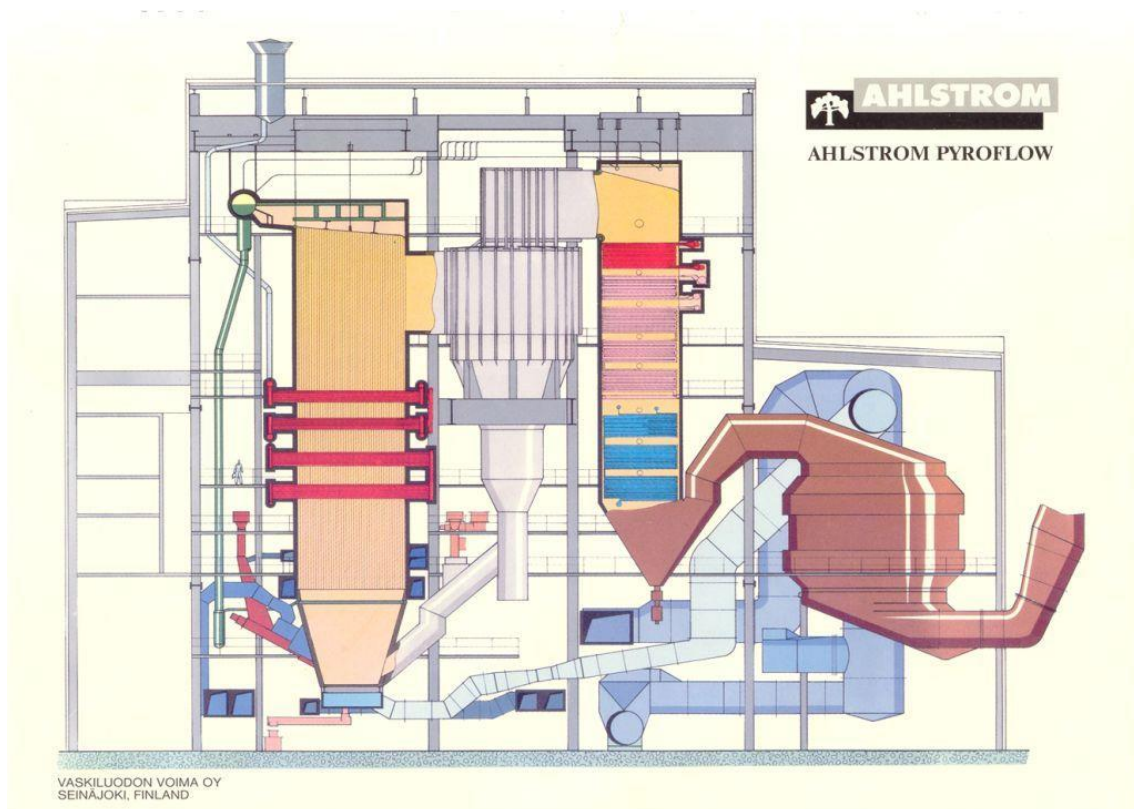


KUVA 2 Leijutusarina

4.2 Kiertoleijupoltto

Ilmavirtauksen nopeuden noustessa tarpeeksi korkealle alkaa kuplivahiekkapeti nousta ja kiertää kattilassa. Osa nousevista kiintoainehiukkasista muodostaa suurempia tihentymiä eli rykelmiä, jotka laskeutuvat takaisin alaspäin. Kiintoainetihentymiä muodostuu eniten kattilan seinien läheisyydessä, jolloin kattilaan muodostuu sisäinen kierto, jossa yksittäiset kiintoainehiukkaset nousevat kattilan keskiosassa ja kiintoainetihentymät laskeutuvat seinien läheisyydessä. Tällainen kierto myös tasoittaa kattilassa olevia lämpötilaeroja (5, s. 505–506). Osa petimateriaalista nousee kattilan yläosaan, josta se etenee kiintoaine-erottimeen. Kiintoaine-erottimen tehtävänä on erottaa kiintoainehiukkaset savukaasuista. Yleisimpänä erotinlaitteena käytetään syklonierotinta, jonka toi-

minta perustuu keskipakoerotukseen. Sen tärkeimpinä etuina pidetään yksinkertaisuutta, erotuksen tehokkuutta ja sen soveltuvuutta kuumiin olosuhteisiin. Syklonin pohjalla on polvi eli kaasulukko, josta kiintoaine palautetaan kattilaan. Kiintoaine kulkeutuu polvessa takaisin tulipesään leijutusilman vaikutuksesta. Ilmavirta säädetään siten, että minimileijutustila ylitetään polvessa. Kuvassa 3 on Seinäjoen voimalaitoksen kierto-leijupetikattilan läpileikkaus, josta näkee kattilan pääkomponentit, kuten ilman esilämmittimen, tulistimet, lieriön ja syklonierottimen, joita on kolme kappaletta. (5, s. 517.)



KUVA 3 Seinäjoen voimalaitoksen kierto-leijupetikattila (2)

Polttoaine syötetään kattilan etuseinässä olevista syöttöruuveista, mutta polttoainetta syötetään myös syklonista palaavan laskuputken hiekan joukkoon. Täten taataan tasainen syöttö. Liian suuret kivet ja tuhkakokkareet poistetaan arinan läpi kuonakuljettimelle. Kun petimateriaali ja tuhka ovat tarpeeksi hienojakoista, poistuvat ne savukaasujen mukana ulos kattilasta. Kiintoainehiukkaset poistetaan savukaasusta jälkipuhdistuksilla.

5 VOIMALAITOKSEN APUHÖYRY

Voimalaitokset tarvitsevat joihinkin omiin toimintoihinsa apuhöyryä, jolla esimerkiksi tiivistetään turbiini, nuohotaan kattilan osat, palamisilma ja syöttövesi esilämmitetään tai luodaan tyhjiö lauhduttimeen ejektoreilla. Ilman apuhöyryä ei voimalaitos voi toimia normaalisti, joten sen tuotto prosessiin täytyy olla taattu. Omakäyttöhöyryn määrä voi olla jopa 10 % koko höyryn tarpeesta. Voimalaitoksissa täytyy olla aina apukattila, joka tuottaa omakäyttöhöyryn laitosta käynnistäessä. (6, s. 44.)

5.1 Omakäyttöhöyrytutki

Voimalaitoksissa on omakäyttöhöyryä varten eripaineisia höyrytukkeja. Höyrytukeista lähtee höyryputket laitoksen erilaisiin käyttökohteisiin. Tukit varmistavat, että höyry on kuivaa ja tasapaineista. Höyrytukeista yleensä otetaan muodostunut lauhde talteen laitoksen omakäyttölauhdesäiliöön, josta se siirretään ulospuhallussäiliöön. Kuvassa 4 on Seinäjoen voimalaitoksen 3,5 baarin omakäyttöhöyrytutki.



KUVA 4 Seinäjoen voimalaitoksen omakäyttöhöyrytutki

5.2 Tiivistyshöyry

Tiivistyshöyryllä varmistetaan, että turbiinipesä pysyy ilmatiiviinä. Tiivistyshöyryllä syrjäytetään ilma turbiininkuorien päissä, jolloin turbiini pysyy tiiviinä. Turbiinin korkeapainepäässä tulistettu höyry pyrkii ulos turbiinin labyrinttitiivisteistä. Tämä pitää turbiinin korkeapaine- ja välipaineosan tiiviinä, joten tiivistyshöyryä ei tarvitse syöttää erikseen. Matalapainepää sen sijaan tarvitsee jatkuvaa höyryn syöttöä, koska paine turbiinissa voi olla matalampi kuin ilmanpaine. ilman vuoto turbiiniin estetään syöttämällä turbiinin tiivisteeseen höyryä, joka syrjäyttää ilman. (7; 11.)

5.3 Nuohoushöyry

Kattilan ollessa käynnissä muodostuu kattilan sisäpinnoille nokea, joka häiritsee lämmönsiirtokykyä veteen ja höyryyn. Tätä varten kattiloissa on höyrynuohoimet, joilla kertynyttä nokea poistetaan. Höyrynuohoimet ovat tankoja, joissa on höyrystin. Ulosvedettäviä nuohoimia käytetään korkeissa lämpötiloissa ja ne työnnetään kattilaan vain käytönajaksi. Työnnettäessä kattilan sisälle ne pyörivät nuohoten ympäristönsä. Höyrynuohoimille syötetään korkeapaineista tulistettua höyryä. Kattila pitää nuohota yleensä kerran vuorokaudessa, mutta tämä riippuu kattilatyyppistä ja polttoaineesta.

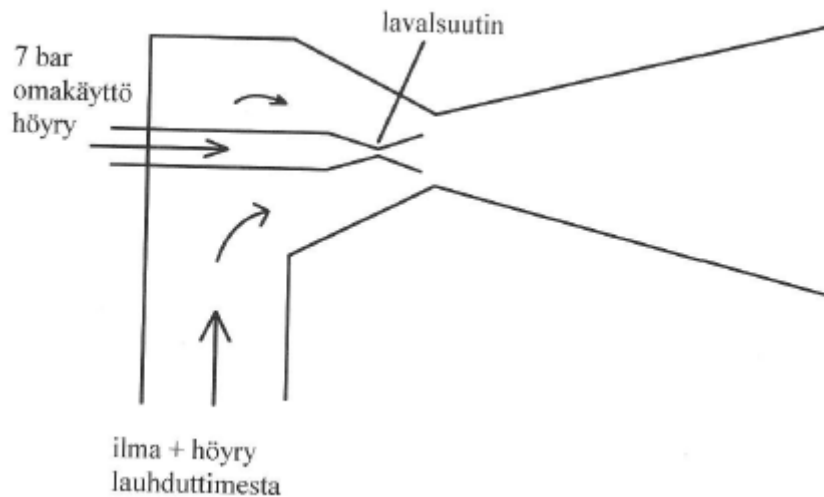
Höyrynuohouksen etuina ovat halvat peruskustannukset, koska höyry saadaan omasta tuotannosta. Puhalluspaine on säädettävissä ja puhallusjaksot ovat lyhyet. Huonoina puolina voidaan pitää tarvittavan lisäveden tarvetta, höyryn tuotannon menetystä sekä lisäksi vesihöyry saattaa lisätä rikkihapon muodostumista kattilan loppupäähän. Putkiston lämpölaajenemiset on otettava huomioon, ja höyrynuohoimet tarvitsevat myös paljon huoltoa. (4, s. 215–217.)

5.4 Palamisilman höyryesilämmitys

Seinäjoen voimalaitoksella on kaksi palamisilman höyryesilämmitintä eli höyryluvoa ennen savukaasuluvoa. Höyryluvoa käytetään, mikäli savukaasun loppulämpötila uhkaa laskea liian lähelle happokastepistettä. Käytettävä höyry saadaan tavallisesti turbiinin väliotosta, joka on noin 4–10 baarin paineista. Höyryluvo on erityisesti tärkeä pienemmillä tehoilla, jolloin savukaasun lämpötila uhkaa laskea alle happokastepisteen. Tältä vältytään, kun käytetään höyryluvoa nostamaan palamisilman lämpötilaa ennen savukaasuluvoa. (4, s. 201.)

5.5 Ejektorihöyry

Omakäyttöhöyryä voidaan myös käyttää tyhjiön luomiseen lauhduttimessa. Mikäli lauhduttimessa on ilmaa, se nostaa lauhduttimen kokonaispainetta ja lisäksi se toimii eristeenä putkien pinnoilla huonontaen lämmönsiirtoa (6, s.100). Seinäjoen voimalaitos käyttää lauhduttimen tyhjiön luomiseen sekä lauhtumattomien kaasujen poistamiseen höyryejektoreita. Ne ovat rakenteeltaan yksinkertaisia ja helppohuoltoisia. Korkeapainehöyry ajetaan ejektoriin suuttimenläpi jossa sen virtausnopeus kasvaa. Virtauksennopeudesta johtuen se pyrkii imemään ilmaa uloimmasta putkesta, jossa on imuputki. Tällä tavalla saavutetaan imuilmio ejektoriin. Kuvassa 5 on esitetty ejektorin toiminta. Käynnistyksen aikana käytetään ejektoria, jolla on suuri kapasiteetti, mutta pieni alipainen tuotto. Pääejektoreilla tuotetaan laitokseen käyttöön tarvittava alipaine 0,02 bar. Pääejektoreilla kaasuvirta voi olla pieni, mutta niitä voi olla useita sarjassa. (6, s. 100.)



KUVA 5 Höyrykäyttöinen ejektori (6, s. 102)

6 KATTILAN HYÖTYSUHDE

Hyötysuhteella tarkoitetaan kattilasta saadun lämpövirran suhdetta kattilaan tuotuun energiavirtaan. Kattilan hyötysuhdetta voidaan parantaa käyttämällä savukaasujen lämpöenergiaa hyödyksi. Esimerkiksi kattilan tulistimet, syöttöveden esilämmitin eli ekonomaiser ja polttoilman esilämmitin eli LUVO nostavat kattilan hyötysuhdetta merkittävästi. Nykyaikaisilla kattiloilla hyötysuhde voi olla jopa 95 % (15).

6.1 Tulistimet

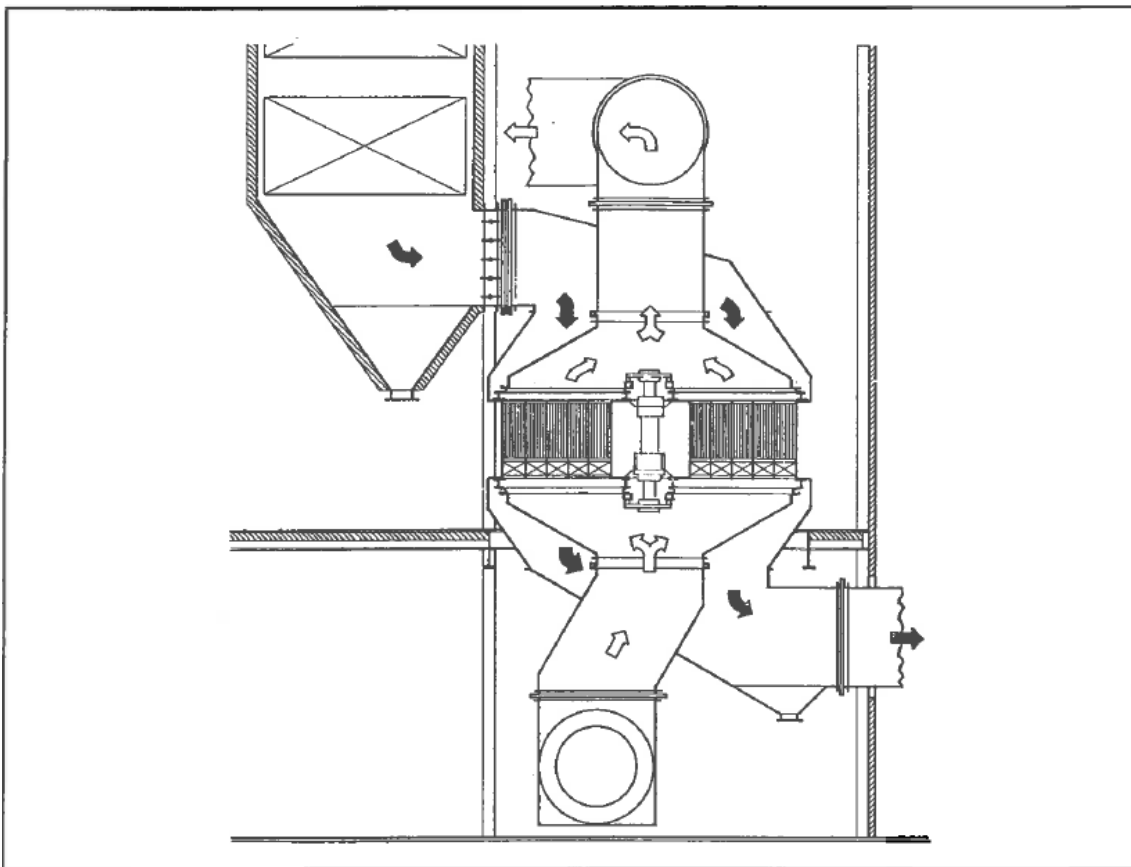
Tulistimet sijoittuvat kattilan yläosaan savukaasukanavaan, koska ne ovat suojassa säteilylämmönsiirroilta. Tulistimet on suojattu jossain kattila malleissa kattilassa olevalla ”nokalla”. Nokka suojelee tulistimia tulipesän lämpösäteilyltä. Tulistettu höyry ei jäähdytä tulistimia muuten tarpeeksi tehokkaasti. Tästä syystä höyryn virtauksen tulistimissa täytyy olla tarpeeksi suuri. Tulistimia voi olla kattilassa useita. Niillä tehostetaan laitoksen sähköntuotantoa nostamalla höyryn lämpötilaa entisestään. Lämpötilat voivat olla suurimmillaan noin 550 °C materiaalien kestävyys takia. Välitulistuksella tarkoitetaan höyryn uudelleen lämmittämistä, kun se on kiertänyt turbiinin läpi. Höyry lämmitetään uudelleen matalammassa paineessa. Lämpötila nousee samalle tasolle kuin ensimmäisessä tulistuksessa. (4, s. 188.)

6.2 Ekonomaiser

Hyötysuhdetta voidaan parantaa huomattavasti käyttämällä syöttöveden esilämmitintä eli ekonomaiseria. Tulistimien jälkeen savukaasujen lämpötilat ovat korkeat eli noin 600–800 °C. Ekonomaiserin avulla savukaasut jäähdytetään lähelle syöttöveden tulolämpötilaa. Suuremmissa voimalaitoksissa kuten Seinäjoen voimalaitoksessa syöttövettä esilämmitetään turbiinin välitoista tulevalla höyryllä, jolloin syöttövesi on kattilaan mennessään jo noin 100–250 °C. Tällöin ekonomaiserin jälkeinen savukaasujen lämpötila on 250–450 °C. On olemassa höyrystäviä ja höyrystämättömiä malleja. Höyrystämättömissä malleissa vesi pysyy noin 20 °C kiehumispisteen alapuolella ja höyrystävissä malleissa vesi höyrystyy osittain jo ekonomaiserissa. (4, s. 194–195.)

6.3 Luvo

Polttoilman esilämmitin eli luvo on savukaasukanavassa viimeisenä lämmönvaihtimena. Lyhenne luvo tulee saksan kielestä luftvorwärmer. Polttoilmaa esilämmittämällä saadaan savukaasuista viimeisetkin lämpöenergiat hyödyksi. Sillä myös kuivataan polttoaineen kosteutta, tehostetaan polttoaineen syttymistä ja nopeutetaan palamista. Palamisilma esilämmitetään aina voimalaitoksissa, jotta palamisen tasaisuus varmistetaan. Sen lämpötila riippuu käytettävästä polttoaineesta ja polttopavasta. Lämpötila on 100 ja 400 °C:n välillä. Kuvassa 6 on Seinäjoen regeneratiivinen luvo.



KUVA 6 Rothemühler-luvo (4, s. 200)

Hapon kastepisteestä johtuen savukaasuja ei kuitenkaan voi jäähdyttää 135–200 °C:ta alemmaksi. Ilman esilämmitin onkin suurimmassa vaarassa syöpyä, kun kattilaa ajetaan pienemmillä tehoilla. Mikäli happokastepisteeseen liittumisvaara on olemassa, voidaan ilmaa esilämmittää ennen luvoa höyrykäyttöisellä ilmanesilämmittimellä. Seinäjoen voimalaitoksella on kaksi höyrytoimista ilmanesilämmittintä ennen luvoa. Ilman esilämmittimet voidaan jakaa toimintaperiaatteen mukaan rekuperatiivisiin ja regeneratiivisiin esilämmittimiin. Rekuperatiivisessa esilämmittimessä lämpöenergia siirtyy lämmönsiirtopinnan läpi savukaasun ja palamisilman välillä. Regeneratiivisessa esi-

lämmittimessä lämmitettävä palamisilma koskettavat vuoron perään samaa lämpöä siirtävää materiaalia. Seinäjoen voimalaitoksella on käytössä Rothemühle-luvo (kuva 6). Se on regeneratiivinen esilämmitin, jossa savukaasu ja palamisilma kanavat pyörivät levykennoston pysyessä paikallaan. Se on ainoa kyseinen malli Suomessa. (4, s. 184, 196, 197, 199.)

6.4 Kiertoleijupetikattilan kuorman vaikutus hyötysuhteeseen

Kattilan hyötysuhde on parhaimmillaan sen korkeimmalla tehoalueella, minkä jälkeen hyötysuhde alkaa laskea. Kattilan sisällä olevan leijupedin lämpötila ei saa laskea liikaa, tai syötetty polttoaine ei syty tarpeeksi tehokkaasti. Tästä syystä leijupedin lämpötila on yksi tärkeimmistä seurattavista kohteista. Tehon laskiessa laskee myös syötettävän ilman määrä, jolloin kattilan hiekan kiertonopeus laskee lopulta loppuen kokonaan ja kattilaan jää leijupeti. Kulutussuhteen kasvun suurin syy on ilman suuri määrä, koska ilmansyöttöä ei voida laskea liian alas vaarantamatta tasaista leijupetiä kattilassa. Tästä syystä kattilassa on enemmän ilmaa polttoaineelle kuin on tarpeellista täydelliselle palamiselle. Käytännössä arinan alta syötettävän primääri-ilman säätöalue on 50 ja 100 %:n välillä. Sekundääri-ilmamäärää voidaan säätää 15 - 100 %. (4, s. 162; 6, s. 98; 14.)

7 MINIMITEHOKOEAJO (EBL)

Laitoksen Economic boiler load -minimitehokoeajo tehtiin 28.–9.4.2016, koska sähkön markkina-hinta oli tuolloin matala. Tarkoituksena oli säästää polttoainetta ja tuottaa sähköä matalalla kattila-kuormalla, päästöistä tai hyötysuhteesta välittämättä minimissään 12 tunnin ajan tai kauemmin ja tarkastella sen tuomia ongelmia.

7.1 Koeajo

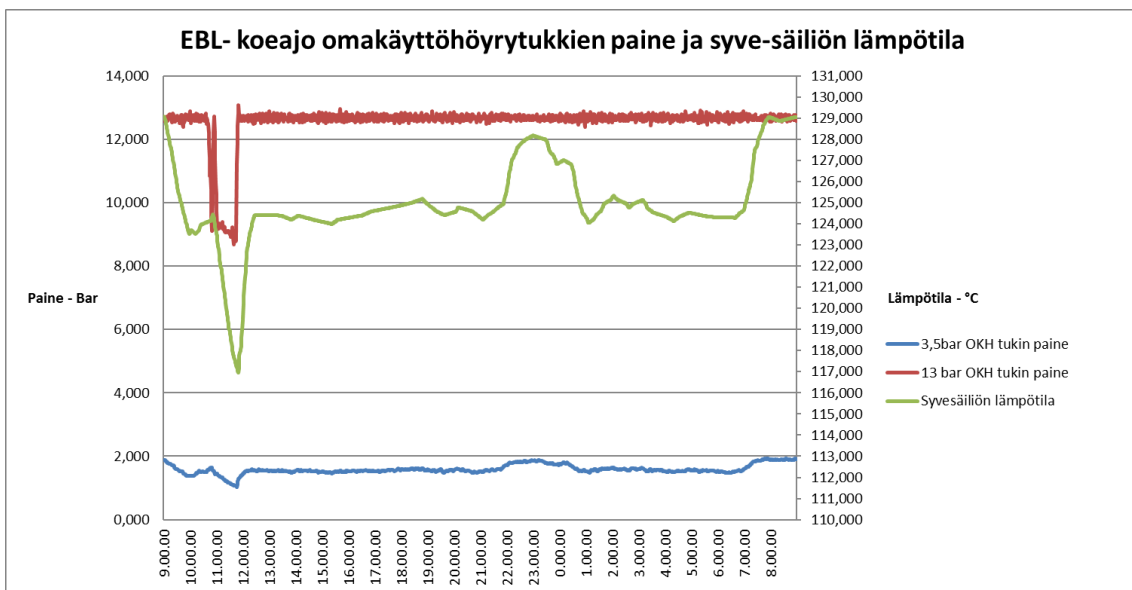
Koeajoa varten oli polttoainekentälle kerätty hyvälaatuista haketta, jotta palaminen olisi tasaisempaa. Turbiini asetettiin etupainesäädölle, jolloin KP-turbiinin venttiilit säätävät virtausta pitäen paineen tasaisena 148 baarissa. Voimalaitoksen käyttöreservi kytkettiin pois päältä. Kattilan tehoa säädettiin käsin 108 ja 120 MW:n välillä ja tarkkailtiin, että tuorehöyryn virtaus pysyi noin 35 kg/s. Höyrymäärää ohjattiin säätämällä kattilantehoa käsin. Tärkeintä oli tarkkailla 13,5 baarin ja 3,5 baarin omakäyttöhöyrytukkeja, että höyry riittää laitoksen omiin toimintoihin. Myös luvon laakerin lämpötilaa, savukaasujen loppulämpötilaa ja petilämpöjä tarkkailtiin. Petilämpötila ei saanut pudota alle 650 °C. Luvon laakerin rasvat ovat vaarassa palaa, mikäli lämpötila nousee yli 150 °C. Tämä estettiin käyttämällä luvon ytimen hätäjähdytyspuhallinta ytimen ja laakerin jäähdytykseen. Odotuksesta poiketen kattilan petilämmöt pysyivät erinomaisina eikä niissä ilmennyt ongelmaa koko koeajon aikana. Myös luvon laakerin lämpötilat pysyivät sallituissa lukemissa.

7.2 Ilmenneet ongelmat

EBL:n suurimpana ongelmana oli omakäyttöhöyryn riittämättömyys. Voimalaitos tarvitsee tietyn verran omakäyttöhöyryä ylläpitääkseen tyhjiön lauhttimessa ja lämpötilan syve-säiliössä vakiona. Väliotto 4 ottaa keskipaineturbiinilta höyryä 3,5 baarin omakäyttöhöyrytukkiin. Koska EBL-ajon aikana höyryn tuotto oli vähäistä, keskipaineturbiinilla ei riittänyt paine tuottamaan höyryä 3,5 baarin tukille. Voimalaitoksella on myös 13,5 baarin omakäyttöhöyry tukki, joka on yhdistetty reduktioventtiiliin kanssa 3,5 baarin tukkiin, kuten kuvassa 8 näkyy. 3,5 baarin tukissa oli koeajon aikana noin 1,5 baarin paine, joka ei riittänyt voittamaan omakäyttölauhtesäiliön painetta. Tästä syystä 3,5 baarin tukki alkoi pikkuhiljaa täyttyä vedellä. Tämän estämiseksi höyrytukkia vesitettiin käsin

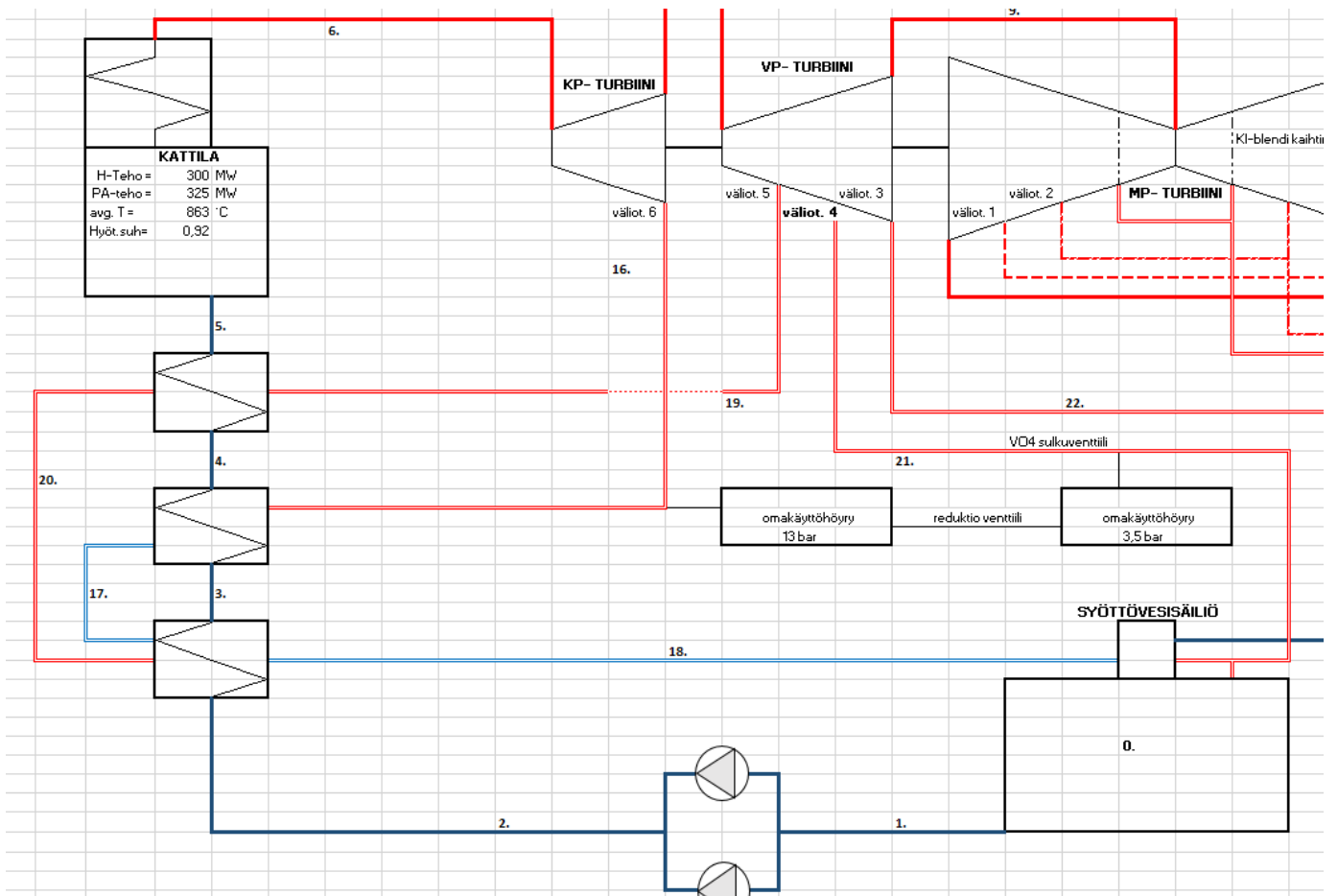
pohjaventtiilillä. Päätettiin avata 13,5 baarin tukin ja 3,5 baarin välinen reduktionventtiili, jolloin 3,5 baarin tukin pitäisi ylittää omakäyttölauhdusäiliön paine. Paineen kasvaessa huomattiin höyryn virtaavan väärään suuntaan 3,5 baarin tukilta väliotto 4:n kautta välipaineturbiinille. Väliotto 4:n takaiskuventtiili ei sulkeutunut johtuen liian pienestä painerosta venttiiliin yli. Tästä johtuen päätettiin väliotto 4:en sulkea manuaalisesti. Laitos toimi tämän jälkeen normaalisti, kunnes syve-säiliön lämpötila alkoi romahtaa ja tämän mukana lauhdutin alkoi menettää tyhjiötään.

Koska syve-säiliön esilämmitys toimi väliotto 4:n kautta, alkoi syöttöveden lämpötila laskea. Kompensoidakseen tätä, avautui väliotto 6 kokonaan lämmittääkseen syöttövedettä 3,5 baarin höyrytukin kautta. Tämä kulutti suuren määrän höyryä, jolloin se ei riittänyt enää 13,5 baarin höyrytukille ja siitä 3,5 baarin höyrytukille. 13,5 baarin höyrytukin paine romahti, kuten kuvasta 7 voi nähdä. Tästä johtuen lauhduttimen höyryejektorit lakkasivat toimimasta ja lauhduttimeen alkoi kerääntyä lauhtumattomia kaasuja, mikä nosti paineen 0,02 baarista 0,11 baariin.



KUVA 7 EBL- koeajon aikana omakäyttöhöyrytukkien paine ja syve-säiliön lämpötila

Lauhduttimen paine oli vaarassa laukaista hätäpysäytyksen, mutta ongelma saatiin hallintaan, kun väliotto 4 avattiin uudestaan, jolloin syve-säiliön lämpötila tasaantui normaaliksi. Tämän jälkeen koeajo eteni ilman ongelmia, kunhan 3,5 baarin höyrytukin vesitys varmistettiin pitämällä pohjaventtiili raollaan. Höyryluvolta tulevan lauhteen lämpötila oli 165 - 171 °C, mikä aiheutti putkistossa ryminää sen sekottuessa kylmempään syöttövesisäiliön veteen.



Kuva 8 Laitoksen omakäyttöhöyrytukkien kytkentä

7.3 Toimenpiteet koeajoon perustuen

Voimalaitoksen automaatioon lisätään EBL-toimintamalli. Se tarkkailee petilämpöjä, ohjaa matalapaineturbiinin KL-blendiä ja seuraa väliotto 4:n painetta. Luvon laakerin lämpötilan pysyminen sallituissa lukemissa tuli positiivisena yllätyksenä. Tästä huolimatta luvon laakerin hätäjäähdytyspuhalltimeen asennettiin taajuusmuuntaja, jolla voidaan tarvittaessa nostaa puhalltimen kierroksia ja siten jäähdytysteho. 3,5 baarin omakäyttöhöyrytukiin harkitaan vesittäjää, jonka voisi manuaalisesti avata ja joka pitää tukin kuivana. Kattilan petilämmöt pysyivät reilusti yli 700 celsiusasteen.

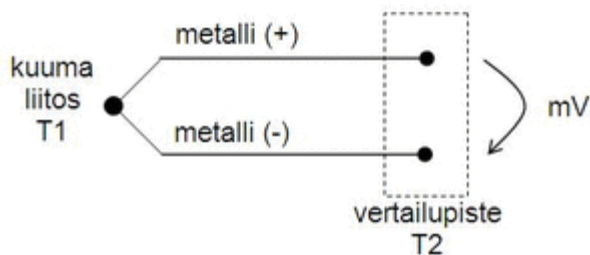
8 DOKUMENTOIDUT MUUTOKSET LAITOKSELLA

Lopputyöhön kuului myös laitoksella tehtävien muutosten dokumentointi. EBL-koearon jälkeen alettiin miettimään muutoksia, joita piti tehdä, jotta EBL-ajo olisi mahdollinen. Kattilan sisälle asennettiin jo ennen koearoa pidemmät petilämpötila mittarit, jotta tiedettäisiin palamisen laatu paremmin.

8.1 Petilämpötila-antureiden pidennys

Seinäjoen voimalaitoksen miniteho(EBL)ajoa varten, kolmea petilämpötila-anturia nostettiin 320 mm, jotta petin lämpötilasta saadaan tarkempaa tietoa, koska on oletettu, että nykyinen pituus ei riitä antamaan tarpeeksi tarkkaa tietoa tulipesässä tapahtuvasta palamisesta EBL:n aikana.

Lämpötila-anturitangon sisällä (kuva 9) on K-tyyppin termoelementit, joissa on kaksi erilaista metallia (NiCr-Ni). Metallit on hitsattu yhteen, jolloin ne muodostavat termoparin eli termoelementin. Lankojen vapaat päät muodostavat vertailupisteen. Kun hitsauskohdan ja vertailupisteen välille (kuva 9) muodostuu lämpötilaero, ilmenee termoelementissä lämpösähköinen motorinen voima (mV-jännite). Syntyvä jännite on verrannollinen vain vallitsevaan lämpötilaeroon ja termoparin materiaaleihin. Tapahtumaa kutsutaan Seebeckin ilmiöksi. Kuvassa 10 on Sevon lämpötila-anturi. (12.)

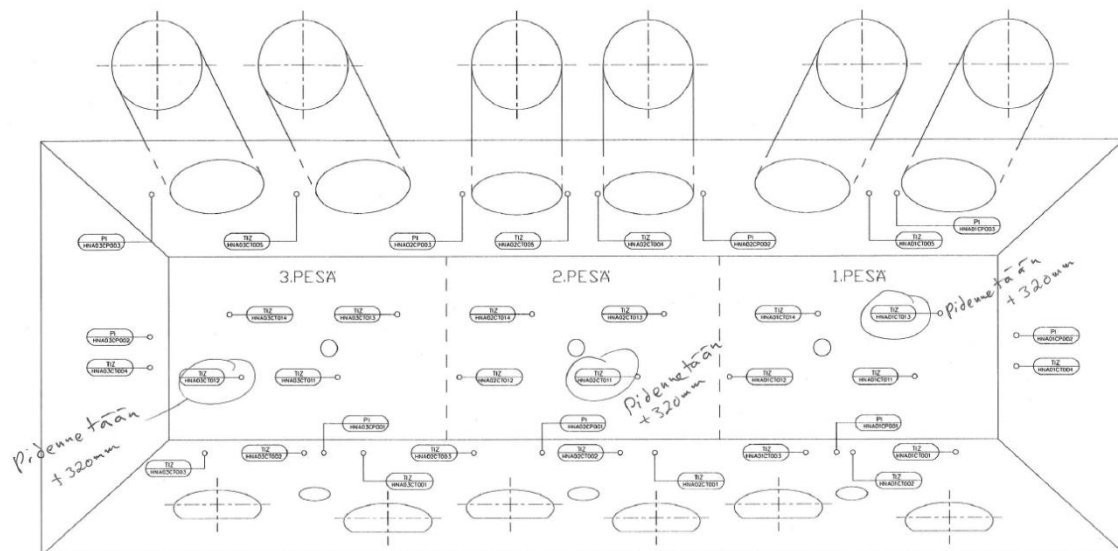


KUVA 9 SKS Sensors, Termoelementin toiminta (12)



KUVA 10 Petilämpötila-anturi

Seinäjoen Pyroflow-kattilan tulipesä on jaoteltu kolmeen pesään, joissa kussakin on 4 petilämpötila-anturia (kuva 11). Pidennettävät anturit on valittu siten, että niistä nähdään kattilan käynnistyksen aikainen lämpötila (pesä 3), tulipesän kuumimman kohdan lämpötilan (pesä 2) ja se, miten anturit kestävät kattilan ajon aikaisen kulutuksen (pesä 1). Tulipesässä olevat anturit ovat halkaisijaltaan noin 40 mm (kuva 12) ja pituutta tulipesän sisällä on noin 350 mm (kuva 13). Anturijatkoputket koostuvat kahdesta osasta, jotka jatkavat vanhoja anturiputkia (kuva 14). Kuvassa 15 on valmis petilämpötila-anturi. Antureiden asentaminen aloitettiin 21.3. kello 8 ja työ valmistui kello 16.



KUVA 11 Kattilan tulipesän pohja



KUVA 12 Lämpötila-anturin halkaisija



KUVA 13 Lämpötila-anturin pituus tulipesässä



KUVA 14 Lämpötila-antureiden jatkopalat



KUVA 15 Valmis petilämpötila-anturi (pesä 1)

8.2 Luvon laakerin hätäjähdytyspuhaltimen taajuusmuuntaja

EBL-ajon aikana yksi huolenaiheista oli luvon laakerin lämpötilan liiallinen nousu johtuen ilman ja savukaasun hitaammasta virtausnopeudesta. Tällaisia tilanteita varten luvossa on laakerin jäähdyttämistä varten pieni moottoripuhallin. Koska moottorin teho on vähäinen, päätettiin sen tehoa kasvattaa taajuusmuuntajalla. Taajuusmuuntaja on laite, joka säätelee portaattomasti sähkömoottorin pyörimisnopeutta muuttamalla syöttöjännitteen taajuutta. Niitä sanotaan tehoelektroniikka laitteiksi ja ilman taajuusmuuntajaa ei pyörimisnopeutta voi tarkasti tai tehokkaasti säätää. Ennen sähkömoottorien pyörimisnopeutta on muutettu moottorin napaparilukua tai jättämää muuttamalla, sekä erilaisten mekaanisten vaihteistojen ja jarrujen avulla.

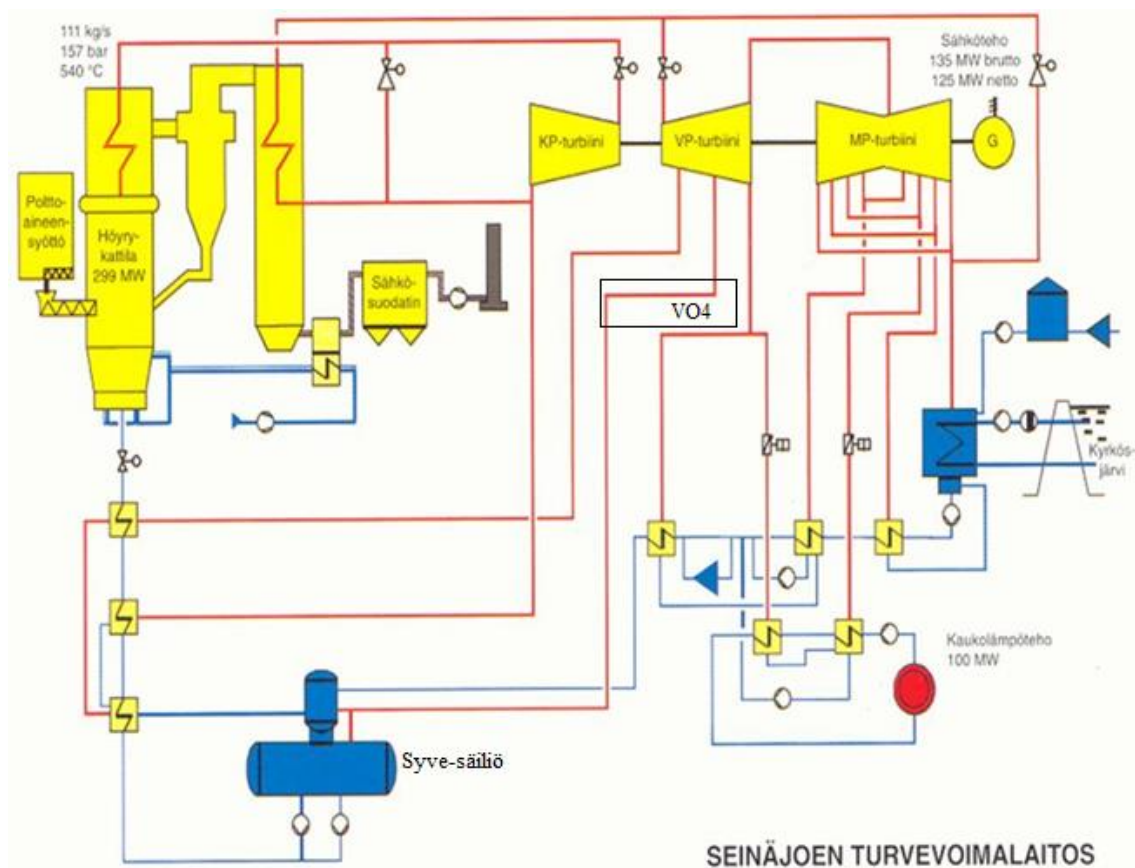
Taajuusmuuntajia käytetään yleensä erilaisissa pumpuissa ja puhaltimissa. Sen etuna on säädetävyys prosessin mukaan, jolloin tällä saavutetaan huomattava energiasäästö. Sähköverkon kuormitusta ja moottorien mekaanista rasitusta käynnistäessä voidaan vähentää (13). Kuvassa 16 on Seinäjoen voimalaitoksen luvon laakerin hätäjähdytyspuhallin, johon lisättiin taajuusmuuntaja. Ennen asennuspäätöstä suoritettiin moottorille testi, jossa käytettiin väliaikaista taajuusmuuntajaa ja värähtelysensoria. Testillä varmistettiin, että moottori ei ala väristä liian voimakkaasti, kun kierroksia nostetaan. Kierrokset nostettiin noin 2800:sta 3300 kierroksen kohdille. Tärinä ei ollut ongelmana kierroksia nostettaessa.



KUVA 16 Seinäjoen voimalaitoksen luvon laakerin hätäjähdytyspuhallin

8.3 EBL-ajon automatiikka

Laitoksen vuosihuollon yhteydessä kesällä lisättiin Valmetin automaatio-ohjelmaan minimitehoajo-tapa. Kun sähkönhinta on matala ja kaupunki ei tarvitse kaukolämpöä, voi voimalaitos tarpeen tul-len kytkeä laitoksen minimitehoajolle. Operaattori kytkee halutun tavoitetehton ja tehon muutosno-peuden. Automaatioon lisättiin myös ehtoja, jotka tarvittaessa lisäävät kattilaan lisää tehoa. Mikäli kaukolämpötehon tarve nousee, tuotetaan teho kaukolämpövaihtimille nostamalla kattilan tehoa sen sijaan, että suljettaisiin matalapaineturbiinissa sijaitsevaa säätöväliä, jonka tehtävä on lisätä höyryn virtausta matalapaineturbiinin kaukolämmön väliottoihin. Automaatio tarkkailee myös syöttövesisäiliön painetta, joka on suoraan yhteydessä välipaineturbiinin väliotto 4 -venttiilin toimintaan (kuva 17), sillä säiliön paine on verrannollinen sen lämpötilaan.



KUVA 17 Laitoksen väliotot (2)

Mikäli syöttövesisäiliön paine pyrkii laskemaan liikaa, EBL-automatiikka nostaa kattilan polttoaine-tehoa ja sitä kautta myös turbiinin painetasoa, kunnes syöttövesisäiliön lämpötila on saatu hallinta-an. Petilämpötilat kattilassa pitää pysyä yli 680 °C, mutta ohjelmassa voi valita tarkkaileeko oh-jelma petilämpötilojen minimilämpötilan vai keskiarvoisen lämpötilan mukaan. Tarvittaessa EBL-

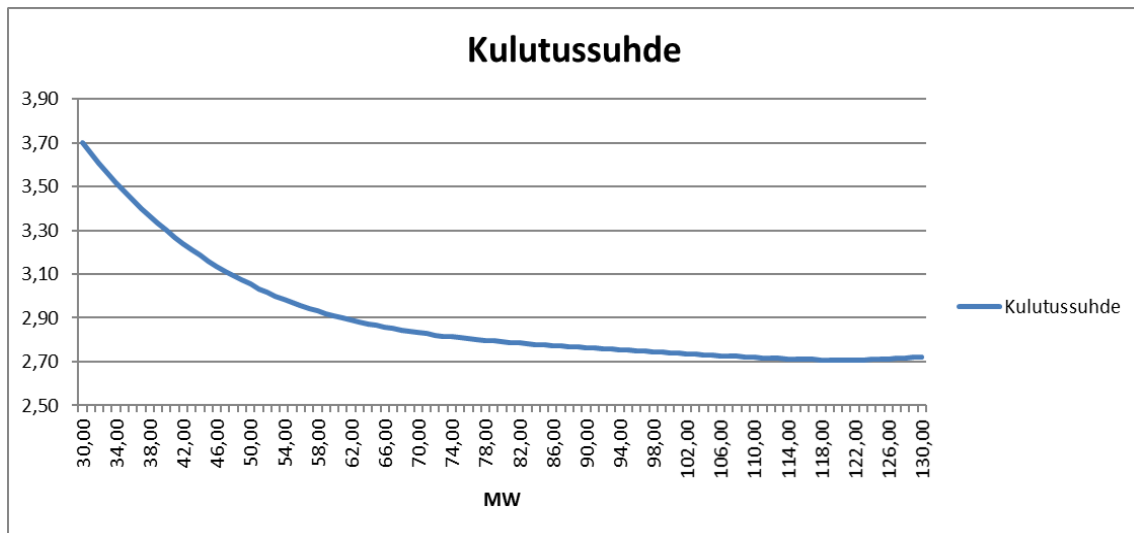
automaatiikka nostaa polttoainetehoa hallitakseen petilämpöjä. Kun EBL-ajomalli kytketään päälle, kytkeytyy turbiini etupainesäädölle, jolloin turbiiniin menevän höyryn painetta säädetään kuristusventtiileillä, joilla korkeapaine höyryn paine pidetään 147–152 baarissa.

9 KANNATTAVUUSLASKELMA

Minimitehokoeajon jälkeen vierailtiin EPV Energia Oy:n erityisasiantuntijan Mauri Blombergin tykönä. Hänen mukaansa minitehoajossa ei välttämättä ole kannattavaa ajaa laitosta aivan minimillä johtuen kulutussuhdekäyrästä (kuva 18). Tuolloin saattaa olla kannattavaa pitää kattilaa hieman isommalla teholla. Esimerkkinä voidaan miettiä, onko kannattavampaa 35 MW:n nettosähkötuoton sijaan ajaa 40 MW:n nettosähkötuotolla, koska polttoaineen tarve tuotettua megawattia kohden laskee.

9.1 Kulutussuhde

Alhaisilla kattilatehoilla palamisen hyötysuhde laskee jyrkästi, joten polttoainetta tarvitaan enemmän jokaista tuotettua sähkömegawattituntia kohden. Seinäjoen voimalaitoksesta on tehty kulutussuhdemittaukset jo aikaisemmin liittyen erääseen diplomityöhön. Samaa kulutussuhdetaulukkoa käytettiin tehdyssä kannattavuuslaskelmassa. Esimerkiksi, jotta saadaan tuotettua 40 MW nettosähköä, tarvitaan polttoainetta 132 MW, koska kulutussuhde on tuolloin 3,3 MW polttoainetta jokaista 1 sähkömegawattia kohden (kuva 18).



KUVA 18 Seinäjoen voimalaitoksen kulutussuhdekäyrä

9.2 Kannattavuuslaskuri

Tehtävänä oli yrittää tehdä kannattavuuslaskurimalli Exceliin perustuen laitoksen kulutussuhdekäyrään. Laskuri laskisi polttoaineen kulutuksen, hinnan ja sähköhinnan kautta laitoksen tuoton erilaisilla sähkökuormilla matalalla tuotolla. Aluksi laskurista jätettiin huomioimatta kaukolämmön tuotto ja keskityttiin täysin sähköntuotantoon ja siitä saatuun tuottoon. Laitos mittaa kahta sähkötehoa: fiktiivistä sähkötehoa ja nettosähkötehoa. Laskurin alussa keskityin laskemaan pelkästään nettosähköstä saatuun tuottoon. Voimalaitoksen käyttöhistoriasta kerättiin manuaalisesti ajankohdittia, jolloin laitoksen kaukolämpötuotanto pysyy matalana, kun sähköteho nousee. Tietoja poimittiin neljästä eri tehoalueesta: 30 - 40 MW:n, 39 - 45 MW:n, 45 - 60 MW:n ja 60 - 70 MW:n kohdalta. Tätä isommasta sähkötehosta ei kannattanut alkaa tehdä laskuria, koska silloin ei olla enää niin sanotulla minitehoalueella. Kulutussuhdearvot lisättiin Exceliin, jonka avulla saatiin fiktiivisellä sähköteholla todellisen polttoainemäärän MW:ina (kaava 1). Tästä sain polttoaineen hinnan mukaan muuttuvan polttoaineen kustannukset (kaava 2). Fiktiivinen sähköteho on laitoksen laskettu sähköntuotanto, mikäli kaukolämpöä ei tuotettaisi yhtään.

$$\text{Polttoainemäärä [MW]} = \text{Fiktiivinen sähköteho [MW]} * \text{kulutussuhde} \left[\frac{\text{PA, MW}}{\text{Sähk, MW}} \right] \quad \text{KAAVA 1}$$

$$\text{Polttoainekustannukset [€]} = \text{Polttoainemäärä [MW]} * \text{Polttoainehinta} \left[\frac{\text{€}}{\text{MW}} \right] \quad \text{KAAVA 2}$$

Sitten laskettiin polttoaineesta muodostuvan tuhkan määrä (kaava 3) ja siitä aiheutuvat kustannukset (kaava 4). Syntyneen tuhkan määrä saatiin laitokselta ja siitä koituvat kustannukset ovat voimalaitoksen omaa tietoa.

$$\text{Tuhka} \left[\frac{\text{t}}{\text{h}} \right] = \text{Polttoainemäärä [MW]} * \text{Tuhkan määrä} \left[\frac{\text{t}}{\text{MWh}} \right] \quad \text{KAAVA 3}$$

$$\text{Tuhkan kustannukset} \left[\frac{\text{€}}{\text{h}} \right] = \text{Tuhka} \left[\frac{\text{t}}{\text{h}} \right] * \text{Tuhkan hinta} \left[\frac{\text{€}}{\text{t}} \right] \quad \text{KAAVA 4}$$

Sitten laskettiin kaukolämmöstä saadut tulot (kaava 5). Kaukolämpö tehot on poimittu laitoksen automaation käyttöhistoriasta. Kaukolämmön myyntihinta on laitoksen omaa tietoa.

$$\text{Kaukolämpö tuotot [€]} = \text{Kaukolämpö teho [MWh]} * \text{Kaukolämpö hinta} \left[\frac{\text{€}}{\text{MWh}} \right] \quad \text{KAAVA 5}$$

Voimalaitos saa verkon ylläpitäjältä lisämaksun, mikäli laitos on valmiina tukemaan verkon taajuutta ja laitos pitää niin sanottua taajuusohjattua käyttöreserviä valmiina. Mikäli laitosta ajetaan minimiteholla ei reserviä voida pitää, jolloin tuki menetetään. Taajuusohjatun käyttöreservin tuet laskettiin (kaava 6). Tämä seikka on suurin tekijä, kun tarkastellaan minimitehon kannattavuutta.

$$P_f \text{ Sääto tuotto } \left[\frac{\text{€}}{\text{MWh}} \right] = P_f \text{ säätovara } [\text{€}] * P_f - \text{sääto tuki } \left[\frac{\text{€}}{\text{MWh}} \right] \quad \text{KAAVA 6}$$

Tulot, joita saadaan sähkön myynnistä, lasketaan sähkön nettotehosta eli siitä, mikä saadaan sähkönä turbiinista (kaava 7).

$$\text{Sähkön tuotto } [\text{€}] = \text{Netto sähköteho } [\text{MW}] * \text{Sähkön hinta } \left[\frac{\text{€}}{\text{MW}} \right] \quad \text{KAAVA 7}$$

Lopuksi tuotot lisätään yhteen ja niistä vähennetään kustannukset. Näin saadaan tuntikohtainen kannattavuuslaskelma (kaava 8).

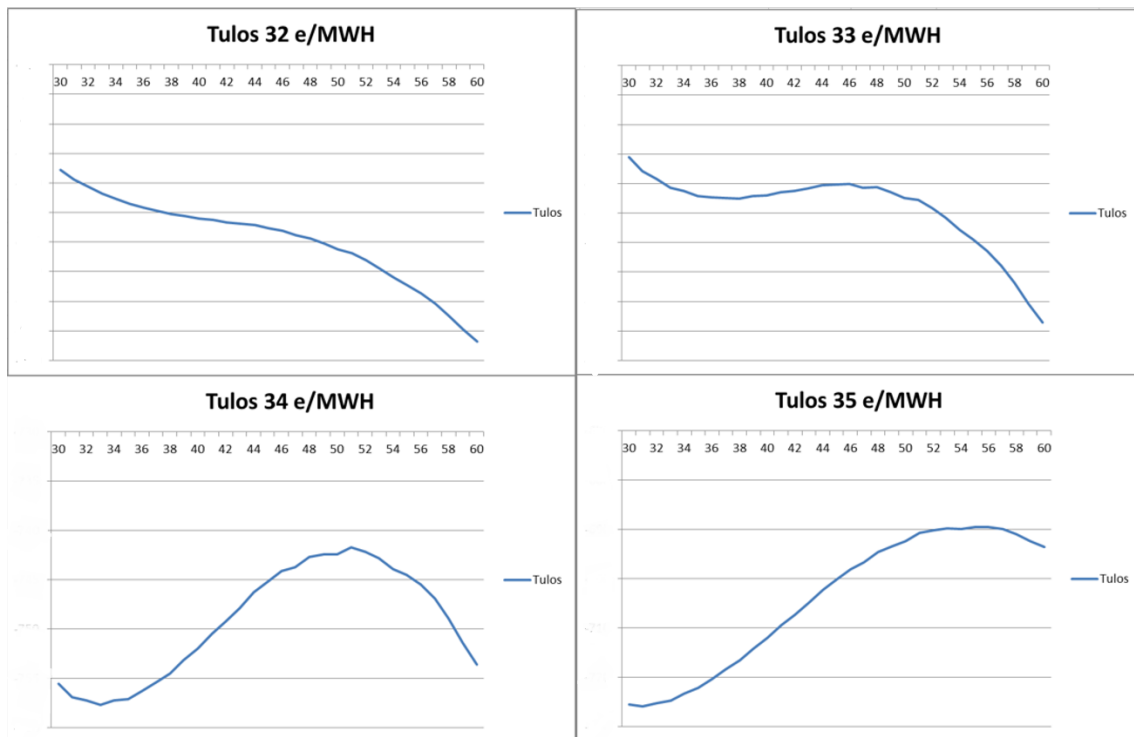
$$\text{Tulot } [\text{€}] = \text{Kaukolämpö tuotto } [\text{€}] + \text{Sähkön tuotto } [\text{€}] + P_f \text{ Sääto tuotto } \left[\frac{\text{€}}{\text{MWh}} \right] - \\ \text{Polttoainekustannukset} [\text{€}] - \text{Tuhkan kustannukset } \left[\frac{\text{€}}{\text{h}} \right] \quad \text{KAAVA 8}$$

Laskurin muuttujat ovat taulukossa erillään, jotta niitä olisi helpompi muokata. Suurimpana muuttujana toimivat sähkön hinta ja polttoaineen hinta. Taulukkoon lisättiin kuvaaja, jossa näkyvät tulot, fiktiivinen sähköteho ja kaukolämpöteho.

9.3 Kannattavuuslaskelman yhteenveto

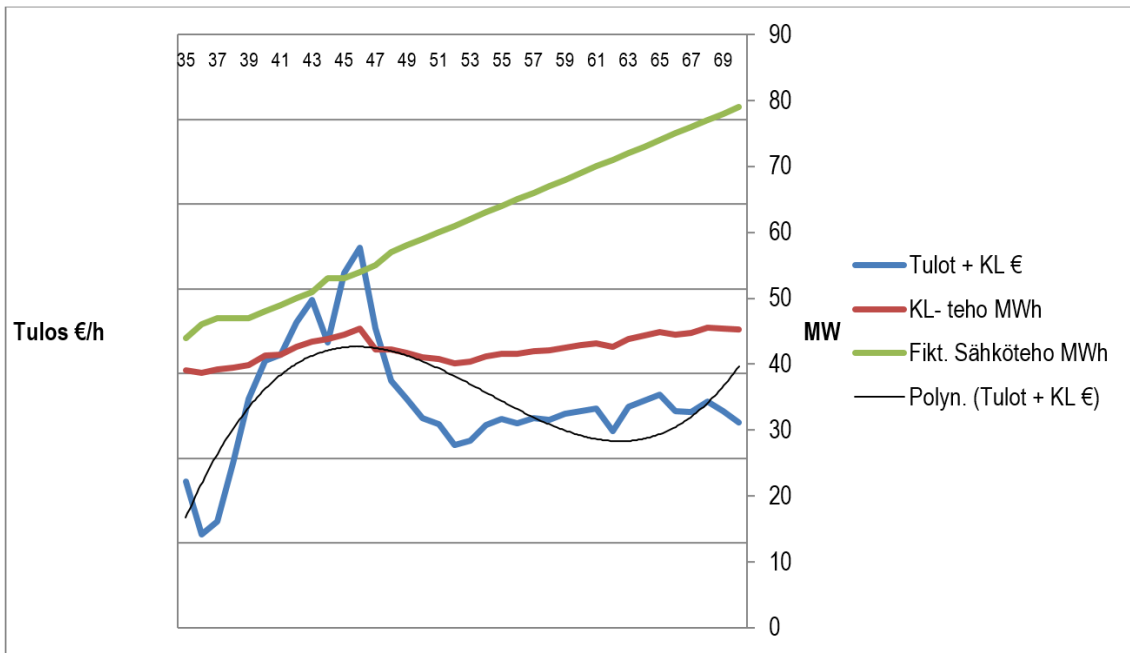
Tein laskurin Exceliin ensin perustuen nettosähkötehoon ja ilman kaukolämmön tuottoa. Myös verkon taajuustukimaksu ja tuhkan kustannukset on jätetty pois, jotta laskurista saatiin yksinkertainen. Valmiista laskurista tehtiin kuvaajasarja (kuva 19), josta voi nähdä kulutussuhteesta johtuvan mutkan. Kuvaajien yläpuolella on sähkön hinta kussakin tapauksessa, kun polttoaineen hinta pysyy samana. Tästä voi nähdä, että laitosta voi joissain tapauksissa ajaa hieman isommalla teholla, jotta saadaan tappiot mahdollisimman pieniksi. Kun laskuriin lisää kaukolämpötuoton, tuhkan kustannukset ja verkon käyttöreservi tuen, muuttuu kuvaaja tällöin paljon epäselvemmäksi. Siitä kuitenkin voi vielä nähdä kannattavimman kohdan kuten kuvasta 20 näkee. Laskurista huomaa myös, että

laitosta kannattaa harvoin ajaa niin pienellä teholla, että verkontukimaksu menetetään. Oletuksena oli, että kuvaaja on epäselvä, koska luvut laskuriin oli otettu laitoksen käyttöhistoriasta.

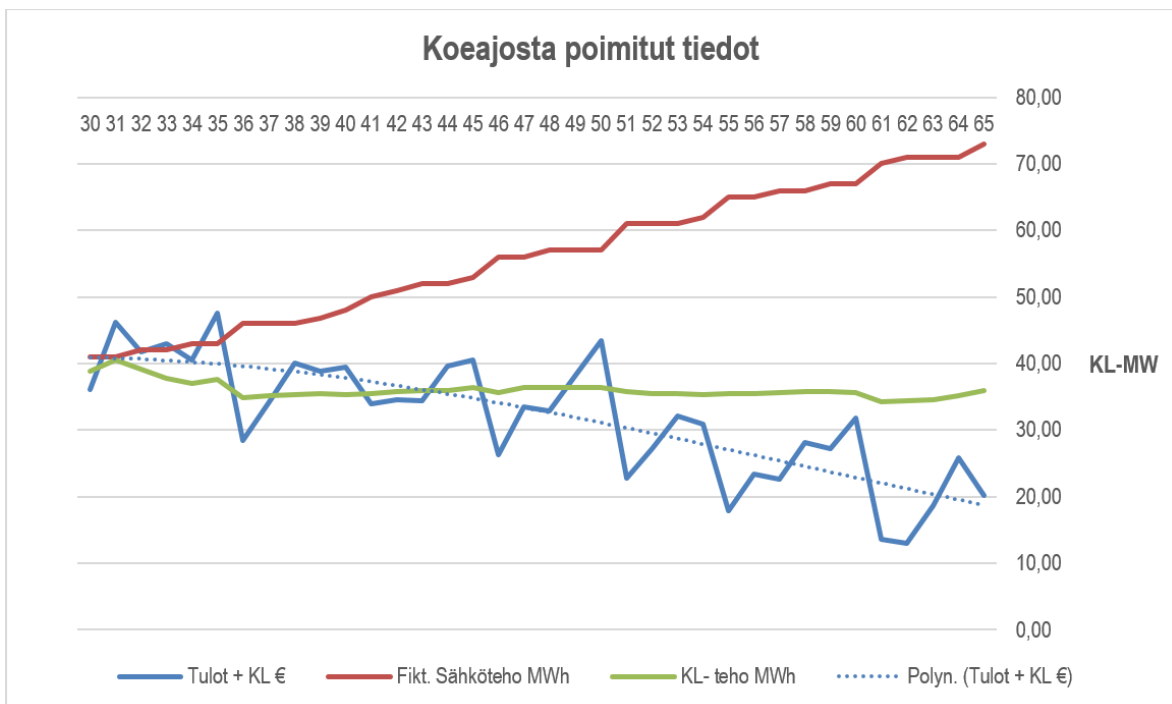


KUVA 19 Kannattavuuslaskurista saadut ihanteelliset kuvaajat

Laskurille järjestettiin kesän lopussa oma koeajo. Tällöin laitosta ajettiin siten, että kaukolämpö pidettiin tasaisena noin 34 ja 39 MW:n välissä. Sähkötehoa pudotettiin tasaisesti 5 megawattia kerrallaan 65 MW:sta 35 MW:iin. Laitoksen automaatio-ohjelmasta kirjattiin fiktiivisen sähkötehon arvot ylös ja luvut lisättiin laskuriin. Tuloksena oli 5 MW:n välein tapahtuvia portaita kuvaajassa (kuva 21), vaikka odotuksena oli helpommin luettava käyrä. Tämän oletettiin johtuvan liian nopeasta tehon muutoksesta. Tälle syksyille ei ehditty järjestää uutta koeajoa, jossa tehon muutos toteutettaisiin 1 MW:n välein. Aihe tarvitsee syvempää tutkimusta, ennen kuin laskelman toimivuuden voisi varmistaa.



KUVA 20 Kannattavuuskuvaaja käyttöhistoriasta poimituilla arvoilla



KUVA 21 Koeajosta saaduilla tiedoilla tehty kuvaaja

10 YHTEENVETO

Työn tarkoituksena oli koeajon suorittaminen, siihen liittyvien muutosten dokumentoiminen ja myöhemmin kesällä tehtävän kannattavuuslaskelman tai toisin sanoen kannattavimman pisteen määrittäminen tietyllä sähkön ja polttoaineen hinnalla. Työn taustalla on sähkön huonot hinnat, minkä takia Seinäjoen voimalaitoksen suurin tuotto saadaan kaukolämmön myynnistä kylminä aikoina. Tarkoituksena on hakea säästöä vuoden lämpiminä aikoina.

Ennen koeajoa kattilaan asennettiin pidennetyt petilämpötila-anturit, jotka todettiin myöhemmin kesän huoltojen aikana kestävästi kuluttavat olosuhteet hyvin. Economical boiler load -koeajo oli onnistunut hyvin, muutamia ongelmia lukuun ottamatta omakäyttöhöyryn riittämättömyyden kanssa. Tarkoituksena oli saavuttaa 36 kg/s höyryvirtaus, mutta koeajon aikana höyryn tuotto oli jopa vain 35 kg/s. Luvon laakerin lämpötila pysyi sallituissa arvoissa kuten myös petilämpötilat. Luvon hätäjäähdytyspuhaltimen moottoriin asennettiin taajuusmuuntaja ja automaatiojärjestelmään asetettiin EBL-ajomalli rajaehtoineen. Kulutussuhde käyrään perustuvasta kannattavuuslaskurista löydettiin viitteitä mahdollisen kannattavimman pisteen löytämiselle. Laskurille tehdystä koeajosta ei saatu toivotun näköistä. Syynä tälle epäillään olevan laitoksen liian nopea tehon muutos. Tarkempia tuloksia olisi voitu mahdollisesti saavuttaa 5 megawatin muutosnopeuden sijaan 1 megawatin muutoksella. EBL-koeajon aikana tapahtunut höyryejektorien toimintahäiriön voisi ratkaista korvaamalla ejektorit sähkötoimisilla vakuumpumpuilla. Tämä toisaalta on kallis investointi ja laitoksen omakäyttö-sähkön osuus nousee.

Vaskiluodon Voima saa vapaaseen käyttöönsä kannattavuuslaskurin, jota voi käyttää pohjana tulevaisuudessa uusille laskelmille. Työn aikana opin paljon voimalaitoksen ajotavoista ja voimalaitosympäristöstä. Vaskiluodon Voima jatkaa aiheen tutkimista.

LÄHTEET

1. Vaskiluodon Seinäjoen voimalaitos 2016. Vaskiluodon Voima Oy. Saatavissa: <http://www.vv.fi/seinajoen-voimalaitos/>. Hakupäivä 27.4.2016.
2. Seinäjoen voimalaitoksen esityskalvot. Vaskiluodon Voima Oy 2015.
3. SEVO projekti. 1991. ENERGIA erikoisnumero 1 b.
4. Huhtinen, Markku – Kettunen, Arto – Nurminen, Pasi – Pakkanen, Heikki 2000. Höyrykattilatekniikka. 5., uusittu painos. Helsinki: Oy Edita Ab.
5. Raiko, Risto – Saastamoinen, Jaakko – Hupa, Mikko – Kurki-Suonio, Ilmari 2002. Poltto ja palaminen. 1., Toinen täydennetty painos. Jyväskylä: Gummerus Kirjapaino Oy.
6. Huhtinen, Markku – Korhonen, Risto – Pimiä, Tuomo – Urpalainen, Samu 2013. Voimalaitostekniikka. 2., tarkistettu painos. Tampere: Juvenes Print.
7. Norrie 2010. Introduction to Turbines & Steam Turbines - Turbine Seal-Steam System. Saatavissa: <http://articles.compressionjobs.com/articles/oilfield-101/167-steam-turbines-control-back-pressure-condensing?start=5>. Hakupäivä 24.5.2016.
8. Luonnonkiertokattilan periaatekuva 2011. Knowenergy. Saatavissa: http://www.knowenergy.net/suomi/monipoltt_kattilat/5_0_hoyrykatt_periaate/luonnonkierto_periaate.gif Hakupäivä 26.5.2016.
9. Luonnonkiertokattilan periaate 2011. Knowenergy. Saatavissa: http://www.knowenergy.net/suomi/monipoltt_kattilat/5_0_hoyrykatt_periaate/fr_text.htm#5_1. Hakupäivä 12.9.2016.
10. Pimiä, Tuomo 2015. Kattilatyypit, vesihöyrypiirin ratkaisut. Kymenlaakson ammattikorkeakoulu. Saatavissa: http://cna.mamk.fi/Public/FJAK/YAMK/Voimalaitostekniikka/Kattilatyypit,%20vesih%C3%B6yrypiirin%20ratkaisut_2015.pdf. Hakupäivä 29.10.2016
11. Shanker, Bholu 2016. How does the steam turbine gland sealing system work. Saatavissa: <https://www.quora.com/How-does-the-steam-turbine-gland-sealing-system-work> Hakupäivä 30.10.2016.
12. Miten toimii TE-anturi (termoelementti) 2016. SKS Sensors Saatavissa: <http://www.skssensors.fi/faq/miten-te-anturi-toimii/>. Hakupäivä 21.3.2016.
13. Taajuusmuuttajat 2009. SähköNet. <https://blogit.jao.fi/sahkonet/sahko-ja-automaatio-asennukset/oppimistehtavat/teollisuuden-sahkoasennukset/moottori-kaytot/taajuusmuuttajat/>. Hakupäivä 13.11.2016.

14. Matilainen, Mikko 2016. Kehityspäällikkö, Amec Foster Wheeler. Sähköpostihaastattelu
30.11.2016
15. Sillanpää, E. 1990. Käyttökäsikirja, Pyroflow-kattilan toiminta.

