LUT University

School of Energy Systems

Energiatekniikan koulutusohjelma

BH10A1101 Diplomityö

TURPEESTA LUOPUMINEN PURSIALA 1 VOIMALAITOKSESSA

Työn tarkastajat: Professori TkT Tapio Ranta, DI Mika Laihanen

Työn ohjaaja: Lasse Lahtinen ESE OY

Lappeenranta 08.04.2019

Antti Heinikainen

TIIVISTELMÄ

LUT University
School of Energy Systems
Energiatekniikan koulutusohjelma

Antti Heinikainen
Turpeesta luopuminen Pursiala 1 voimalaitoksessa

Diplomityö
2019
56 sivua, 16 kuvaa, 8 taulukkoa ja 2 liitettä.

Tarkastajat: Professori TkT Tapio Ranta, Projektitutkija DI Mika Laihanen
Ohjaaja: Tuotantojohtaja Lasse Lahtinen (Etelä-Savon Energia Oy)

Hakusanat: Alkuainerikki, CFB, Kattilalaitokset, Korroosio, Rikinsyöttö, Tukkeutuminen, Turve

Tämän diplomityön tavoitteena oli selvittää vaihtoehtoiset tavat turpeesta luopumiselle Pursiala 1 voimalaitoksella. Pursiala 1 voimalaitoksesta vastaa Etelä-Savon Energia Oy (ESE Oy), jonka omistaa Mikkelin kaupunki. Pursiala 1 kattilalaitos on rakennettu vuonna 1990 ja sen teknistä käyttöikää on jäljellä 10-15 vuotta. Laitoksen polttoaineena käytetään 70 % puuta ja 30 % turvetta. Nykyinen ilmastolainsäädäntö ja paikallisen turpeen tuotannon vaikutus lähialueiden vesistöihin on luonut tilanteen, jossa turpeesta luovutaan polttoaineena viimeistään vuonna 2035. Turpeesta luopuminen polttoaineena tuo ongelmia kattilalaitoksen toimivuuteen, sillä turpeessa olevalla rikillä on merkittävä rooli kattilan tukkeutumisen ja korroosion osalta. Pelkää puuta poltettaessa kattilan tulistinpinnat tukkeutuvat paljon nopeammin ja tuhka tarttuu tiukemmin lämmönsiirtopinnoille. Tämä aiheuttaa kattilan hyötysuhteen alanemisen, eikä energiaa saada tuotettua yhtä tehokkaasti kuin puhtailla pinnoilla.

Diplomityössä tutkittiin muutosta, jossa kattilan tulistinpintoja lähdettäisiin muokkaamaan väljemmiksi. Tämä ajatus kuitenkin osoittautui heti alkuun erittäin arvokkaaksi vaihtoehdoksi, jolloin lähenneltäisiin jo uuden laitoksen investointihintaa.

Toisessa vaihtoehdossa työssä selvitettiin turpeen korvaamista alkuainerikillä. Tässä tilanteessa puuta täytyisi syöttää enemmän polttoon, jotta saavutetaan sama energiamäärä kuin turvetta poltettaessa. Puun joukkoon lisätään alkuainerikkiä, jolla pystytään korvaamaan turpeesta saatu rikki. Vastaavanlaisia järjestelmiä on rakennettu muutamia, mutta mistään järjestelmästä ei ole tutkittua tietoa. Diplomityön perusteella Pursiala 1 voimalaitokseen olisi mahdollista rakentaa rikinsyöttöjärjestelmä.

Diplomityössä vertailtiin myös kustannuksia uuden kattilalaitoksen ja rikinsyöttöjärjestelmän suhteen. Uuden laitoksen investointi on ajankohtainen 15 vuoden aikajänteellä. Rikinsyöttöjärjestelmän avulla turpeesta olisi mahdollista luopua jo aikaisemmin. Jos ESE Oy päättää investoida rikinsyöttöjärjestelmään, olisi tämä hyvä jatkotutkimusaihe. Tässä työssä voitaisiin tutkia suoraan järjestelmän toimivuutta ja kannattavuutta käytännössä.

ABSTRACT

LUT University
School of Energy Systems
Energy technology

Antti Heinikainen
Pursiala 1 power plant renovation for running without peat

Master's thesis
2019
56 pages, 16 figures, 8 tables ja 2 appendices.

Examiners: Professor Ph.D Tapio Ranta, Research Assistant M.Sc. (Tech.) Mika Laihanen
Instructor: Production manager Lasse Lahtinen (Etelä-Savon Energia Oy)

Keywords: Elemental sulfur, CFB, Powerplants, Corrosion, Sulfur feed system, Fouling, Peat

The aim of this master's thesis was to find out alternatives ways to end the peat use at the Pursiala 1 power plant. The power plant is maintained by Etelä-Savon Energia Oy (ESE Oy). ESE OY is owned by the City of Mikkeli. Pursiala 1 power plant was built in 1990 and its technical lifetime is 10-15 years for now. The powerplant fuel ratio is 70% wood and 30% peat. The current climate legislation and the impact of local peat production on the waters around the area have created a situation where peat will be abandoned as a fuel by 2035 at the latest. Lack of the peat as a fuel brings problems to the operation of the boiler, as the sulfur in the peat plays a significant role in clogging and corrosion of the boiler. When using 100% wood in the boiler the surfaces are blocked much faster and ash sticks more tightly to heat transfer surfaces. This causes a reduction in the efficiency of the boiler, and energy cannot be produced as efficiently as on clean heat exchange surfaces.

In this master's thesis was investigated a situation that the heat exchange surfaces of the boiler were to be fixed looser than before. This idea, however, turned out to be an extremely valuable alternative, which would already bring the investment as valuable as the new power plant investment.

In the second alternative, the replacement of peat with elementary sulphur was investigated. In this situation, the wood should be fed more to the boiler to achieve the same amount of energy as peat is burned. Elemental sulfur is added to the woodchips to replace the sulfur from the peat. Similar systems have been built for a few, but no information has been explored about the system. This master's thesis shows that it would be possible to construct elementary sulphur feed system for the Pursiala 1 powerplant.

This master's thesis also includes the compared costs of the new boiler plant and the sulphur feeding system. The investment of the new power plant will be up-to-date within 15 years. With the sulphur-feeding system it would be possible to give up peat use earlier.If ESE Oy decides to invest in the sulphur supply system, it could be a good thesis topic for the next master's student. This work could directly investigate the functioning and profitability of the system.

ALKUSANAT

Kahden vuoden rupeama on saatu päätökseen Lappeenrannan teknillisessä yliopistossa. Haluaisin kiittää Lappeenrannan teknillisen yliopiston ja Etelä-Savon Energian henkilökuntaa diplomityön mahdollistamisesta. Kiitokset myös perheelleni ja ystävilleni tuesta, jota olen saanut jatko-opiskelujeni ajalta.

Lappeenrannassa 04.04.2019

Antti Heinikainen

Antti Heinikainen

SISÄLLYSLUETTELO

TIIVISTELMÄ **1**

ABSTRACT **2**

ALKUSANAT **3**

SISÄLLYSLUETTELO **4**

SYMBOLI- JA LYHENNELUETTELO **7**

1 JOHDANTO **8**
1.1 Tutkimuksen tausta ... 8
1.2 Tavoitteet ... 8
1.3 Rajaukset ... 9
1.4 Työn rakenne ... 9

2 ENERGIAPOLITIIKKA **10**
2.1 Ilmastostrategia ja säädökset ... 10
2.2 RES-direktiivi ... 11
2.3 Energiantarve ... 12
2.4 Voimalaitospolttoaineiden hinnat lämmön- ja sähköntuotannossa ... 13
2.5 Energiaverotus ... 14

3 HÖYRYVOIMALAITOKSET **15**
3.1 Toimintaperiaate ... 15
3.2 Veden kierto ... 16
3.2.1 Luonnollinen kierto ... 16
3.2.2 Pakotettu kierto ... 17
3.2.3 Läpivirtaus ... 18
3.3 Lämmönsiirtimet ... 19
3.3.1 Syöttöveden esilämmitin (Ekonomaiseri) ... 20
3.3.2 Keittoputkisto ... 20
3.3.3 Tulistimet ... 20
3.3.4 Palamisilman esilämmitin (LUVO) ... 21
3.4 Palamisilma ... 22
3.5 Tuhkan muodostuminen ... 22

4 LÄMPÖPINTOJEN LIKAANTUMINEN, KORROOSIO JA PUHDISTUS **23**
4.1 Lämmönsiirtopintojen likaantuminen ... 23
4.2 Eroosio ... 24
4.3 Korkealämpötilakorroosio ... 24

4.4 Matalalämpötilakorroosio 25
4.5 Lämpöpintojen puhdistus 26

5 PÄÄSTÖT 27
5.1 SO_x -päästöt 27
5.2 NO_x -päästöt 27
5.3 Hiukkaspäästöt 28

6 Etelä-Savon Energia Oy 29
6.1 Voimaliiketoiminta 29
6.2 Pursiala 1 CFB -kattila 31
6.3 Nykyisen CFB -kattilan elinikäselvitys 32
6.4 Pursiala 1 voimalaitoksen käyttämät polttoaineet 32
6.4.1 Energiapuu 33
6.4.2 Polttoturve 33
6.5 Turvetuotanto ja sen vaikutukset Suomessa 35
6.5.1 Polttoturpeen verotus 35
6.6 Pursiala 1 savukaasupäästöt ilmaan 36
6.7 Kalkinsyöttöjärjestelmä 36

7 ONGELMAN ESITTELY 38

8 PURSIALA 1 CFB KATTILAN SOVELTUMINEN 100% PUULLE 40
8.1 Tarvittavat muutokset kattilaan 40
8.1.1 Arinan muutokset 40
8.1.2 Tulistimien muutokset 41
8.2 Nuohous 42
8.2.1 Höyrynuohoin Diamond IK-1M 42
8.2.2 Räjäytyshuonous 43

9 RIKIN SYÖTTÖ POLTTOAINEEN SEKAAN 44
9.1.1 Jyväskylän Energia Keljonlahti 44
9.1.2 Kraftringen Energi Lund Ruotsi 45
9.2 Tekninen toteutus 46
9.3 Alkuainerikki 46

10 INVESTOINTI 47
10.1 Uusi kattila & turbiini 47
10.2 Rikin syöttöjärjestelmä 48
10.3 Kattilalaitos 48

11 TULOKSET 49
11.1 Riskit/onnistumistodennäköisyys 49

12 YHTEENVETO 51

LÄHDELUETTELO 53

LIITTEET

Liite 1. Kemikaalitiedot rikkipastillit TDS Bang & Bonsomer

Liite 2. Kemikaalitiedot rikkigranulaatti TDS Bang & Bonsomer

SYMBOLI- JA LYHENNELUETTELO

ATEX	Räjähdysvaarallistentilojen laitteiden ja suojausjärjestelmien turvallisuudesta.
BAT	Best Available Techniques, paras käyttökelpoinen tekniikka.
BFB	Kuplapetikattila (Bubbling fluidized bed boiler)
CFB	Kiertoleijupetikattila (Circulated fluidized bed boiler)
ESE Oy	Etelä-Savon Energia Oy
IPCC	Hallitusten välinen ilmastonmuutospaneeli (Intergovernmental panel on climate change)
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
LUVO	Palamisilman esilämmitin
Nm^3	Normaalikuutiometri. Kuutio kaasua normaali ilmanpaineessa 101,325 kPa ja 0 °C lämpötilassa
S	Rikki
SO_2	Rikkidioksidi
Sorbentti	Sitova aine
TJ	Terajoule
TWh	Terawattitunti

1 JOHDANTO

Mikkelin kaupungin omistama Etelä-Savon Energia Oy (ESE Oy) on päättänyt luopua turpeen käytöstä vuoteen 2035 mennessä. Tällä hetkellä turvetta käytetään Pursiala 1 voimalaitoksessa puupolttoaineen rinnalla. Kattilalaitoksen teknistä käyttöikää on jäljellä 10-15 vuotta.

1.1 Tutkimuksen tausta

Turpeen osuuden korvaaminen puupolttoaineella ei ole yksinkertaista, sillä Pursiala 1 voimalaitoksen kattila on alun perin suunniteltu turpeen poltolle. Tällä hetkellä puuta poltetaan 70 % ja turvetta 30%. Yksistään puuta poltettaessa kattilan tulistinpinnat likaantuvat, tukkeutuvat ja syöpyvät nopeammin. Pursiala 1 voimalaitoksen kattilan on toimittanut Foster Wheeler vuonna 1990. Voimalaitoksen tekniikka perustuu pyroflow kiertoleijupeti (CFB) tekniikkaan. Laitos tuottaa sähköä ja kaukolämpöä. Tässä diplomityössä tarkasteltiin tilannetta, jossa puupolttoaineen sekaan syötetään alkuainerikkiä, joka korvaa turpeesta tulevan rikin palamisen aikana. Rikkioksidi ja -trioksidit ovat ympäristölle ja ihmiselle haitallisia yhdisteitä. Työssä tutkittiin myös vaihtoehtoa, jossa kattilan tulistimia muokataan väljemmiksi.

1.2 Tavoitteet

Diplomityön tavoitteena oli löytää kustannustehokas ratkaisu turpeesta luopumiselle, sillä kattilan teknistä käyttöikää on jäljellä lähtökohtaisesti 10-15 vuotta. Uuden kattilalaitoksen investointi tulisi näin ollen ajankohtaiseksi 2030 luvun alkupuolella. Tekniikkaa on jo olemassa mm. Ruotsin Lundissa ja Jyväskylän Energian Keljonlahden voimalaitoksella. Tavoitteena on myös selvittää hinta-arvio uudelle kattilalaitokselle ja verrata sitä mahdollisiin tarvittaviin vanhan kattilan muutoksiin. Työn tavoite on lisätä asiaan perehtymättömien ymmärrystä turpeen käytön jättämisen moniulotteisista ongelmista ja sen aiheuttamista kustannuksista kaukolämmön kuluttajille.

1.3 Rajaukset

Diplomityö rajattiin alkuainerikin syöttöteknilliseen näkökulmaan. Diplomityöstä jätettiin pois polttoainehuolto ja siihen liittyvät muutokset ja kustannukset. Turpeen pois jättäminen tarkoittaa puupolttoaineen käytön lisäämistä, mikä taas lisää varastointi- ja tuotantokustannuksia. Myös kattilaan kohdistuvat suuret muutokset, kuten esimerkiksi tulistimien ja lämmönsiirtopintojen muutostyöt rajataan pois, sillä kustannukset nousevat kannattamattomaksi.

1.4 Työn rakenne

Diplomityö on rakenteeltaan tutkiva esimerkkitapaus, jonka pääpaino keskittyy kustannusteknisiin ratkaisuihin. Diplomityössä käydään läpi tämänhetkistä energiapolitiikkaa, voimalaitostekniikkaa, tutkittavaa tekniikkaa ja sen luotettavuutta ja kustannuslaskelmaa. Kustannuslaskelmaosiossa verrataan uuden tekniikan kustannuksia kokonaan uuden voimalan hintaan. Laskelmat ovat suuntaa antavia ja kertovat tarvittavan tiedon muutosten kannattavuudesta.

2 ENERGIAPOLITIIKKA

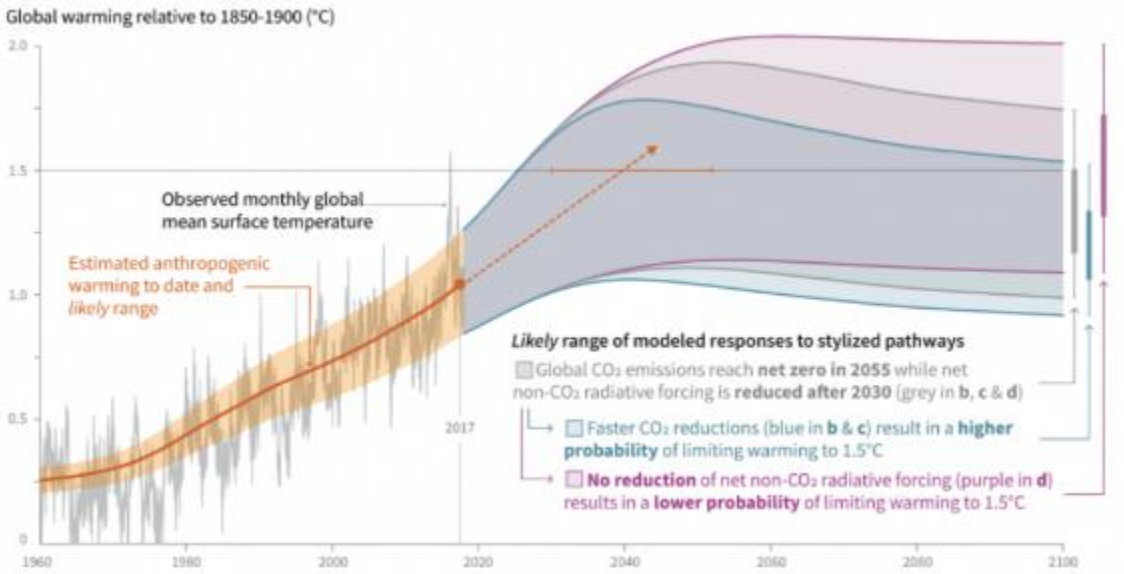
Tämän diplomityön tarpeellisuus on syntynyt kiristyneen energiapolitiikan sekä paikallisen turvetuotannon ongelmien vuoksi. Maailma elää tällä hetkellä energiamurroksessa ja uusituvan energian rooli energian tuotannossa tulee olemaan merkittävä ilmastonmuutoksen torjumisen kannalta.

2.1 Ilmastostrategia ja säädökset

Maapallon lämpötila on havaittu nousseen jo noin yhdellä asteella esiteollisesta ajasta hallitustenvälisten ilmastopaneeli IPCC:n tuottaman raportin mukaan. 1,5 asteen lämpenemisen raja ylitetään vuosisadan puoleen väliin mennessä, jos lämpeneminen jatkuu samalla vauhdilla. 1,5 asteen keskilämpötilan rajaa voidaan pitää merkittävänä, sillä sen ylittäminen tulee aiheuttamaan ongelmia ihmiselle ja luonnolle. (YM 2018b.)

Pelkästään päästövähennyksien avulla lämpötilan nousua ei pystytä estämään. Hiilidioksidia on pystyttävä poistamaan ilmakehästä. Metsä toimii Suomessa erinomaisena hiilinieluna, jonka tehtävä on sitoa ilmakehän hiilidioksidia. (YM 2018b.)

Kuva 1 osoittaa havaitut ja mallinnetut lämpötilamuutokset. Voimakkailla hiilidioksidia vähentävillä toimilla keskilämpötilan nouseminen on mahdollista pysäyttää, kun taas nykytrendi osoittaa, että ilman toimenpiteitä 1,5 °C ylittyy 2040. (IPCC 2018.)



Kuva 1. Havaitut ja mallinnetut maailmanlaajuiset lämpötilan muutokset. (IPCC,2018)

Vuoteen 2020 saakka EU:n ilmastopolitiikkaa ohjaa YK:n ilmastosopimuksen Kioton pöytäkirja sekä EU:n sisäinen 2020- ilmasto ja energiapaketti. Ensimmäisellä velvoitekaudella (2008-2012) Kioton pöytäkirjaan nojaten velvoitettiin Euroopan unionin jäsenmaita vähentämään kasvihuonekaasupäästöjä kahdeksan prosenttia vuoden 1990 tasosta. Toisella velvoituskaudella (2013-2020) vähennysvelvoite on 20 prosenttia vuoden 1990 tasosta. Tulevana velvoitekautena (2020-2030) tavoitteena on vähentää kasvihuonekaasupäästöjä 40 prosenttia samasta 1990 tasosta. (YM, 2018a.)

Päästöjen vähentämisen avuksi kustannustehokkaasti ja markkinapohjaisesti EU:ssa on luotu päästökauppajärjestelmä. Päästökauppadirektiivin tarkoitus on tukea paljon energiaa kuluttavien teollisuuden alojen toimijoita, jotta ne eivät siirtäisi tuotantoaan muualle. (YM 2018a.)

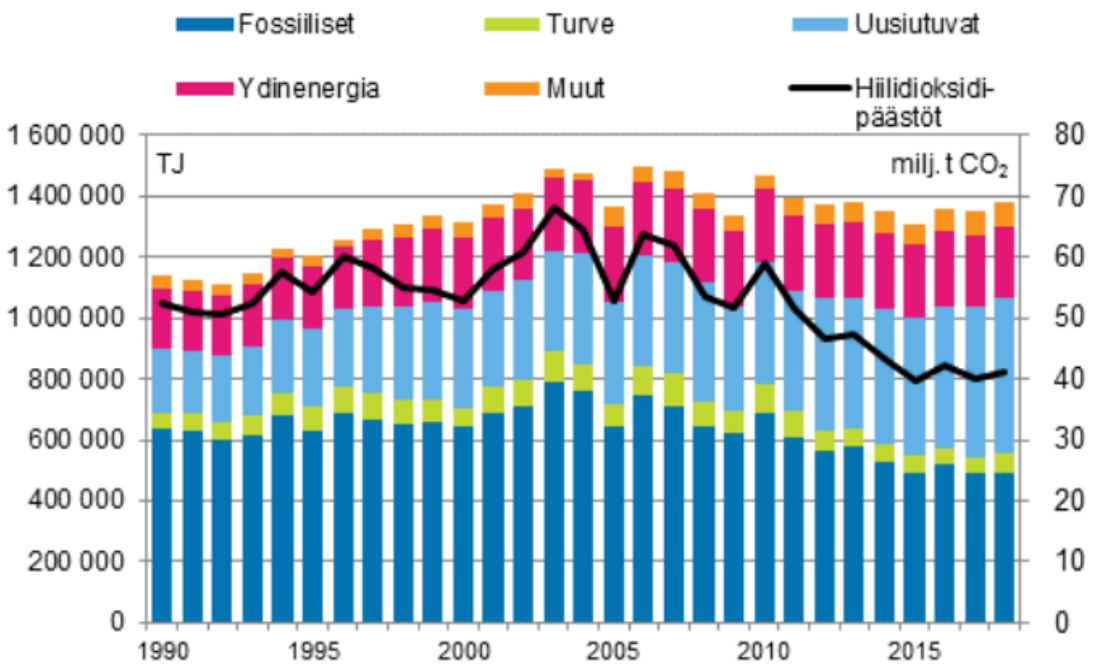
2.2 RES-direktiivi

EU:n parlamentin ja neuvoston luomaa direktiiviä uusiutuvista energian käytön edistämiseksi kutsutaan RES-direktiiviksi (2009/28/EY). Jokaiselle jäsenvaltiolle on asetettu omat kansalliset tavoitteet. Suomen tavoitteet uusiutuvalle energialle on 38 % loppukulutuksesta. Liikenteelle Suomi on asettanut omat tavoitteet 20 %

loppukulutuksesta. (Energiavirasto, 2019.) Suomi saavutti oman tavoitteensa jo 2014 38,7% uusiutuvan energian osuudella (YM 2018a).

2.3 Energiantarve

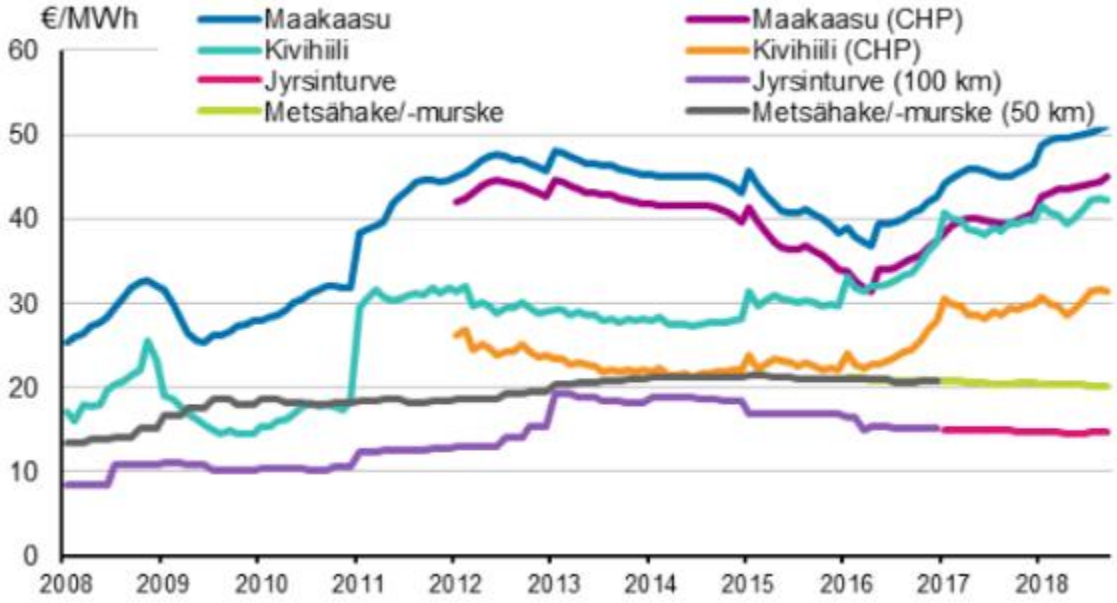
Vuonna 2017 energian kokonaiskulutus Suomessa oli 1,35 milj. TJ (375 TWh). Vuonna 2018 energian kokonaiskulutus oli 1,38 milj. TJ (383 TWh), joka vastaa noin 2 % nousua edellisvuoteen. Kuvaaja 1 on esitetty energian kokonaiskulutuksen jakautuminen polttoaineittain ja hiilidioksidipäästöt 1990-2018. Kuvaajasta käy ilmi, kuinka hiilidioksidipäästöt ovat lähteneet jyrkkään laskuun 2010 jälkeen. Turpeen osuus kokonaiskulutuksessa on pysynyt melko samana. Käyttö kuitenkin kasvoi edellisvuodesta 24 prosenttia, minkä selittää vuoden 2018 kylmä alkuvuosi, jolloin lämmitystarve oli suuri. (SVT 2019.)



Kuvaaja 1. Energian kokonaiskulutus ja hiilidioksidipäästöt 1990-2018 (SVT 2019).

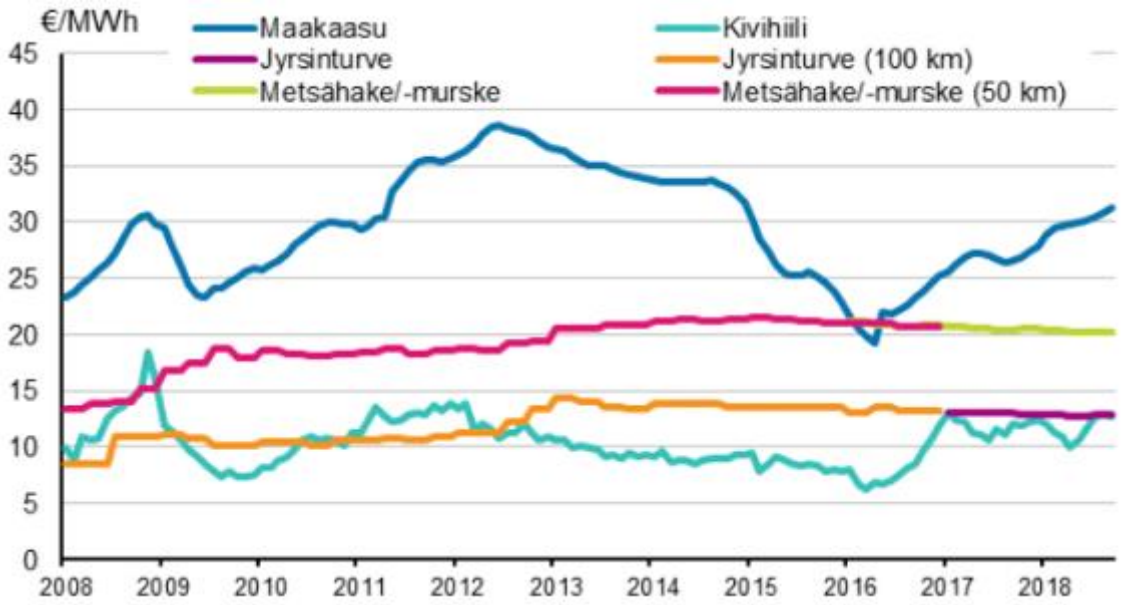
2.4 Voimalaitospolttoaineiden hinnat lämmön- ja sähköntuotannossa

Kuvaaja 2 on esitetty vuosien 2008-2018 voimalaitospolttoaineiden hinnat lämmöntuotannossa. Kuvaajasta huomataan, että tiettyjen polttoaineiden, kuten esimerkiksi metsähakkeen ja -murskeen hinta on pysynyt hyvin samoissa lukemissa, kun taas maakaasun ja kivihiilen vaihtelu on ollut suurehkoa. Syy fossiilisten polttoaineiden hinnan nousuun on verotus, sillä fossiilisista polttoaineista halutaan kansallisella tasolla päästä pikkuhiljaa eroon markkinaehtoisesti. Polttoaineiden hinnat sisältävät valmisteverot.



Kuvaaja 2 Voimalaitospolttoaineiden hinnat lämmöntuotannossa 2008-2018 (Tilasto: Energian hinnat 2019).

Kuvaaja 3 on esiteltynä voimalaitospolttoaineiden hinnat sähköntuotannossa viimeisen kymmenen vuoden ajalta. Kuvaajasta huomataan, että hakkeen ja turpeen hinnat ovat pysyneet melko stabiileina, kun taas kivihiilen ja maakaasun hinnoissa näkyy enemmän vaihtelua. Maakaasun hinta on käynyt jopa metsähaketta alempana vuonna 2016. Sähköntuotannossa polttoaineita ei veroteta. (Tilasto: Energian hinnat 2019.)



Kuvaaja 3. Voimalaitospolttoaineiden hinnat sähköntuotannossa 2008-2018 (Tilasto: Energian hinnat 2019).

2.5 Energiaverotus

Valtiolle energiaverotus on merkittävä tulonlähde, sillä energiasta saatavat valmisteverot ovat noin 4 miljardia euroa vuodessa. Energiaverotuksessa siirryttiin ympäristöohjausta korostavaan energiasisältöön ja hiilidioksidipäästöihin perustuvaan veroon vuoden 2011 alussa. Energiaverojen kertymä nousi tuolloin 400 milj. €. Energiaveroja kannetaan kivihiilestä, maakaasusta, polttoturpeesta, mäntyöljystä sekä nestemäisistä polttoaineista. Energiaverotuksella on myös merkittävä rooli energia- ja ympäristöpolitiikassa. (Ranta 2018)

3 HÖYRYVOIMALAITOKSET

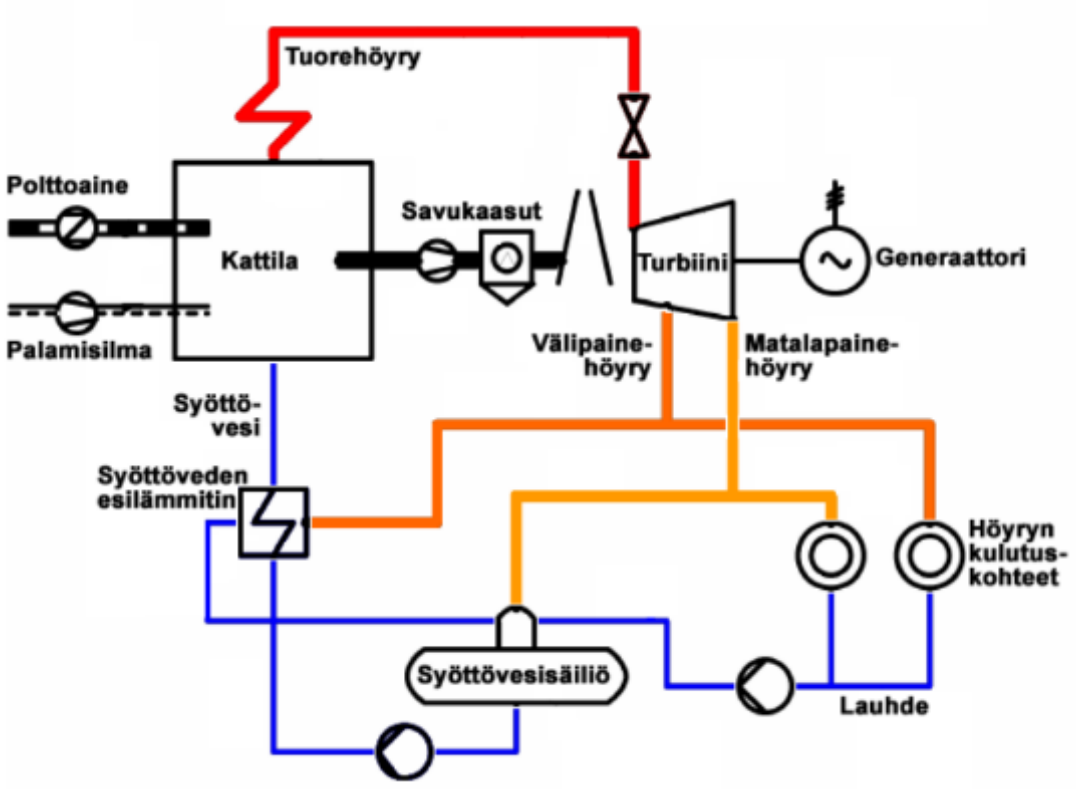
Höyryvoimalaitokset voidaan jakaa lauhdutusvoimalaitoksiin ja vastapainevoimalaitoksiin. Merkittävin ero näillä kahdella laitostyypillä on ulostulevan höyryn paine. Lauhdutusvoimalaitoksilla tuotetaan pelkästään sähköä alhaisen höyrynpaineen takia, kun taas vastapainevoimalaitoksella voidaan tuottaa sähkön lisäksi kaukolämpöä ja prosessihöyryä teollisuudelle korkean höyrynpaineen johdosta. Tässä diplomityössä keskitytään tyypilliseen vastapainevoimalaitokseen.

Kattilamalleista kaksi tekniikkaa ovat yleistyneet: Kiertoleijupetikattila (CFB) ja kuplapetikattila (BFB). Merkittävin ero näillä kahdella tekniikalla on se, että BFB-kattilassa voidaan polttaa laajemmalla skaalalla eri laatuisia polttoaineita ja teho jää alle 100 MW. CFB-kattiloissa polttoaineen laadulla on merkittävä rooli ja tehoissa päästään 100-500 MW. Nykyisin BFB-kattiloiden tehot on saatu nostettua yli 100 MW. (Teir 2003, 38-39). Tässä diplomityössä keskitytään Pursiala 1 voimalaitoksessa olevan CFB-kattilan tekniikkaan.

3.1 Toimintaperiaate

Kiertoleijupetikattilan toiminta perustuu siihen, että polttoaine palaa hiekkapedissä. Hiekkapetiin puhalletaan alakautta voimakkaasti palamisilmaa, jolloin hiekka lähtee polttoaineen mukana kiertämään kattilassa. Puhalluksen mukana lähtevät kiinteät partikkelit erotetaan syklonissa, josta partikkelit palautuvat takaisin tulipesään. Polttoaine saadaan palamaan tehokkaammin ja viipymäaika kattilassa saadaan maksimoitua. Tulipesään voidaan syöttää kalkkia sitomaan rikkipitoisuuksia. Hiekkapatjan tehtävänä on toimia myös kattilan arinana. (Perttula 2000.)

Perusidea höyrykattilassa on tuottaa tulistettua höyryä kattilaan syötetystä syöttövedestä. Syöttövesi saatetaan lämmittämällä ensin kylläiseen tilaan, josta kuumentamalla saadaan tulistettua höyryä. Lauhduttuaan tulistettu höyry tiivistyy taas vedeksi ja palaa kiertoon. Energia veden lämmittämiseen saadaan polttoaineesta, jota kattilassa poltetaan. Tulistettuun höyryyn sitoutunut lämpöenergia muunnetaan turbiinissa mekaaniseksi energiaksi, joka edelleen muunnetaan sähköenergiaksi generaattorilla. Kaavio esitetty kuvassa 2. (Knowenergy 2012.)



Kuva 2. Vastapainevoimalaitoksen periaatekaavio (Knowenergy 2012).

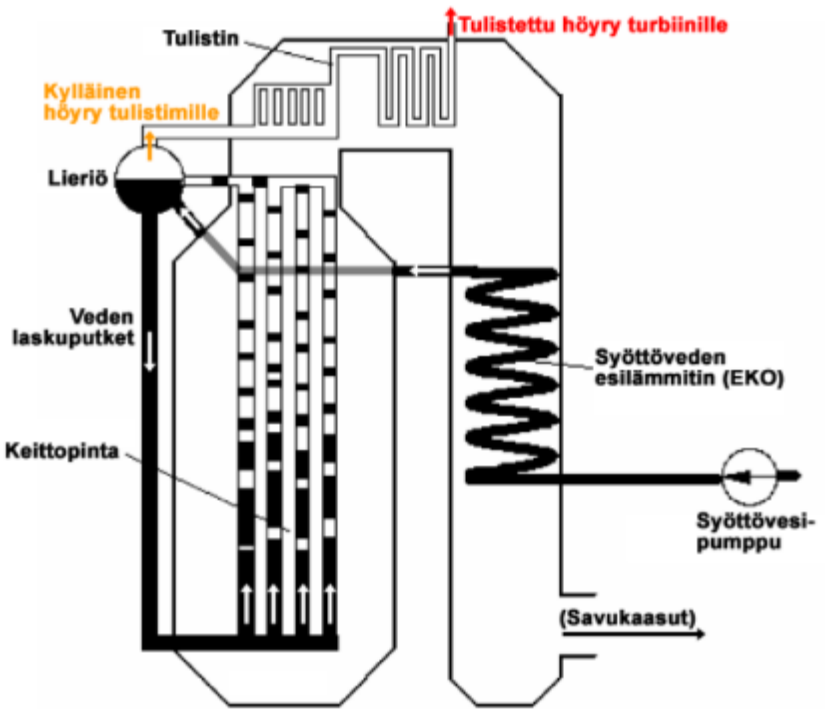
3.2 Veden kierto

Vesiputkikattilat, joita voimalaitosprosesseissa käytetään, voidaan jakaa veden kierron mukaan luonnonkiertokattiloihin, pakkokiertokattiloihin ja läpivirtauskattiloihin. Laitoksen käyttötarpeen ja koon mukaan valitaan paras mahdollinen järjestelmä. (Kulla & Teir 2002, 54)

3.2.1 Luonnollinen kierto

Luonnonkiertokattilassa höyrystyvä vesi virtaa putkissa. Tärkeimmät komponentit ovat veden esilämmitin, lieriö, höyrystin ja tulistin (kuva 3). Syöttövesi tuodaan kattilaan syöttövesisäiliöstä syöttövesipumpun avulla. Syöttövesi esilämmitetään syöttöveden esilämmittimessä savukaasuista saatavalla lämpöenergialla, josta vesi jatkaa matkaa lieriöön. Lieriöstä nestemuodossa oleva vesi jatkaa matkaa laskuputkia pitkin kattilaan, jossa se jakaantuu keittoputkistoihin. Kattilassa virtaava vesi höyrystyy kylläiseksi ja kulkee lieriön kautta tulistimille. (Kulla & Teir 2003, 54.)

Veden ja vesihöyryn kierto perustuu veden ja vesihöyryn tiheyseroon lieriön ja höyrystimen välillä. Tulipesän ympäröivä höyrystinputkisto ja lieriöstä laskeva laskuputki muodostavat yhtenäisen putkiston. Osa vedestä höyrystyy höyrystinputkistossa polttoaineesta vapautuvan lämpöenergian avulla. Höyry on vettä kevyempää, joten se nousee putkistoa pitkin takaisin lieriöön. Näin syntyy luonnollinen kierto. Lieriö erottelee myös tehokkaasti vedessä olevat epäpuhtaudet, tällöin epäpuhtaudet eivät jatka matkaa tulistimille ja turbiinille. Epäpuhtaudet voivat tuhota turbiinin. Kuva 3 esitettynä luonnollisen kierron pääperiaate kattilalaitoksessa. (Knowenergy 2012.)

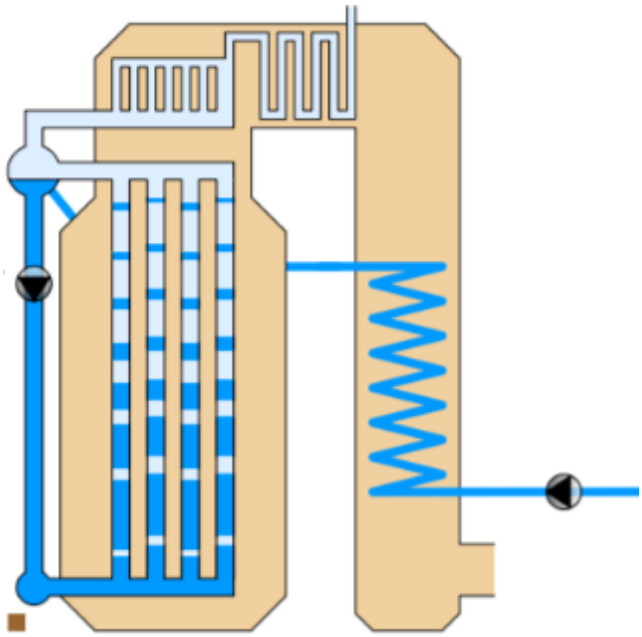


Kuva 3. Luonnollisen vesikierron pääperiaate (Knowenergy 2012.)

3.2.2 Pakotettu kierto

Kuten luonnollisessa kierrossa, vesi kiertää saman reitin pakotetussa kierrossa. Ainoa merkittää ero näiden kahden tekniikan välillä on se, että veden kierto höyrystimessä tapahtuu pumpun avulla. Vesi johdetaan lieriöstä pumppujen avulla tulipesässä

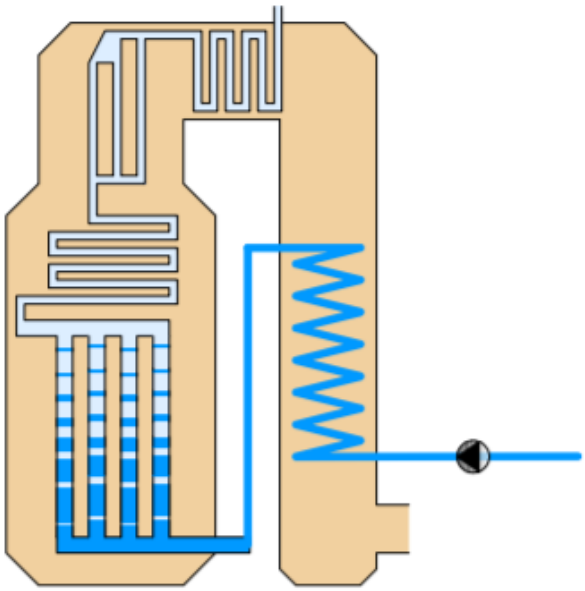
sijaitseviin höyrystinputkiin. Pakkokierron etuja on kattilan soveltuvuus korkeammille paineille. Kuva 4 esitettynä pakotetun kierron periaate. (Kulla & Teir 2003, 62.)



Kuva 4. Pakotetun vesikierron pääperiaate (Kulla & Teir 2003,62).

3.2.3 **Läpivirtaus**

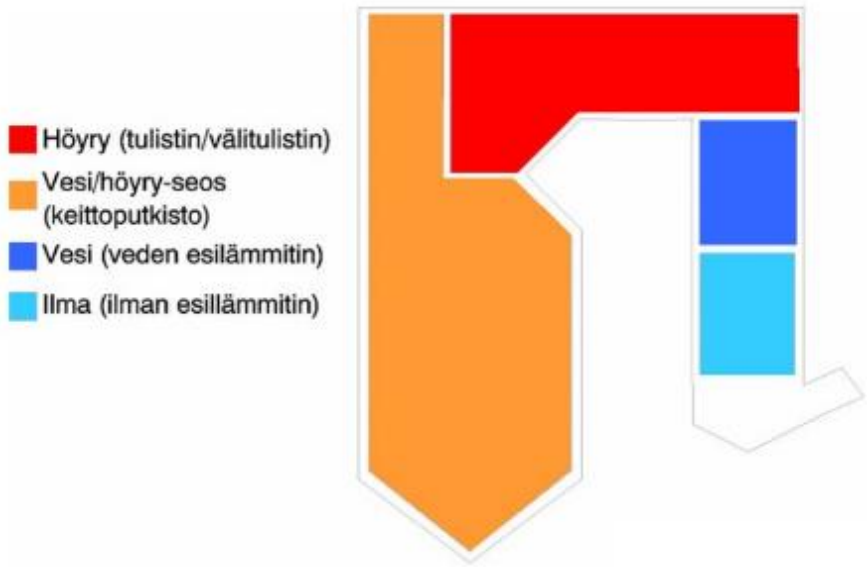
Läpivirtauskattila eroaa merkittävimmiltä osin edellisistä sillä, että siinä ei ole lieriötä. Käytännössä tekniikka perustuu pitkään putkeen, jossa toiseen päähän syötetään vettä ja toisesta päästä tulee ulos kylläistä höyryä. Läpivirtauskattiloita käytetään suurissa voimalaitoksissa, joissa halutaan tuottaa suuri tuorehöyrypaine. Tällä saavutetaan korkeampi hyötysuhde sähköntuotannossa. Kuva 5 esitettynä havainnekuva läpivirtauskattilasta. (Knowenergy 2002.)



Kuva 5. Läpivirtaus tekniikan pääperiaate (Kulla & Teir, 2002).

3.3 Lämmönsiirtimet

Kattilalaitoksen lämmönsiirtimien tehtävänä on sitouttaa lämpöenergia mahdollisimman tehokkaasti vesi- ja höyrykiertoon. Lämmönsiirtimet voidaan jakaa käyttötarkoituksen mukaan veden esilämmittimeen, keittoputkistoon, tulistimiin ja ilman esilämmittimeen. Kuva 6 on esiteltynä karkeasti alueet CFB-kattilassa, missä eri lämmönsiirtimet sijaitsevat. (Knowenergy 2012.)



Kuva 6. Lämmönsiirtimien sijoittelu CFB-kattilassa (Knowenergy 2012).

Lämmönsiirtimien asettelulla on tärkeä rooli kattilan toiminnalle. Sijoittelu vaikuttaa muun muassa lämmönsiirtimien materiaalien kestävyyteen, lämmönsiirtimien likaantumiseen, tuorehöyryn lämpötilaan ja savukaasujen lämpötilaan. (Knowenergy 2012.)

3.3.1 Syöttöveden esilämmitin (Ekonomaiseri)

Syöttövesi esilämmitetään ekonomaiserissa ennen syöttöveden siirtymistä lieriön kautta keittoputkistoon. Ekonomaiserilla saadaan savukaasuissa oleva lämpöenergia siirtymään syöttöveteen ja näin ollen kattilan hyötysuhdetta ylemmäs. Syöttöveden esilämmittimet jaetaan höyrystäviin ja höyrystämättömiin. Ekonomaiserin putket voivat olla joko rivalliset tai rivattomat. Rivallisista saa enemmän tehoa irti, mutta ovat enemmän alttiita tukkeutumiselle kuin rivattomat putket. (Knowenergy 2012.)

3.3.2 Keittoputkisto

Esilämmitetty syöttövesi siirtyy lieriön kautta keittoputkistoon. Keittoputkisto sijoitetaan kattilan tulipesän seinille. Keittoputkiston sijoituksella saadaan tulipesän kuumimpiin kohtaan jäähdytys, jolla estetään seinäputkimateriaalien ylikuumeneminen. Voimakkaan palamisesta aiheutuvan korroosion ja eroosion vuoksi seinäputket voi myös päällystää tulenkestävällä massalla. Keittoputkissa syöttövesi muuttuu lämmön avulla kylläiseksi höyryksi ja jatkaa lieriön kautta tulistimille. (Knowenergy 2012.)

3.3.3 Tulistimet

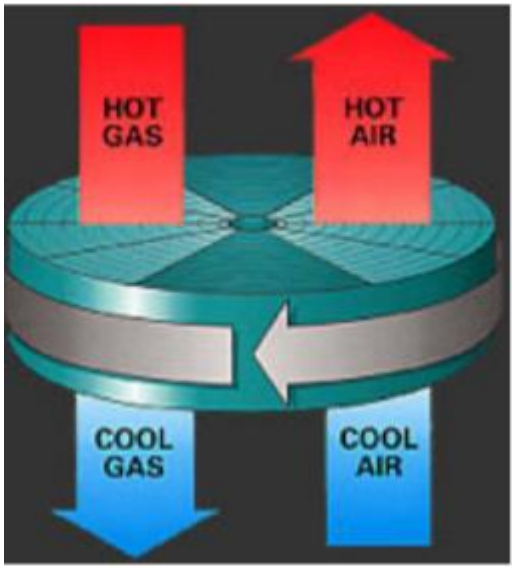
Tulistimien tarkoitus on nostaa höyryn lämpötilaa nostattamatta painetta. Höyryturbiinista saadaan sitä parempi teho mitä kuumempana tulistettu höyry sinne johdetaan. Tulistimet sijoitetaan tulipesän yläosaan, missä lämpötila riittää tulistumisen saavuttamiseen. Tulipesän alaosassa vallitsee liian korkea lämpötila, mikä voisi vahingoittaa tulistimien putkistoa. Tulistetun höyryn lämpötilan tulisi pysyä stabiilina, sillä lämpötilan laskiessa sähkön tuotanto alenee, kun taas lämpötilan noustessa tulistinputket ovat vaarassa ylikuumentua. Lämpötilaa voidaan säätää tarvittaessa ruiskuttamalla tulistimien väliin asennettuihin ruiskutuskammioihin syöttövettä, mikäli tulistimen lämpötila uhkaa nousta liian korkeaksi. (Knowenergy 2012.) Tulistintyyppejä ovat säteily, konvektio, paneeli, wingwall ja takavetoon asetettava tulistin.

Konvektiotulistin on yleisin tulistintyyppi. Kuva 7 tulistimet asennettuna tulipesän yläpäähän. Kuvassa näkyy myös keittoputkisto, joka ympäröi tulistin putkistoja. (Jokivuori & Teir 2003, 108.)

Kuva 7. Tulistimet asennettuna kattilaan (Jokivuori & Teir 2003, 108).

3.3.4 Palamisilman esilämmitin (LUVO)

Ilman esilämmittimellä on kaksi tärkeää toimintoa. Esilämmitin jäähdyttää savukaasut ennen kuin ne matkaavat savupiipun kautta taivaalle. Mitä viileämpi savukaasu, sitä paremmin siitä on saatu lämpöenergia talteen. Toinen päätehtävä esilämmittimellä on esilämmittää palamisilmaa, jolloin palamisreaktio kattilassa paranee. Ilman esilämmitin voi olla regeneratiivinen tai rekuperaattori -mallinen. Kuva 8 on esitettynä regeneratiivinen lämmönsiirrin. (Jokivuori & Teir 2003, 111.)



Kuva 8. Regeneratiivinen lämmönsiirrin (Jokivuori & Teir 2003, 111).

3.4 Palamisilma

Puhallinkoneet tuottavat primääri- ja sekundääri-ilmaa höyryvoimalaitoksien tulipesään. Tulipesän yläosaan voidaan myös tuottaa tertiääri-ilmaa. Tärkein rooli ilman syöttämisellä on parantaa palamisprosessia. Tuotettua ilmaa käytetään myös polttoaineiden ja muiden kiinteiden aineiden syötön apuna. Tuotetulla ilmalla pystytään säätelemään palamisen happipitoisuutta (Harja, Teir, Vakkilainen 2003, 92.)

3.5 Tuhkan muodostuminen

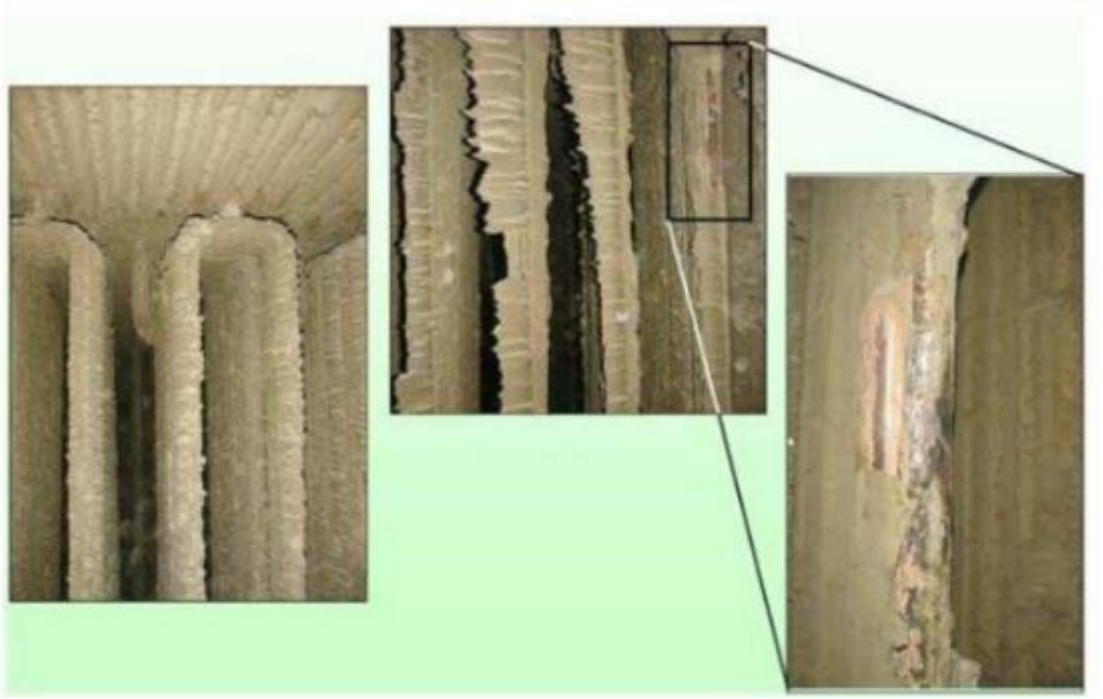
Kattilassa muodostuu pääasiassa kahdenlaista tuhkaa: pohjatuhkaa ja lentotuhkaa. Pohjatuhka on kuonaa, joka kerääntyy kattilan lämpöä absorboiville pinnoille. Tuhka putoaa lopulta omalla painollaan kuorman muutosten seurauksena tai nuohouksella kattilan alaosaan arinan alle. Lentotuhkaksi kutsutaan tuhkaa, joka sekoittuu savukaasuvirtaan ja kulkeutuu sitä myöten pois kohti suodatinlaitteistoa. Lentotuhkan määrä riippuu palamiskaasuista, hiukkasten koosta ja muodosta, sekä tuhkan tiheydestä suhteessa ylöspäin virtaavaan kaasuun. (Harja ym. 2003, 95.)

4 LÄMPÖPINTOJEN LIKAANTUMINEN, KORROOSIO JA PUHDISTUS

4.1 Lämmönsiirtopintojen likaantuminen

Kaikissa kattiloissa, joissa poltetaan puupohjaista polttoainetta, esiintyy likaantumista eri osien pinnoilla (Huhtinen ym. 1994, s.193). Likaantuminen vähentää lämmönsiirtoa, koska likaantuminen toimii samalla tavalla kuin eristäminen. Jos likaantuma kertyy suureksi, savukaasun nopeus ja painehäviö kasvavat. Äärimmäisissä tapauksissa savukaasukanava voi tukkeutua. Joskus laaja likaantuminen voi vahingoittaa yksittäisiä putkia tai lämmönsiirtopintoja epätasaisen lämpölaajenemisen, lämmönvirtauksen ja karkean poistomenetelmän vuoksi. Likaantuminen estetään asianmukaisella nuohoamisella. Likaantumiseen voidaan myös vaikuttaa muuttamalla poltettavan polttoaineen ominaisuuksia tai koostumusta. (Heikkinen 2019.)

Polttoaineen epäpuhtaudet lisäävät tuhkan määrää näin ollen myös likaantuminen lisääntyy. Kiinteät biomassapolttoaineet sisältävät metalleja, mineraaleja sekä epäorgaanista materiaalia, kuten hiekkaa ja mutaa. Epäpuhtaudet voivat reagoida ympäröivien kaasujen ja toistensa kanssa. Korkeissa lämpötiloissa palamisen aikana tuhka voi sulaa ja uudelleen kovettua. Kuva 9 on esitettynä likaantunut ekonomaiserin putkisto. (Vakkilainen 2016, 182.)



Kuva 9 Likaantunut ekonomaiserin pinta (Vakkilainen 2016, 183).

4.2 Eroosio

Eroosiossa pinnalla oleva materiaali kuluu toisen materiaalin osuessa siihen. Yleinen esimerkki, joka perustuu eroosioon, on hiekkapuhallus. Eroosionopeus kasvaa, kun hiukkasnopeus kasvaa. Eroosio vaatii näin ollen tietyn kineettisen energian toteutuakseen. Voimalaitoskattiloissa eroosio riippuu virtausnopeuksista ja tuhkaominaisuuksista, josta kärsii myös tuhkan ja kiinteänpolttoaineen kuljetus- ja käsittelylaitteet. Kiertoleijupetikattiloissa tulipesä tulee suojata hyvin eroosiolta, esimerkiksi kovemmilla ja tulenkestävillä pintamateriaaleilla. (Vakkilainen 2016, 190) Eroosiota pystytään myös hidastamaan pienemmillä virtausnopeuksilla, välttämällä liian jyrkkiä käännöksiä putkistoissa sekä rakentamalla riittävän suuret virtaus- ja savukanavat (Huhtinen ym. 1994 s.197)

4.3 Korkealämpötilakorroosio

Ilman kanssa reagoidessaan metallit muodostavat oksidikerroksen. Tätä ilmiötä kutsutaan korrodoitumiseksi eli metallin hapettumiseksi. Metallin ja hapen välinen reaktio heikkenee syntyneen metallioksidin johdosta, jonka vuoksi myös korroosio ja hapettuminen vähenee. Korroosionopeus on verrannollinen siihen, kuinka nopeasti ja

helposti happi tai metalli pääsee kulkemaan metallioksidikerroksen lävitse. Metallioksidin reaktioyhtälö voidaan esittää seuraavanlaisesti

$$Me + \frac{1}{2}O_2 \leftrightarrow MeO \tag{1}$$

Korkeassa lämpötilassa tapahtuvaa korroosiota kutsutaan hilseilyksi. Muodostuneen oksidikerroksen ominaisuudet määrittelevät hilseilyn kestävyyden. Rauta ja useammat muut metallit voivat muodostaa erityyppisiä oksidikerroksia metallin pinnalle. Raudan muodostamat oksidikerrokset ovat wustiitti >570 °C (FeO), magnetiitti (Fe_3O_4) ja hematiitti (Fe_2O_3). (Huhtinen ym. 1994, s.194)

4.4 Matalalämpötilakorroosio

Rikkipitoisia polttoaineita poltettaessa rikistä muodostuu reaktiotuotteita, jotka ovat voimakkaasti syövyttäviä. Rikin palaessa, siitä muodostuu suurimmaksi osaksi rikkioksidia (SO_2). Palaessa syntyy myös pienempi määrä rikkitrioksidia (SO_3), mikä kosteuden kanssa pääsee muodostamaan rikkihappoa (H_2SO_4) ja hapottavia kalvoja. Alla seuraavat reaktioyhtälöt:

$$S + O_2 \rightarrow SO_2 \tag{2}$$

$$SO_2 + \frac{1}{2}O_2 \leftrightarrow \mathrm{SO_3} \tag{3}$$

$$SO_2 + O \leftrightarrow SO_3 \tag{4}$$

$$SO_3 + H_2O \rightarrow H_2SO_4 \tag{5}$$

Suurimmat vaikuttavat tekijät rikkitrioksidin määrään riippuu polttoaineen rikkipitoisuudesta, savukaasujen viipymäajasta tulipesäalueella, lämpötiloista tulipesässä ja seinämillä, ylimäärähapesta ja katalyyttien määrästä. (Huhtinen ym. 1994 s. 196-197)

Alue missä rikkihappokorroosiota yleisesti esiintyy, on kattilan loppupäässä ilman-, esilämmittimien ja savupiipun alueella. Lämpöpinnat, joissa lämpötila laskee alle 200 °C, ovat otollisimmat rikkihappohöyryn muodostumiselle. Rikkihappo jää pinnoille aiheuttaen korroosiota vasta happokastepisteen saavutettua, jolloin rikkihappohöyry tiivistyy pinnoille (Huhtinen ym. 1994 s. 197). Erityisen herkkä matalalämpökorroosiolle

on ilman esilämmitin (luvo). Luvon putkistoa pystytään suojaamaan matalalämpökorroosiolta muovista valmistetun suojan avulla. (Heikkinen 2019.)

4.5 Lämpöpintojen puhdistus

Likaisuus kattilan lämpöpinnoilla heikentää lämmönsiirtoa ja näin ollen kattilan hyötysuhdetta. Kattilan lämpöpintojen puhdistamiseen käytön aikana on erilaisia tapoja, mutta yksikään tapa ei itsessään pysty täydelliseen toimintaan. Puhdistusmekanismia kutsutaan nuohoamiseksi. Nuohointyyppejä on seuraavanlaisesti:

- Puhallusnuohoimet
- Vesipesulaitteet
- Kuulanuohouslaitteet
- Mekaaniset ravistuslaitteet
- Ääninuohoimet

Lisäksi puhallusnuohoimet voidaan jakaa seuraavanlaisesti:

- Seinänuohoin
- Ulosvedettävä nuohoin
- Pyörivä nuohoin
- Haravanuohoin

(Huhtinen ym. 1994, s.197-198)

5 PÄÄSTÖT

Suomessa voimalaitokset ovat velvoitettuja mittamaan päästöjä säännöllisesti. Jatkuvatoiminen mittaus on oltava SO_x ja NO_x -päästöillä.

5.1 SO_x -päästöt

Rikkidioksidi (SO_2) on myrkyllinen kaasu ja se aiheuttaa hengityselinten suoria terveysvaurioita. Rikkidioksidi voi hapettua edelleen ja muodostua rikkitrioksidiksi (SO_3), jolla on samat vaikutukset kuin rikkioksidilla. SO_2 ja SO_3 päästöjä kutsutaan yhteisellä nimityksellä SO_x. Rikkidioksidia muodostu polttoaineessa olevan rikin hapettuessa. Kokonaismäärä määräytyy näin ollen polttoaineen määrän ja sen sisältävän rikin määrästä. (Guangxi ym. 2009)

Kiertoleijupetikattiloiden etuna on yleensä se, että rikkidioksidi pitoisuudet saadaan kuriin polttoaineen palamisreaktion aikana erilaisten sorbenttien avulla. Sorbentti on joko kalkkikiveä tai dolomiittia, useimmiten kalkkikiveä. Kalkkikivi toimii tehokkaasti rikkipitoisuuksien hallitsemisessa.

Reaktiot muodostuvat seuraavasti:

$$CaCO_3 \rightarrow CaO + CO_2 \tag{6}$$

Rikkidioksidi reagoi kalsiumin kalsiumoksidin kanssa reaktion mukaan

$$CaO + SO_2 + 1/2\ O_2 \rightarrow CaSO_4 \tag{7}$$

ja dolomiitille

$$CaO + MgO + SO_2 + 1/2\ O_2 \rightarrow CaSO_4 + MgO \tag{8}$$

(Zhang & Teir 2003,165-166.)

5.2 NO_x -päästöt

Haitallista typpiyhdisteitä typpimonoksidia (NO) ja typpioksidia (NO_2) syntyy polton yhteydessä. Näitä typpiyhdisteitä kutsutaan yhteisnimityksellä NO_x. Näistä päästöistä 95 % on typpimonoksidia ja loput typpioksidia. NO_x päästöjen tunnetuimmat

haittavaikutukset ovat ympäristössä happamat laskeumat. (Raiko, Kurki-Suonio, Saastamoinen & Hupa 1995, 243.)

Termistä typpimonoksidia muodostuu polton aikana polttoilman molekyylitypestä (N_2) ja orgaanisesta typestä ($N_{polttoaine}$). Molekyylitypen muodostuminen typpioksidiksi edellyttää voimakasta sidoksen rikkoutumista molekyylitypessä. Happi polton yhteydessä ei tähän pysty, sillä korkeissa lämpötiloissa suora reaktio hapen ja molekyylitypen välillä on liian hidas:

$$N_2 + O_2 \rightarrow 2NO \tag{9}$$

Typpimonoksidin muodostus saadaan kuitenkin aikaan reaktioketjun avulla, jossa molekyylityppi ja happiatomi reagoivat:

$$N_2 + O \rightarrow NO + N \tag{10}$$

$$N + O_2 \rightarrow NO + O \tag{11}$$

Termisen typpimonoksidin vähentämiseen pystytään vaikuttamaan parhaiten lämpötilojen avulla. Kun huippulämpötilaa alennetaan ja savukaasujen viiveaikaa korkeassa lämpötilassa minimoidaan, pystytään typpimonoksidin muodostumista vähentämään (Raiko ym. 1995,245). NO_x päästöjen vähentämiselle ensimmäinen keino on nykyisin varmistaa tulipesän alaosaan alihappinen tila. Tällä tavoin perusteellisempi palaminen saadaan siirtymään tulipesän yläosaan. (Heikkinen 2019.)

5.3 Hiukkaspäästöt

Pienhiukkasia muodostuu paljon varsinkin puuta poltettaessa ja niillä on suuri merkitys paikallisiin päästöihin. Pienhiukkasilla on myös terveydellisiä haittavaikutuksia jouduttuaan hengityselimiin. Pienhiukkasia pystytään vähentämään erilaisten suodattimien avulla, joka tapahtuu yleensä savukaasuista ennen piippuun menoa. (Ohlström, Tsupari & Lehtilä 2005.)

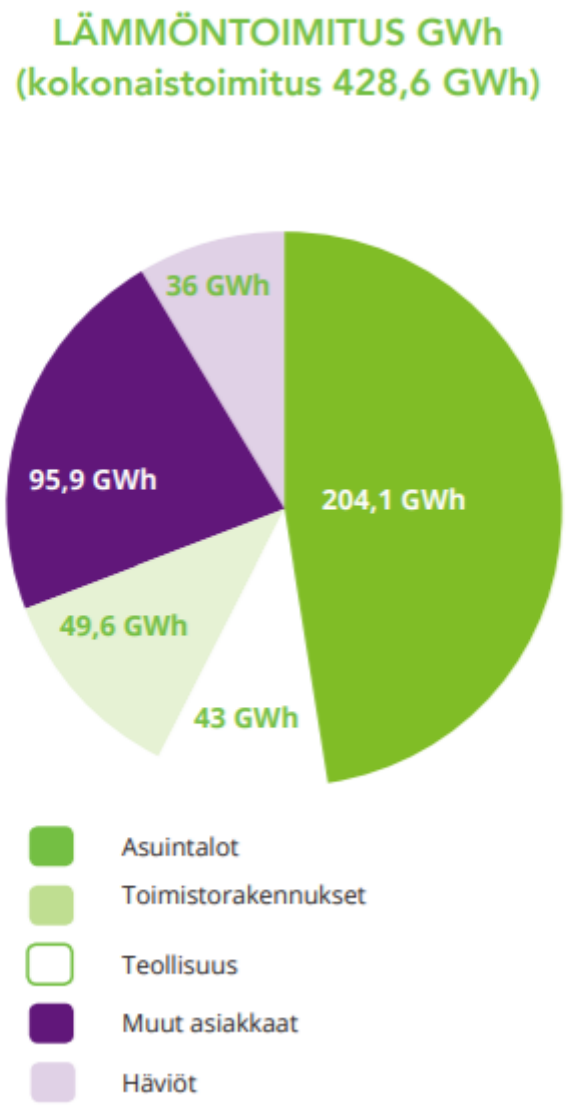
6 Etelä-Savon Energia Oy

Etelä-Savon Energia Oy (ESE OY) on Mikkelin kaupungin omistama osakeyhtiö. ESE konserniin kuuluu Etelä-Savon Energia Oy sekä tytäryhtiöt ESE-Verkko Oy, ESE-Tekniikka Oy, Haukivuoren Lämpö Oy, Biohauki Oy, OOO ESE, Huippu-energia Oy sekä Kiinteistö Oy Koppelonpesä. Vuonna 2017 konsernin liikevaihto oli 48,3 milj. €, josta liikevoitto oli 6,7 milj. €. Emoyhtiön liikevaihto oli vuonna 2017 37,1 milj. €, josta lämmönmyynti oli 27,6 milj. € ja sähkönmyynti 8,8 milj. €. (ESE Oy 2017.)

6.1 Voimaliiketoiminta

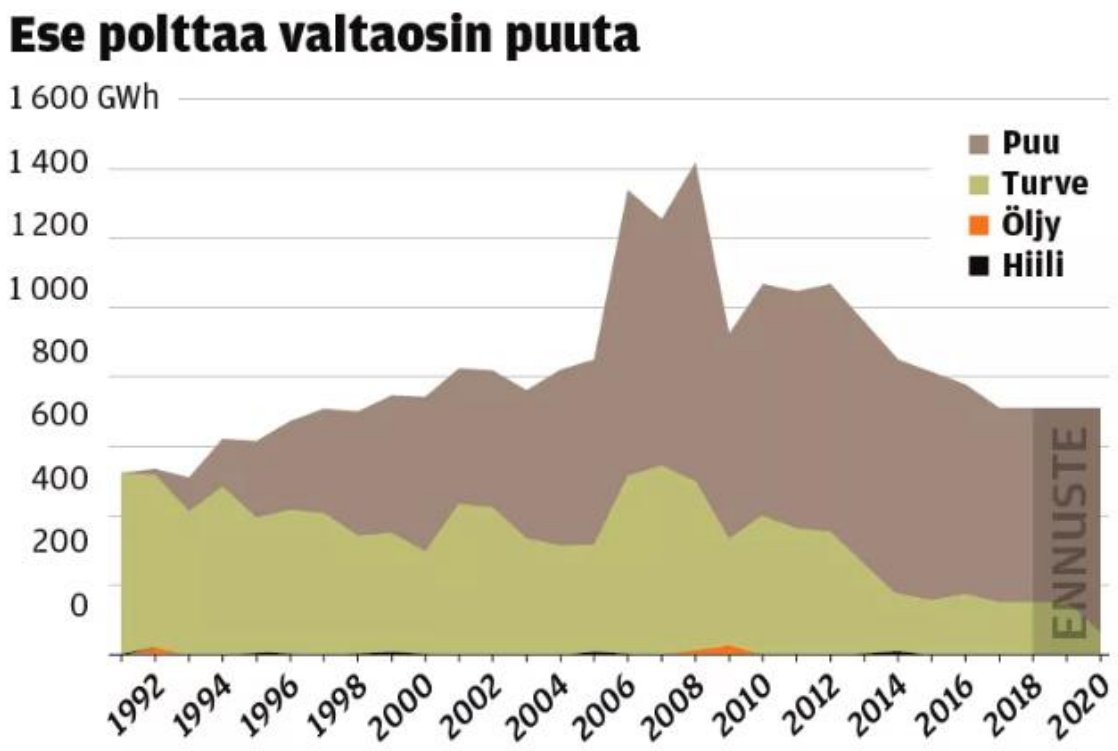
Etelä-Savon Energia Oy:n voimaliiketoiminta vastaa kaukolämmön ja sähkön yhteistuotannosta Mikkelin Pursialassa. Kaukolämpö tuotetaan Mikkelin kaukolämpöverkkoon ja sähkö myydään markkinahinnalla valtakunnalliseen verkkoon. Voimalaitoskokonaisuus muodostuu kahdesta voimalaitosyksiköstä ja yhdestä lämmityskattilasta. Kaukolämpöverkkoon on kytketty myös Tikkalan lämpö- ja höyrykeskus ja seitsemän alueellista huippu- ja varalämpökeskusta. Kaikkien laitoksien valvonta tapahtuu Pursialan voimalaitoksen valvomosta. Kaukolämpöverkkoa on noin 202 km. Pursialan laitos tuottaa myös teollisuuslämpöä ja -höyryä Pursialassa sijaitseville yrityksille. (ESE Oy, 2017a.)

Kaukolämmön kokonaistoimitus vuonna 2017 oli 428,6 GWh. Suurimmat asiakkaat kaukolämpöpiirissä ovat asuintalot, jotka vastasivat 204,1 GWh. Kuvaaja 4 on esitettynä lämmöntoimituksen jakauma. Kaukolämmön häviöt kattavat merkittävän osan koko jakaumasta. Suurin osuus, 204,1 GWh, on asuintaloilla.



Kuvaaja 4. Lämmöntoimitus kulutuskohteittain ESE Oy (ESE Oy 2017b).

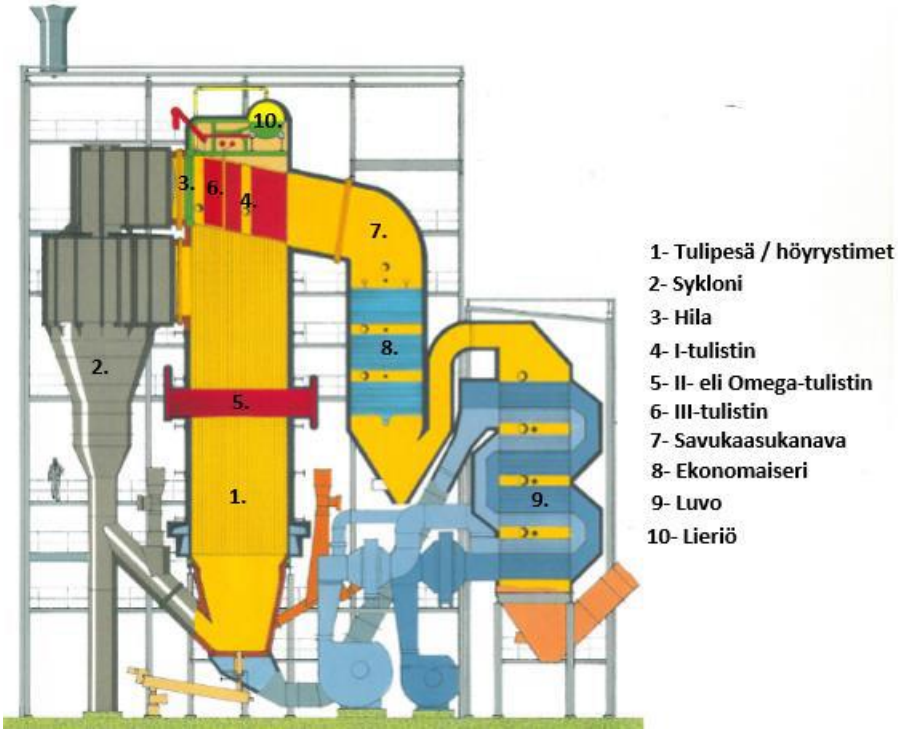
Turpeella on ollut merkittävä rooli kaukolämmön tuotannossa viimeisen 20 vuoden aikana. Kuvaaja 5 on esitetty polttoaineen käyttömäärät vuosien 1991 - 2020 välisenä aikana. Kuvaajasta havaitaan myös turpeen merkityksen tuona ajanjaksona, joten puupolttoaineen merkitys ja toimivuus tulee olemaan merkittävässä roolissa, kun turpeesta luovutaan. (ESE Oy 2018.)



Kuvaaja 5. Käytetyn polttoaineen ja tehon määrä 1991-2020 (ESE Oy 2018).

6.2 Pursiala 1 CFB -kattila

ESE Oy:n Pursiala 1 voimalaitos on otettu käyttöön vuonna 1990. Voimalaitoksen kattilan on toimittanut Ahlström (nykyinen Sumitomo SHI FW). Voimalaitoksella tuotetaan kaukolämpöä, teollisuushöyryä ja sähköä. Kattilan käyttölämpötila on 535 °C, käyttöpaine 114 bar ja tuorehöyryn massavirta 33 kg/s. Kattila tuottaa sähkötehoa 30 MW ja lämpötehoa 60 MW. Tällä hetkellä kattilassa poltetaan haketta 70 % ja turvetta 30 %. Polttoöljyä käytetään ainoastaan käynnistämisvaiheessa tai häiriötilanteessa. (Ese Oy 2019.) Kuva 10 on esitettynä havainnekuva Pursiala 1 CFB-kattilasta ja laitteiden sijoittelusta.



Kuva 10 Pursiala 1 voimalaitoksen sivukuvanta (ESE 2019).

6.3 Nykyisen CFB -kattilan elinikäselvitys

Nykyisen Pursiala 1 CFB-kattilan mitoitettu käyttöikä 200 000 käyttötuntia tuli täyteen syksyllä 2016. Tämän työn kannalta nykyisen kattilan elinikä on merkittävässä roolissa, sillä laitoksen käyttöikä määrittelee sen, millaisia investointeja tulevaisuudessa kannattaa tehdä. Tärkeimmät tutkitut komponentit olivat korkeassa paineessa ja lämpötilassa toimivat komponentit. Näihin komponentteihin kuului muun muassa tulistimet ja ekonomaiseri. (Väisänen 2016.) Uuden kattilan hankinta tulisi olemaan ajankohtainen 2030 luvun alkupuolella.

6.4 Pursiala 1 voimalaitoksen käyttämät polttoaineet

Pursiala 1 voimalaitos käyttää polttoaineina energiapuuta ja polttoturvetta. Energiapuu hankitaan maakunnasta ja Venäjältä ESE Oy:n tytäryhtiön vuokraamilta mailta. Turve tulee Vapo Oy:ltä. Polttoöljyä käytetään ainoastaan laitoksen käynnistämisen yhteydessä, ja sen kulutus on hyvin marginaalista.

6.4.1 Energiapuu

Tavallisesti energiapuuksi kerätään puunjalostukseen kelpaamattomat puun osat kuten latvat, oksat ja huonolaatuiset rungot. Energiapuuta korjataan myös hoitamatta jääneistä nuorista metsistä harvennuksen yhteydessä. Metsän kasvuun tarvittavat ravinteet ovat sitoutuneet lehtiin ja neulasiin, jotka korjauksen yhteydessä karsitaan korjauspaikalle, jolloin ravinteiden postuiminen metsästä jää vähäiseksi. (Metsäkeskus 2016.) Taulukko 1 on esiteltynä puupolttoaineiden tehollisia lämpöarvoja kuiva-aineessa ja saapumistilassa. Saapumistila tarkoittaa polttoaineen sen hetkistä tehollista arvoa, kun mukana on kosteus.

Taulukko 1. Puupolttoaineiden lämpöarvoja (Alakangas 2000).

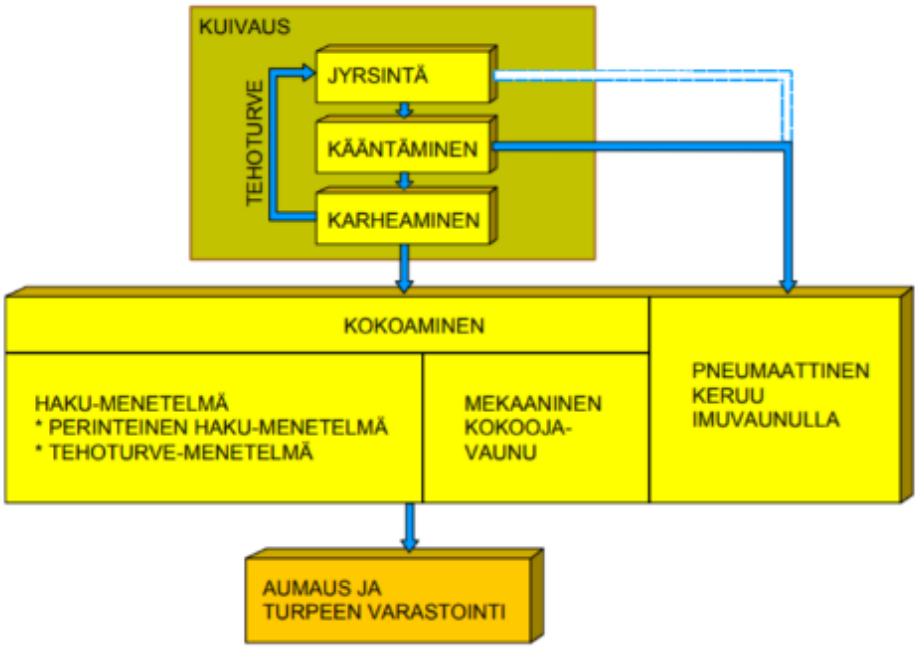
Lämpöarvo	**Metsätähde-hake**	**Kokopuu-hake**	**Ranka-hake**
Tehollinen lämpöarvo kuiva-aineessa MJ/kg	18,5-20	18,5-20	18,5-20
Tehollinen lämpöarvo saapumistilassa MJ/kg	6-9	7-10	7-11
Lämpöarvo	**Kantohake**	**Havupuun kuori**	**Koivun kuori**
Tehollinen lämpöarvo kuiva-aineessa MJ/kg	18,5-20	18,5-20	21-23
Tehollinen lämpöarvo saapumistilassa MJ/kg	8-13	5-9	8-11

6.4.2 Polttoturve

Turvetta muodostuu, kun kasvien materiaalit maantuvat kosteilla alueilla. Runsaan veden ja hapettomuuden takia kunnollista biologista hajoamista ei tapahdu maatumisprosessissa, jolloin syntyy jatkuvia turvekerrostumia. Turve sisältää erilaisia määriä huonosti maatuneita ja maatumattomia kasvustojen osia. Turpeen fysikaaliset ominaisuudet ovat tärkeässä roolissa, kun turvetta käytetään energialähteenä. Tärkeimpiä ominaisuuksia ovat turpeen lämpöarvo ja kosteus. (Alakangas, Hurskainen, Laatikainen-Luntama & Korhonen 2016, s. 119)

Kaukolämpölaitoksissa ja teollisuuden voimalaitoksissa yleisin turpeen muoto on jyrsinturve, jonka osuus energiaturpeen tuotannossa on 90 %. Jyrsinturpeen vaiheet on

esitetty Kuva 11. Jyrsinturvetta on helppo varastoida pitkiäkin aikoja, joten sillä on merkittävä rooli huoltovarmuustekijänä polttoainehuollossa. (Alakangas 2000.)



Kuva 11. Jyrsinturpeen tuotantomenetelmät (Alakangas 2000).

Jyrsinturpeen ominaisuudet on lueteltu Taulukko 2. Jyrsinturpeen keskimääräinen tehollinen lämpöarvo saapumistilassa on 9,7 MJ/kg.

Taulukko 2. Jyrsin- ja palaturpeen keskimääräisiä ominaisuuksia (Alakangas ym. 2016 s.122).

TURVE	JYRSINTURVE			PALATURVE		
Lähde	VTT	Ekono	Vapo	VTT	Ekono	Vapo
Kosteus, p-%	48,5	47,1	45,9	38,9	39,5	35,3
Tiheys saapumistilassa, kg/m³		330	313		385	346
Tehollinen lämpöarvo saapumis-tilassa, MJ/kg	9,6	9,9	9,8	11,9	11,9	11,9
PITOISUUS KUIVA-AINEESSA						
Tuhka, p-%	5,1	5,8	6,3	4,5	4,8	3,5
Haihtuvat aineet, p-%	68,6		67,7	68,9		69,2
Kalorimetrinen lämpöarvo, MJ/kg	22,1		21,8	22,5		22,6
Tehollinen lämpöarvo, MJ/kg	20,9	20,8	20,6	21,3	21,2	21,3
Tiheys, kg/m³		175			233	
Energiatiheys, MWh/m³		0,91	0,85		1,27	1,15

6.5 Turvetuotanto ja sen vaikutukset Suomessa

Turpeen tilanne Suomessa on hyvin kaksijakoinen. Turvesoita on Suomessa noin 36 000 ha energiaturpeen tuotannossa ja ne ovat jakautuneet 400 työmaalle. Tuotanto on n. 12 milj. m^3/v, joka vastaa 10 TWh/v. Turvetuotanto työllistää suoraan 250 itsenäistä yrittäjää, joilla on n. 2500 työntekijää. (Ranta 2018.)

Huoltovarmuuden ja polttotekniikan kannalta turpeella on merkittävä osa suomalaisessa energiantuotannossa, kun taas ilmastopolitiikan kannalta turve tuottaa merkittävästi kasvihuonekaasupäästöjä ja on näin ollen huono polttoaine. Turvetuotannolla on myös merkittävä vaikutus lähialueiden vesistöjen laatuun. Monet Suomessa toiminnassa olevat lämpö- ja voimalaitokset ovat suunniteltu aikoinaan siten, että polttoaineina käytetään puupolttoaineen lisäksi turvetta. Turve on lämpöenergialtaan tehokkaampaa kuin puu, jolloin voimalaitoksista saadaan paras mahdollinen hyötysuhde. Turpeen käyttö kattilassa vähentää lämmönsiirtopintojen puhdistamista niin usein kuin pelkkää puuta polttamalla täytyisi tehdä. Turvetuotanto työllistää myös monia suomalaisia syrjäseuduilla ja on täysin kotimainen polttoaine. (Sallinen 2018.)

Päästökaupalla on merkittävä rooli turpeen kannalta, sillä se ohjaa kivihiilen ja maakaasun ohella myös turpeen käyttöä. Turpeesta tuotetun energian hinta on suoraan verrannollinen turpeen päästökaupan hintaan. Päästökaupan hinnan noustessa myös energian tuotantohinta nousee. Päästökaupan pääajatuksena on se, että fossiilisista polttoaineista päästään eroon markkinaehtoisesti. Päästökaupan avulla toimijat valitsevat ennemmin päästökaupan ulkopuolella olevia uusiutuvia energialähteitä, kuten esimerkiksi puupolttoaineet. Turpeen poistuminen energiamarkkinoilta markkinaehtoisesti on hyvin todennäköistä, jos päästökauppojen hinnat jatkavat nousua. On myös mahdollista, että turpeen täyskielto astuu voimaan ennen kuin sen käyttö on kannattamatonta. (Sallinen 2018.)

6.5.1 Polttoturpeen verotus

Turve luokitellaan kasvihuonepäästöiltään fossiilisiin polttoaineisiin. Käytettäessä polttoturvetta lämmöntuottamiseen yli 5 000 MWh vuodessa on käyttäjä velvollinen suorittamaan valmisteveroa käytetystä turpeesta (Ranta 2018). Polttoturpeen energiavero on 3,0 €/MWh ja siitä ei peritä huoltovarmuusmaksua.

6.6 Pursiala 1 savukaasupäästöt ilmaan

Polttoaine teholtaan Pursiala 1 voimalaitos noudattaa olemassa olevia alle 100MW polttolaitoksien päästörajoja. Päästörajoja on haettu puun, turpeen ja kivihiilen yhteispoltolle. Taulukko 3 esitettynä vuonna 2018 haetut päästörajat Pursiala 1 voimalaitokselle. (ESE 2018a.)

Taulukko 3. Haetut Pursiala 1 päästörajat (ESE 2018a).

Päästö	**Vuosikeskiarvo**	**Vuorokeskiarvo tai näytteenottojakson keskiarvo**
SO_2 (mg/Nm3)	152	225
NOx (mg/Nm3)	234	286
Hiukkaset (mg/Nm3)	16	23
HCl (mg/Nm3)	25	-
HF (mg/Nm3)	-	2
Hg (µg/Nm3)	-	6

Pursiala 1 voimalaitoksen päästöjä valvotaan ja mitataan jatkuvasti. Tammikuu-Huhtikuu 2019 välisen mittausajanjakson päästökeskiarvot ovat esitettynä taulukossa 4.

Taulukko 4. Mitatut päästöt Pursiala 1 tammikuu-huhtikuu 2019 (Heikkinen, 2019)

Päästö	**Kuukausikeskiarvo tammikuu-huhtikuu 2019**	**Maksimi-arvo mittausajanjaksolla**
SO_2 (mg/Nm3)	41,0	294,6
NOx (mg/Nm3)	155,7	206,4
Hiukkaset (mg/Nm3)	2,1	21,3
HCl (mg/Nm3)	3,2	43,2
HF (mg/Nm3)	-	-
Hg (µg/Nm3)	-	-

6.7 Kalkinsyöttöjärjestelmä

Pursiala 1 voimalaitoksen kattilaan toteutetaan vuoden 2019 aikana kalkinsyöttöjärjestelmä. Kalkkikiven syöttäminen tulipesään palon aikana vähentää rikkidioksidipäästöjä. Kalkkikiveä syötetään tulipesään puhaltamalla sitä kattilan seiniltä sille tarkoitetulla laitteistolla. Kalkkikivi ($CaCO_3$) reagoi rikkidioksidin (SO_2) ja hapen (O_2) kanssa muodostaen kalsiumsulfaattia ($CaSO_4$) ja hiilidioksidia (CO_2). Reaktio on kuvattuna seuraavassa reaktioyhtälössä:

$$CaCO_3 + SO_2 + \frac{1}{2}O_2 \rightarrow CaSO_4 + CO_2 \qquad (12)$$

Kiinteä, hienojakoinen jäljelle jäänyt kalsiumsulfaatti poistuu kattilasta savukaasujen mukana. Kalsiumsulfaatti saadaan poistettua prosessista syklonien ja hiukkassuodattimien avulla. Leijukerrospoltossa rikinpoisto on erittäin tehokasta kalkin avulla ja vapautuneesta rikkidioksidista pystytään poistamaan jopa 95 %. Kalkin pitkä viipymisaika kattilassa takaa prosessin tehokkuuden. Kalkin syötön määrä on erittäin tärkeä optimoida hyvin, jotta menetelmästä saadaan myös kustannustehokas. (Hulkko 2016; Heikkinen 2019.)

7 ONGELMAN ESITTELY

Turpeesta luopuminen Pursiala 1 voimalaitoksessa ei ole yksinkertaista, sillä nykyinen kattila on suunniteltu aikoinaan turpeen polttamiselle. Turpeen ja puun polttoaineominaisuudet eroavat jossakin määrin toisistaan. Merkittävin ero turpeella ja puulla on turpeen rikkipitoisuus. Puupohjainen polttoaine sisältää klooriyhdisteitä eli alkaliklorideja, mitkä aiheuttavat yhdessä tuhkan kanssa tervamaisen tarttuvan seoksen. Turvetta poltettaessa turpeesta vapautuu rikkiä, mikä tuhoaa alkaliklorideja. Alkaliklorideilla on merkittävä rooli kattilan pintojen tukkeutumisella. Alkalikloridi reagoi tuhkan kanssa tehden tuhkasta tarttuvaa. Tarttuva tuhka jää kiinni lämmönsiirtopinnoille, jolloin lämmönsiirtopintojen teho laskee aiheuttaen laitoksen tehon heikkenemisen ja savukaasujen lämpötilan kasvun savukaasukanavien loppupäässä. Rikin vaikuttaessa alkaliklorideihin niiden määrä vähenee ja näin ollen myös tarttuvan tuhkan määrä vähenee. Tuhkan muodostuminen kiihtyy, kun poltetaan pelkkää puupohjaista polttoainetta. Tuhkan likaannuttaessa lämmönsiirtopinnat kattilassa, myös korroosion riski nousee huomattavasti. Kattilan tuotantoaika vuodessa on noin 7500 h/vuosi. (Heikkinen 2019.)

Ekonomaiseri koostuu kolmesta eri putkipaketista. Pakettien koot ovat noin 3400 - 5900 – 1750 mm ja jokaisen putkipaketin yläpuolella on höyrynuohoin. Höyrynuohoimia käytetään kolme kertaa / vrk. Ekonomaiseri tukkeutuu tuhkasta putkiston pystysuunnassa pahiten (Kuva 12). Tuhkakerroksien täydellinen puhdistus painepesulla on hankalaa jopa revision aikana. Pesussa tuhka kostuu ja revision aikana putkiin muodostuu märän tuhkan alla pistesyöpymiä (Kuva 13). Käytön aikana tuhkakerrokset aiheuttavat syöpymisen lisäksi kattilan hyötysuhteen laskua. (Heikkinen 2019.)

Kattilan sisäpuolisten osien puhdistaminen tapahtuu perusteellisesti vuosihuollon yhteydessä, mutta tukkeutumia joudutaan puhdistamaan eri menetelmillä myös käytön aikana. Käytön eli ajon aikana putsaaminen ei ole niin tehokasta, sillä kattilan sisään ei voi mennä ja kaikkiin olleennaisiin rakenteisiin ei päästä käsiksi. Ajon aikana tapahtuva putsaaminen tehdään siihen suunniteltujen puhdistimien avulla. Vuosihuollon yhteydessä tehdään myös tarvittavat tarkastukset mahdollisista korroosion aiheuttamista tuhoista. (Heikkinen 2019.)

Kuva 12. Ekonomaiserin putkien välit tukkeutuneet tuhkasta (Ese 2019).

Kuva 13. Tulistinalueen pistekorroosio pesun jäljiltä (Ese 2018).

8 PURSIALA 1 CFB KATTILAN SOVELTUMINEN 100% PUULLE

Foster Wheeler (nykyisin SUMITOMO SHI FW) on vuonna 2012 tehnyt selvityksen Pursiala 1 voimalaitoksen tilanteesta, jossa nykyisessä CFB kattilassa poltettaisiin pelkästään puuta. Kattila on Foster Wheelerin valmistama ja se on otettu käyttöön vuonna 1990.

8.1 Tarvittavat muutokset kattilaan

Höyrystystehon ylläpitämiseksi kattilaan tulee syöttää massavirtana enemmän puuta kuin turvetta, sillä puupolttoaineella on huonompi lämpöarvo, kuin turpeella. Savukaasumäärät kasvavat, jolloin myös virtausnopeudet tulipesässä ja takavedon lämpöpinnoilla kasvaa. Virtausnopeuksien kasvaminen lisää eroosion riskiä merkittävästi. (Taskinen 2012.)

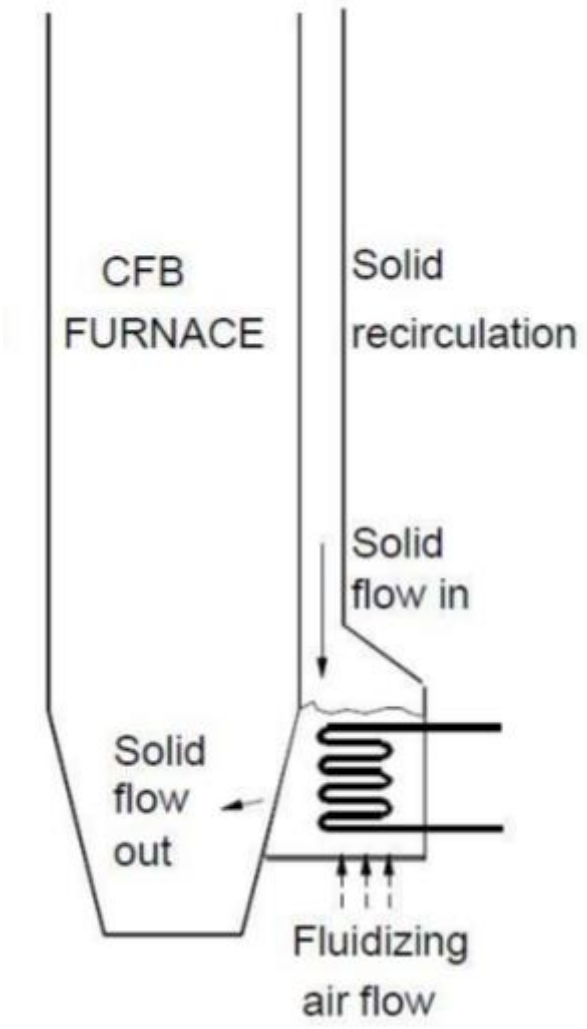
Lentotuhkan sulamispistettä alentava puun alkali tekee tuhkasta tarttuvaa. Lentotuhka likaa ja tukkii näin ollen tulistinaluetta. Puupolttoaine voi sisältää myös klooria, mikä tiivistyessään tulistinpinnoille aiheuttaa korroosiota. Tulistinpintojen tukkeuduttua savukaasujen lämpötila kohoaa savukaasukanavassa liian korkeaksi altistaen jäähdyttämättömän peltikanavan materiaalin liian suurille lämpötiloille. (Taskinen 2012.)

8.1.1 Arinan muutokset

Nykyinen arina tulisi pienentää vastaamaan n. 40% tulipesän poikkipinta-alasta, jolloin myös arinasuuttimet tulisi vaihtaa vaakasuuttimiksi. Arinasuuttimien muutoksella petimateriaalista saataisiin poistettua tehokkaammin polttoaineen mukana tulevat epäpuhtaudet. Primääri-ilmamäärää pystytään pienentämään arinan pienentämisen ansioista, jolloin sekundääri-ilmamäärä kasvaa ja luo paremman palamisen vaiheistuksen. Tästä johtuen myös sekundääri-ilmapuhaltimet jouduttaisiin uusimaan. (Taskinen, 2012)

8.1.2 Tulistimien muutokset

Tulistimien asettelua tulisi harventaa, jotta virtausnopeuksia saataisiin rajoitettua. Muutokset aiheuttaisivat savukaasujen lämpötilan nousua ekonomaiserilla, jolloin vaarana on syöttöveden kiehuminen. Lämpötila laskisi myös tulistusalueella, jolloin tulistumislämpötila 535 °C, on mahdotonta saavuttaa likaantuneilla pinnoilla. (Taskinen, 2012.) Tulistimia muutettaessa pitäisi päätulistin sijoittaa petimateriaalin palautusosaan ennen tulipesää. Tällaista tulistinta kutsutaan Intrex-tulistimeksi. Kuva 14 on esitettynä eräs CFB-kattilan Intrex-tulistimen sijoitus.



Kuva 14. Intrex-tulistimen sijoitus CFB kattilaan (Makkonen, 1998)

8.2 Nuohous

Pursiala 1 voimalaitoksessa käytettävät nuohoimet ovat höyrynuohoimia. Nuohous tapahtuu kolmesti vuorokaudessa 8h välein höyrynpaineella 24 bar. Kovempaa painetta käytettäessä riski eroosiolle kasva. Nuohousalue sijoittuu tulistimien välikköön kattilan yläosaan. Nuohouksella saadaan vain hetkellinen höyty, sillä nuohoimella päästään hyvin rajoitteisesti kattilan eri osiin. Perusteellinen puhdistus tapahtuu kattilan huollon yhteydessä seisokin aikana painepesurien avulla. (Heikkinen, 2019)

8.2.1 Höyrynuohoin Diamond IK-1M

Pursiala 1 voimalaitoksessa käytettävät nuohoimet ovat merkiltään Diamond IK-1M ulosvedettäviä höyrynuohoimia. Suurin iskunpituus näillä nuohoimilla on yksi metri. Nuohousaineena voidaan käyttää vettä, höyryä tai paineilmaa. Sopiva nuohouspaine höyrylle on n. 20 bar ja ilmalla 15 bar. Nuohoukseen käytettävän höyryn tulee olla tulistettua höyryä ja lämpötilan tulisi olla 300 – 400 °C. (ESE Oy 2019.)

Taulukko 5 esitettynä tulokset höyrynuohouksen jälkeen ekonomaiserin ja syöttöveden osalta. Lämpötilamittaus on tapahtunut ennen ja jälkeen ekonomaiserin. Tulosten perusteella nähdään, että nuohouksen jälkeen lämpötila ekonomaiserin jälkeen tippuu 22 °C. Tämä tarkoittaa sitä, että ekonomaiserin teho paranee. Kerääntynyt tuhka putkistojen päällä estää lämmön siirtymistä ekonomaiserissa virtaavaan veteen. Taulukosta havaitaan myös syöttöveden lämpötilan nousu ekonomaiserissa.

Taulukko 5. Höyrynuohous 5.3.2019 ennen ja jälkeen (ESE Oy 2019).

	Ekonomaiserin yli			Syöttövesi	
	Ennen nuohousta			Ennen nuohousta	
Ennen	465	°C	Ennen	286	°C
Jälkeen	248	°C	Jälkeen	188	°C
	217	°C		98	°C
	Nuohouksen jälkeen			Nuohouksen jälkeen	
Ennen	436	°C	Ennen	277	°C
Jälkeen	241	°C	Jälkeen	188	°C
	195	°C		89	°C
Vaikutus	22	°C	Vaikutus	9	°C

8.2.2 Räjäytyshuonous

Räjäytysnuohous on uudenlaista tekniikkaa, jota kokeiltiin ensimmäistä kertaa Pursiala 1 voimalaitoksessa 13.3.2019. Taulukko 6 osoittaa, että verrattuna tavalliseen höyrynuohoukseen, tulokset jäävät heikoiksi. Räjäytysnuohouksessa idea perustuu siihen, että huoltoluukuista pystytään kattilan ajon aikana räjäyttämään sähkönallien avulla vaikeasti irtoava tuhka. Tekniikka on vielä uutta, ja vaatii vielä parantelua ja testaamista. (Heikkinen 2019.)

Taulukko 6. Räjäytysnuohous 13.3.2019 (ESE Oy 2019).

	Ekonomaiserin yli			**Syöttövesi**	
	Ennen nuohousta			Ennen nuohousta	
Ennen	448	°C	Ennen	281	°C
Jälkeen	241	°C	Jälkeen	186	°C
	207	°C		95	°C
	Nuohouksen jälkeen			Nuohouksen jälkeen	
Ennen	422	°C	Ennen	280	°C
Jälkeen	222	°C	Jälkeen	186	°C
	200	°C		94	°C
Vaikutus	7	°C	Vaikutus	1	°C

9 RIKIN SYÖTTÖ POLTTOAINEEN SEKAAN

Pursialan voimalaitos Mikkelissä ei ole ensimmäinen laitos, johon alkuaine rikin syöttöä suunnitellaan. Toteutettuja rikinsyöttöjärjestelmiä on jo toiminnassa esimerkiksi Jyväskylän Energian Keljonlahden voimalaitoksella ja Ruotsissa Kraftringenin Lundin voimalaitoksella. Molemmat voimalaitokset on toimittanut Sumitomo SHI FW, entinen Foster Wheeler.

9.1.1 Jyväskylän Energia Keljonlahti

Jyväskylän Energian Keljonlahden voimalaitos on suunniteltu aikoinaan 100 % turpeen poltolle. Voimalaitoksella haluttiin kuitenkin melko pikaisesti vähentää turpeen osuutta polttoainetaseessa, joten sinne suunniteltiin vuonna 2012 Sumitomo SHI FW:n toimesta rikinsyöttöjärjestelmä vähentämään turpeesta tulevan rikin merkitystä. Rikinsyöttöjärjestelmää ei saatu toimimaan halutulla tavalla, joten Jyväskylän Energia päätti muuttaa järjestelmää. (Haukirauma 2019.)

Jyväskylän Energian Keljonlahden voimalaitoksen alkuainerikin siilo on sijoitettuna turvesiilojen väliin. Rikki annostellaan siilosta turvesiilojen välistä polttoaine hihnalle, joka jatkaa matkaa kohti päiväsiiloa. Käytetty rikki on rikkigranulaattia ja sen syöttöä ohjataan valvomosta. Rikki on räjähdysherkkää, joten sen laitteisto on suunniteltava sen mukaan. (Haukirauma 2019.) Kuva 15 on esitettynä Keljonlahden rikkisiilo. Rikkisiilon yläosassa näkyy räjähdysluukut. Rikkisiiloa täytetään säiliöautolla.

Kuva 15. Keljonlahden rikkisiilo (Haukirauma 2019).

9.1.2 Kraftringen Energi Lund Ruotsi

Kraftringen Energin Lundin voimalaitoksella on käytössä Keljonlahden voimalaitoksen tapaan Sumitomo SHI FW:n suunnittelema rikinsyöttöjärjestelmä. Laitos on suunniteltu turvetta ja puuta polttavaksi kaukolämpölaitokseksi. Ruotsi on päättänyt siirtyä fossiilittomaan lämmöntuotantoon vuoteen 2020 mennessä. Lundin voimalaitoksella tämä on jo saavutettu, ja turpeen osuus polttoaineena on saatu 0 %:iin. (Aspen 2019.)

Erilliseen rikinsyöttöön Lundissa päädyttiin, jotta ennen turpeesta saatu rikki pystyttäisiin korvaamaan. Erillisellä rikinsyötöllä saadaan vähennettyä korroosion riskiä tulipesän putkistoissa. Korroosion riskin minimoimiseksi tarvitaan tietty määrä rikkiä suhteessa polttoaineen kloridimäärään. Polttoaineen rikkipitoisuus ei aina riitä, minkä vuoksi

erillinen rikki-syöttöjärjestelmä on käytössä. Tyypillisesti polttoaineesta 50% on hakkuujätettä, 20-25 % haketta, kuorta 10-20% ja sahanpurua 10-20 %. Rikkiä syötetään tyypillisesti 10-30 kg/h. (Aspen 2019.)

Rikinsyöttöjärjestelmä koostuivat rikkisiilosta ja pneumaattisesta syöttimestä. Rikkisiilossa tapahtui pölyräjähdys vuonna 2016, jonka jälkeen rikin syöttäminen on suoritettu rikin syöttämisellä polttoaineen kautta suoraan kuljetinhihnalle ja siitä polttoaineiden päiväsiiloihin, joista polttoainetta annostellaan kattilaan. (Aspen 2019.)

9.2 Tekninen toteutus

Rikinsyöttöjärjestelmän Pursiala 1 voimalaitokselle olisi mahdollista toteuttaa turvesiilon viereen. Rikin syöttö tapahtuisi päiväsiiloille nousevan polttoaineen kuljettimen alkupäässä. Syöttöjärjestelmä on helposti toteutettavissa, sillä järjestelmä ei tarvitse suurta tilaa (Heikkinen 2019). Järjestelmän on täytettävä ATEX-laitedirektiivi, sillä alkuainerikki on pölyyntyessään räjähdysherkkää. Räjähdysvaarallinen tila on tila, jossa voi esiintyä räjähdysvaarallinen ilmaseos (Tukes 2019). Syötettävän rikin määrää on vaikea arvioida tässä vaiheessa, sillä se riippuu turpeen määrästä ja turpeen rikkipitoisuudesta. Lundin voimalaitoksella rikkiä syötetään 10-30 kg/h. Kattilan teho Lundissa on 110 MW, joten Pursiala 1 voimalaitoksen kohdalla voidaan olettaa että syötettävän rikin määrä on vähemmän.

9.3 Alkuainerikki

Yleisin käytetty alkuainerikki on rikkigranulaatti. Rikkigranulaatti on koostumukseltaan raemaista, mikä antaa hyvät edellytykset käytettävyyteen verrattuna jauhettuun alkuainerikkiin. Suurimpia ongelmia alkuainerikin säilytyksessä on ollut holvaantuminen säiliön reunuksille. Raemaisessa rikissä tämä ongelma on pienempi. Suomessa rikkigranulaattia toimittaa muun muassa Bang & Bolsomer. Rikkiä toimitetaan säiliöautolla tai suursäkeissä. Liitteessä 1 ja 2 esiteltynä rikkigranulaatin ja rikkipastillien kemikaalitiedotteet. Rikkigranulaatti sisältää 99,95 % rikkiä ja on väriltään kellertävää.

10 INVESTOINTI

Tämän osion tarkoituksena on vertailla investointikustannuksia uudelle kattilalaitokselle ja rikinsyöttöjärjestelmälle jo olemassa olevaan laitokseen. Arviot ovat melko karkeita, sillä tiedot perustuvat yleisesti saatavilla olevaan tietoon. Uuden laitoksen investoinnissa käytetään tällä hetkellä rakennettavien biovoimalaitosten investointitietoja. Rikinsyöttöjärjestelmän hintatiedot perustuvat laitetoimittajan kanssa käytyyn puhelinkeskusteluun. Tämän osion tavoitteena on tuoda esille mahdollisuudet, jotka ovat tämän diplomityön kannalta oleellisimmat.

10.1 Uusi kattila & turbiini

Pursiala 1 voimalaitoksen tekninen käyttöikä tulee päätökseen 2030 luvulla, joten uuden kattilalaitoksen investointi tulee ottaa huomioon seuraavan 15 vuoden sisään. Tuolloin on syytä tarkastella myös sitä vaihtoehtoa, että pystytäänkö nykyistä Pursiala 1 käyttämään vielä lisäajan puitteissa esimerkiksi kattilatehoa laskemalla. Taulukossa 7 ja 8 on esitettynä tämänhetkisten uusien voimalaitosten dataa, josta ilmenee teho ja kustannus. Näiden arvioiden perusteella voidaan todeta, että n. 1 milj.€/MW saadaan suuntaa antava hinta-arvio voimalaitokselle. Hinta kattaa koko laitoksen. Lahti Energian voimalaitoksen hinnassa tulee ottaa huomioon, että hinta sisältää vain turbiinin varauksen, ei itse turbiinia. (Lahti Energia 2018; Oulun Energia Oy 2018; Koskinen 2018.)

Taulukko 7. Lahti Energia Kymijärvi III (Lahti Energia Oy 2018).

Lahti Energia Kymijärvi III biovoimalaitos	
Sumitomo SHI FW	Kattilatoimittaja
190	MW
165	milj.€
0.87	milj.€/MW

Taulukko 8. Oulun Energia Laanilan biovoimalaitos (Oulun Energia Oy 2018).

Oulun Energia Laanilan biovoimalaitos	
Valmet Technologies Oy	Kattilatoimittaja
215	MW
200	milj.€
0.93	milj.€/MW

Pursiala 1 voimalaitoksen kohdalla, näyttäisi siltä, että myös uusi voimalaitos on samankokoinen kuin nykyinen, eli 84 MW. Uuden vastaavanlaisen biovoimalaitoksen hinnaksi arvioidaan noin 80 milj.€ (+-10 milj. €).

10.2 Rikin syöttöjärjestelmä

Rikin syöttö polttoaineen sekaan on kokonaisuudessaan hyvin yksinkertaista. Pursiala 1 voimalaitoksen tapauksessa rikinsyöttö tapahtuisi polttoaineen sekaan ennen päiväsiiloja. Järjestelmä tarvitsee toimiakseen siilon, kuljetinjärjestelmän, annostelujärjestelmän ja sähkö/ automaatio-ohjauksen. Tällaisten järjestelmien tarkkoja hintatietoja on haastava saada ilman perusteellista tarjouspyyntöä. Kopar Oy, joka on toimittanut muun muassa Jyväskylän Energian Keljonlahden voimalaitokselle rikinsyöttöjärjestelmän, kertoi kustannusarvion jäävän alle 100 000€ (Mäntylä 2019.) Tämän työn kannalta se on riittävä hintaluokka. Vuotuiset käyttökustannukset määräytyvät kulutettavan rikin määrästä.

10.3 Kattilalaitos

Vaihtoehtoisesti Pursiala 1 voimalaitoksen korvaamista voisi tutkia uuden tai uusien kattilalaitosten kannalta. Kattilalaitoksen kustannus jäisi huomattavasti matalammaksi verrattuna uuteen voimalaitokseen, sillä turbiinia ei tarvittaisi. Esimerkiksi Valmet on toimittanut Nokialle höyryteholtaan 68 MW leijukerroskattilan, jonka kustannus on ollut 20-30 miljoonaa euroa. Kyseisen investoinnin kokonaisarvo oli noin 45 miljoonaa euroa. (Sjöström 2015.)

11 TULOKSET

Uuden voimalaitoksen tai kattilaitoksen investointi tulee esiin 2030 luvun alkupuolella. Uudella vastaavalla voimalaitoksella pystytään korvaamaan täysin nykyinen Pursiala 1 voimalaitos. Vaihtoehtoisesti uuden voimalaitoksen voisi myös korvata uudella kattilaitoksella, jolloin kustannus jäisi huomattavasti matalammaksi, sillä turbiinia ei tarvittaisi.

Rikinsyöttöjärjestelmän lisääminen Pursiala 1 voimalaitokseen voimalaitoksen jäljellä olevan teknisen käyttöiän mukaan olisi järkevä investointi. Uuden voimalaitoksen rakentaminen ei tässä vaiheessa ole vielä kannattavaa, sillä nykyisellä laitoksella on käyttöikää jäljellä lähtökohtaisesti 10-15 vuotta. Suomesta löytyy yrityksiä, jotka pystyvät toimittamaan rikinsyöttöjärjestelmiä. Kustannus on maltillinen, varsinkin jos sitä verrataan uuden voimalaitoksen investointiin. Kustannuksiin vaikuttaa merkittävästi myös se, kuinka polttoturpeen päästöoikeuksien hinta tulee kasvamaan.

Savukaasupäästöjen mittaustulosten perusteella rikkipäästöt olivat mittaus ajanjaksona, sillä tasolla, että rikkipäästöissä on kasvunvaraa vuosi tasolla. Tämä antaa hyvän lähtökohdan alkuainerikin syöttöön, jolloin syötettävä rikin määrä pystytään säätämään rikkipäästöjen raja-arvojen mukaan.

Teknisesti rikinsyöttöjärjestelmä on mahdollista toteuttaa Pursialaan, sillä järjestelmä ei vie paljoa tilaa. Suurin elementti järjestelmässä on rikkisiilo, johon säiliöauto käy tuomassa alkuainerikkiä tarpeen mukaan. Rikinsyöttöjärjestelmiä toimittaa Suomessa useampi toimija, joten kilpailutuksella järjestelmän hinta saadaan oikeaksi.

11.1 Riskit/onnistumistodennäköisyys

Tarkasteltaessa kohteita, joissa turve on korvattu alkuainerikillä, niin Ruotsin esimerkki Lundissa on tuottanut hyvää tulosta. Ruotsissa on pystytty luopumaan turpeesta kokonaan. Jyväskylän Energian Keljonlahden voimalaitoksella järjestelmä on vasta saatu toimimaan halutulla tavalla, joten on liian aikaista sanoa, pystytäänkö Jyväskylässä luopumaan turpeesta kokonaan. Tämänhetkisten tulosten mukaan turpeen osuutta on kuitenkin pystytty vähentämään. Mikkelin Pursiala 1 voimalaitoksella alkuainerikillä pystytään vähentämään turpeen osuutta, mutta mahdollisuus jättää turve kokonaan pois

selviää vasta, kun rikkiä päästään syöttämään polttoaineen sekaan ja testaamaan oikea syöttömäärä kattilalaitoksen toimiessa.

12 YHTEENVETO

Monien Suomessa toimivien turpeen ja puun yhteiskäyttöön perustuvien kattilalaitosten elinikä alkaa lähenemään loppua. Laitokset vanhenevat ja lopulta ne joudutaan korvaamaan uutta tekniikkaa hyödyntävillä kattiloilla. Turpeen tilanteen vuoksi uudet kattilat suunnitellaan käytännössä pelkästään puuta polttaviksi. Turpeen poisjäämiseen vaikuttaa oleellisesti alati kiristyvä ilmastopolitiikkaa ja paikallinen vesistöjen suojelu. Mikkelissä turpeen tuotanto on saanut huonon kuvan, sillä lähialueen turvesuot vaikuttavat suoraan vesistöihin turvesoiden ympärysalueilla. Oleellista energiamurroksessa on se, että käytetäänkö nykyiset toiminnassa olevat laitokset loppuun asti vai korvataanko ne uusilla nykyasetukset täyttävillä laitoksilla. Luontaista reittiä tapahtuva laitosten uusiutuminen on arviolta oletettu tapahtuvan 2030 luvulla, jolloin valtaosa nykyisistä fossiilisia polttoaineita käyttävistä laitoksista tulevat tiensä päähän. Näihin laitoksiin luetaan myös turvetta polttavat laitokset.

Turpeesta luopuminen ei ole yksinkertaista sellaisissa kattilalaitoksissa, mitkä ovat aikanaan suunniteltu turpeelle ja puulle. Turpeen sisältämä rikki on toiminut palamisprosessia hyödyntävänä tekijänä kattilan toiminnan suhteen. Rikki tuhoaa palaessaan puusta irtoavia alkalikloridеja, mitkä vapautuessaan muutoin aiheuttavat sen, että kattilassa leijaileva tuhka tarttuu tervamaisesti lämmönsiirtopinnoille. Tällöin lämmönsiirtopintojen lämmönsiirtoteho huononee ja näin ollen myös koko kattilan hyötysuhde huononee. Turvetta poltettaessa kattila on pystytty suunnittelemaan siten, että kattilan komponentit on voitu sijoittaa tiiviimmin. Puuta poltettaessa esimerkiksi tulistin putkistot tulisi asetella mahdollisimman väljästi, jolloin tervamainen tuhka ei pääsisi kerääntymään pinnoille ja näin ollen tukkimaan lämmönsiirtopinta-alaa. Myös kattilan muilla komponenteilla, kuten arinalla, on merkittävä rooli mitä polttoainetta kattilassa voidaan käyttää.

Tämän diplomityön tarkoituksena oli tutkia ratkaisuja, joilla pystyttäisiin vähentämään tai jopa luopumaan turpeen käytöstä Etelä-Savon Energia Oy:n Pursiala 1 voimalaitoksessa Mikkelissä. Tutkimuksessa tarkasteltiin vaihtoehtoa, jossa kattilan komponenttien sijoituksia muokattaisiin siten, että esimerkiksi tulistimet aseteltaisiin väljemmin. Työssä todettiin, että tällaiset muutokset olisivat niin merkittäviä, että kustannukset vastaisivat jo uuden laitoksen investointikustannuksia.

Uuden voimalaitoksen tai kattilalaitoksen investointi tulee Mikkelissä ajankohtaiseksi 2030 luvulla. Tuolloin tulee pohtia sitä, että tarvitaanko kaupungissa uutta voimalaitosta, joka tuottaa myös sähköä lämmön lisäksi, vai riittääkö kattilalaitos, joka tuottaa pelkästään kaukolämpöä asiakkailleen. Turbiini kasvattaa investointia merkittävästi.

Työssä päästiin esimerkkikohteiden avulla tulokseen, jossa turpeesta tuleva rikki korvattaisiin markkinoilta saatavalla alkuainerikillä. Alkuainerikkiä voidaan lisätä puupolttoaineen sekaan esimerkiksi suoraan polttoainekuljettimelle ennen kuin polttoaine siirtyy päiväsiilolle. Turpeen poisjääminen lisää puun käyttöä polttoaineena merkittävästi, mutta nämä ongelmat rajattiin tämän diplomityön ulkopuolelle. Rikinsyöttöjärjestelmiä on toteutettu maailmalla tiedettävästi muutamia, joista yksi esimerkki löytyy Jyväskylän Energian Keljonlahden voimalaitokselta ja toinen Ruotsista Kraftringenin Lundin voimalaitokselta. Jyväskylässä järjestelmää on jouduttu muokkaamaan ja uusi järjestelmä on saatu toimimaan vasta vuoden 2018 loppupuolella, joten ajodataa ei ole vielä saatavilla. Tämänhetkiset kokemukset kuitenkin kertovat, että turpeen osuutta on pystytty vähentämään. Ruotsissa turpeen käytöstä on pystytty luopumaan kokonaan, joten siellä järjestelmä on saatu hyvin toimimaan. Molemmissa laitoksissa alkuainerikki syötetään polttoaineen sekaan, josta polttoaine jatkaa matkaa päiväsiiloille ja sieltä ajan myötä polttoon. Tällaisen järjestelmän investointikustannus jäisi toimittajilta saatujen tietojen mukaan alle 100 000€. Alkuainerikin hintatietoja toimittaja ei suostunut kertomaan.

Tässä tapauksessa turpeen poisjääminen aiheuttaa sen, että rikkiä joudutaan lisäämään polttoaineen sekaan. Rikkipäästöillä on tarkat raja-arvot, joihin tehtaan tulee päästä. Todelliset rikkipäästöt pystytään arvioimaan vasta silloin, kun järjestelmään päästään syöttämään alkuainerikkiä. Pursiala 1 voimalaitoksessa on tulossa käyttöön jatkuvatoiminen savukaasujen mittaus, jolloin rikkipäästöjen raja-arvoilla pystytään ohjaamaan alkuainerikin syöttöä. Seuraava vaihe tämän työn kannalta on se, että järjestelmää lähdetään toteuttamaan. Jos Etelä-Savon Energia Oy päättää toteuttaa tämänkaltaisen rikinsyöttöjärjestelmän, se antaa hyvän jatkotutkimusaiheen. Jatkotutkimuksissa voitaisiin tutkia järjestelmän säätöä ja välitöntä vaikutusta prosessiin.

LÄHDELUETTELO

Aho, M. Leino, T. Nevalainen, H. 2013. Puupolttoaineen osuuden maksimointi kiertoleijupoltossa. Tutkimusraportti. Jyväskylä: VTT.

Alakangas, E. 2000. Otamedia Oy, Espoo, Valtion teknillinen tutkimuskeskus, VTT tiedotteita 2045.

Alakangas, E. Hurskainen, M. Laatikainen-Luntama, J. Korhonen, J. (2016). Suomessa käytettävien polttoaineiden ominaisuuksia. Teknologian tutkimuskeskus VTT. [PDF] Saatavilla: https://www.vtt.fi/inf/pdf/technology/2016/T258.pdf

Aspen, J. (2019). Sähköpostihaastattelu Jasmin Aspen Processingenjör. Kraftringen. 14.2.2019

Energiavirasto. (2019). RES-direktiivi. [ONLINE] Luettu: 23.01.2019. Saatavilla: https://www.energiavirasto.fi/res-direktiivi

Etelä-Savon Energia Oy (ESE OY) (2017a). Vuosikertomus 2017. [PDF] Saatavilla: Sese.fi/files/vuosikertomus_taitto_2017_web_1.pdf

Etelä-Savon Energia Oy (ESE OY) (2017b). Ympäristöraportti 2017. [PDF] Saatavilla: https://ese.fi/files/ymparistoraportti17_valmis.pdf

Etelä-Savon Energia Oy (ESE OY) (2018a). Pursialan voimalaitoksen ympäristöluvan tarkistamishakemus.

Etelä-Savon Energia Oy (ESE OY) (2019). Pursiala 1 voimalaitoksen tekniset asiakirjat.

Foster Wheeler (2012). Rikin syöttöjärjestelmä. Järjestelmäkuvaus.

Guangxi, Y. Hai, Z. Changsui, Z. Zhongyang L. (2009). Proceedings of the 20th International Conferenece on Fluidized Bed Combustion. Kustantaja: Springer. Peking.

Harja, L. Teir, S. Vakkilainen, E. (2003). Combustion Process Equipment. Energy engineering and environmental protection publications. S. 84-99. Espoo. Saatavilla: http://www.energy.kth.se/compedu/webcompedu/WebHelp/media%5CLecture_notes%5CSteamBoilerTechnology.pdf

Haukirauma, J. 2019. Jyväskylän Energia Oy, Tuotantolaitosten kunnossapito. Tehdasvierailu. 06.02.2019. Suullinen lähde.

Heikkinen, L. (2019). Haastattelu Lassi Heikkinen Käyttöpäällikkö. Ese Oy. 22.2.2019.

Huhtinen, M. Kettunen, A. Nurminen, P. Pakkanen, H. (1994). Höyrykattilatekniikka. Kustantaja: Painatuskeskus. Julkaisija: Opetushallitus.

Hulkko, L. (2016). Voimalaitoksen polttoaineiden ominaisuustiedon hyödyntäminen päästöjen hallinnassa. Opinnäytetyö. Oulun ammattikorkeakoulu.

Hulkko, L. 2016. Voimalaitoksen polttoaineiden ominaisuuksien hyödyntäminen päästöjen hallinnassa. Oulu: Oulun ammattikorkeakoulu.

IPCC. 2018. Special report: Global warming of 1,5 °C. Intergovernmental panel on climate change. [ONLINE] Haettu: 10.01.2019. Saatavilla: https://www.ipcc.ch/sr15/chapter/summary-for-policy-makers/

Jokivuori, A & Teir, S (2003). Heat echangers in Steam boilers. Steam boiler technology. Energy engineering and environmental protection publications. Espoo. S. 102-114Saatavilla: http://www.energy.kth.se/compedu/webcompedu/WebHelp/media%5CLecture_notes%5CSteamBoilerTechnology.pdf

Knowenergy. Energiatekniikan oppimisympäristö. 2012. [ONLINE]. Luettu: 16.01.2019 Saatavissa http://www.knowenergy.net/

Koskinen, K (2018). Sumitomo Shi FW, Manager of technology, modernizations & upgrades, service. Haastattelu Varkaudessa 30.11.2018.

Kulla, A & Teir, S (2003). Steam/Water circulation design. Steam boiler technology. Energy engineering and environmental protection publications. S. 50-69. Espoo. Saatavilla: http://www.energy.kth.se/compedu/webcompedu/WebHelp/media%5CLecture_notes%5CSteamBoilerTechnology.pdf

Lahti Energia Oy (2018). Kymijärvi III -biolaitoshanke. Luettu: 11.3.2019. Saatavilla: https://www.lahtienergia.fi/fi/lahti-energia/energian-tuotanto/kymijarvi-iii

Makkonen, P (1998). Foster Wheeler CFB with the New INTREX™ Superheater. Konferenssijulkaisu. VGB Konferenssi: Steam Generation Plants 1998. Leipzig. 25.marraskuuta 1998.

Metsäkeskus. (2016). Energiapuu. [ONLINE] Luettu: 05.02.2019 Saatavilla: https://www.metsakeskus.fi/energiapuu

Motiva. 2016. Biopolttoaineiden lämpöarvoja. [ONLINE] Haettu: 09.01.2019. Saatavilla. https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/bioenergia/tietolahteita/biopolttoaineiden_lampoarvoja

Mäntylä,V (2019). Rikinsyöttöjärjestelmän toimittaja. Service manager. Puhelinhaastattelu 8.3.2019. Kopar Oy.

Niessen W.R (2002). Combustion and incineration processes. Third edition, revised and expanded. Niessen Consultants S.P. Massachusetts.

Ohlström, M. Tsupari, E. Lehtilä, A. Raunemaa, T. (2005). Pienhiukkaspäästöt ja niiden vähentämismahdollisuudet Suomessa. VTT. PDF. Saatavilla: https://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2005/T2300.pdf

Oulun Energia Oy (2018) Laanilan biovoimalaitoshanke. Luettu: 11.3.2019. Saatavilla: https://www.oulunenergia.fi/oulun-energia/tietoa-oulun-energiasta/energiantuotanto/voimalaitokset/laanilan-biovoimalaitoshanke

Perttula, R. (2000). Energiatekniikka. Porvoo. WSOY.

Raiko, R. Kurki-Suonio, I. Saastamoinen, J. Hupa, M. (1995). Poltto ja palaminen. Julkaisija: Inernational Flame research foundation. Kustantaja: Teknillisten tieteiden akatemia.

Ranta Tapio. 2018. Energiaverotus. LUT [Luentokalvot] Vaatii käyttöoikeudet.

Sallinen, P. (2018). Mitä turpeen käytölle tapahtuu? Energiauutiset. Julkaisija: Energiateollisuus ry. [ONLINE] Luettu: 05.02.2019. Saatavilla: https://www.energiauutiset.fi/uutiset/mita-turpeen-kaytolle-tapahtuu.html

Sjöström, M (2015). Valmetilta yli 20 miljoonan euron kattilaitos Nokianvirran Energialle. Julkaisija: Arvopaperi. Julkaistu: 11.3.2015 Saatavilla: https://www.arvopaperi.fi/uutiset/valmetilta-yli-20-

miljoonan-euron-kattilalaitos-nokianvirran-energialle/2fa1d92c-3ef9-3dc4-bb7f-d1dab33f7430 Luettu: 7.4.2019

Suomen virallinen tilasto (SVT): Energian hankinta ja kulutus [verkkojulkaisu]. ISSN=1799-795X. Helsinki: Tilastokeskus [viitattu: 30.3.2019]. Saantitapa: http://www.stat.fi/til/ehk/index.html

Taskinen, T. (2012). CFB-kattilan soveltuminen puunpoltolle. Selvitys Pursiala 1 voimalaitokselle. Foster Wheeler.

Teir, S & Zhang, D (2003). Circulating fluidized bed boilers. Steam boiler technology. Energy engineering and environmental protection publications. S. 154-169. Espoo. Saatavilla: http://www.energy.kth.se/compedu/webcompedu/WebHelp/media%5CLecture_notes%5CSteamBoilerTechnology.pdf
Teir, S (2003). Modern boiler types and applications. Steam boiler technology. Energy engineering and environmental protection publications. S. 32-47. Espoo. Saatavilla: http://www.energy.kth.se/compedu/webcompedu/WebHelp/media%5CLecture_notes%5CSteamBoilerTechnology.pdf

Tilasto: Energian hinnat [verkkojulkaisu]. ISSN=1799-7984. Helsinki: Tilastokeskus [viitattu: 30.3.2019]. Saantitapa: http://www.stat.fi/til/ehi/2018/03/

Turvallisuus- ja kemikaalivirasto (TUKES). (2019) Räjähdysvaarallisten tilojen laitteet -ATEX. Luettu: 30.3.2019 Saatavilla: https://tukes.fi/teollisuus/rajahdysvaaralliset-tilat/rajahdysvaarallisten-tilojen-laitteet-atex

Vakkilainen, E (2016). Steam generation from biomass. Publisher: Butterworth Heinemann

Väisänen, J (2016). CFB-kattilan elinikäselvitys. Etelä-Savon Energia, Pursialan voimalaitos. Jyväskylän ammattikorkeakoulu.

YM. 2018a. Euroopan unionin ilmastopolitiikka. Ympäristöministeriö. [ONLINE] Haettu: 10.01.2019. Saatavilla: http://www.ym.fi/fi-FI/Ymparisto/Ilmasto_ja_ilma/Ilmastonmuutoksen_hillitseminen/Euroopan_unionin_ilmastopolitiikka

YM. 2018b. IPCC:Ilmasto lämpenee hälyttävällä vauhdilla. Ympäristöministeriö. [ONLINE] Haettu: 10.01.2019. Saatavilla: http://www.ym.fi/fi-FI/Ajankohtaista/IPCC_Ilmasto_lampenee_halyttavalla_vauhd(48136)

LIITTEET

Liite 1. Kemikaalitiedot rikkipastillit TDS Bang & Bonsomer

BANG & BONSOMER
DELIVERING SMART MATERIAL TECHNOLOGIES

SULPHUR PASTILLES

L.p.	Physical and chemical properties		Chain	Type
1				P- pastilles
				Type
				9995
2	Form			Pastilles
3	Colour			Yellow - grey
4	Sulphur content, (%) min.		in dry substance % m/m	99,95
5	Chemical impurity	Total, (%) max		0,05
6		Acidity as H_2SO_4, (%) max		0,007
7		Organic substances (bitumes), (%) max		0,015
8		Arsenic, (%) max		0,0000
9		Selenium, (%) max		0,000
10		Chlorides, (%) max		0,003
11		Ash, (%) max		0,04
12	Ash component	Mn		Not normalized
13		Cu		Not normalized
14		Fe		Not normalized
15	Humidity, (%) max		%	0,2
16	Granulation	Class of pastilles 5 - 6,3mm, max	%	5
17		Calss of pastilles 1,12 - 5mm, min.	%	92,5
18		Pastilles culturo less than 0,3mm and class of pastilles 0,3mm - 1,12mm, max	%	2,5

II. Package
Railway wagons (in bulk) or big - bags a' 1000 kg net on pallet (1000x1200 mm)
Containers and other package - to be agreed

III. Road, railway and sea transport
Not liable to ADR, RID ,IMDG (special rule 242 ADR, RID, IMDG)

IV. Additional information
Safety Data Sheet

Liite 2. Kemikaalitiedot rikkigranulaatti TDS Bang & Bonsomer

BANG & BONSOMER
DELIVERING SMART MATERIAL TECHNOLOGIES

GRANULATED SULPHUR

L.p	Physical and chemical properties		Chain	Type
1				G- granulated
				Type
				9995
2	Form			Granule
3	Colour			Yellow- grey
4	Sulphur content, (%) min.		In dry substance % m/m	99,95
5	Chemical impurity	Total, (%) max		0,05
6		Acidity as H_2SO_4 (%) max		0,007
7		Organic substances (bitumes), (%) max		0,015
8		Arsenic, (%) max		0,0000
9		Selenium, (%) max		0,000
10		Chlorides, (%) max		0,003
11		Ash, (%) max		0,04
12	Ash component	Mn		Not normalized
13		Cu		Not normalized
14		Fe		Not normalized
15	Humidity, (%) max		%	0,5
16	Granulation	Class of granule 0,5mm - 6,3 mm, min.	%	90
17		Granule culture 0,5mm and class of granule 6,3mm - 10mm, max	%	10

Attention: Humidity of granulated sulphur over 0,5% is admitted after previous agreement with client

II. Package
Railway wagons (in bulk) or big - bags a' 1000 kg net on pallet (1000x1200 mm)
Containers and other package - to be agreed

III. Road, railway and sea transport
Not liable to ADR, RID ,IMDG (special rule 242 ADR, RID, IMDG)

IV. Additional information
Safety Data Sheet