PÄÄKATTILAN NUOHOUKSEN OPTIMOINTI KYMIJÄRVEN VOIMALAITOKSELLA

LAHDEN AMMATTIKORKEAKOULU
Mekatroniikka
Suunnittelu
Opinnäytetyö
Valmistumisaika
Sakari Salonen 0502160

Lahden ammattikorkeakoulu
Tekniikan laitos

Sakari Salonen: Pääkattilan nuohouksen optimointi Kymijärven voimalaitoksella

Kone- ja tuotantotekniikan opinnäytetyö, 50 sivua, 20 liitesivua

Kevät 2009

TIIVISTELMÄ

Opinnäytetyön tavoitteena oli optimoida Kymijärven voimalaitoksen pääkattilan nuohousta normaalikäytön aikana nimellistehotilanteessa. Tarve nuohouksen tarkastamiseen on olemassa, koska kattilan hyötysuhdetta voitaisiin parantaa tarkemmalla nuohouksella. Parempi hyötysuhde tarkoittaisi pienempää polttoainekulutusta. Kesällä 2008 koko laitoksen automaatiojärjestelmä uusittiin. Uusi automaatiojärjestelmä tarjoaa enemmän tietoa prosessista kuin vanha järjestelmä ja mahdollistaa nuohousten tarkemman tutkimisen.

Teoriaosassa tutkittiin kuinka pääkattilaa käytetään, miksi nuohouksia suoritetaan ja kuinka nuohoukset on suoritettu aikaisemmin Kymijärven voimalaitoksella. Nuohoustarve syntyy käytettävistä polttoaineista. Laitoksen pääpolttoaineena käytetään hiiltä, joka voidaan luokitella ”likaiseksi” polttoaineeksi, suuren tuhkanmuodostuksen johdosta. Suuren osan laitoksen käyttöön liittyvästä teoriatiedosta sain käyttömestarilta.

Suunnitelmallisuuden puute nuohouksessa oli helposti havaittavissa, kun laitoksen nuohoushistoriaa tarkasteltiin kolmen vuoden ajalta. Hyötysuhteen paraneminen liittyisi puhtaampiin lämmönsiirtopintoihin. Savukaasujen lämpö saataisiin siis siirtymään paremmin höyryyn.

Käytännönosassa suoritettiin erilaisia testejä, joilla pyrittiin selvittämään, kuinka nuohouksen voisi tehdä tehokkaammin. Uusi automaatiojärjestelmä tarjosi paljon hyödyllistä tietoa testeistä. Tietojen kerääminen oli myös suhteellisen helppoa, valittiin vain muuttuja ja aikaväli, minkä jälkeen tietokone piirsi kaavion halutusta muuttujasta.

Testien jälkeen parhaiksi muuttujiksi osoittautuivat erilaiset lämpötilat. Niistä valittiin selkeimmät, joiden avulla pyrittiin määrittämään, olisiko tiettyjen kattilanosien nuohousta lisättävä vai vähennettävä.

Avainsanat: Nuohous, Optimointi, Hiili

Lahti University of Applied Sciences
Faculty of technology

Salonen, Sakari: Optimizing the chimney sweeping of the Kymijärvi power plant

Bachelor´s Thesis in planning oriented mechatronics, 50 pages, 20 appendixes

Spring 2009

ABSTRACT

The objective of this study was to optimize the chimney sweeping of the main steam boiler in the Kymijärvi power plant of Lahti Energy. There is a real need to do this kind of research because the boiler's efficiency could be better than it is now. Better efficiency would mean less fuel consumption. In the summer of 2008 the whole automation system in the power plant was updated and the system now provides more information about the whole process. This information provides a chance to do this kind of research.

The theory part examines how the steam boiler in the Kymijärvi power plant is used, why it is sweeped and how sweeping has been done in the power plant. The need for sweeping comes with the fuels that it uses. The main fuel is coal, which produces lots of ash. Most of the information to the theory part was acquired by interviewing the person who is in charge of operating the power plant.

There has not been a clear plan for the sweeping earlier. That was easily seen when the power plant's sweeping history for the past three years was studied. A clear sweeping plan would improve the efficiency of the boiler because the heat from the fuels would transfer better into the steam due to cleaner surfaces.

The practical part consisted of different kinds of tests how the sweeping could be done differently and more efficiently. The new automation system provided lots of helpful data. Data collecting was also quite easy because the user can select a variable and choose the timeframe when it is observed. The computer then draws a diagram.

After the tests the best indicators turned out to be different kinds of temperatures. Clearest indicators from the temperatures were chosen to point out when it is the best time to sweep the boiler and where sweeping is mostly needed.

Key words: chimney sweeping, optimizing, coal

SISÄLLYS

1 JOHDANTO 1

1.1 Työn tavoitteet 2

2 YRITYSESITTELY 3

2.1 Yleistä 3

2.2 Kymijärven voimalaitos 3

3 PÄÄKATTILA 5

3.1 Yleistä 5

3.2 Benson kattilan toiminta 6

3.3 Lämmönsiirtyminen 7

3.4 Kattilan käynnistys ja pysäytys 8

3.5 Ajotavat 9

3.6 Polttoaineet 9

3.6.1 Kivihiili 10

3.6.2 Kaasuttimen polttoaineet 11

3.6.3 Maakaasu 12

3.6.4 Öljy 12

3.7 Käytetyt polttoainemäärät 13

4 JÄLKITUOTTEET LENTOTUHKA JA POHJAKUONA 14

4.1 Yleistä 14

4.2 Tuhkan sulaminen 14

4.3 Kuonaamis- ja likaantumistunnuslukujen laskenta 15

4.4 Tuhkan ja pohjakuonan muodotumismäärät 16

4.5 Lentotuhkan palamattomien määrä 17

5 NUOHOUSJÄRJESTELMÄT 18

5.1 Vesinuohous 18

5.2 Höyrynuohous 20

5.3 Vesisuihkunuohous 22

5.4 Ääninuohous 22

6 NUOHOUSHISTORIA 23

6.1 Yleistä 23

6.2 Kattilan tulipesän nuohous 25
6.3 Kattilan korkea- ja välipaineosan nuohous 26

7 NUOHOUKSEN ARVIOINTI 28
7.1 Yleistä 28
7.2 Vesinuohoustarpeen arviointi 29
7.2.1 Vesinuohouksen vaikutus höyrystin I:n lämpötiloihin 30
7.2.2 Vesinuohouksen vaikutus savukaasujen lämpötiloihin 30
7.2.3 Yhteenveto vesinuohouksesta 31
7.3 Höyrynuohouksen tarpeen arviointi ja nuohouksen vaikutukset 32

8 NUOHOUSKOKEET 35
8.1 Yleistä 35
8.2 Nuohousohjelmat 36
8.3 Eristetyt nuohoukset 36
8.4 Nuohousstrategia 37
8.5 Pääprosessin kombi-käyttö 37

9 TULOKSET JA SUOSITUKSET 38
9.1 Yleistä 38
9.2 Eristetyt nuohoukset 38
9.2.1 Vesinuohous 38
9.2.2 Höyrynuohous 39
9.3 Nuohousstrategia 41
9.4 Pääprosessin kombi-käyttö 42
9.5 Automatisointimahdollisuudet 42
9.6 Kustannusvaikutukset ja niiden vertailu 44

10 YHTEENVETO 50

LÄHTEET 51

LIITTEET 53

1 JOHDANTO

Tämä opinnäytetyö tehtiin Lahti Energia Oy:n Kymijärven voimalaitokselle. Yrityksen tavoitteena on optimoida voimalaitoksen pääkattilan nuohousta normaalikäytön aikana.

Nuohouksen tarkoituksena on pääasiallisesti pitää kattilan lämmönsiirtopinnat puhtaina ja taata mahdollisimman hyvä lämmönsiirtyminen. Tämä takaa myös materiaali- ja höyrynlämpötilojen pysymisen raja-arvojen sisällä. Tällä hetkellä nuohoukset suoritetaan mahdollisesti liian kaavamaisesti. Tarkemmalla nuohouksella voitaisiin optimoida koko kattilan käyttöä eli tehonvaihteluita, lämpötiloja sekä hyötysuhdetta.

Kattilan käyttöaika on pääsääntöisesti noin 10 – 11 kk vuodessa riippuen voimalaitoksen revision eli vuosihuollon laajuudesta. Kattilan käyttökaudella pääpolttoaineena toimii kivihiili 85 %:n sekä kaasuttimen tuotekaasu n. 15 % osuudella. Maakaasua käytetään kattilan käynnistys- ja pysäytystilanteessa sekä polttoaineen vaihtotilanteissa/koeajoissa. Kattilan nuohoustarve syntyy polttoaineena käytettävän kivihiilen sekä kaasuttimen tuotekaasun johdosta.

Kun tutkittiin nuohoustapojen muutostarpeita ja –mahdollisuuksia, selvitettiin ensin viime vuosien nuohoushistoriaa, jonka perusteella laadittiin vesi- ja höyrynuohouksen koeajo-ohjelma. Koeajo-ohjelman tarkoituksena oli selvittää mahdollisuutta ns. kattilan täsmänuohoukseen sekä selvitään automaation hyväksikäyttö nuohousajan optimoimiseksi. Koeajoja suoritettiin aikavälillä 23.03.2009 – 12.04.2009. Niiden perusteella nuohousta voitaisiin suorittaa tehokkaammin.

1.1 Työn tavoitteet

Tämän työn tavoitteena on tutkia Kymijärven voimalaitoksen pääkattilan toimintaa ja nuohouskäytäntöjä kattilan normaalikäytön aikana sekä määrittää optimaalinen nuohoustiheys eri nuohousryhmille. Kattilassa käytetään neljää erilaista nuohointyyppiä: vesi-, höyry-, vesisuihku- ja ääninuohoimia. Pääasiallisina nuohoimina käytetään vesi- ja höyrynuohoimia, jotka otetaan työhön mukaan. Muut nuohoimet jätetään työn ulkopuolelle.

2 YRITYSESITTELY

2.1 Yleistä

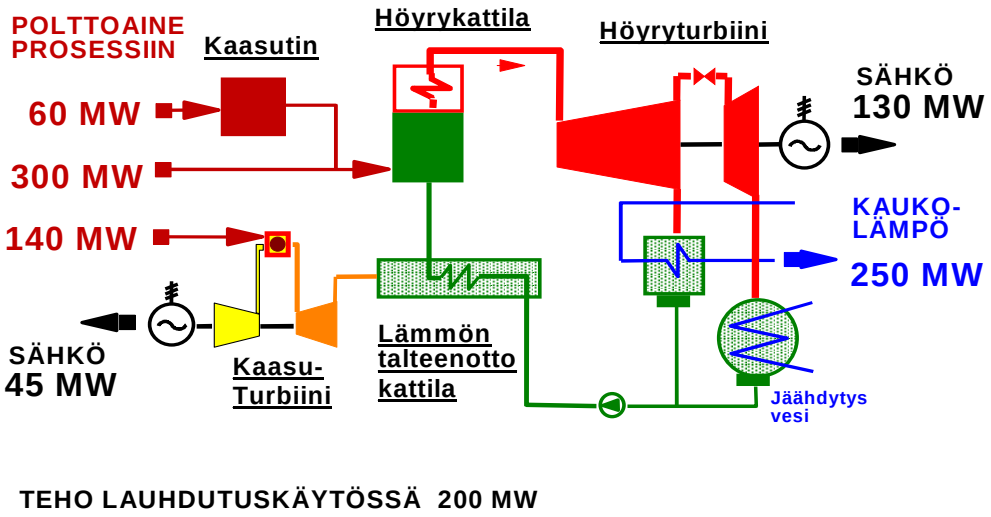
Lahti Energia Oy on Lahden kaupungin omistama, monipuolinen energia-alan yritys, joka on perustettu vuonna 1907. Päätuotteisiin kuuluvat sähkö, kaukolämpö, maakaasu sekä höyry. Jakeluverkkoon kuuluvat Lahden lisäksi Nastola, Hollola, Hämeenkoski, Asikkala sekä osin Iitti. Jakelualueella on noin 81 000 asiakasta. Kilpailun vapauduttua Lahti Energia on saanut asiakkaita myös muualta Suomesta. Lahti Energian pääkonttori sijaitsee Kauppakatu 31:ssä. Yhtiöllä on kuitenkin monia toimipaikkoja eripuolella Päijät-Hämettä ja Lahti Energian palveluksessa toimii noin 210 henkilöä. Liikevaihto on kasvanut tasaisesti ja oli vuonna 2006 142,8 miljoonaa euroa. Liikevoitto oli puolestaan 34,7 miljoonaa euroa eli 24,3 % liikevaihdosta. (Lahti Energia 2006, 5.)

2.2 Kymijärven voimalaitos

Tärkein yksittäinen tuotantolaitos on Kymijärven voimalaitos, jonne opinnäytetyö tehtiin.

Kuvasta 1 nähdään voimalaitoksen pääprosessi. Prosessia voidaan ajaa joko ns. talvi- tai kesäkäytöllä. Talvikäytössä eli ns. kombikytkennällä kaasuturbiinin pakokaasujen lämpöä käytetään pääprosessin syöttöveden lämmittämiseen. Pakokaasut siis otetaan talteen pakokaasukattilaan, jossa lämmitetään höyrykattilan syöttövettä. Kesäkäytöllä pakokaasukattilaan talteenotettu lämpö lämmittää puolestaan kaukolämpövettä. Tätä ajotapaa käytetään pääprosessin seisoessa eli nimensä mu-

kaisesti kesällä sekä mahdollisesti pääprosessin rinnalla joissain erikoistilanteissa. (Tarvainen 2009.)



Kuvio 1, Kymijärven voimalaitoksen prosessikaavio

3 PÄÄKATTILA

3.1 Yleistä

Kymijärven voimalaitoksen höyrykattila on tornimallinen, Benson-tyyppinen läpivirtauskattila. Se on otettu käyttöön vuonna 1975, jolloin polttoaineena käytettiin pelkästään öljyä. Kattila on varustettu välitulistuksella, jonka lämpötilaa voidaan säätää kierrättämällä savukaasuja sähkösuodattimen jälkeen takaisin tulipesään polttimien kautta. Öljykäyttöisenä kattilan nimelliskuorma oli 136 kg/s (490 tn/h). Kattilaprosessin tarkoituksena on tuottaa höyryä turpiinille.
(Tarvainen 2009.)

Alkuperäiseen kattilan on tehty muutoksia seuraavasti:

- kivihiilimuutos v. 1982
- maakaasumuutos v. 1986
- kaasutinmuutos v. 1997.

Kivihiilimuutoksen jälkeen kattilan nimelliskuorma on 125 kg/s (450 tn/h). Näillä muutoksilla kattilan polttoainevalikoima on monipuolistunut ja alkuperäisen polttoaineen öljyn käyttö on vähentynyt minimiin.

Tulipesän lämpöpintojen puhdistamiseksi on asennettu 32 vesinuohointa ja kattilan jälkilämpöpintojen puhdistamiseksi 38 pitkäruuvinuohointa. Ljungström-luvon lämpöpintojen puhdistamiseksi on sekä ennen että jälkeen luvon I höyryllä toimiva kääntöputkinuohoin. Puhallushöyry kattila- ja luvon nuohoimille otetaan kattilan välitulistinosasta ennen välitulistin I:tä, ja sen paine alennetaan paineenalennusventtiilillä tarpeelliseen arvoon. Vesinuohointen vedensyöttöä varten on oma putkistosysteemi. (Tarvainen 2009.)

3.2 Benson kattilan toiminta

Voimalaitoksen kattila on Benson-tyyppinen pakkoläpivirtauskattila, jonka toiminta voidaan jakaa kahteen päävaiheeseen:

- Höyrystimessä paineistettu vesi kuumennetaan ensin kiehumispisteeseensä ja sitten höyrystetään.
- Tulistimessa höyry tulistetaan eli sen lämpötila nostetaan kiehumispistettä korkeammaksi.

Benson-kattilassa pakotetaan jokainen sisään syötetty vesihiukkanen pumppausvoiman avulla kulkemaan yhtä tietä koko kattilan läpi. Tällä tiellä se ottaa vastaan lämpöä, joka muuttaa vesihiukkasen höyryksi. Tämä läpikulku voitaisiin ajatella tapahtuvaksi yhdessä ainoassa putkessa, jota lämmitetään koko pituudeltaan. Syöttöveden lämpötilassa sisään tuleva vesihiukkanen ottaa ensin vastaan lämpöä, joka nostaa veden lämpötilan kiehumispisteeseen. (Tarvainen 2009.)

Tämän jälkeen siirtyvän lämmön vaikutuksesta vesi alkaa höyrystyä ja höyrystyminen jatkuu, kunnes koko vesimäärä on muuttunut höyryksi. Tämän vaiheen aikana, siis höyrystymislämmön tuomisen ajan, ei lämpötila muutu. Koko vesimäärän muututtua höyryksi on saavutettu kylläisen höyryn piste. Tässä pisteessä on höyryn osuus 100 % ($x = 1$). Edellä kuvattu höyrystymisen kulku tapahtuu vain, jos veden/höyryn paine on alle 221,2 bar. Tämän arvon alapuolella olevia paineita nimitetään alikriittisiksi ja yläpuolella olevia ylikriittisiksi paineiksi. (Ala-Hakula 1999.)

Kylläisen höyryn lämpötila nostetaan kiehumispistettä korkeammaksi tulistimissa. Lämpötilan nostaminen kasvattaa myös höyrystä saatavan liike-energian määrää. Tämä tarkoittaa sitä, että mitä kuumempaa höyryä turpiinille johdetaan, sitä suurempi on höyryn liike-energia ja sitä enemmän turpiinista saadaan tehoja irti. Käytännössä höyryn lämpötila tulistuksessa voi olla maksimissaan noin 550 °C materiaaliteknisten rajoitusten vuoksi. Höyryä siis tulistetaan käytännössä pari sataa astetetta. (Huhtinen, Kettunen, Nurminen & Pakkanen 1994, 174.)

3.3 Lämmönsiirtyminen

Kattilan putkipinnat on järjestetty jaksoittain seuraavasti:

- ekoksi (=veden esilämmitin)
- höyrystimeksi
- tulistajaksi.

Kattilan syöttövesi pumpataan kuvan 2 mukaisesti korkeapaine-esilämmittimien kautta (ja/tai kt-pakokaasukattila) kattilan veden esilämmittimille eli Ekolle. Ekon lämmönsiirtopaketit sijaitsevat savukaasuvirrassa tulipesän, korkea- ja väli-painetulistimien jälkeen.

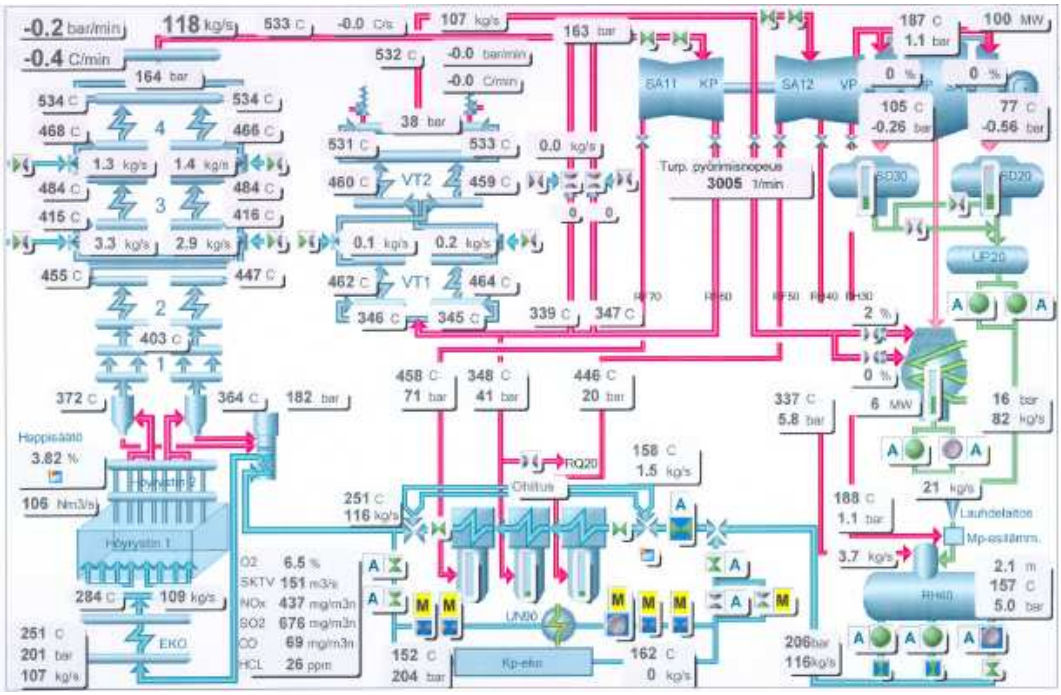
Kattilan ulkoseinät muodostuvat höyrystin I- ja höyrystin II-putkista. Höyrystin I -putket muodostavat kattilan tulipesän (kattilan alempi osa) ja höyrystin II-putket kattilan ylemmän osan (tulistimien ulkopuoli). Tulipesässä ei ole pohjaa. Viistot sivuseinät muodostavat tulipesän alaosaan suppilon (kattilasuppilon), jonka kautta tuhka putoaa alapuolella olevaan märkäkuonanpoistimeen.

Höyrystin I- ja höyrystin II-putket on liitetty toisiinsa hitsaamalla niiden väliin evälevy ja ne muodostavat näin ollen kaasutiiviin seinän. Samalla tavoin on höy-rystin II:n ja höyrystin I:n välinen liitos hitsattu kaasutiiviisti. Höyrystin I:n putket kulkevat spiraalinmuotoisesti alhaalta ylös. Höyrystin II:n putket on sitä vastoin asennettu pystysuoraan. Molemmissa höyrystimissä on virtaussuunta alhaalta ylöspäin. (Tarvainen 2009.)

Höyrystimestä höyry menee kattilan sykloneille eli vedenerottimille, joita käyte-tään lähinnä kattilan käynnistys- ja pysäytystilanteessa, jolloin höyrystimessä kul-keva syöttövesi ei täysin muutu höyryksi.

Tämän jälkeen höyry johdetaan kattilan korkeapaineosan tulistimiin yksi ja kaksi, minkä jälkeen kokoojatukkeihin (ruiskutusjäähdyttimet), joissa koko vesi-höyryseos tai höyry sekoitetaan. Toisin sanoen käytännössä tulistimen kaksi jäl-keisiä lämpötiloja alennetaan ruiskuttamalla kokoojatukkeihin syöttövettä.

Toisen tulistimen jälkeen höyry johdetaan tulistimiin kolme ja neljä, joiden välissä on myös kokoojatukit (ruiskutusjäähdyttimet), jotka toimivat vastaavalla kuin edellä on esitetty. Neljännen tulistimen jälkeen kp-höyry johdetaan turpiinin kp-osaan.



Kuva 1, Voimalaitosprosessin vesihöyrykierto (Metso Dna)

3.4 Kattilan käynnistys ja pysäytys

Kattila käynnistetään ja pysäytetään ns. kierrätysajolla, jolloin käytössä on käynnistyslämmönvaihdin (= pullo vrt. lieriökattilassa; lieriö). Tällöin kaikki syöttövesi ei höyrysty (katso kohta 3.2), vaan höyrystymätön osa ajetaan joko kanaaliin tai syöttövesisäiliöön kattilan ajotilanteen mukaan. (Tarvainen 2009.)

3.5 Ajotavat

Kattilan käytössä olevat ajotavat ovat käytännössä osakuorma tai täysi teho. Osakuormaa ajetaan niin, että kattila on minimissään ns. Benson-käytöllä. (Tarvainen 2009.)

Voimalaitos on rakennettu lämpölaitokseksi, jolloin kattilakuorman määrittää pääsääntöisesti lämpökuorma kaukolämpöverkolla. Pääkattilan ollessa täydellä teholla (125 kg/s, 350 MW) on maksimi kaukolämpöteho 200 MW. Lisäkaukolämpöä saadaan tarvittaessa käynnistämällä pääprosessin rinnalle kaasuturpiini ns. kombikytkennällä, jolloin maksimi kaukolämpöteho on 250 MW. Verkon kaukolämpökuorman pienentyessä edelle kuvatuista tilanteista voidaan pääprosessia ajaa edelleen täydellä teholla tai käyttää kaasuturpiinia rinnalla, koska pääprosessin höyryturpiini on varustettu lauhduttimella, johon tällöin ajetaan kaukolämmöntuotantoon tarkoitettu höyrymäärä ja näin ollen saadaan lisää sähköä. (Tarvainen 2009.)

Käytännössä kattilaa ajetaan täydellä teholla lähes koko ajokauden ajan, eli edellisestä revisiosta (=vuosihuolto) seuraavaan revisioon. Ajokaudella on kuitenkin jonkin verran tarvetta ajaa kattilaa osakuormalla esimerkiksi syksyllä tai keväällä, riippuen pörssisähkön hinnasta. Osakuorman ajamisen merkittävin tarve tulee kaukolämpöverkon lämpökuorman vähenemisen myötä. (Tarvainen 2009.)

3.6 Polttoaineet

Kymijärven voimalaitos valmistui vuonna 1975. Aluksi se oli pelkästään öljykäyttöinen. Kivihiilen käytön mahdollistava polttoainemuutos tehtiin vuonna 1982. Maakaasun käyttö tuli ajankohtaiseksi vuonna 1986, jolloin rakennettiin kaasuturpiinilaitos sekä varustettiin pääkattila maakaasupolttimilla. Biomassasta ja kierrätyspolttoaineista tuotekaasua valmistava kaasutinlaitos käynnistyi puolestaan vuonna 1998. (Takala 2002, 2.)

Kymijärven voimalaitos tuottaa omistajalleen Lahti Energia Oy:lle sähköä ja kaukolämpöä. Laitoksen sähköteho on 200 MW ja kaukolämpöteho 250 MW. Vuodessa laitoksen energian tuotanto on noin 1000 GWh kaukolämpöä ja 600-1000 GWh sähköä. Päähöyrykattilana toimii Benson-tyyppinen läpivirtauskattila. Kattilan höyryn arvot ovat 125 kg/s 540 °C/170 bar/540 °C/40 bar. (Takala 2002, 2.)

Vuosittain pääkattilassa käytetään noin 1700 GWh/a (250,000 ton/a) hiiltä, noin 350 GWh tuotekaasua sekä noin 150 GWh maakaasua. Kaasuturbiini käyttää vuosittain noin 300 GWh maakaasua. Kaasuttimella valmistettava tuotekaasu korvaa noin 15-20 % kattilan fossiilisesta polttoaineesta. Lisäksi tuotekaasun käyttö vähentää voimalaitoksen hiilidioksidipäästöjä prosentuaalisesti lähes yhtä paljon. Erittäin vähärikkinen hiili ja kaasupolttoaineiden käyttö mahdollistavat kattilan rikkidioksidipäästöjen pysymisen päästörajan alapuolella. Polttotekniset toimenpiteet ja low-nox-polttimet pitävät puolestaan typen oksidipäästöt alhaalla. Myös aiemmin mainittu kaasupolttoaineiden käyttö vähentää typen oksidipäästöjä. Aikaisemmin polttoaineena käytettiin myös kevytöljyä, mutta nykyään sitä käytetään vain varapolttoaineena. (Takala 2002, 2.)

3.6.1 Kivihiili

Kattilan pääpolttoaineena käytetään kivihiiltä. Yleisin hiilen kuljetusreitti on laivalla Pietarin satamasta Loviisan sataman välivarastoon tai suoraan laivasta voimalaitokselle rekkarahdilla. Hiilen purkauspaikka on rakennettu siten, että hiiltä on mahdollista kuljettaa myös rautateitse. Voimalaitoksen hiilenvarastointimahdollisuus on 230 000 tonnia. Hiili siirretään purkauspaikalta hiilikentälle ja hiilikentältä voimalaitokselle hihnakuljettimilla. Kuljettimien yhteyteen on rakennettu kaksi raudan- ja puunerotusasemaa sekä murskausasema. (Takala 2001, 1, 2.)

Laitoksella on kolme kuularengastyyppistä hiilimyllyä, ja jokaisessa myllyssä on viisi kuulaa, joista jokainen painaa 1600 kg. Kuulat pyörivät jauhinrenkaan päällä murskaten hiilen pölyksi. Jokaiselle myllylle on oma hiilisiilonsa, josta hiiltä syötetään myllyille lamellityyppisten annostelijoiden avulla. (Tarvainen 2001, 1.)

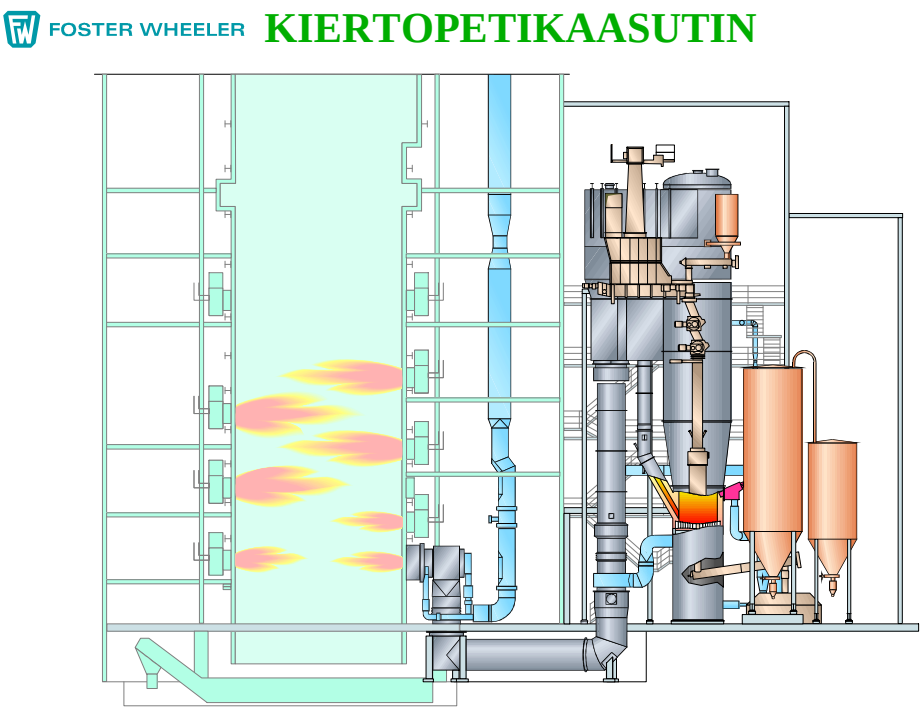
Hiilipöly kuljetetaan kantoilman avulla kattilan kolmelle alimmalle poltintasolle, jossa palaminen tapahtuu. Jokainen mylly syöttää yhtä poltintasoa. Poltintaso koostuu neljästä polttimesta. (Tarvainen 2001, 1.)

Kattilassa käytetään pääasiassa vähärikkistä Venäläistä hiiltä, joka on peräisin Kuznetskin alueelta. Alueen hiili tunnetaan myös pienestä tuhkapitoisuudesta. (Moilanen & Äijälä 1984, 94.)

3.6.2 Kaasuttimen polttoaineet

Kaasuttimen polttoaine muodostuu polttoainesuhteesta 40 % REF-polttoainetta sekä 60 % biopolttoainetta. Pääsääntöisesti tämä polttoaine tuodaan voimalaitosella Päijät-Hämeen alueelta. Voimalaitoksella suoritetaan polttoaineen murskaus n. 50 x 50 mm kokoon. Tyypillinen polttoaineen tiheys on 200 – 250 kg/m^3. Kaasuttimessa on käytetty vuosittain polttoainetta 100.000 tonnia. (Tarvainen 2009.)

Kaasuttimen kykentä pääkattilaan on esitetty kuvassa 3.



Kuva 2, kaasuttimen kytkentä pääkattilaan (Foster Wheeler)

3.6.3 Maakaasu

Voimalaitoksella käytetään Venäläistä maakaasua, joka on Gasum Oy:n maahantuomaa. Voimalaitoksen vieressä sijaitsee paineenvähennysasema, jossa kaasun paine lasketaan kulutuskohteesta riippuen oikealle tasolle. Tämän jälkeen kaasu siirretään omia siirtoputkistoja pitkin kulutuskohteisiin.

3.6.4 Öljy

Öljy toimii kattilan varapolttoaineena. Kattilassa on poltettu viimeksi öljyä v. 1999, jolloin suoritettiin lyhyitä testijaksoja öljypolttimille.

3.7 Käytetyt polttoainemäärät

Voimalaitoksen pääkattilan käyttämät polttoainemäärät on esitetty taulukossa 1.

TAULUKKO 1. Vuosittaiset polttoainemäärät

Vuosi	2006	2007	2008	2009
Kivihiili	330 ktn	270 ktn	185 ktn	85 ktn
Maakaasu	3339 km^3n/s	4787 km^3n/s	8477 km^3n/s	1116 km^3n/s
Kaasutin	95 ktn	86 ktn	69 ktn	23 ktn

Vuoden 2008 kattilan käyttämä pienempi polttoainemäärä johtuu voimalaitokselle tehdystä automaatiojärjestelmän uudistamisesta nykyaikaiseen järjestelmään. Samana vuonna esitetty korkeampi maakaasumäärä johtuu edellä esitetyn automaatiojärjestelmän käyttöönoton yhteydessä suoritettujen koeajojen tarpeeseen. Vuoden 2009 tiedot ovat maaliskuun loppuun saakka.

4 JÄLKITUOTTEET LENTOTUHKA JA POHJAKUONA

4.1 Yleistä

Polttoaineet voidaan luokitella likaantumisominaisuuksiensa mukaan karkeasti helppoihin ja vaikeisiin polttoaineisiin. Voimalaitoksen pääpolttoaine kivihiili kuuluu vaikeisiin polttoaineisiin. Helppoihin polttoaineisiin voidaan laskea maakaasu, jota käytetään esimerkiksi käynnistysten yhteydessä, sekä kevyt polttoöljy, jota käytetään ainoastaan varapolttoaineena. (Voimalaitoskoulutus 1999, 9.)

Poltettava kivihiili voidaan jakaa kolmeen pääosaan: palava-ainesosa, tuhka ja vesi. Tuhka koostuu erilaisista palamattomista mineraaleista, jotka voivat poltossa sulaa ja muuttaa hieman kemiallista kokoonpanoaan. (Kivelä 1992, 1.)

Kivihiilen polttamisesta syntyy siis tuhkaa, joka aiheuttaa kattilassa likaantumista ja eroosiota. Kivihiilikattilat joudutaan mitoittamaan tuhkaamisen mukaan. Tärkeä tunnusluku on siis kivihiilen tuhkapitoisuus. Suuri tuhkapitoisuus heikentää hiilen syttymistä ja jauhatuskapasiteettia. Kuitenkin normaalilla kivihiilellä, jonka tuhkapitoisuus on 10-17 %, on vain vähäinen vaikutus syttymiseen. Kymijärven voimalaitoksen hiilimyllyissä voisi käyttää hiiltä, jonka tuhkapitoisuus on 15 %, mutta laitoksella käytettävän hiilen tuhkapitoisuus on keskimäärin vain 10 %, joten tuhkapitoisuus ei aiheuta ongelmia. (Kivelä 1992, 2.)

4.2 Tuhkan sulaminen

Mikäli kattilan lämpötila on tuhkan sulamislämpötilaa korkeampi, tuhka sulaa kattilassa. Lämpötila nousee sulamispistettä korkeammalle polttimien ympäristössä paikallisesti sekä itse liekissä, näillä alueilla syntyy niin sanottu pohjakuona. Kuonaa saattaa kertyä suuriakin möykkyjä sulamisen ja sintraantumisen seurauk-

sena. Pohjakuona poistetaan kattilan pohjalta märkänä. Mikäli kattilan lämpötila on tuhkan sulamispistettä korkeampi tulipesän seinien vieressä tai juuri ennen tulistimia, tarttuu kuona kiinni seiniin ja tulistinputkiin. Myös tuhkan kemialliset ominaisuudet sekä viskositeetti vaikuttavat tarttuvuuteen. Viskositeetin kasvaessa myös alttius tarttua tulipintoihin kasvaa. Kymijärven voimalaitoksen tulipesän loppulämpötila ennen tulistimia on noin 1250-1300 °C, joten tuhkan sulamislämpötilan tulisi olla tämän yläpuolella. (Kivelä 1992, 3.)

4.3 Kuonaamis- ja likaantumistunnuslukujen laskenta

Matemaattisesti on mahdollista laskea kuonaamista ja likaantumista kuvaavia tunnuslukuja, kun tuhkan kemiallinen analyysi tunnetaan. (Kivelä 1992, 3.)

- Kuonaamisen tunnuslukuja ovat: rajaviskositeettilämpötila, SiO_2-suhde, emäs/happosuhde sekä kuonaantumisindeksi.

Konvektiopintojen likaantumista kuvaavia tunnuslukuja ovat: alkaaliluku sekä likaantumiskerroin.

Vuosina 2007 – 2008 tunnuslukuja on laskettu kolmen kuukauden välein. Kuonaamistaipumuksen tunnuslukuina on käytetty SiO_2-suhdetta, emäs/happosuhdetta sekä kuonaantumisindeksiä. Konvektiopintojen likaantumista kuvaavaksi tunnusluvuksi on käytetty likaantumiskerrointa. Liitteenä 1 on taulukko, josta nähdään kahden vuoden tunnusluvut. Liitteen 1 perustella voidaan todeta, että kuonaamistaipumuksen SiO2-suhde sekä emäs/happo-suhde ovat keskimääräisellä tasolla. Kuonaamisindeksi on sitä vastoin todella matalalla tasolla.
Konvektiopintojen likaantumista kuvaava likaantumiskerroin on kattilan tuhkan ja kuonan osalta normaalilla tasolla. Kaasuttimen polttoaineiden likaantumiskerroin puolestaan vaihtelee suuren ja hyvin suuren välillä.

4.4 Tuhkan ja pohjakuonan muodotumismäärät

Taulukossa 2 on esitetty tuhkan ja pohjakuonan määrät vuosina 2006 – 2009 vertailuna käytettyyn hiilimäärää. Vuoden 2009 osalta tiedot ovat maaliskuun loppuun saakka.

TAULUKKO 2. Tuhkan ja pohjakuonan määrät

TUOTE		2006	2007	2008	2009
Hiilimäärä kok.	tn	341 380	273 000	185 161	85170
Lentotuhka kok.	tn	42 482	32 410	25286	11831
	%	12,4	11,9	13,7	13,8
	tn/h	5,3	4,4	4,9	5,7
Pohjakuona kok.	tn	5162	4229	2409	1108
	%	1,5	1,5	1,3	1,3
	tn/h	0,64	0,57	0,46	0,53
Kattila käyttö kok.	h	8006	7306	5187	2059

Syntyvän lentotuhkan ja pohjakuonan määrä suhteessa poltettuun kivihiilimäärään on ollut hyvin samalla tasolla. Tuotteiden tonnimäärät on saatu vaakaraporteista. Kattilan käyttöaika on koko vuoden kattilankäyttötunnit, sisältäen myös vähäisen määrän maakaasun käyttöä kattilassa. Vuoden 2009 osalta tiedot ovat maaliskuun loppuun saakka.

4.5 Lentotuhkan palamattomien määrä

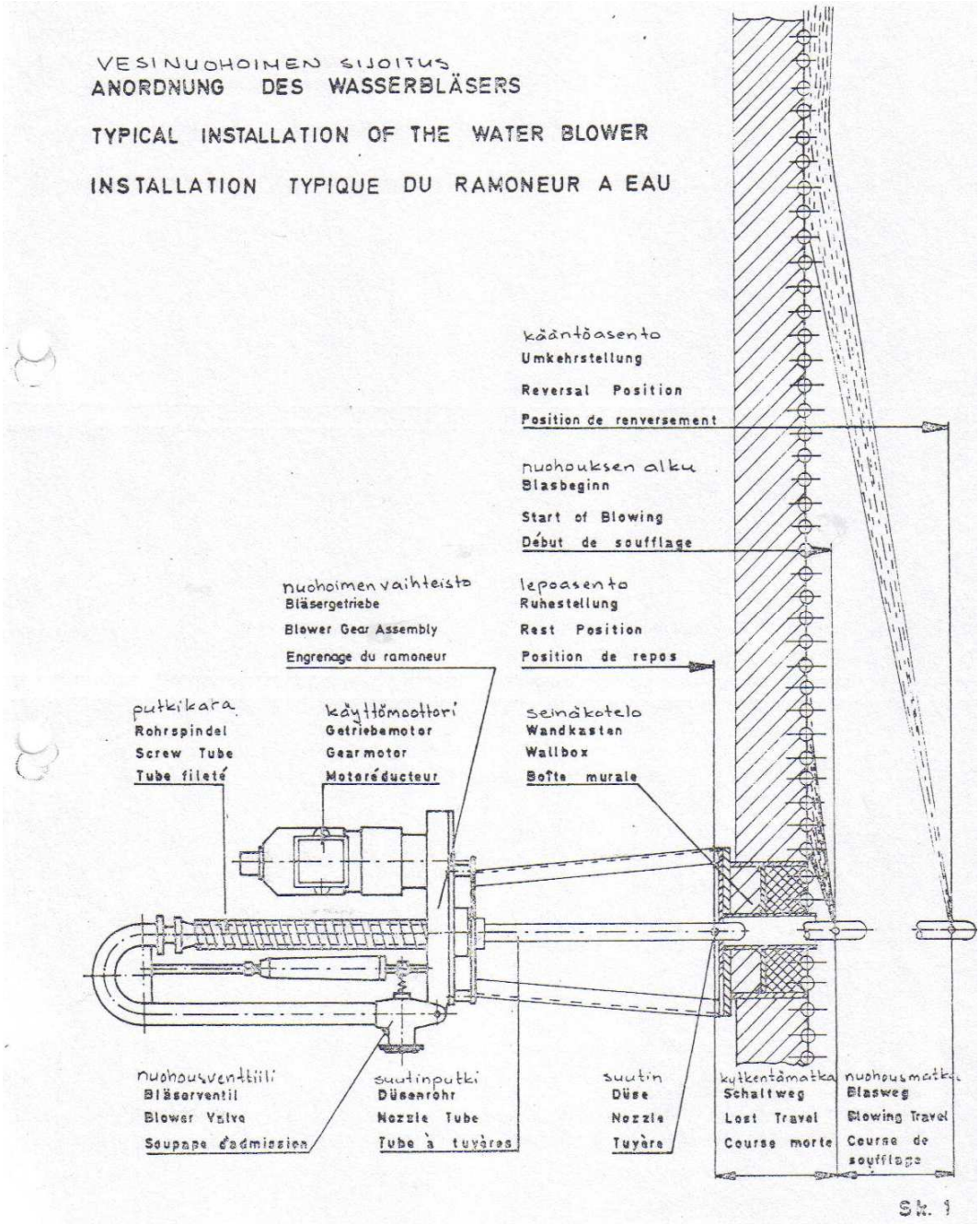
Tuhkan sekaan jää aina hieman palamatonta materiaalia. Kymijärven voimalaitoksella palamattomien aineiden määriä tuhkassa mitataan päivittäin tehtävillä kokeilla. Liitteinä 2 ja 3 on taulukot tuhkan sisältämistä palamattomien aineiden määristä vuoden 2008 helmi- ja huhtikuulta. Taulukoista voidaan laskea keskiarvo tuhkan sisältämille palamattomille aineille. Kahden kuukauden keskiarvoksi muodostuu 6,7 % palamattomia aineita ja helmikuun mittaustulosten hajonta on hieman pienempi kuin huhtikuun.

5 NUOHOUSJÄRJESTELMÄT

5.1 Vesinuohous

Kattilan tulipesän alueella käytetään vesinuohousta. Nuohousvetenä toimii järvivesi. Pääjäähdytysvesiputkesta otetaan oma linja nuohousvesipumpuille, joilla nostetaan oikea nuohousvesipaine nuohoimille. Käytännössä vesinuohoimet ajetaan aina määriteltynä parina, eli kahta nuohointa yhtä aikaa. Nuohousveden paine vaihtelee välillä 7-8 bar.

Vesinuohoin on kuvan 4 mukainen SK 58 E nuohoin, jota käytetään seinälämpöpintojen (=höyrystin 1, tulipesän alue) puhdistukseen. Käytännössä nuohoimen suutinputki, joka on varustettu yhdellä tai useammalla ruiskutussuuttimella, ajaa kiertyen tulipesään, muuttaa ensimmäisessä raja-asennossa kiertosuuntaa ja palaa lähtöasemaansa. Suutinputki on liitetty takapäästään laippaliitoksella putkikaraan. Putkikaraa käyttää kaksinopeuksinen sähkömoottori, joka saa aikaan suuttimen kiertoliikkeen. (Bergeman.)

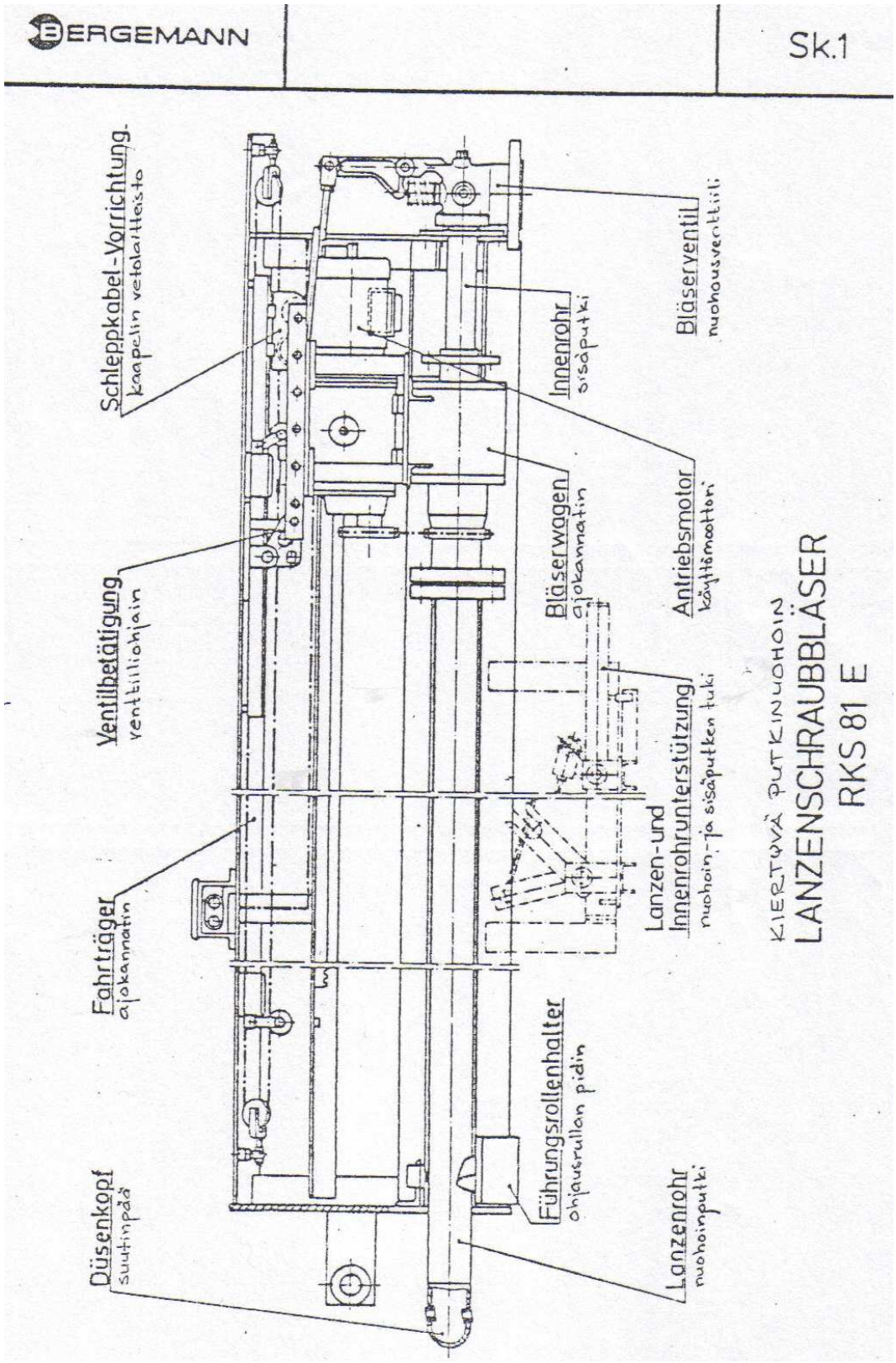


Kuva 3, SK 58 E vesinuohoin

5.2 Höyrynuohous

Kattilan tulistin alueella käytetään höyrynuohousta. Nuohoushöyrynä toimii kattilan välitulistuksen höyry (kylmä vt-höyry). Höyrynuohoimia ajetaan aina vain yksi kerralaan vrt. vesinuohous pareittain. Käytettävä höyryn paine on maksimissaan 15 bar, nuohoimella painetta säädetään kuristusventtiilillä tasolle 10-11 bar. Höyrynuohuoksessa tarvittava höyrynlämpötila on minimissään 240 °C.

Käytössä on kuvan 5 mukainen RKS 81 E ruuvinuohoin, joka on suunniteltu etupäässä verho- ja putkitulistimien puhdistukseen. Nuohoin muodostuu nuohouselementistä ja puhallusputkesta. Käytännössä nuohousputki, jonka kärkeen on sijoitettu kahdella venturisuuttimella varustettu suutinpää, ajaa sisään savukaasuvetoon, muuttaa etummaisessa ääriasennossa liikesuuntansa ja palaa takaisin lähtöasemaansa. Tässä yhteydessä molemmat suuttimet tekevät ruuvimaisen liikkeen. Suutinputken nousu yhdellä kierroksella sovitetaan tulipinnan puhdistukseen. Puhallussuihkujen muodostuminen on vain puolet tästä matkasta, koska suuttimet on sijoitettu 180 ^{o} kulmaan toisiinsa nähden. Puhallussuihkujen matka sekä kartiomainen laajeneminen varmistavat onnistuneen puhdistuksen. (Bergeman.)



Kuva 4, RKS 81 E höyrynuohoin

5.3 Vesisuihkunuohous

Kattilan tulipesän alueella on käytössä myös täydentävänä nuohouksena vesisuihkunuohous.

Kattilan etu- ja takaseinälle on asennettu ns. WLB-nuohoin. Tämä vesisuihkunuohoin nuohoaa pistemäisesti valitun nuohouskuvion kattilan vastakkaiselta sivu- tai päätyseinältä. Eri nuohouskuvioita on käytössä kuusi vaihtoehtoa per nuohoin. Näitä vesisuihkunuohoimia voidaan käyttää myös joysticin avulla, jolloin pistemäinen vesisuihku voidaan kohdistaa haluttuun kohtaan. Näin on menetelty esimerkiksi kattilan pohjasuppilon poikkeuksellisissa nuohoustarpeissa. Vesisuihkunuohous tapahtuu järviveden avulla ja nuohousveden paineena käytetään 14 bar:n painetta. (Tarvainen 2009.)

Vesisuihkunuohouksen vaikutus kattilan vesi- ja höyrynuohoukseen on jätetty tämän työn ulkopuolelle.

5.4 Ääninuohous

Kattilassa on käytössä myös neljä Nifaronin ääninuohointa, jotka sijaitsevat savukaasuvirrassa ensimmäisen välitulistimen jälkeen Ekon (=veden esilämmitin) alueella. Näillä nuohoimilla on korvattu ko. alueella olevat höyrynuohoimet. Ääninuohoimet käyttävät nuohouksen väliaineena instrumentti-ilmaa ja nuohousvaikutus saadaan aikaan tietyllä äänen tasolla ja voimakkuudella. Käytännössä yksi ääninuohoin nuohoaa kerrallaan halutun asettelun mukaisesti, esimerkiksi nuohousaika 24 s ja taukoaika kymmenen minuuttia. Nuohouksen aikana annetaan pulssimaisia nuohousääniä. (Tarvainen 2009.)

6 NUOHOUSHISTORIA

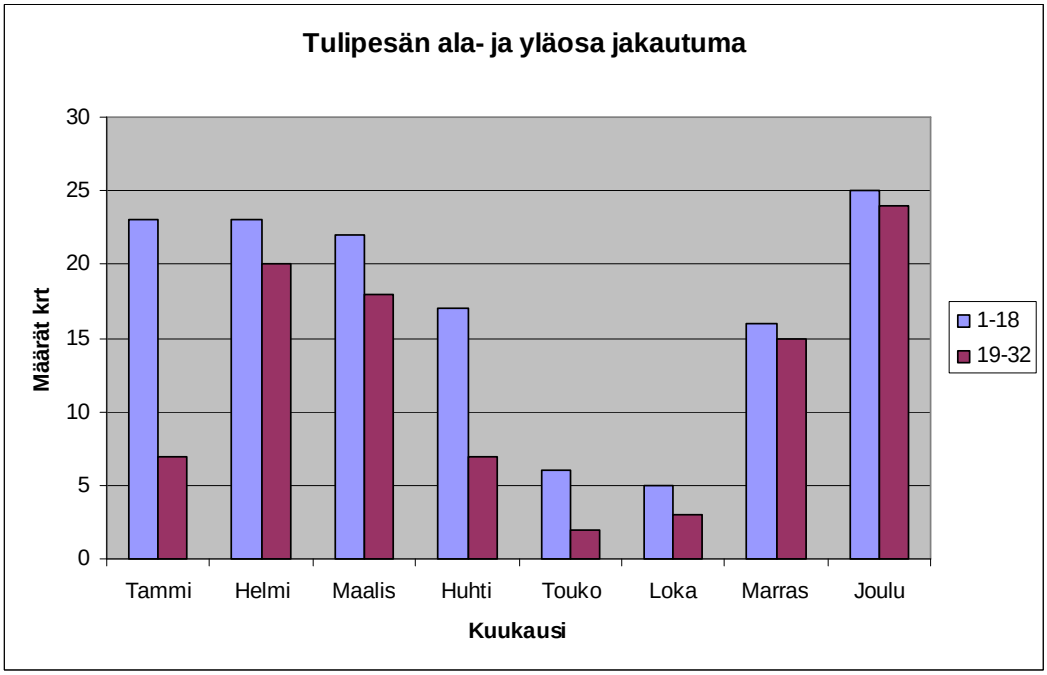
6.1 Yleistä

Pääkattilan nuohous voidaan jakaa seuraaviin osa-alueisiin kattilatehon mukaan:
- kattilan täysi teho
- kattilan osakuorma
- kattilan minimikuorma

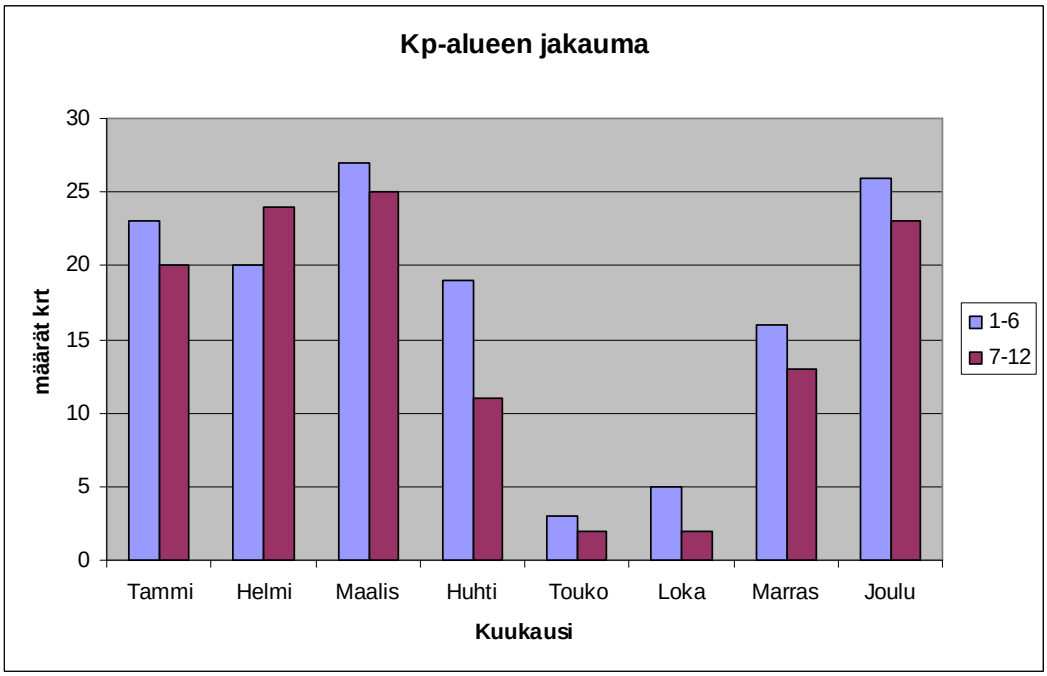
Kun kattilassa ajetaan täydentehon kuormaa, joka edustaa valtaosaa kattilan käyttöajasta, toimii polttoaineena hiili ja kaasuttimen tuotekaasu. Tällöin kattilaa voidaan nuohota selkeän kaavan mukaan. Kuitenkin nykyinen nuohostapa on mahdollisesti liian kaavamainen, ilman että se voidaan indikoida esille esimerkiksi tietyistä prosessiarvoista.

Kattilan osakuorma vaikuttaa kattilan nuohoustarpeeseen siten, että kokonaisnuohoustarve pienenee. Mikäli nuohousta suorittetaisiin samoin kuin täyden tehon tilanteessa, ei kattilan tuottamia oikeita prosessiparametreja pystyttäisi pitämään mm. korkea- ja välipainehöyryn lämpötilat. Samankaltainen tilanne on myös kattilan minimikuormalla.

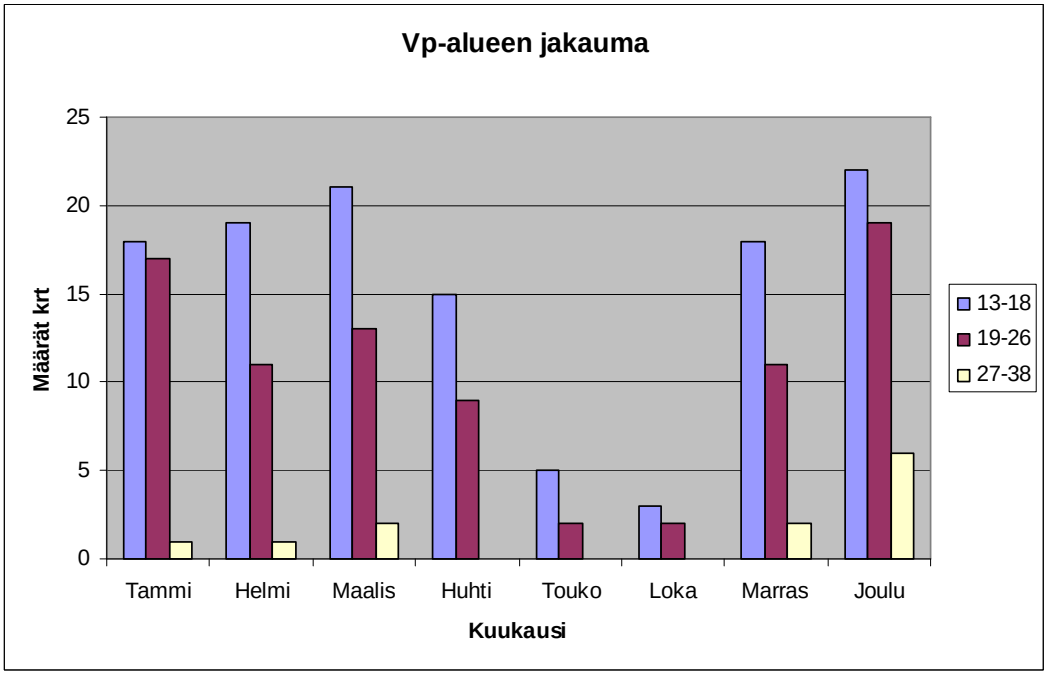
Kuvioista 1-3 nähdään vuoden 2008 aikainen käyttöjärjestelmään ohjelmoitujen nuohousryhmien käyttö. Liiteinä 4-6 on taulukot kaikista käytetyistä nuohouskombinaatioista.



Kuvio 2, tulipesän nuohousjakautuma



Kuvio 3, kp-alueen nuohousjakautuma



Kuvio 4, vp-alueen nuohousjakautuma

6.2 Kattilan tulipesän nuohous

Liitteenä 4 on taulukko tulipesän nuohoamisesta. Liitteestä havaitaan, että vuoden 2008 aikana tulipesää nuohottiin pääasiassa valmiiden automaatiojärjestelmään tehtyjen nuohousryhmien kautta. Monia muitakin kombinaatioita käytettiin, mutta lähinnä yksittäisesti. Eniten käytetty poikkeava yhdistelmä oli tulipesän nuohous kerralla, eli kombinaatio, jossa on mukana nuohoimet 1-32. Liitteestä 4 voidaan myös nähdä, että tulipesän alaosaa nuohotaan hieman enemmän kuin yläosaa. Tällä halutaan estää kuonan kerääntymistä kattilan alaosaan. Nuohouksen suurempi määrä tulipesän alaosassa ei kuitenkaan ole laitoksella sovittu asia, vaan varmuuden vuoksi tehtävä toimenpide.

Vuoden 2009 alussa voidaan huomata, että perusnuohousryhmien käyttö on hieman vähentynyt edellisestä vuodesta. Muita manuaalisesti valittavia yhdistelmiä on käytetty perusryhmien korvaajina. Esimerkiksi tulipesän kahden alimman poltintason nuohoimia 1-12 on käytetty melko useasti täsmäaseena kuonan kerääntymistä vastaan. Tulipesän ylimpien nuohoimien 29-32 käyttö on myös vähentynyt

ja tilalle on tullut nuohoimien 19-28 käyttöä. Tätä voidaan selittää polttimien sijainnilla. Nuohoimien 29-32 alueella ei enää sijaitse polttimia, joten kuonan kertyminen on vähäisempää kuin alempana.

6.3 Kattilan korkea- ja välipaineosan nuohous

Liitteenä 5 on taulukko kattilan korkeapaineosan nuohouksesta. Taulukosta voidaan havaita, että vuoden 2008 ja 2009 alun aikana kp-alueen nuohouksessa on käytetty lähes poikkeuksetta valmiita nuohousryhmiä 3 ja 4. Taulukosta nähdään myös, että kp-alueen alaosaa eli nuohoimia 1-6 on käytetty hieman enemmän kuin yläosan nuohoimia. Jos yksittäisten nuohointen käyttö huomioidaan, pienentyy ero vielä hieman. Taulukon teossa yksittäisesti valittujen nuohoimien käyttöä ei ole huomioitu.

Vp-alueen nuohoukseen on ohjelmoitu kolme eri nuohousryhmää. Liitteenä 6 olevasta taulukosta käy ilmi, että nuohousryhmän 7, johon kuuluvat nuohoimet 27-38, käyttö on ollut minimaalista. Vuoden 2008 aikana sitä käytettiin keskimäärin vain 1,5 kertaa kuukaudessa, ja vuoden 2009 alun aikana ryhmää ei ole käytetty vielä kertaakaan. Ryhmä 7 sijaitsee kattilan yläosassa, jossa sijaitsevat myös ääninuohoimet. Käytön vähyys voidaankin yhdistää suoraan ääninuohointen käyttöön. Ääninuohoimet korvaavat lähes kokonaisuudessaan kaksi ylintä höyrynuohous tasoa, eli nuohoimet 31-38. Vuoden 2009 aikana nuohoimia 27-30 on käytetty kuitenkin suhteellisen usein. Tästä voi vetää johtopäätöksen, että kaksi ylintä nuohoustasoa, eli nuohoimet 31-38, kannattaisi mahdollisesti järjestää omaksi ryhmäksi, jota käytettäisiin vain harvoin ääninuohointen tukena.

Vuonna 2008 vp-alueen kahden alimman ryhmän välillä voidaan havaita alempana sijaitsevien nuohointen suurempi käyttömäärä. Ohjetta ryhmän 5 tiheämpään käyttöön ei ole, mutta tässäkin pätee ilmeisesti ”varmuuden vuoksi” periaate. Vuoden 2009 alun aikana näyttää kuitenkin siltä, että ylempänä olevia ryhmä 6:n nuohoimia on hajoitettu pienemmiksi kokonaisuuksiksi, joita nuohotaan koko

ryhmän ohella, ja ne nostavat käyttömäärän ylempänä ryhmä 6:n alueella korke-ammaksi.

Huomiona ryhmän 3 (kp-osa) ja ryhmän 5 (vp-osa) sijainnista savukaasuvedossa voidaan todeta se, että ne ovat oman alueen, sekä kp- että vp-osan, ensimmäiset tulistimet. Tästä syystä niihin tulee siirtyä eniten lämpöä, ja tämän johdosta myös niiden nuohoustarve on mahdollisesti suurempi. Myös nuohoushistoria tukee tätä.

7 NUOHOUKSEN ARVIOINTI

7.1 Yleistä

Kattilan nuohoustarpeen määrittämiseksi kerättiin mm. eri prosessisuureita, joiden perusteella tutkittiin nuohoushistoriaa. Niiden perusteella määritettiin myös nuohouskokeiden ohjelmaa. Myöhemmin on esitetty sekä vesi- että höyrynuohouksen alueen kriteereitä, joiden perusteella voidaan arvioida nuohoustarvetta sekä optimaalista nuohousajankohtaa. Kuitenkin kyse on molempien kokonaisvaikutuksesta kattilan puhtauteen (syy ja seuraus), koska tulipesän jälkeen savukaasuvedossa sijaitsevat kattilan tulistimet. Näin ollen kokonaisnuohoustarpeen määrittäminen eri tilanteissa on ensimmäinen tehtävä.

Pääprosessin yleiset prosessiarvot

Seuraavassa on esitetty pääprosessin seurattavia prosessisuureita:

Seurattava suure	Tunnus
Kattilan Kp-höyrymäärä	RA10FM01
Kattilan Vp-höyrymäärä	RB20FM01
Kattilan polttoaineteho	1GP51
Kaasuturpiini, kp-ekon säätöventtiili	RL10S101
Nuohousvesimäärä	NV00F001
Nuohoushöyryn määrä	NV01F001

Kattilan pääasiallinen käyttötapa on nimellisteho 117 kg/s (RA10FM01) ilman syöttöveden kp-esilämmitintä RF70B001, joka on erotettu pois käytöstä.

Pääprosessin kombikäytössä eli kaasuturpiinin käyttö pääprosessin rinnalla tulee huomioida (RL10S101), koska tällä on suurentava vaikutus kattilan VT-höyrymäärään (RB20FM01), joka tulee huomioida arviotaessa nuohoustarvetta. Tässä ajotilanteessa ajetaan myös käytännössä kattilan nimellishöyrymäärää 125 kg/s, koska nyt erotetun syöttöveden kp-esilämmitin RF70B001 lämmitysteho korvataan kaasuturpiinin pakokaasukattilan lämmityksellä.

Pääprosessin polttoainetehon (1GP51) nimellisteho on 350 MW. Tasaisessa ajotilanteessa polttoainetehon noustessa ko. arvon yli kertoo kattilan likaantumisesta, koska samalla ajetaan aseteltua kp-höyrymäärää 117 kg/s (RA10FM01).

7.2 Vesinuohoustarpeen arviointi

Kattilan tulipesän alueelta seurataan seuraavia prosessisuureita:

Seurattava suure	Tunnus
Höyrystimen lämpötilat	n kpl positioita
Tulipesän lämpötila pääkattila	NR20T001
Savukaasun lämpötila välitulistaja 2	NR40T001
Savukaasun lämpötila ennen Ekoa	NR60T001
Savukaasun lämpötila ennen luvoa	NR70T001

Höyrystimen lämpötilamittauksia (NA31 – 34 ja NA41 – 44) on kattavasti höyrystimen alueella kaikilla seinämillä, jolloin nähtävissä on lämmönsiirron huonontuminen kun höyrystimen levymäinen putkipinta on likaantumassa.

Höyrystimen likaantuminen on nähtävissä myös savukaasuvirrassa eri kohtien lämpötilamittauksissa (NR20T001, NR40T001, NR60T001 ja NR70T001).

7.2.1 Vesinuohouksen vaikutus höyrystin I:n lämpötiloihin

Höyrystimillä on kymmeniä lämpötilanmittauspisteitä. Mittauspisteet on jaettu jokaiselle neljälle seinälle. Liitteenä 7 ja 8 oleviin taulukoihin valittiin ensimmäisen höyrystimen mittauspisteitä satunnaisesti, kaksi mittausta jokaiselta seinältä. Tarkastelut tehtiin sekä alaosan nuohouksesta että yläosan nuohouksesta. Samoja mittauspisteitä on käytetty molempien tulipesän osien mittauksessa.

Lämmönsiirtopintojen likaantuminen havaitaan höyrystimellä lämpötilojen laskemisena. Seinämille kerääntynyt tuhka ja kuona siis heikentävät lämmön siirtymistä tulipesästä höyryyn. Kun pinnat saadaan puhtaiksi, höyryn lämpötila nousee. Verrattuna savukaasujen lämpötilojen muutokseen lämpötilat muuttuvan melko vähän, mutta ne pystytään kuitenkin helposti huomaamaan. Alaosan nuohous vaikuttaa höyryn lämpötilaan keskimäärin 3,2°C verran, ja yläosan nuohous keskimäärin 3,3°C verran. Käytännössä eroa ei siis juuri ole.

7.2.2 Vesinuohouksen vaikutus savukaasujen lämpötiloihin

Valitettavasti tärkein, eli tulipesän lämpötilan mittaukseen tarkoitettu anturi NR20T001, on rikki. Savukaasujen lämpötiloja joudutaan näin ollen mittaamaan ylempää kattilasta. Vaikutus lämpötiloihin huomataan toki sielläkin, mutta varmasti suurempi vaikutus vesinuohouksella olisi alempana kattilassa, eli välittömästi tulipesän alueen yläpuolella. Kattilan eri tasoilta, joista lämpötiloja on mitattu vaikuttaa savukaasujen lämpötilaan vesinuohouksen ohella myös höyrynuohous. Höyrynuohouksen vaikutus on tässä tarkastelussa pyritty eliminoimaan ottamalla lämpötilat juuri ennen vesinuohouksen aloittamista ja välittömästi vesinuohouksen suorittamisen jälkeen, ennen kuin höyrynuohous on aloitettu.

Tarkasteluun otettiin mukaan ainoastaan kokonaisten nuohousryhmien käyttö. Alaosaan kuuluvat nuohoimet 1-18, jotka sijaitsevat alueella +98,0-111,1. Kysei-

sellä alueella sijaitsevat myös kattilan kaikki poltintasot 0-3. Kattilan tulipesän yläosaan kuuluvat nuohoimet 19-32.

Liitteinä 9 ja 10 olevista taulukosta voidaan havaita, että tulipesän alaosan nuohoaminen tekee savukaasun lämpötiloihin pienemmän vaikutuksen kuin yläosan nuohoaminen. Mitä ylempää kattilasta lämpötilat on mitattu, sitä pienempi vaikutus tulipesän nuohouksella on. Liitteestä 9 nähdään, että alimmalla toimivalla mittauksella NR40T001 mitattuna tulipesän alaosan nuohous vaikuttaa savukaasujen lämpötilaan alentavasti keskimäärin noin 2,1 ºC verran. Tarkasteltaessa liitteettä 10 puolestaan huomataan, että tulipesän yläosan nuohous vaikuttaa alimman mittarin lämpötilaan keskimäärin noin 9,1 °C verran. Voidaan siis sanoa, että nuohouksella on melko suuri merkitys tehokkaaseen lämmönsiirtymiseen höyrystimen seinän läpi höyryyn. Mikäli lämmönsiirtopinnat tulipesässä ovat likaisia, lämpöä ei siis saada siirrettyä kunnolla. Näin ollen savukaasut kuumenevat ja kattilan hyötysuhde kärsii. Liian kuumat savukaasut saattavat myös aiheuttaa ongelmia ylempänä kattilassa.

7.2.3 Yhteenveto vesinuohouksesta

Sekä höyryn- että savukaasujen lämpötiloja voidaan käyttää kattilan tulipesän nuohoustarpeen määrittämiseen. Höyryn lämpötiloja seuraamalla voidaan havaita tulipesän seinien yleinen likaisuus ja myös savukaasujen lämpötiloja seuraamalla saadaan selville mahdollinen nuohoustarve. Kuitenkin alimman mittarin saattaminen toimintakuntoon helpottaa varmasti paljon tulipesän nuohoustarpeen arvioimista. Ylemmillä savukaasulämpöjen mittareilla myös tulistimien likaisuus tai puhtaus vaikuttaa lämpötiloihin melkoisesti.

Yhdessä käytettyinä mittauksista saadaan varsin luotettava indikaattori tulipesän nuohouksen tarpeellisuuteen.

7.3 Höyrynuohouksen tarpeen arviointi ja nuohouksen vaikutukset

Kattilan tulistimien alueella seurataan seuraavia prosessisuureita:

Seurattava suure	Tunnus
Vp-ruiskutuksen määrä haarassa NE	RL91F001
Vp-ruiskutuksen määrä haarassa NE	RL92F001
Vp-höyryn lämpötila	RB10T004
Vp-höyryn lämpötila	RB20T004
Höyryn lämpötila 1. tulistajan jälkeen	NA53T002
Höyryn lämpötila 1. tulistajan jälkeen	NA54T002

Savukaasun lämpötiloja tasoissa voidaan vesinuohouksen tarpeen kartoittamisen ohella käyttää myös höyrynuohoustarpeen määrittämisessä.

Kattilan 4. tulistin ja 2. välitulistin sijaitsevat kattilassa päällekkäin, joista höyry menee turpiinille. Ensimmäisen välitulistimen höyrynlämpötilojen noustessa on tarvetta ruiskuttaa (RL91F001, RL92F001) syöttövettä höyrynjäähdyttimiin kattilan VT-alueella.

Käytännössä kun VT-höyryn lämpötilataso ylittää asetusarvon 535 °C, aktivoituu höyrynjäähdyttimien ruiskutustarve. Mikäli VT-höyryn lämpötila nousee yli asetusarvon ja samaan aikaan ko. ruiskutukset ovat 75 – 100 % auki, olisi kattilalla pitänyt aloittaa nuohous jo aikaisemmin.

Tulistimien 1. lämpötilatason seuraaminen oli aikaisemmin selvä indikaatio nuohoustarpeelle, koska lämpötila ko. liukumisalue oli suurempi ja näin ollen kohonneena lämpötilatasona kertoi nuohoustarpeesta. Nyt uuteen syöttövesisäätöön on tehty tiukempi alue ensimmäisen tulistimen alueen höyryn tulistusasteelle, jolloin syöttöveden lisäämisellä ko. alueella pidetään oikea lämpötilataso. Käytännössä 1. tulistimella pidetään nyt säädöllisesti minimissään +30(-50) °C tulistusastetta. (Tarvainen 2009.)

Pelkästään höyrynuohouksen vaikutuksia on vaikea arvioida, koska yleensä ensin suoritetaan tulipesän ala- tai yläosan vesinuohous, ja heti perään nuohotaan höyryllä sekä kp- että vp-osasta tiettyjä alueita. Tulistinalueella tapahtuvat muutokset prosessiarvoissa ovat siis lähes aina kaikkien nuohottujen alueiden yhteisvaikutusta arvoihin. Höyrynuohouksen vaikutusten havainnollistamista vaikeuttaa edelleen se, että vesinuohous suoritetaan lähes aina ensimmäisenä. Varsinkin tulipesän yläosan vesinuohouksen vaikutus savukaasujen lämpötiloihin on niin suuri, että vp-ruiskutuksen määrä tippuisi paljon pelkästään sillä. Nuohouskokeiden aikana olisikin mielenkiintoista testata pelkän höyrynuohouksen vaikutuksia tulistinalueen seurattaviin prosessiarvoihin. Vesinuohous suoritettaisiin siis useita tunteja ennen tai jälkeen höyrynuohouksen. Samalla saisi myös pelkän vesinuohouksen vaikutuksista lisää informaatiota.

Testausten tulokset tulee kuitenkin yhdistää niin, että käytännössä säännöllisen nuohouksen tulee pääsääntöisesti tapahtua savukaasun virtaussuunnan mukaisesti. Ylempänä olevaa ryhmää ei kannata nuohota ensin, koska nuohoamalla ensin esimerkiksi ryhmä 3 ja/tai muita ylempänä kattilassa sijaitsevia ryhmiä ja sen perään heti tai vähän myöhemmin alempana sijaitseva kattilan tulipesä, niin tulipesästä irtoava savukaasujen mukana kulkeva tavara likaa juuri aikaisemmin nuohotun alueen.

Tämänhetkistä tilannetta tarkasteltaessa voidaan havaita, että nuohouksen jälkeen vp-höyryn lämpötilat alkavat hiljalleen nousemaan kuumempien savukaasujen johdosta. Vp-ruiskutukset aktivoituvat, kun vp-höyryn lämpötila ylittää 535 °C. Savukaasujen kuumentuessa edelleen pyrkii höyryn lämpötila myös kasvamaan. Höyryn lämpötilan pitämiseksi 535 °C asteessa tarvitaan näin ollen enemmän ruiskutusvettä. Likaiset lämmönsiirtopinnat siis kasvattavat savukaasujen lämpötilaa, joka puolestaa pyrkii nostamaan höyryn lämpötilaa. Ruiskutusveden määrästä nähdään siis myös lämmönsiirtopintojen likaantuminen. Myös ensimmäisen tulistimen jälkeiset höyryn lämpötilat kasvavat hiljalleen nuohouksen jälkeen.

Nuohousten yhteisvaikutuksesta vp-höyryn lämpötila saadaan laskemaan ja vp-ruiskutukset deaktivoituvat. Myös ensimmäisen tulistimen jälkeiset höyrynlämpötilat sekä savukaasujen lämpötilat laskevat hieman. Höyrynuohouksen tarkempiin vaikutuksiin palataan nuohouskokeiden tuloksissa, koska silloin voidaan eristää vesinuohouksen vaikutukset pois höyrynuohouksen vaikutuksista. Eri höyrynuohousryhmiä voidaan myös testata erikseen, mikä antaa vielä yksityiskohtaisempaa tietoa vaikutuksista.

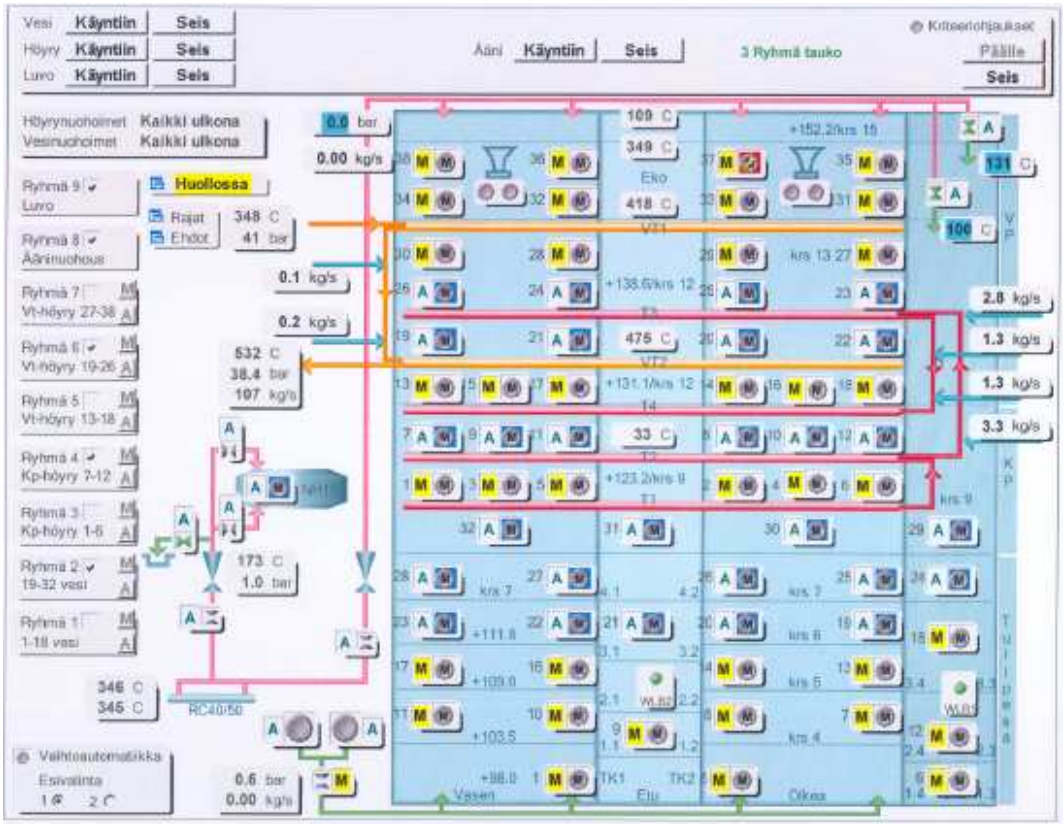
8 NUOHOUSKOKEET

8.1 Yleistä

Nuohouskokeet jaettiin kahteen osaan: ensimmäisen osan tarkoituksena on selvittää tarkemmin vesi- ja höyrynuohouksen vaikutuksia tutkittuihin prosessiarvoihin. Etenkin höyrynuohouksen vaikutuksia pyritään selvittämään eristämällä nuohoukset. Lisäksi saadaan enemmän tietoa yksittäisten nuohousryhmien vaikutuksista prosessiarvoihin, eli esimerkiksi höyrynuohousksen vaikutuksia voidaan tarkastella erilaisten nuohousryhmien kannalta.

Toisen osan tarkoituksena on selvittää nuohouskokeilla paras mahdollinen strategia nuohousten suorittamiseen. Pyritään siis selvittämään, voitaisiinko nuohouksia suorittaa tarkemman suunnitelman mukaisesti, eli esimerkiksi nuohota joitain ryhmiä enemmän ja joitain vähemmän.

Nuohouskokeita suoritettiin aikavälillä 23.03.2009 – 12.04.2009. Nuohouskokeiden jälkeen tarkoituksena oli myös verrata kokeiden tuloksia aikaisempiin nuohouskäytäntöihin. Kokeisiin käytettiin kattilan eri nuohoimia sekä Metso Dna käyttöjärjestelmää, josta saatiin tietoa nuohousten vaikutuksista erilaisiin prosessiarvoihin. Kuvassa 6 on esitetty Metso Dna nuohousohjelman käyttöliittymä, josta nähdään myös savukaasujen lämpötiloja.



Kuva 5, nuohousjärjestelmä (Metso Dna)

8.2 Nuohousohjelmat

Nuohouskokeiden suorittamista varten laadittiin erilliset ohjelmat, jonka mukaan eri vuorot pyrkivät mahdollisuuksien mukaan nuohoamaan toivotut nuohousryhmät. Kokeet vaativat hieman aikaa, koska kaikkia toivomuksia ei ole mahdollista täyttää muutamankaan päivän sisällä. Tämä johtuu kattilan normaalin nuohoustarpeen pysymisestä ennallaan, eli jatkuva kokeiden suorittaminen ei onnistu. Lisäksi eri nuohousten välillä täytyy pitää taukoa, jotta kattila ehtii hieman likaantua ja kokeista saadaan realistisia tuloksia.

8.3 Eristetyt nuohoukset

Kokeiden ensimmäisen osan nuohukset saatiin suoritettua melko nopeasti, aikaa eri kombinaatioiden ajamiseen kului viikon verran. Liitteenä 11 on eristettyjen nuohousten suorittamiseen laadittu aikataulu, josta nähdään erilaiset kombinaatiot

sekä ajojen suorituspäivät. Kokeiden jälkeen laaditiin taulukot, joihin listattiin kohdissa 8.2 ja 8.3 esiteltyjä prosessiarvojen muutoksia ennen nuohousta ja nuohouksen jälkeen. Tulokset esitellään kohdassa 9.

8.4 Nuohousstrategia

Kokeiden toisen osan tarkoituksena oli tutkia mahdollisuutta siirtyä tarkempaan nuohousohjelmaan. Ohjelman tekemisessä käytettiin hyödyksi eristetyistä nuohouskokeista saatuja tuloksia. Myös nuohousstrategiaohjelma saatiin ajettua läpi melko nopeassa tahdissa. Liitteenä 12 on kokeiden suorittamiseen laadittu aikataulu. Uudenlaisen nuohousohjelman onnistumista analysoidaan kohdassa 9.3.

8.5 Pääprosessin kombi-käyttö

Kun käytetään kaasuturbiinia pääprosessin rinnalla, nousee kattilan VT-höyrymäärä suuremmaksi. Tämä tulee huomioida arvioitaessa kattilan tulistinalueen nuohoustarvetta. Käytännössä tämän opinnäytetyön aikana pääprosessin kombi-käyttöä ei juurikaan ollut, eli käytännössä aikaisemmat kombi-käytön tiedot on etsitty historiasta, ja niitä on verrattu siten laitoksen normaaliin nimellistehotilanteeseen. Tarkasteltuja kombi-käyttö tilanteita löytyi vuoden 2009 tammikuusta kaksi kappaletta. Ensimmäinen oli aikavälillä 1.1.2009-5.1.2009 ja toinen aikavälillä 15.1.2009-18.1.2009. Ajotilanteista valittiin yhteensä 13 savukaasujen lämpötilanmittausta, jotka on mitattu nuohouksen jälkeen. Tuloksia verrattiin 13 savukaasun lämpötilanmittaukseen kattilan normaalikäytön aikana, myös nämä on otettu juuri nuohouksen jälkeen.

9 TULOKSET JA SUOSITUKSET

9.1 Yleistä

Tässä osiossa tarkastellaan opinnäytetyön aikana tehtyjen kokeiden tuloksia ja muita havaintoja. Niiden perusteella pyritään löytämään optimaalisempi tapa suorittaa nuohoukset jatkossa. Tutkittuja prosessiarvoja seuraamalla pyritään siis saamaan nuohous oikeaan aikaan sinne, missä sitä eniten tarvitaan. Lopuksi mietitään lyhyesti vielä mahdollisuuksia automatisoida nuohous.

9.2 Eristetyt nuohoukset

Kokeiden ensimmäinen osa tarkasteli eri nuohousryhmien vaikutuksia tutkittuihin prosessiarvoihin. Ryhmiä pyrittiin ajamaan yksittäin, jolloin muiden nuohousten vaikutukset tuloksiin pystytään minimoimaan. Kuten aiemmin tuli ilmi, kiinnostus kohdistui lähinnä höyrynuohousryhmien vaikutuksiin kattilan lämmönsiirtopinnoilla.

9.2.1 Vesinuohous

<u>Tulokset:</u>

Vesinuohouksen osalta tarkasteltiin jälleen savukaasujen lämpötiloja kattilan eri korkeuksilla. Kokeet eivät tarjonneet juurikaan uutta tietoa nuohousten vaikutuksista. Kuten kohdassa 8.2.2 käy ilmi, tulipesän alemman osan nuohoamisella näyttää olevan hieman pienempi vaikutus savukaasujen lämpötiloihin kuin ylemmän osan nuohouksella. Aiemmin tehdyt havainnot saivat siis lisää vahvistusta. Liit-

teenä 13 on taulukot nuohousryhmien yksi ja kaksi vaikutuksista savukaasujen lämpötiloihin eristetyissä nuohouksissa.

Suositukset:

Strategiatesteissä voisi kokeilla ylemmän vesinuohouksen ryhmä 2 nuohoamista hieman useammin kuin alemman ryhmä 1, koska toisen ryhmän nuohoaminen antaa suuremman pudotuksen savukaasujen lämpötiloihin. Tuloksissa täytyy kuitenkin huomioida edelleen alimman savukaasulämpömittauksen NR20T001 toimimattomuus, joten ero ei välttämättä ole aivan niin suuri. Alemman osan nuohouksella on varmasti myös tärkeä tehtävä kuonan kerääntymisen estäjänä kattilan suppilo-osaan. Lisäksi juuri polttimien ympäristössä olevien suurien lämpötilojen johdosta vaara tuhkan sulamisesta seiniin kiinni on aina olemassa. Pelkästään lämmönsiirtymisen perusteella voidaan kuitenkin todeta, että ylemmän osan vesinuohousta tulisi käyttää enemmän kuin alemman osan.

9.2.2 Höyrynuohous

Liitteinä 14-17 on taulukot nuohousryhmien 3-6 vaikutuksista höyrynuohouksen yhteydessä tutkittuihin prosessiarvoihin.

Tulokset:

Välittömästi tulipesän yläpuolella kattilan kp-alueella päällekkäin sijaitsevat nuohousryhmät 3 ja 4 näyttäisivät olevan vaikutuksiltaan merkittävimmät höyrynuohousryhmät. Suurin etu 3 ryhmän nuohouksella saavutetaan savukaasun lämpötilan laskemisena, laskua tapahtuu ensimmäisellä mittauksella NR20T001 mitattuna keskimäärin 17,5 °C. Tämä vaikuttaa madaltavasti vp-höyryn lämpötiloihin, mikä puolestaan vähentää vp-ruiskutuksen tarvetta. Ryhmä 4 nuohous puolestaan näyttäisi laskevan erityisesti vp-ruiskutukseen tarvittavaa vesimäärää, ja ruiskutustarpeen väheneminen tarkoittaa myös vp-höyryn lämpötilan laskemista.

Ryhmä 5 alue sijaitsee juuri ennen ensimmäistä toimivaa savukaasunlämmönmittauspistettä. Ryhmän vaikutus savukaasun lämpötilaan oli kuitenkin odotettua pienempi, keskimäärin vain noin 4,5 °C. Lämmönsiirtopintojen likaantuminen kattilan yläosassa vaikuttaisikin näin ollen olevan ajateltua vähäisempää. Vaikutukset myös muihin tutkittuihin prosessiarvoihin näyttäisivät olevan melko pieniä. Kuitenkin ryhmä 5:n alueella sijaitsee kattilan vp-alueen ensimmäinen tulistin, jonka tehtävä lämmönsiirrossa on kattilan vp-alueella suurin, tästä syystä nuohoustarvetta ei voida aliarvioida.

Ryhmän 6 vaikutukset prosessiarvoihin ovat pienimmät. Vp-höyryn lämpötila ei muutu käytännössä lainkaan ja ruiskutusten tilavuusvirta näyttäisi kasvavan nuohouksen jälkeen. Höyryn lämpötila 1. tulistimella laskee keskimäärin 3,6 °C. Ensimmäinen tulistin sijaitsee kaukana 6 ryhmän vaikutusalueesta, joten pieni vaikutus voidaan selittää tällä. Myös polttimet sijaitsevat kaukana, joten likaantuminen on pienempää ja vaikutukset savukaasujen lämpötiloihin jäävät kohtalaisen pieniksi. Suurin vaikutus havaitaan luonnollisesti savukaasun lämpötilassa ennen Ekoa, koska nuohoimet on sijoitettu juuri ennen lämpötilanmittauspistettä. Nuohouksella aikaansaadaan keskimäärin 6,5 °C alenema savukaasun lämpötilaan.

Kattilan ylimpänä sijaitseva nuohousryhmä 7 jätettiin kokeiden ulkopuolelle, koska ääninuohous on syrjäyttänyt höyrynuohouksen lähes kokonaan kattilan ylimmässä osassa.

Aivan kuten kattilan tulipesän alueella, puhtaammat lämmönsiirtopinnat siis mahdollistavat savukaasuihin sitoutuneen lämmön tehokkaamman siirtymisen höyryyn. Tästä syystä savukaasut jäähtyvät, joka vaikuttaa positiivisesti ylempänä kattilassa. Ryhmien 3 ja 4 suuremmat vaikutukset voidaan selittää tulipesän läheisyydellä, jossa lämpötilat ovat korkeammalla kuin ylempänä kattilassa. Myös lämmönsiirtopintojen likaantuminen on voimakkaampaa alempana kattilassa tulipesän läheisyydessä.

Suositukset:

Havaintoja voisi hyödyntää strategiatesteissä nuohoamalla kp-osan höyrynuohoimia enemmän, koska likaantuminen ja nuohousten vaikutus savukaasujen lämpötiloihin näyttäisivät olevan voimakkampia juuri tulipesän yläpuolella kuin kattilan yläosassa. Ryhmän 3 vaikutus savukaasun lämpötilan laskijana voisi olla vielä merkittävämpi tekijä kuin 4 ryhmän suurempi vp-ruiskutuksia pudottava vaikutus. Molemmilla näyttäisi kuitenkin olevan tärkeä tehtävä kattilan kokonaisnuohoustuloksessa. Ryhmä 5:n nuohoustarve pysyy lähellä alempien höyrynuohousryhmien käyttötarvetta, koska se sijaitsee kattilan vp-osassa ensimmäisenä. Ylempänä sijaitsevan ryhmä 6:n käyttöä voisi vähentää.

9.3 Nuohousstrategia

Uudenlainen nuohousohjelma laadittiin eristettyjen nuohouskokeiden tulosten avulla. Nuohousta pyrittiin ohjaamaan sinne, missä sillä on eniten vaikutusta. Uutta ohjelmaa testattiin kuuden päivän ajan. Ohjelman puolivälissä sattui pieni sekaannus, mutta se ei juuri haitannut kokonaisuuden arviointia.

Ohjelman läpiviennin aikana savukaasujen lämpötilat pysyivät melko alhaalla, mikä on tärkeää erityisesti kattilan ylempiä osia ajatellen, jossa liian kuumat savukaasut voivat aiheuttaa jopa materiaaliteknisiä ongelmia. Vt-ruiskutukset pysyivät myös hyvin aisoissa, mikä tarkoittaa vt-höyryn lämpötilan pysymistä sopivalla tasolla. Ohjelmassa ollut kahden höyrynuohousryhmän ajo ilman vesinuohousryhmän käyttöä näyttäisi myös antavan melko hyvän tuloksen seurattuihin prosessiarvoihin. Kun kattilan ensimmäinen tulipesän yläpuolella sijaitseva savukaasujen lämpötilojen mittaamiseen tarkoitettu anturi NR20T001 saadaan toimimaan, saadaan kattilan alaosien nuohouksista vielä tarkempaa tietoa.

Saatujen tulosten valossa olisi suositeltavaa muuttaa nuohouskäytäntöjä pysyvästi nouhousstrategiatesteissä esitellyn ohjelman suuntaiseksi kattilan normaalikäytön aikana. Liitteeksi 19 on laadittu esimerkki mahdollisesta uudesta kattilan nuohous-

ten painotuksista eri lämmönsiirtopinnoille. Mikäli nuohousta haluttaisiin edelleen tarkentaa, voisi tulevaisuudessa miettiä nykyisten nuohousryhmien pienentämistä nykyisestään. Kohdassa 6.3 pohdittiin kyseistä asiaa esimerkiksi ryhmä 7:n kohdalla.

9.4 Pääprosessin kombi-käyttö

Liitteenä 18 on taulukko kombi-käytön ja normaalikäytön välisistä eroista savukaasujen lämpötiloissa. Kombi-käyttö näyttäisi vaikuttavan savukaasun lämpötilaan kohottavasti. Välitulistin 2 kohdalla otetussa mittauksessa kombi-käytön aikana savukaasun lämpötila näyttäisi olevan keskimäärin noin neljä astetta korkeammalla kuin normaalikäytön aikana. Ennen Ekoa mitattu lämpötila puolestaan näyttäisi olevan keskimäärin kuusi astetta korkeammalla kombikäytön aikana. Savukaasujen lämpötiloihin perustuvassa nuohoustarpeen arvioinnissa tämä täytyy siis ottaa huomioon.

9.5 Automatisointimahdollisuudet

Kattilan nuohouksen täyden automatisoinnin ongelmaksi muodostuvat erilaiset ajotavat ja teho, jolla kattilaa käytetään. Nuohoustarpeen indikaattoreina täytyisi käyttää erilaisia lämpötiloja eripuolilta kattilaa. Luonnollisesti eri teholla ajettaessa lämpötilat saattavat poiketa toisistaan hyvinkin paljon. Periaatteessa seurantaan voisi tietysti ottaa esim. käytettävän tehon tai polttoainemäärän, josta logiikka säätäisi nuohouksen käynnistämiseen ohjelmoituja raja-arvoja ylemmäksi tai alemmaksi. Onnistunut toteutus täydessä automatisoinnissa olisi kuitenkin melko haastavaa.

Automaattinen nuohous kattilan täydellä teholla voisi onnistua helpommin, koska lämpötilat pysyttelevät suunnilleen samoilla tasoilla. Logiikkaan ohjelmoitaisiin raja-arvot seurantaan laitettaville prosessisuureille, esimerkiksi tietyille lämpötiloille ja vp-ruiskutuksille. Arvoja seurattaisiin logiikassa vertailutoiminnolla.

And-piirien avulla voitaisiin odottaa, että kaikki halutut vertailuarvot ovat ylittyneet, minkä jälkeen logiikka käynnistäisi nuohouksen halutussa osassa kattilaa.

Tulipesän automaattinen nuohous voitaisiin sitoa savukaasujen lämpötilaan alimmassa mittarissa NR20T001 tulipesän yläpuolella. Lisäksi höyrynlämpötiloihin höyrystin I:llä voitaisiin asettaa raja-arvoja. Kattilan likaantuessa höyryn lämpötilat laskevat ja savukaasujen lämpötilat nousevat. Höyryn lämpötilan mittauspisteitä valittaessa täytyisi ottaa huomioon mittauspisteen sijainti tulipesässä, koska arvot poikkevat toisistaan alempana ja ylempänä tulipesässä. Kun tietty suhde lämpötiloissa saavutettaisiin, automaatiojärjestelmä ilmoittaisi vesinuohouksen tarpeesta tai käynnistäisi nuohouksen automaattisesti.

Tulistinosan kolmen ensimmäisen ryhmän nuohouksen automatisoinnissa logiikka seuraisi savukaasujen lämpötiloja halutuilla tasoilla. Lisäksi seurattaisiin vp-höyryn lämpötilaa ja vp-ruiskutusten määrää. Teoreettisesti nuohoustapahtuman käynnistäjäksi voisi ohjelmoida arvot:

- Vp-höyryn lämpötila 535 °C
- Vp-ruiskutusten määrä 0,8 kg/s
- savukaasun lämpötila toisella välitulistimella 470 °C.

Kuudennen ryhmän ajon voisi tehdä määräajoin esimerkiksi kerran kahdessa päivässä. Seitsemännen ryhmän voisi nuohota vaikkapa kerran viikossa olettaen, että ääninuohousta käytetään.

Huomioitava asia olisi myös nuohoinryhmien keskinäiset riippuvuudet. Tulipesän vesinuohoaminen esimerkiksi laskee savukaasujen lämpötiloja, jolloin yksi indikaattori mahdolliseen höyrynuohoustarpeeseen laskee, eikä nuohoustapahtumaa suoriteta, vaikka tulistinaluella olisikin tarvetta nuohoukselle. Tietenkin savukaasujen viilentyessä myös ruiskutustarve ja höyryn lämpötila laskevat, mutta tulistimien lämmönsiirtopinnat saattavat olla likaiset siitä huolimatta. Kaikkia asioita on luonnollisesti vaikea ottaa huomioon.

Todellisuudessa täysin automaattista nuohousta ei tällähetkellä ole edes suunniteltu. Automatisoinnin seuraava vaihe olisikin ”puoliautomatisointi”. Logiikka toimisi lähes samalla tavalla kuin täysin automaattisessa nuohouksessa. Erona olisi se, että logiikka ei itse käynnistäisi nuohoustapahtumaa vaan antaisi käyttäjälle tiedon nuohoustarpeesta käyttöjärjestelmään. Käyttäjä käynnistäisi nuohoustapahtumaan tämän jälkeen manuaalisesti.

9.6 Kustannusvaikutukset ja niiden vertailu

Käytännössä nuohoamisen kustannukset ovat melko pieniä. Nuohousta voidaan suorittaa normaalin käytön rinnalla, eli mitään laitteita ei nuohouksen ajaksi tarvitse kytkeä pois päältä. Lisäksi uuden automaatiojärjestelmän avulla haluttujen nuohousryhmien päällekytkeminen on hyvin helppoa. Käytännössä käytönvalvoja tai lämmittäjä valitsee ohjausjärjestelmästä halutut nuohousryhmät ja painaa ”päälle” nappia. Työajan käyttö nuohoukseen käynnistämiseen on lyhyehkö aika, mutta itse nuouhousen aikana on tarpeellista suorittaa kattilalla havaintoja, koska nuohointen mekaanisen kunnon varmistaminen sekä kattilasta irtoavan kuonan laadun/määrän havainnointi on hyvin tärkeää kattilan käytön kannalta.

Tulipesän nuohoamiseen voidaan käyttää järvivettä, mikä tekee nuohoamisen kattilan alaosassa halvaksi. Pääkomponentit (kustannukset) ovat seuraavat:

- vesinuohouspumppu 7,5 kW (alaosa 1,4h, yläosa 1,2h)
- vesinuohoin 0,37 kW (nopea-ajo 0,05h) ja 0,12 kW (hidas-ajo 0,08h)
- mekaaniset kustannukset.

Vuoden 2008 perusteella käytettynä keskimääräistä nuohousmäärää tulee vesinuohouksen kuukausikustannukseksi seuraava:

Vesinuohouspumppu:
0,0075 MW x 1,4 h = 0,01 MWh (alaosa)
0,0075 MW x 1,2 h = 0,009 MWh (Yläosa)

Hinta alaosa: 0,01 MWh x 37,71 €/MWh = 0,4 €

Hinta yläosa: 0,009 MWh x 37,71 €/MWh = 0,3 €

Vesinuohoin:

(0,00037 MW x 0,05h) + (0,00012 MW x 0,08h) = 0,00001145 MWh

Alaosa: 0,00001145MWh x 18 nuohointa = 0,0002 MWh

Yläosa: 0,0001145 MWh x 14 nuohointa = 0,00016 MWh

Hinta, alaosa: 0,0002 MWh x 37,71 €/MWh = 0,008 €

Hinta, yläosa: 0,00016 MWh x 37,71 €/MWh = 0,006 €

Hinta kuukaudessa, vanha ohjelma:

Ryhmä 1	21 krt x 0,4 €
Ryhmä 2	17 krt x 0,3 €
Vesinuohoin (alaosa)	21 krt x 0,0008 €
Vesinuohoin (yläosa)	17 krt x 0,0006 €
Yhteensä	13,5 €

Hinta kuukaudessa, uusi ohjelma:

Ryhmä 1	14 krt x 0,4 €
Ryhmä 2	14 krt x 0,3 €
Vesinuohoin (alaosa)	14 krt x 0,0008 €
Vesinuohoin (yläosa)	14 krt x 0,0006 €
Yhteensä	9,8 €

Suurin kuluerä nuohouksen suorittamisesta voidaankin yhdistää höyrynuohoukseen. Nuohoushöyrynä käytetään kattilan välitulistuksesta otettua höyryä ja näin ollen höyrynuohoukseen käytetty höyrymäärä on suoraan pois turpiinin vp-alueelta. Höyrynuohouksen keskimääräinen kesto on noin 80 - 85 minuuttia. Kaikkea nuohoukseen otettua höyryä ei voida käyttää nuohoukseen, koska nuohousputkistoa vesitetetään ennen nuohouksen aloittamista, jotta kylmät putket lämpenevät ja nuohoushöyryn aloituslämpötilaksi saadaan minimissään 240 °C.

Käytännössä ei siis ole järkevää nuohota ainoastaa yhtä höyrynuohousryhmää kerrallaan. Pääkomponentit (kustannukset) ovat seuraavat:

- höyrynuohous vesitys 1,2 kg/s (0,33 h/nuohoustapahtuma)
- nuohoushöyryn määrä 1,5 kg/s(0,07 h/nuohous)
- höyrynuohoin 0, 55 kW.

Vuoden 2008 perusteella käytettynä keskimääräistä nuohousmäärää tulee höyrynuohouksen kuukausikustannukseksi seuraava:

Kylmän Vt-höyryn energiasisältö Mollierin hs- piirroksen mukaan 3126KJ/kg (höyryn lämpötila 350 °C ja paine 45 bar), lauhduttimen jälkeen 2625 KJ/kg 0,38 bar(abs) 75 °C. (Mollier hs-piirros.)

Vesitys:
1,2 kg/s = 4320 kg/h
4320 kg/h x 0,33 h = 1425,6 kg
1425,6 kg x (3125 KJ/kg – 2625 KJ/kg) = 712 800 KJ
712800 KJ : 3600 s = 198 KWh = 0,198 MWh
Hinta: 0,198 MWh x 36,88 €/MWh = 7,3 €/vesitys

Yksi nuohoin:
1,5 kg/s = 5400 kg/h
5400 kg/h x 0,07h = 378 kg
378 kg x (3126 KJ/kg – 2625KJ/kg) = 189 000KJ
189 000 KJ : 3600 s = 52,5 KWh =0,053 MWh
Hinta: 0,053 MWh x 36,88 €/MWh = 2 €/nuohoin = (2 € x 6 nuohointa/ryhmä) 12 €/ryhmä

Höyrynuohoin:
0,00055 KW x 0,007 h = 0,00000385 KWh
Hinta: 0,00000385 KWh x 37,71 €/MWh = 0,0002 €

Hinta kuukaudessa, vanha ohjelma:

Ryhmä 3	22 krt x 12 €
Ryhmä 4	19 krt x 12 €
Ryhmä 5	19 krt x 12 €
Ryhmä 6	13 krt x 12 €
Ryhmä 7	2,4 krt x 12 €
Satunnaiset	20 krt x 12 €
Vesitykset	56 krt x 7,3 €
Höyrynuohoin	572 krt x 0,0002 €
Yhteensä	1554 €

Hinta kuukaudessa, uusi ohjelma:

Ryhmä 3	28 krt x 12 €
Ryhmä 4	14 krt x 12 €
Ryhmä 5	28 krt x 12 €
Ryhmä 6	14 krt x 12 €
Ryhmä 7	8 krt x 12 €
Vesitykset	56 krt x 7,3 €
Höyrynuohoin	552 krt x 0,0002 €
Yhteensä	1513 €

Nuohoushöyryn kustannusta verrattiin suoraan kaukolämmöntuotantoon ja sitä kautta suoraan myyntituoton vähenemiseen. Kaukolämpöasiakkaalle kaukolämmön hinta on 36,88€/MWh, alv. 0 % (kotitalousasiakkaalle) (Lahti Energia Oy 2009.)

Nuohouslaitteiden käyttämä sähkön kulutus huomioidaan laitoksen omakäyttötehossa. Käytännössä mikäli omakäyttötehossa päästään uusien nuohousjärjestelyjen kautta pienempään sähkön kulutukseen, tämä erotuksena jäävä osuus lisää myytävän sähkön osuutta. Sähkön hintana on käytetty keskimääräistä vuosihintaa 37,71 €/MWh. (Fingrid Oyj 2009.)

Nuohousryhmien ajamisista saadaan siis kuukausittain noin 45 €:n säästöt. Säästöt saattavat käytännössä olla hieman suuremmat, sillä taulukoissa ei ole huomioitu käsin valittuja yksittäisiä nuohoimia. Lisäksi manuaalisesti valitut ”nuohousryhmät” saattavat sisältää joissain tapauksissa yli 6 nouhointa, mikä nostaa nouhouksen hintaa.

Nuohoaminen uudella optimoidulla menetelmällä takaa hyötysuhteen pysymisen hyvänä, eli normaalilla noin 90,5 % tasolla. Esimerkkinä voidaan laskea, että mikäli hyötysuhde laskee 1%:lla, vaikuttaa se kustannuksiin seuraavasti (Hyötysuhteen arvoina kätetty 91% ja 90%):

- Nimelliskuormalla saman höyrytehon tuottamiseen 1%:a huonommalla hyötysuhteella tarvitaan noin 4 MW enemmän polttoainetehoa.
- 350 MW x 0,91 = 318,5 → 318,5 / 0,90 = 353,9 MW
- Päivässä polttoainetta kuluu 24 h x 4 MW = 96 MWh enemmän
- Päivässä suurempi hiilen kulutus maksaa noin 96 MWh x 10 € / MWh = 960 € (Hiilitieto 2009)

Satunnaisesti otettu hyötysuhteen keskiarvomittaus yhtä pitkältä ajalta, kuin mitä nuohousstrategiatestejä suoritettiin osoittaa, että hyötysuhde pysyi uudella ohjelmalla noin 0,2 % parempana kuin vanhalla ”ohjelmalla”. Kahdesta yhtä pitkästä ajanjaksosta siis laskettiin hyötysuhteen keskiarvo. Kuukausitasolla voitaisiin ajatella, että polttoainetehoa tarvitaan jatkuvasti noin 1 MW enemmän, mikä tekisi kuukaudessa noin 240 €:n lisäkustannukset. Suoraa vertailua kattilan hyötysuhteeseen vanhalla ja uudella menetelmällä on kuitenkin vaikea tehdä, koska kuten aiemmin on mainittu, nuohoushistoria on melko sekava. Hyötysuhde on siis ollut ”riippuvainen” kulloinkin vuorossa olevasta nuohouksesta vastaavasta henkilöstä, koska mitään yleistä ohjetta nuohouksesta ei voimalaitoksella ole ollut käytössä. Lisäksi hyötysuhteen mittauksessa otetaan huomioon lukuisia eri asoita, jotka eivät ole tekemisissä nuohoukseen liittyvään savukaasuhäviöön. Liitteenä 20 on kaava Kymijärven voimalaitoksen päähöyrykattilan hyötysuhteen laskemiseen.

Käytännössä kokonaisnuohousmäärä on vanhalla ja uudella järjestelmällä lähes sama. Uudella nuohousjärjestelmällä nuohoukset kuitenkin suunnataan sinne, missä niillä on eniten vaikutusta, ja nuohousta vähennetään paikoista, jossa sitä ei niin useasti tarvita. Nämä paikat selvitettiin eristetyissä nuohouskokeissa.

Uudella ohjelmalla myös stabiloidaan kattilan toimintaa muutoinkin kuin hyötysuhteen kannalta, eli se auttaa pitämään kattilan tehonvaihtelut pieninä ja lämpötilat oikeanlaisina. Halvat nuohouskustannukset mahdollistaisivat vieläkin suuremman nuohousfrekvenssin, mutta nuohouksella on myös kuluttava vaikutus kattilaan, joten liiallinen nuohoaminen ei ole kannattavaa. Mikäli esimerkiksi jollain tulistimella sattuisi putkirikko, voi seurauksena olla useankin päivän seisokki laitoksen pääprosessin toiminnassa.

10 YHTEENVETO

Kaiken kaikkiaan opinnäytetyön tekeminen sujui hyvin. Suuremmilta ongelmilta vältyttiin koko opinnäytetyöprosessin aikana. Nuohousstrategiatestien aikana sattui pieni sekaannus ohjelman suorittamisessa, mutta sen merkitys oli todella pieni. Lisäksi alimman savukaasulämpömittarin toimimattomuus aiheutta pientä päänvaivaa, mutta hyviä tuloksia saatiin siitä huolimatta. Projektin alussa sovittu viitteellinen aikataulu piti myös kotuullisen hyvin, ja projektia saatiin vietyä eteenpäin viikoittain sovitusti. Mukavaa oli huomata myös Lahti Energian puolelta tullut todellinen kiinnostus työtä kohtaan, mikä auttoi paljon työn tekemisessä. Työssä mukana olleilla siis löytyi yleensä aikaa muiden kiireiden ohessa neuvoa ja antaa mielipiteitä itselle tuntemattomammista asioista. Lahti Energian puolelta tunnuttiin myös olevan tyytyväsiä työn jälkeen ja ehdotettuihin muutoksiin.

Opinnäytetyön tavoitteet olivat kattilan toimintaan ja nuohouskäytäntöihin tutustuminen. Lisäksi tutkittiin mahdollisuutta siirtyä nuohouksen osalta tehokkaampaan toimintamalliin. Kattilan toiminta ja nuohouskäytännöt tulivat opinnäytetyön aikana tutuiksi. Myös nuohouksen toimintamalliin suositellaan pieniä painotusmuutoksia ja hieman useammin tapahtuvaa nuohousta tiettyjen nuohousryhmien osalta. Opinnäytetyön tavoitteet siis täyttyivät hyvin, ja koko urakasta jäi hyvä maku suuhun.

LÄHTEET

Bergeman, Asennus-, käyttö- ja huolto-ohjeet vesinuohoimelle SK 58 E, malli 7, isku 700mm

Bergeman, Asennus-, käyttö ja huolto-ohje nuohoimelle RKS 81 E

Fingrid Oyj. 2009. Sähkön hinta Suomessa [Viitattu 18.4.2009]. Saatavissa www.fingrid.fi/portal/suomeksi

Hiilitieto. 2009. Polttoaineen hintatekijä h, painotetut keskiarvot vuodesta 2000 [Viitattu 28.4.2009]. Saatavissa http://www.hiilitieto.fi/Page/bdcf0660-465f-459b-90d1-05c69cb4ead0.aspx

Huhtinen, M., Kettunen, A., Nurminen, P. & Pakkanen, H. 1994. Höyrykattilatekniikka. Helsinki: Edita

Ala-Hakula, U. 1999. Kattila ja lämmityslaitoksen selostus. LLV ark. 5504. Lahti Energia Oy

Kivelä, M. 1992. Kivihiilen ominaisuuksia. LLV ark. 9715. Lahti Energia Oy

Lahti Energia Oy. 2006. yhteiskuntavastuuraportti

Lahti Energia Oy. 2009. Kaukolämmön hinnat [viitattu 18.4.2009]. Saatavissa www.lahtienergia.fi

Mollier hs-piirros

Moilanen, A. & Äijälä M. 1984. Kivihiilen ominaisuudet. Espoo. Valtion teknillinen tutkimuskeskus, tiedotteita 391

Takala, H. 2002. KyVon esittely. LLV ark. 9818

Takala, H. 2001. Polttoaineet toimintaohje. Lahti Energia Oy

Tarvainen, M. 2001. Kattilan toimintaohje. Lahti Energia Oy

Tarvainen, M. 2009. Käyttömestari. Lahti Energia Oy, Kymijärven voimalaitos. Haastattelut viikolla 5

Voimalaitoskoulutus, höyrykattilan valvonta. Fortum ja LLV OY, 1999. Lahti Energia Oy

LIITTEET

Liite 1	Likaantumisen tunnuslukuja
Liite 2	Tuhkan palamattomat helmikuu
Liite 3	Tuhkan palamattomat huhtikuu
Liite 4	Tulipesän nuohouskombinaatiot
Liite 5	Kp-alueen nuohouskombinaatiot
Liite 6	Vp-alueen nuohouskombinaatiot
Liite 7	Höyrystimen lämpötilat alaosan nuohouksessa
Liite 8	Höyrystimen lämpötilat yläosan nuohouksessa
Liite 9	Savukaasun lämpötilat alaosan nuohouksessa
Liite 10	Savukaasun lämpötilat yläosan nuohouksessa
Liite 11	Nuohouskokeiden ensimmäisen osan aikataulu
Liite 12	Nuohouskokeiden toisen osan aikataulu
Liite 13	Ryhmien 1 ja 2 vaikutukset eristetyissä nuohouksissa
Liite 14	Ryhmän 3 vaikutus eristetyissä nuohouksissa
Liite 15	Ryhmän 4 vaikutus eristetyissä nuohouksissa
Liite 16	Ryhmän 5 vaikutus eristetyissä nuohouksissa
Liite 17	Ryhmän 6 vaikutus eristetyissä nuohouksissa
Liite 18	Kombi- ja normaalikäytön eroja
Liite 19	Esimerkki nuohousten painotuksista
Liite 20	Kaava pääkattilan hyötysuhteen laskemiseen

Liite 1, likaantumisen tunnuslukuja.

Kuonaamistaipumus	Pääk. tuhka tammi.-maalisk. 2007	Pääk. kuona tammi.-maalisk. 2007	Kaas. tuhka tammik.-maalisk. 2007	Pääk. tuhka huhti-kesäk. 2007	Pääk. kuona huhti-kesäk. 2007	Kaas. tuhka huhti-kesäk. 2007	Pääk. tuhka elo-syysk. 2007	Pääk. kuona elo-syysk. 2007	Kaas. tuhka elo-syysk. 2007
SiO_2-suhde	74,9	71,5	71,2	74,5	70,5	72	75,7	75,3	71,9
Emäs/happo-suhde	0,3	0,35	0,42	0,31	0,36	0,4	0,3	0,29	0,4
Kuonaamisindeksi	0,058	0,043	0,011	0,103	0,072	0,01	0,05	0,041	0,011
Konvektio-osien likaantuminen									
Liikaantumis kerroin	0,46	0,52	1,35	0,46	0,5	1,08	0,45	0,38	1,38

Kuonaamistaipumus	Pääk. tuhka loka-joulukuu 2007	Pääk. kuona loka-joulukuu 2007	Kaas. tuhkaloka-joulukuu 2007	Pääk. tuhka tammi-toukokuu 2008	Pääk. kuona tammi-toukokuu 2008	Kaas. tuhka tammi-toukokuu 2008	Pääk. tuhka loka-joulukuu 2008	Pääk. kuona loka-joulukuu 2008	Kaas. tuhka loka-joulukuu 2008
SiO_2-suhde	74,1	71,2	74,1	73	68,9	78,3	73,8	70,3	73,9
Emäs/happo-suhde	0,31	0,35	0,37	0,33	0,38	0,31	0,31	0,35	0,36
Kuonaamisindeksi	0,079	0,063	0,004	0,092	0,088	0,003	0,095	0,077	0,004
Konvektio-osien likaantuminen									
Liikaantumis kerroin	0,47	0,49	1,1	0,46	0,53	0,99	0,4	0,38	1,03

SiO2-suhde <65 kuonaamistaipumus suuri, 65-72 keskimääräinen, >72 pieni
Emäs/Happo-suhdeluku, pieni luku pieni kuonaamistaipumus, pitäisi olla 0.1-0.5
Kuonaamisindeksi, <0.6 pieni kuonaamistaipumus, 0.6-2 keskinkertainen
Likaantumiskerroin, <0.2 likaantuminen vähäistä, 0.2-0.5 keskimääräistä, 0.5-1 suurta

Liite 2, tuhkan palamattomat helmikuu.

TUHKA PALAMATON 2008

Helmikuu pvm	klo	palamaton %	palamaton ka	palamaton ka kk alusta	Mittauskyvetin jännite	HUOM!
1	19:00	5,1		5,1		
		5,1	**5,1**	5,1		
2		5,9		5,3		
		5,6	**5,7**	5,4		
3	17:12	5,5		5,4		
		5,5	**5,5**	5,4		
5	15:52	5,2		5,4		
		5,1	**5,1**	5,4		
6	15:35	4,9		5,3		
		4,8	**4,8**	5,3		
7	15:53	6,2		5,3		
		5,6	**5,9**	5,4		
8	15:30	6,0		5,4		
		5,9	**6,0**	5,5		
9	14:54	5,3		5,4		
		5,5	**5,4**	5,4		
10	15:40	7,8		5,6		
		7,5	**7,6**	5,7		
11	16:20	6,7		5,7		
		6,9	**6,8**	5,8		
12	15:15	6,1		5,8		
		6,3	**6,2**	5,8		
13	15:30	5,0		5,8		
		5,2	**5,1**	5,8		
14	16:25	8,7		5,9		
		8,7	**8,7**	6,0		
15	17:10	6,2		6,0		
		6,1	**6,2**	6,0		
16	15:09	8,8		6,1		
		8,8	**8,8**	6,2		
17	15:31	9,4		6,3		
		8,9	**9,2**	6,4		
18	15:58	5,1		6,3		
		4,9	**5,0**	6,3		
19	20:30	7,9		6,4		
		7,9	**7,9**	6,4		
20	21:00	8,4		6,4		
		8,4	**8,4**	6,5		
21	20:00	7,7		6,5		
		8,0	**7,9**	6,6		
22	17:50	7,6		6,6		
		7,4	**7,5**	6,6		
23	15:50	10,4		6,7		
		10,4	**10,4**	6,8		
24	14:55	9,3		6,8		
		9,3	**9,3**	6,9		
25	15:37	8,5		6,9		
		8,4	**8,5**	7,0		
26	16:47	8,7		7,0		
		8,7	**8,7**	7,0		
27	16:02	5,9		7,0		
		5,9	**5,9**	7,0		
28	15:55	6,6		7,0		
		6,6	**6,6**	7,0		
29	15:21	7,2		7,0		
		7,1	**7,2**	7,0		

Liite 3, tuhkan palamattomat huhtikuu.

TUHKA PALAMATON 2008

Huhtikuu pvm	klo	palamaton %	palamaton ka	palamaton ka kk alusta	HUOM!
1	17:40	4,9		4,9	kajaani
		4,9	4,9	4,9	
2	17:20	3,5		4,4	kajaani
		3,5	3,5	4,2	
3	16:34	4,2		4,2	ränni 2
		4,4	4,3	4,2	
6	19:00	9,0		4,9	ränni 2
		8,9	8,9	5,4	
7	15:20	9,5		5,9	ränni 2
		9,9	9,7	6,3	
8	15:43	6,7		6,3	kajaani
		6,7	6,7	6,3	
9	15:40	6,6		6,4	ränni 2
		6,5	6,5	6,4	
10	15:40	9,3		6,6	ränni 2
		9,5	9,4	6,7	
11		6,8		6,7	kajaani
		6,7	6,7	6,7	
12		6,8		6,7	kajaani
		7,1	6,9	6,8	
13		6,8		6,8	kajaani
		6,3	6,5	6,7	
14		5,7		6,7	kajaani
		6,0	5,9	6,7	
15	16:55	6,6		6,7	
		6,6	6,6	6,7	ränni1
16	15:24	11,4		6,8	
		11,0	11,2	7,0	ränni1
17	15:40	6,8		7,0	
		6,8	6,8	7,0	ränni1
18	15:10	7,2		7,0	
		7,4	7,3	7,0	ränni1
19	19:00	6,7		7,0	
		6,8	6,8	7,0	kajaani
20	16:00	6,0		7,0	
		6,0	6,0	6,9	kajaani
21	17:00	6,0		6,9	
		5,9	5,9	6,9	kajaani
22	16:00	5,5		6,8	
		5,4	5,5	6,8	kajaani
23	15:55	5,8		6,8	
		6,1	5,9	6,8	ränni1
24	17:20	4,1		6,7	
		4,1	4,1	6,6	ränni1
25	16:50	7,2		6,7	
		7,1	7,2	6,7	ränni1
26	16:30	3,9		6,6	
		3,8	3,9	6,5	ränni1
27	16:08	4,5		6,5	
		4,5	4,5	6,5	ränni1
28	15:08	4,8		6,4	
		4,8	4,8	6,4	ränni1
29	16:25	6,2		6,4	
		6,3	6,3	6,4	ränni 2
30	14:56	7,2		6,4	
		7,3	7,3	6,4	ränni 2

Liite 4, tulipesän nuohouskombinaatiot.

Automaatiojärjestelmään tehdyt nuohousryhmät merkitty punaisella. Määrät kpl/kk.

	Tulipesä 2008									
	Kombinaatiot	Tammi	Helmi	Maalis	Huhti	Touko	Kesä-Syys	Loka	Marras	Joulu
Ryhmä 1	1-18	23	23	22	17	6		5	16	25
Ryhmä 2	19-32	7	20	18	7	2		3	15	24
	18-32	11	3	1	5	1		-	-	-
	1-12	2	-	-	-	-		-	-	-
	1-9	-	-	-	3	2		-	-	-
	9-18	-	-	-	1	-	Laitoksen revisio	-	-	-
	13-19	-	-	-	1	-		-	-	-
	18-25	-	-	-	-	2		-	-	-
	1-23	-	-	-	1	-		1	-	-
	1-32	1	3	6	1	2		1	-	1
	19-31	1	-	-		-		-	-	-
	19-21	-	-	-	1	-		-	-	-
	5-12	-	-	-	-	1		-	-	-

	Tulipesä 2009		
	Kombinaatiot	Tammi	Helmi
Ryhmä 1	1-18	13	16
Ryhmä 2	19-32	8	7
	19-23	2	2
	1-12	6	3
	13-18	2	-
	19-28	7	3
	24-32	1	-
	13-23	1	1
	18-32	-	1

Liite 5, kp-alueen nuohouskombinaatiot.

Automaatiojärjestelmään tehdyt nuohousryhmät merkitty punaisella. Määrät kpl/kk.

	Kp 2008									
	Kombinaatiot	Tammi	Helmi	Maalis	Huhti	Touko	Kesä-Syys	Loka	Marras	Joulu
Ryhmä 3	1-6	23	20	27	19	3		5	16	26
Ryhmä 4	7-12	20	24	25	11	2	Laitoksen revisio	2	13	23
	9-12	1	-	-	-	-		-	-	-
	1-12	-	-	-	-	4		-	-	-
	1-5	-	-	-	-	-		1	-	-

	Kp 2009		
	Kombinaatiot	Tammi	Helmi
Ryhmä 3	1-6	17	14
Ryhmä 4	7-12	16	11

Liite 6, vp-alueen nuohouskombinaatiot

Automaatiojärjestelmään tehdyt nuohousryhmät merkitty punaisella. Määrät kpl/kk.

	Vp 2008									
	Kombinaatiot	Tammi	Helmi	Maalis	Huhti	Touko	Kesä-Syys	Loka	Marras	Joulu
Ryhmä 5	13-18	18	19	21	15	5		3	18	22
Ryhmä 6	19-26	17	11	13	9	2		2	11	19
Ryhmä 7	27-38	1	1	2	-	-		-	2	6
	27-34	2	2	2	2	-		-	1	-
	19-30	1	2	2	-	-		1	-	-
	35-38	1	-	-	-	-		-	-	-
	19-22	1	-	-	2	-	Laitoksen revisio	-	-	-
	34-38	-	1	2	-	-		-	-	-
	13-22	-	2	-	2	-		-	-	3
	23-34	-	-	2	-	-		-	-	-
	23-30	-	-	-	1	-		-	-	-
	13-34	-	-	-		4		-	-	-
	27-30	-	-	-	-	-		-	-	1

	Vp 2009		
	Kombinaatit	Tammi	Helmi
Ryhmä 5	13-18	14	7
Ryhmä 6	19-26	11	8
Ryhmä 7	27-38	-	-
	19-22	5	3
	19-23	2	-
	27-30	5	3
	31-38	-	1
	31-34	-	2
	23-26	-	1
	13-22	1	-

Liite 7, höyrystimen lämpötilat tulipesän alaosan nuohouksessa.

Alaosa

Tammi	Mittaus 1 / °C		Mittaus 2 / °C		Mittaus 3 / °C		Mittaus 4 / °C		Mittaus 5 / °C	
	Ennen	Jälkeen	Ennen	Jälkeen	Ennen	Jälkeen	Ennen	Jälkeen	Ennen	Jälkeen
3	365	370	366	370	366	371	367	370	367	369
4	366	369	366	367	366	368	370	373	364	367
14	351	360	352	360	351	361	352	362	351	361
17	366	371	365	365	366	370	367	368	366	365
18	366	372	367	371	367	372	365	368	365	366
25	361	363	361	363	364	363	361	363	362	363
26	360	364	359	361	360	364	360	364	360	361
27	356	362	357	361	357	362	357	362	357	362
29	362	365	360	362	362	363	363	362	363	363

Tammi	Mittaus 6 / °C		Mittaus 7 / °C		Mittaus 8 / °C	
	Ennen	Jälkeen	Ennen	Jälkeen	Ennen	Jälkeen
3	366	372	367	370	365	368
4	365	367	366	366	365	366
14	351	361	352	362	350	360
17	367	368	366	364	366	364
18	368	371	367	367	366	366
25	363	365	363	364	361	363
26	361	365	361	362	360	361
27	358	362	357	363	355	361
29	363	365	363	363	363	363

Lämpötila nousee keskimäärin 3,2 °C.

Liite 8, höyrystimen lämpötilat tulipesän yläosan nuohouksessa.

Yläosa

Tammi	Mittaus 1 / °C		Mittaus 2 / °C		Mittaus 3 / °C		Mittaus 4 / °C		Mittaus 5 / °C	
	Ennen	Jälkeen	Ennen	Jälkeen	Ennen	Jälkeen	Ennen	Jälkeen	Ennen	Jälkeen
13	354	355	354	357	354	356	353	359	353	356
16	365	369	364	367	365	368	364	372	365	368
18	369	380	366	371	367	376	365	375	367	373
19	361	370	361	366	362	369	361	368	361	365
25	362	362	359	361	362	363	360	362	361	362
26	364	363	361	363	360	364	364	365	363	362
28	360	364	361	362	360	363	360	363	361	362
30	360	365	360	364	359	363	359	363	358	363

Tammi	Mittaus 6 / °C		Mittaus 7 / °C		Mittaus 8 / °C	
	Ennen	Jälkeen	Ennen	Jälkeen	Ennen	Jälkeen
13	354	357	355	357	353	356
16	364	368	365	368	364	364
18	369	374	366	371	365	367
19	363	368	363	366	361	364
25	362	363	362	362	360	361
26	364	364	365	364	363	361
28	362	363	362	363	360	362
30	360	365	359	365	360	363

Lämpötila nousee keskimäärin 3,3 °C

Liite 9, savukaasun lämpötilat tulipesän alaosan nuohouksessa.

Alaosa

Tammi	Välitulistin 2 jälkeen / °C		Ennen Ekoa / °C		Ennen luvoa / °C	
	Ennen	Jälkeen	Ennen	Jälkeen	Ennen	Jälkeen
4	471	462	425	420	363	361
14	469	471	425	431	353	364
17	496	465	434	423	368	370
18	488	489	435	424	373	371
25	486	477	425	425	351	348
26	478	473	417	416	348	346
27	471	485	410	416	340	348
29	488	490	419	418	350	348

Helmi	Välitulistin 2 jälkeen / °C		Ennen Ekoa / °C		Ennen luvoa / °C	
	Ennen	Jälkeen	Ennen	Jälkeen	Ennen	Jälkeen
2	515	509	434	428	366	362
7	482	481	425	423	351	350
9	477	483	422	419	352	349
10	488	497	424	424	365	361
11	491	493	421	419	353	349
12	485	476	420	416	360	348
20	486	481	427	425	368	365
21	486	480	418	420	359	357
22	474	480	418	420	349	348
24	477	477	421	423	349	348
25	488	483	415	413	347	345
26	471	477	424	419	356	358
27	462	465	418	417	347	347
28	485	483	416	414	348	346

Lämpötila välitulistin 2 jälkeen laskee keskimäärin 2,1 °C.

Liite 10, savukaasun lämpötilat tulipesän yläosan nuohouksessa.

Yläosa

Tammi	Välitulistin 2 jälkeen / °C		Ennen Ekoa / °C		Ennen luvoa / °C	
	Ennen	Jälkeen	Ennen	Jälkeen	Ennen	Jälkeen
13	472	462	420	416	344	343
16	487	468	432	424	368	368
18	478	471	428	422	369	364
19	497	493	431	433	367	365
25	477	468	418	418	349	346
26	477	467	422	415	349	345
28	482	477	424	419	348	348
30	495	488	423	419	347	348

Helmi	Välitulistin 2 jälkeen / °C		Ennen Ekoa / °C		Ennen luvoa / °C	
	Ennen	Jälkeen	Ennen	Jälkeen	Ennen	Jälkeen
4	507	500	427	424	358	355
9	464	457	415	412	346	346
13	486	464	424	420	364	362
15	498	485	426	419	362	360
17	481	468	432	423	361	357
22	483	475	421	421	349	350
25	482	473	425	418	350	346
26	481	477	422	412	355	351
27	452	451	413	412	347	345

Lämpötila välitulistin 2 jälkeen laskee keskimäärin 9,1 °C

Liite 11, nuohouskokeiden ensimmäisen osan aikataulu.

ALAOSAN VESINUOHOUSKOMBINAATIO

KOKEET			VESI		HÖYRY					HUOMIOT
			R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	
23.3.2009	yövuoro		X		X					R1 jälkeen tauko 2 h -> R3
24.3.2009	aamuvuoro	12:10	X		X					Ensin R3, 2h tauko ja R1
25.3.2009	aamuvuoro	8:21	X			X				R1 jälkeen tauko 2 h -> R4
25.3.2009	yövuoro	23:53	X			X				Ensin R4, 2h tauko ja R1
26.3.2009	iltavuoro	15.35	X				X			R1 jälkeen tauko 2h -> R5
27.3.2009	iltavuoro	16.34	X				X			Ensin R5, 2h tauko ja R1
28.3.2009	iltavuoro	18.53	X					X		R1 jälkeen tauko 2h -> R6
29.3.2009	iltavuoro	18.00	X					X		Ensin R6, 2h tauko ja R1

YLÄOSAN VESINUOHOUSKOMBINAATIO

KOKEET			VESI		HÖYRY					HUOMIOT
			R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	
26.3.2009	aamuvuoro	8:20		X	X					R2 jälkeen tauko 2 h -> R3
26.3.2009	yövuoro	23.21		X	X					Ensin R3, 2h tauko ja R2
27.3.2009	aamuvuoro	9:55		X		X				Ensin R4, 2h tauko ja R2
30.3.2009	iltavuoro	16:30		X		X				R2 jälkeen tauko 2h -> R4
27.3.2009	yövuoro	23.20		X			X			R2 jälkeen tauko 2h -> R5
28.3.2009	aamuvuoro	12:00		X			X			Ensin R5, 2h tauko ja R2
29.3.2009	yövuoro	4:40		X				X		R2 jälkeen tauko 2h -> R6
30.3.2009	yövuoro	0:10		X				X		Ensin R6, 2h tauko ja R2

Liite 12, nuohoskokeiden toisen osan aikataulu.

	PÄIVÄ	VUORO	AIKA	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7
	Maanantai	aamuvuoro								
		iltavuoro								
		yövuoro								
7.4.2009	Tiistai	aamuvuoro	6:00		x		x		x	
		iltavuoro	20:00			x		x		
		yövuoro								
8.4.2009	Keskiviikko	aamuvuoro	6:24	x			x		x	
		iltavuoro	18:30			x		x		
		yövuoro								
9.4.2009	Torstai	aamuvuoro	10:25	x		x			x	
		iltavuoro	20:07		x		x	x		
		yövuoro								
10.4.2009	Perjantai	aamuvuoro	6:00	x		x		x		
		iltavuoro	18:00				x			x
		yövuoro								
11.4.2009	Lauantai	aamuvuoro	9:40		x	x		x		
		iltavuoro	21:05				x		x	
		yövuoro								
12.4.2009	Sunnuntai	aamuvuoro	13:15	x		x		x		
		iltavuoro								
		yövuoro								

Liite 13, ryhmien 1 ja 2 vaikutukset eristetyissä nuohouksissa.

Ryhmä 1

Pvm	Savukaasut / ℃							
	Tulipesä		Välitulistin 2		Ennen Ekoa		Ennen Luvoa	
	Ennen	Jälkeen	Ennen	Jälkeen	Ennen	Jälkeen	Ennen	Jälkeen
23.maalis			472	472	428	420	351	343
25.maalis			482	468	425	422	350	352
26.maalis			476	484	423	424	346	347
27.maalis			468	475	425	427	350	349
28.maalis			481	458	428	419	351	352
29.maalis			463	447	410	408	338	338
Ka.			6,3					

Ryhmä 2

Pvm	Savukaasut / ℃							
	Tulipesä		Välitulistin 2		Ennen Ekoa		Ennen Luvoa	
	Ennen	Jälkeen	Ennen	Jälkeen	Ennen	Jälkeen	Ennen	Jälkeen
27.maalis			466	451	423	421	352	352
28.maalis			481	463	430	425	352	351
28.maalis			482	477	424	423	348	348
29.maalis			456	445	413	413	341	341
30.maalis			462	453	414	411	340	340
30.maalis			469	470	423	424	356	352
Ka.			9,7					

Liite 14, ryhmän 3 vaikutus eristetyissä nuohouksissa.

Ryhmä 3

Pvm	Savukaasut / ℃							
	Tulipesä		Välitulistin 2		Ennen Ekoa		Ennen Luvoa	
	Ennen	Jälkeen	Ennen	Jälkeen	Ennen	Jälkeen	Ennen	Jälkeen
24.maalis			474	560	429	421	350	345
24.maalis			480	469	423	421	345	345
26.maalis			486	458	427	416	350	348
27.maalis			475	458	425	415	352	351
Ka.			17,5		7,75		2	

Pvm	Vp-höyryn lämpötila / ℃				Vp-ruiskutukset / Kg/s			
	RB10T004		RB20T004		RL91F001		RL92F001	
	Ennen	Jälkeen	Ennen	Jälkeen	Ennen	Jälkeen	Ennen	Jälkeen
24.maalis	531	529	533	525	0,604	0	0,826	0,023
24.maalis	531	529	533	530	0,324	0	0,195	0,023
26.maalis	532	524	532	525	0,182	0,019	0,046	0,041
27.maalis	532	529	533	530	0,565	0,002	0,656	0,533
Ka.	3,75		5,25		0,414		0,276	

Pvm	Höyryn lämpötila T1 / ℃			
	NA53T002		NA54T002	
	Ennen	Jälkeen	Ennen	Jälkeen
24.maalis	402	398	406	398
24.maalis	405	398	396	405
26.maalis	393	400	404	404
27.maalis	399	400	403	390
Ka.	0,75		3	

Liite 15, ryhmän 4 vaikutus eristetyissä nuohouksissa.

Ryhmä 4

Pvm	Savukaasut / ℃							
	Tulipesä		Välitulistin 2		Ennen Ekoa		Ennen Luvoa	
	Ennen	Jälkeen	Ennen	Jälkeen	Ennen	Jälkeen	Ennen	Jälkeen
25.maalis			469	464	423	419	351	348
26.maalis			468	460	424	419	350	347
27.maalis			476	472	426	421	351	348
30.maalis			480	476	428	422	355	353
Ka.			5,25		5,0		2,75	

Pvm	Vp-höyryn lämpötila / ℃				Vp-ruiskutukset / Kg/s			
	RB10T004		RB20T004		RL91F001		RL92F001	
	Ennen	Jälkeen	Ennen	Jälkeen	Ennen	Jälkeen	Ennen	Jälkeen
25.maalis	532	526	533	523	0,321	0,005	0,523	0
26.maalis	531	528	530	526	0,384	0	0,866	0,393
27.maalis	532	529	533	531	0,542	0	1,252	0,671
30.maalis	533	528	534	527	0,352	0	0,648	0,115
Ka.	4,25		5,75		0,4		0,53	

Pvm	Höyryn lämpötila T1 / ℃			
	NA53T002		NA54T002	
	Ennen	Jälkeen	Ennen	Jälkeen
25.maalis	397	401	403	405
26.maalis	409	399	409	388
27.maalis	399	406	390	397
30.maalis	400	400	401	401
Ka.	-1,0		12,0	

Liite 16, ryhmän 5 vaikutus eristetyissä nuohouksissa.

Ryhmä 5

Pvm	Savukaasut / ℃							
	Tulipesä		Välitulistin 2		Ennen Ekoa		Ennen Luvoa	
	Ennen	Jälkeen	Ennen	Jälkeen	Ennen	Jälkeen	Ennen	Jälkeen
26.maalis			467	461	428	424	354	349
27.maalis			467	461	428	423	354	349
28.maalis			472	469	431	426	354	352
28.maalis			464	462	421	417	350	348
Ka.			4,25		4,5		3,5	

Pvm	Vp-höyryn lämpötila / ℃				Vp-ruiskutukset / Kg/s			
	RB10T004		RB20T004		RL91F001		RL92F001	
	Ennen	Jälkeen	Ennen	Jälkeen	Ennen	Jälkeen	Ennen	Jälkeen
26.maalis	532	530	532	530	0,751	0,558	0,737	0,579
27.maalis	533	530	532	530	0,652	0,355	1,367	1,035
28.maalis	536	528	534	531	0,794	0,846	1,35	1,149
28.maalis	533	531	533	531	0,242	0,165	0,658	0,492
Ka.	3,75		2,25		0,129		0,21	

Pvm	Höyryn lämpötila T1 / ℃			
	NA53T002		NA54T002	
	Ennen	Jälkeen	Ennen	Jälkeen
26.maalis	394	399	400	400
27.maalis	405	403	397	397
28.maalis	403	399	399	397
28.maalis	404	401	396	393
Ka.	1,0		1,25	

Liite 17, ryhmän 6 vaikutus eristetyissä nuohouksissa.

Ryhmä 6

Pvm	Savukaasut / ℃							
	Tulipesä		Välitulistin 2		Ennen Ekoa		Ennen Luvoa	
	Ennen	Jälkeen	Ennen	Jälkeen	Ennen	Jälkeen	Ennen	Jälkeen
28.maalis			460	462	423	418	351	348
29.maalis			465	460	416	410	339	337
29.maalis			445	451	412	409	341	338
30.maalis			462	460	419	408	342	337
Ka.			-0,25		6,25		3,25	

Pvm	Vp-höyryn lämpötila / ℃				Vp-ruiskutukset / Kg/s			
	RB10T004		RB20T004		RL91F001		RL92F001	
	Ennen	Jälkeen	Ennen	Jälkeen	Ennen	Jälkeen	Ennen	Jälkeen
28.maalis	532	530	534	531	0,202	0,298	0,996	1,278
29.maalis	532	530	534	531	0,275	0,252	0,298	0,349
29.maalis	531	530	533	534	0	0,223	0,47	0,578
30.maalis	531	530	534	532	0,41	0,275	0,684	0,454
Ka.	1,5		1,75		-0,161		-0,211	

Pvm	Höyryn lämpötila T1 / ℃			
	NA53T002		NA54T002	
	Ennen	Jälkeen	Ennen	Jälkeen
28.maalis	399	400	390	391
29.maalis	393	390	399	397
29.maalis	399	389	396	390
30.maalis	395	389	398	394
Ka.	4,5			2,75

Liite 18, kombi- ja normaalikäytön eroja.

Pvm	Klo	Kombikäyttö Savukaasut / ℃ Välitulistin	Ennen Ekoa
1.tammi	8:20	482	423
	16:00	485	421
2.tammi	8:15	478	413
	19:00	476	418
3.tammi	16:05	461	414
4.tammi	3:10	458	411
	14:33	465	414
5.tammi	2:30	458	412
15.tammi	10:00	456	409
16.tammi	7:30	457	413
	18:25	471	418
17.tammi	12:50	456	413
18.tammi	2:00	464	409
	Ka.	467	414

Pvm	Klo	Normaalikäyttö Savukaasut / ℃ Välitulistin 2	Ennen Ekoa
25.helmi	14:10	462	403
28.helmi	5:50	465	404
	20:00	471	411
1.maalis	5:45	457	405
	19:25	461	408
2.maalis	3:05	457	405
	20:50	466	410
3.maalis	12:25	455	406
	22:25	465	410
4.maalis	16:10	462	410
5.maalis	2:55	478	410
6.maalis	12:50	464	410
7.maalis	7:10	462	406
	Ka.	463	408

Liite 19, esimerkki nuohousten painotuksista.

ALUE	SELOSTUS	MITTAUS	KÄYTTÖ
LUVO	ILMAN ESILÄMMITIN (LUVO), höyrynuohous		Joka kerta
R8	VEDEN ESILÄMMITIN (EKO), ääninuohoimet 1 - 4		Käyttö kokoajan
R7	VT-OSA, nuohoimet 27 - 38 10 % VT-osan alueen nuohouksesta		Kaksi kertaa viikossa
R6	VT-OSA, nuohoimet 19 - 26 30 % VT-osan alueen nuohouksesta Savukaasun lämpötila ennen Ekoa Vp-ruiskutus määrä, oikea Vp-ruiskutus määrä, vasen Savukaasun lämpötila 2 välitulistin	 NR60T001 RL91F001 RL92F001 NR40T001	Joka toinen päivä
R5	VT-OSA, nuohoimet 13 - 18 60 % VT-osan alueen nuohouksesta Savukaasun lämpötila ennen Ekoa Vp-ruiskutus määrä, oikea Vp-ruiskutus määrä, vasen Savukaasun lämpötila 2 välitulistin	 NR60T001 RL91F001 RL92F001 NR40T001	Kerran vuorokauden aikana
R4	KP-OSA, nuohoimet 7 - 12 40 % KP-osan alueen nuohouksesta Vp-ruiskutus määrä, oikea Vp-ruiskutus määrä, vasen Savukaasun lämpötila 2 välitulistin Tulipesän lämpötila pääkattila	 RL91F001 RL92F001 NR40T001 NR20T001	Joka toinen päivä
R3	KP-osa, nuohoimet 1 - 6 60 % KP-osan alueen nuohouksesta Vp-ruiskutus määrä, oikea Vp-ruiskutus määrä, vasen Savukaasun lämpötila 2 välitulistin Tulipesän lämpötila pääkattila	 RL91F001 RL92F001 NR40T001 NR20T001	Kerran vuorokauden aikana
R2	TULIPESÄ, nuohoimet 19 - 32 50 % tulipesän kokonaisnuohouksesta, mikäli ei havaittavaa kuonaantumista Tulipesän lämpötila pääkattila	 NR20T001	Kerran vuorokauden aikana
R1	TULIPESÄ alaosa, nuohoimet 1- 18 50 % tulipesän kokonaisnuohouksesta, mikäli ei havaittavaa kuonaantumista Tulipesän lämpötila pääkattila	 NR20T001	

Liite 20, kattilan hyötysuhteen laskenta.

Tunnusluku
KATTILAHYOTYSUHDE

Yksikkö	**Huom.**
%	

Laskentayhtälö:

```
NA00XU51 = 100 * (1 - Qhavio/(Qhyoty + Qhavio))

     Qhavio = Qsk + Qco + Qheh + Qtuh + Qsat + Qsuo

     Qsat = Ksat * (Tkat - Tulko)

     Qhyoty = Qhoy + (Qvpu - Qvps)
```

Loogiset ehdot:

Tarvittavat tunnusluvut ja analogiamittaukset				**Vakiot**	
T/A	**AKZ-koodi**	**Tunnus**	**Selitys**	**Tunnus**	**Arvo (Oletus)**
	NR80GP54	Qsk	Savukaasun lampohavioteho taserajalla		
	NR80GP52	Qco	Palamattomien lampohavioteho		
	NT00GP51	Qheh	Tuhkan hehkutushavioteho		
	NT00GP53	Qtuh	Tuhkan lampohavioteho		
	NA00GP01M	Ksat	Sateilyhaviokerroin		
A	NG00T002	Tkat	Kattilahuoneen lämpötila		
A	NG00T001	Tulko	Ulkoilman lämpötila		
	NQ00GP51	Qsuo	Sahkosuodattimen lampohavioteho		
	NA00GP56	Qhoy	Kattilan hoyryteho		
	RB30GP51	Qvpu	Vp-hoyryteho kattilasta		
	RC10GP51	Qvps	Vp-hoyryteho kattilaan		