

KYMENLAAKSON AMMATTIKORKEAKOULU

Energiatekniikka / käyttö ja käynnissäpito

Tommi Nukarinen

LAITOKSEN NUOHOUKSIEN TARKASTELU

Opinnäytetyö 2013

# TIIVISTELMÄ

## KYMENLAAKSON AMMATTIKORKEAKOULU

### Energiatekniikka

NUKARINEN, TOMMI	Laitoksen nuohouksien tarkastelu
Opinnäytetyö	35 sivua
Työn ohjaajat	TKI-Johtaja, Markku Huhtinen Käyttöinsinööri, Rauno Kontro
Toimeksiantaja	Helsingin Energia
Huhtikuu 2013	
Avainsanat	hiilikattila, nuohous, höyry

Opinnäytetyön tarkoituksena oli selvittää Helsingin Energian Salmisaaren vastapainevoimalaitoksen hiilikattilan nuohoustarvetta eri nuohousohjelmilla sekä hiilimyllykombinaatiolla, joilla parannetaan voimalaitoksen kokonaishyötysuhdetta.

Nuohouksen tarkastelulla pyritään löytämään optimaaliset ajankohdat nuohouksen suorittamiseksi niin käytöntehtämisessä kuin taloudellisessa mielessä. Työssä tarkasteltiin voimalaitoksen normaalia toimintaa talvikautena kattilan ollessa täydellä teholla. Seurantajakson aikana mittausdataa haettiin prosessinvalvontajärjestelmästä noin 2,5 kuukauden ajalta mittausdatan analysointia varten. Keskeisimpiä mittausdotoja olivat savukaasun lämpötilamittaus tiedot kattilan eri osissa, savukaasun lämpöhäviöt ja kattilan kokonaishyötysuhde.

Alkuperäisenä tavoitteena oli selvittää nuohousta neljällä eri hiilimyllykombinaatiolla. Aikataulu- ja teknisistä syistä työ jouduttiin rajaamaan kolmeen eri hiilimylly-yhdistelmän tarkasteluun. Hiilimyllykombinaatioiden tarkastelussa tutkittiin jokaisessa kolmea eri nuohousohjelmaa ja näiden tuloksia verrattiin keskenään. Tuloksista löytyi pieniä eroja eri nuohousohjelmien ja hiilimyllykombinaatioiden välillä.

## ABSTRACT

KYMENLAAKSON AMMATTIKORKEAKOULU

University of Applied Sciences

Energy Engineering

NUKARINEN, TOMMI The Effect of Soot Blowing in a Coal-Fired Boiler

Bachelor's Thesis 35 pages

Supervisors Markku Huhtinen, RDI Director  
Rauno Kontro, Operation Manager

Commissioned by Helsingin Energia

April 2013

Keywords coal fired boiler, soot blowing, steam

The objective of this thesis was to evaluate the effect of soot blowing at the back-pressure power plant of Helsingin Energia in Salmisaari. Different soot blowing programs and coal pulverized combinations were evaluated to maximize the overall efficiency of the plant.

The optimal scheduling of soot blowing was evaluated by both operational and economic criteria. In this work, operation was tracked during a winter period when the power plant was run at a full load. During the evaluation period, operation data was recorded over a period of 2.5 months for deeper analysis. The most essential information for the analysis was the flue gas temperature measured from different parts of the boiler to define temperature losses and the measured overall efficiency of the boiler.

The original aim of the study was to evaluate soot blowing with three different coal pulverized combinations. However, because of a tight schedule and some technical reasons, the work was limited to analyze only three different combinations. The three soot blowing programs were compared to each other. Some differences were found between programs and the coal pulverizer combinations.

## TERMIT JA LYHENTEET

CHP-laitos	voimalaitos, jossa yhdistetty lämmön ja sähkön tuotanto
Ekonomaiser	veden esilämmitin
Luvo	ilman esilämmitin
PVJ	prosessinvalvontajärjestelmä
Entalpia	aineen lämpösisältö

## ALKUSANAT

Tämä insinööri työ on tehty Helsingin Energian Salmisaaren voimalaitokselle.

Työn valvojana on toiminut TKI-Johtaja Markku Huhtinen Kymenlaakson Ammatikorkeakoulusta. Työnohjaajana voimalaitoksella toimi Rauno Kontro. Kiitän heitä molempia hyvistä ideoista ja tuesta työn tekemisen aikana. Kiitokset kuuluvat myös Salmisaaren henkilökunnalle avustamisesta työn tekemisessä.

Eritiskiitokset kuuluvat Anton Laarille, Olli Salmiselle ja Leif Lindforsille prosessimittausten saloihin perehdyttämisestä.

Helsingissä 22. huhtikuuta 2013.

Tommi Nukarinen

# SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

TERMIT JA LYHENTEET

ALKUSANAT

1 HELSINGIN ENERGIA	8
1.1 Helsingin Energia -konserni	8
1.2 Salmisaaren voimalaitos	8
1.3 K1- kattila	9
2 HIILIVOIMALAITOKSET SUOMESSA	10
2.1 Kivihiili polttoaineena	11
2.2 Lauhdutusvoimalaitos	11
2.3 Vastapainevoimalaitos	11
3 KATTILAN NUOHOUS	11
3.1 Tarkoitus	11
3.2 Nuohointyytit	12
3.2.1 Puhallusnuohoimet	12
3.2.2 Vesinuohoimet	13
3.2.3 Kuulanuohouslaitteet	13
3.2.4 Mekaaniset ravistuslaitteet	13
3.2.5 Ääninuohoimet	14
3.2.6 Kaasupulssinuohoimet	15
4 K1 KATTILAN NUOHOUSMENETELMÄT	16
4.1 Nuohoimet	16
4.2 Aikaisemmat kokemukset	18

5 NUOHOINKOEAJOT	18
5.1 Nuohouksien tarkastelut	18
5.2 Hiilimylykombinaatit	19
5.3 Mittauspisteet ja yksiköt	20
5.4 Nuohoinohjelmat	21
6 NUOHOUSOHJELMIEN VAIKUTUS	23
6.1 Seurantajakson tehoalue	23
6.2 Savukaasun lämpötila	24
6.3 Kattilan kokonaishyötysuhde	26
6.4 Savukaasun lämpöhäviöiden muutos	27
6.5 Kattilan lämpöpintojen likaantuminen	29
6.6 Nuohousenergian tarve	29
6.7 Nuohouksen tarpeellisuus	31
7 YHTEENVETO	33
LÄHTEET	35

# 1 HELSINGIN ENERGIA

## 1.1 Helsingin Energia -konserni

Helsingin Energia on sähköä ja kaukolämpöä sekä kaukojäähdytystä tuottava energia-alan yhtiö. Yhtiö myy kaukolämpöä ja kaukojäähdytystä Helsingin kaupungin tarpeisiin. Sähköä myydään eri puolille Suomea. Yhtiö on perustettu vuonna 1909 ja sen alkuperäinen nimi oli Helsingin kaupungin sähkölaitos. Yhtiön nykyinen nimi on otettu käyttöön vuonna 1995.

Helsingin Energian pääasiallinen sähkön- ja lämmöntuotanto tapahtuu kolmessa eri voimalaitoksessa. CHP-laitosten lisäksi yhtiöllä on yhdeksän kaukolämpölaitosta ja yksi varavoimala. Voimalaitosten pääpolttoaineet ovat maakaasu ja kivihiihi. (Helsingin Energia, 2002, 3.)

## 1.2 Salmisaaren voimalaitos

Salmisaaren voimalaitos koostuu A- ja B-yksiköistä. Voimalaitos sijaitsee Helsingin läntisessä kantakaupungissa, Ruoholahdessa. Koko Salmisaaren yksikön kokonaistuotanto on sähköä 175 MW ja kaukolämpöä 480 MW.

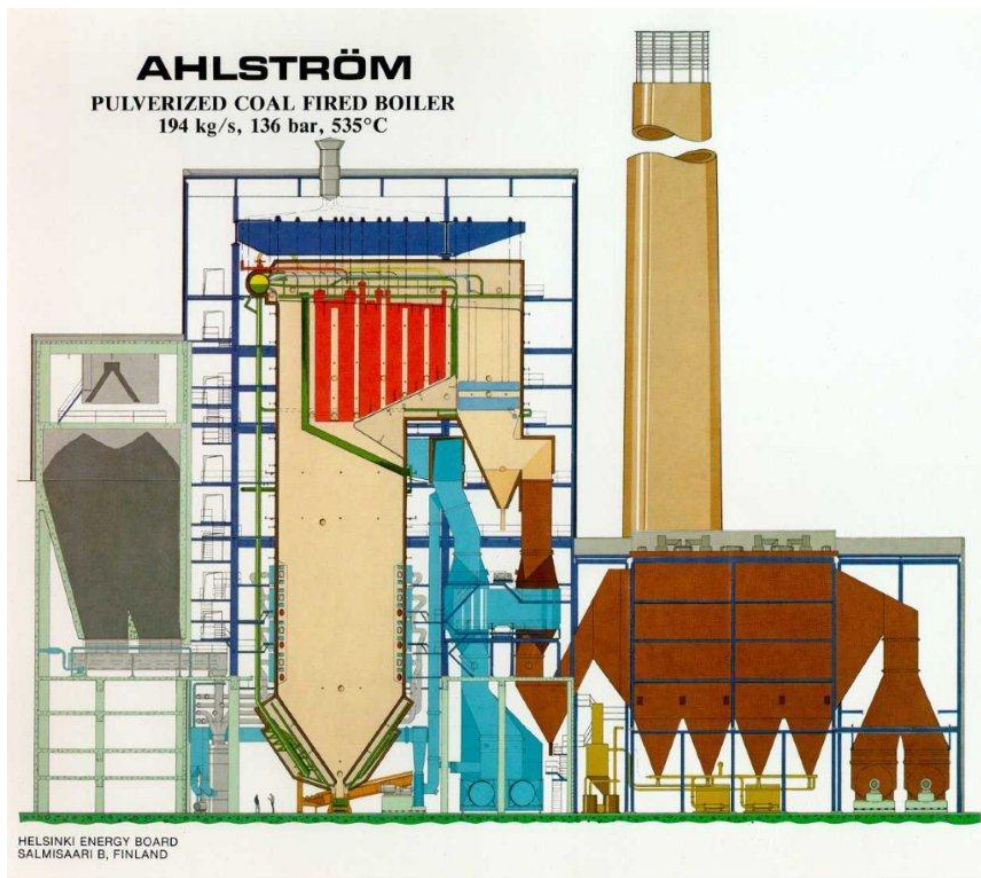
A-laitoksen toiminta on käynnistynyt vuonna 1952 ja käsittää nykyisellään kolme kattilaa. Kattilat K6 ja K7 toimivat kuumavesikattiloina, jotka on kytketty suora-kytkennällä kaupungin kaukolämpöverkkoon. K7 on hiilikäyttöinen kattila ja K6 on öljykäyttöinen kattila, jossa on kolme lohkoa. K6 kaukolämpöteho on 120 MW ja K7 180 MW. K5 kattilan käyttö rajoittuu pelkästään omakäyttöhöyryn tuottamiseen ja kattila on tyypiltään tulitorvi-tuliputkikattila. K5- kattilan teho on 7.7 MW. Salmisaaren B-laitos on käynnistynyt vuonna 1984 ja käsittää K1 kattilan, joka toimii vastapaineperiaatteella.

Ylimääräistä lämpökapasiteettia varten laitoksella on kaksi kaukolämpöakkua, joiden yhteistilavuus on 20 000 m<sup>3</sup>. Akkuihin varataan lämpöä tai sieltä puretaan lämpöä kaukolämpöverkkoon lämmöntarpeen mukaan. Akkujen käyttö on kulutus- huippujen tasausta varten. Akut on kytketty joko K7- tai K1- kattilan perään.



### 1.3 K1- kattila

Voimalaitoksen pääkattila on Ahlströmin toimittama K1- kattila. Kattila on tyypiltään lieriökattila. Kattila on teholtaan yksi Suomen suurimmista luonnonkierrolla toimivista lieriökattiloista. Polttoaineteho on 505 MW. Kattilasta saatava sähköteho on 175 MW vuoden 2012 turbiiniuusinnan jälkeen. Kattila tuottaa kaukolämpöä 300 MW. Kattilan käyttämä kivihiili murskataan neljällä Claudius Petersin hiilimyllyillä ja puhalletaan kuumen kantoilman avulla hiilipölynä kattilan tulipesään. Hiilimyllyn kapasiteetti on 28 t/h. Hiilen poltto tapahtuu nurkkapolttona neljällä eri tasolla, jossa hiilisuihkun suuntaan ei ole mahdollista muuttaa sen tulipesään. Kattilalla on mahdollista päästä täyteen tehoon käyttämällä kolmea hiilimyllyä yhden toimiessa varamyllynä. Kattilan höyryn arvot ovat 720 t/h (200 kg/s), 136 bar sekä 535 °C.



Kuva 1. Salmisaaren K1- kattila (Helsingin Energia, 1987, 9)

Tukipolttoaineena kattilassa käytetään raskasta polttoöljyä. Öljynpoltto suoritetaan kolmella eri tasolla nurkkapolttona. Kattilan lieriöstä höyry menee tulistimille. Jär-

jestyksessä ensimmäisenä on tulistin 2. Tämän jälkeen on tulistin 3 ja 1. Tulistin 2 on sijainniltaan suoraan tulipesän yläpuolella ja siinä on kuumimmat olosuhteet. Kattilan rakennetta on myöhemmin muutettu asentamalla vesiverho tulistimien eteen. Vesiverholla lasketaan savukaasujen lämpötilaa. Kuvassa vesiverho on kuvattu vihreällä. Tulistimien jälkeen savukaasut matkaavat ekonomaiserin ja pyörivän luvon kautta sähkösuotimeen. Lisäksi käytössä on höyryluvo. Sähkösuodin koostuu kahdeksasta kennosta ja sieltä savukaasut jatkavat rikinpoistolaitokselle. Rikinpoistolaitos oli valmistuessaan 1987 Suomen ensimmäinen rikinpoistolaitos, joka toimii puolikuivalla menetelmällä.

Kattilan tuore höyry ajetaan Skodan höyryturbiiniin. Höyry kulkee ensin turbiinin korkeapaineosaan tehden työn ja sieltä ylijuoksun kautta siirtyy matalapaineosaan. Turbiinin korkeapainepesä on varustettu väliotoilla, josta muun muassa syöttöveden esilämmitykseen otetaan lämmityshöyry. Höyryn tehdessä työn matalapaineosassa höyry kulkeutuu turbiinin alla sijaitseviin kahteen kaukolämmönvaihtimeen. Höyry lämmittää kaukolämmönvaihtimien kaukolämpöveden, joka ajetaan kaupungin kaukolämpöverkkoon. Höyry sen sijaan lauhtuu vedeksi ja otetaan uudestaan talteen kattilan syöttövedeksi.

Kahden turbiinin alla sijaitsevan kaukolämmönvaihtimen lisäksi on käytössä niin sanottu reduktiolämmönvaihdin. Tämän lämmönvaihtimen tarkoituksena on ottaa vastaan turbiinille tuleva höyrykuorma turbiinin ajautuessa pikasulkuun.

## 2 HIILIVOIMALAITOKSET SUOMESSA

### 2.1 Kivihiili polttoaineena

Valtaosa Suomen hiilivoimalaitoksista sijaitsee rannikolla. Tärkeimpänä syynä tähän on polttoaineen saatavuus voimalaitoksille. Polttoaine yleensä toimitetaan suurina laivakuormina. Kivihiili louhitaan maankuoresta, johon se on kertynyt miljoonien vuosien kuluessa. Ruskohiilestä muodostuu kivihiiltä ja hiilen kovuus lisääntyy mitä, edempänä se on hiilenkehityskulussa. Ruskohiiltä ei käytetä suomalaisis-

sa voimalaitoksissa. Kivihiilen laadulla on suuri merkitys hiilen voimalaitospoltossa. Huonolaatuinen hiili muodostaa paljon kuonaa ja epäpuhtauksia kattilan tulipesän rakenteisiin. Salmisaaren voimalaitoksille suurimmat hiilen toimittajamaat ovat Venäjä ja Puola.

## 2.2 Lauhdutusvoimalaitos

Lauhdutusvoimalaitoksen tarkoitus on pelkästään sähköntuotanto. Turbiinista lähtevä höyry ajetaan mahdollisimman matalassa paineessa lauhduttimeen. Yleensä lauhdutus suoritetaan meriveteen. Sähköä halutaan tuottaa mahdollisimman edullisesti. Sen vuoksi prosessin hyötysuhteen on oltava mahdollisimman hyvä. Oleellista on myös käyttää halpoja polttoaineita. Korkeasta höyrynpaineesta johtuen ei voida käyttää luonnonkiertokattiloita, vaan kattilat ovat läpivirtauskattiloita. Hyötysuhdetta parantaakseen prosessit on varustettu monivaiheisella syöttöveden esilämmityksellä ja välitulistuksella. Lauhdutusvoimalaitoksen kokonaishyötysuhde on suurimmillaan 44 %. (Huhtinen, 2008, 89 – 90.)

## 2.3 Vastapainevoimalaitos

Vastapainelaitos tuottaa sekä sähköä että kaukolämpöä. Höyryllä lämmitetään kaukolämpövesi, jonka lämpötila vaihtelee vuodenaikojen ja lämmöntarpeen mukaan. Useimmiten prosessin päätuote on kaukolämpö ja sivutuotteena saadaan sähköä. Voimalaitokset sijoitetaan yleensä kaupunkien läheisyyteen kuluttajien lähelle. Vastapainevoimalaitoksen kokonaishyötysuhde on noin 90 %. (Huhtinen, 2004, 11.)

# 3 KATTILAN NUOHOUS

## 3.1 Tarkoitus

Tuhkapitoisten polttoaineiden polttaminen kattiloissa aiheuttaa kattilan lämpöpintojen likaantumisen. Lämpöpintojen likaantuminen heikentää lämmön siirtymistä sa-

vukaasuista kattilaputkistoon. Pahimmillaan sulan tuhkan kerrostuminen aiheuttaa puhtaiden lämpöpintojen ylikuumentumista ja edesauttaa kattilaputkien syöymistä. Käytännössä kattilan lämpöpintojen likaantuminen havaitaan savukaasun lämpötilan nousuna. Oikeanlainen kattilan nuohous vähentää kattilaputkien vaurioitumista ja parantaa kattilan hyötysuhdetta. Lisäksi kattilan päästöt ovat pienemmät oikein nuohotulla kattilalla. (Laaninen, 2005, 8.)

### 3.2 Nuohointyytit

Kattilan lämpöpintojen puhdistukseen on seuraavanlaisia nuohointyyppie:

- puhallusnuohoimet
- vesinuohoimet
- kuulanuohouslaitteet
- mekaaniset ravistuslaitteet
- ääninuohoimet
- kaasupulssinuohoimet (Huhtinen, 2004, 214.)

#### 3.2.1 Puhallusnuohoimet

Puhallusnuohoimet on yleisin nuohousmenetelmä voimalaitoskattiloissa. Puhdistettaville pinnoille puhalletaan suutinputkien kautta korkeapaineista höyryä tai paineilmaa. Höyrykäyttöisissä nuohoimissa käytetään tulistettua höyryä, sillä kosteus aiheuttaa eroosioita kattilarakenteille. Käytetyt höyrynpaineet ovat 20 - 30 bar. Paineilmakäyttöiset nuohoimet vaativat kompressorin käytön ilman paineistamiseksi. Käyttöpainne on 20 bar.

Puhallusnuohoimet voidaan jakaa:

- seinänuohoimiin
- ulosvedettäviin nuohoimiin
- pyöriviin monisuutinnuohoimiin
- haravanuohoimiin
- pyörivien ilmanesilämmittimien nuohoimiin (Huhtinen, 2004, 214.)

Seinänuohoimet on kiinteästi seinässä kiinni ja laitteen suutinputki työnnetään kattilan tulipesään. Nuohointyyppiä käytetään vaikean lian poistamiseen, kun savukaasujen lämpötilat ovat alle 1500 °C.

Ulosvedettävissä nuohoimissa suutinputki liikkuu kattilan sisään ja sieltä ulos nuohouksen aikana. Tulistinalueella on niin suuret lämpötilat, että kiinteä nuohoin vaurioituisi 1500 °C:ssa. Pyörivän suuttimen puhalluksen vaikuttava alue on muutamia metrejä.

Pyöriviä monisuutinnuohoimia käytetään matalampiin lämpötiloihin. Ohi virtaavien savukaasujen lämpötila on alle 800 °C. Nuohoin pysyy paikallaan ainoastaan pyörii akselinsa ympäri. (Laaninen, 2005, 18.)

### 3.2.2 Vesinuohoimet

Vesinuohoimia käytetään myös voimalaitoskattiloissa. Tosin niiden käyttö ei ole yhtä yleistä kuin höyrynuohointen. Salmisaaren K1 kattilan poltinnurkkien läheisyydessä on käytössä vesinuohoimet. Niillä puhdistetaan hienojakoinen pöly kattilan seinämistä, joka heijastaa lämpösäteilyä pois. Yleisempää on kattilan vesipesu vielä sen ollessa kuumana. Heti kattilaseisokin alussa tehtävä vesipesu ei aiheuta ei ole niin haitallista kuin kylmälle kattilalle suoritettava vesipesu.

### 3.2.3 Kuulanuohouslaitteet

Kuulanuohoimia käytetään helposti irtoavan lian puhdistukseen. Hiilipölykattilan tulistimien jälkeiset pinnat kuuluvat tähän kategoriaan. Puhdistuminen perustuu kuulien mekaanisiin iskuihin lämpöpinnoissa. Pudotetut kuulat kulkeutuessaan savusolan alapäähän kerätään talteen ja siirretään takaisin annostelijalle. (Huhtinen, 2004, 217.)

### 3.2.4 Mekaaniset ravistuslaitteet

Tämä nuohousmenetelmä on tarkoitettu erittäin likaisten pintojen nuohoukseen. Iskuvasaralla saadaan värähtely puhdistettavaan seinään tai konvektiopintaan. Lika varisee alas pinnoista värähtelyn vaikutuksesta. Menetelmä on edullinen hankinta- ja

käyttökustannuksiltaan, mutta vaatii laitteiston huoltoa ja aiheuttaa melua. (Huhtinen, 2004, 218.)

### 3.2.5 Ääninuhoimet

Laitteen toiminta perustuu joko kuuluvan äänen tai infraäänien käyttöön. Ääninuhoimet kuuluvat akustisiin puhdistuslaitteisiin. Laitteita käytetään energia- ja prosessiteollisuudessa pintojen puhdistukseen. Puhdistustehokkuuteen vaikuttavat epäpuhtauksien laatu, väliaineen lämpötila, tilan ääntä absorboivien pintojen pinta-ala sekä puhdistettavien elementtien rakenne. Parhaimpaan puhdistustulokseen päästään kun puhdistus aloitetaan jo valmiiksi puhtaille pinnoille. Näin äänivärähtelyllä estetään likapartikkelien kiinnittyminen puhtaille pinnoille. Menetelmä soveltuu parhaiten jauhemaisten aineiden poistamiseen.



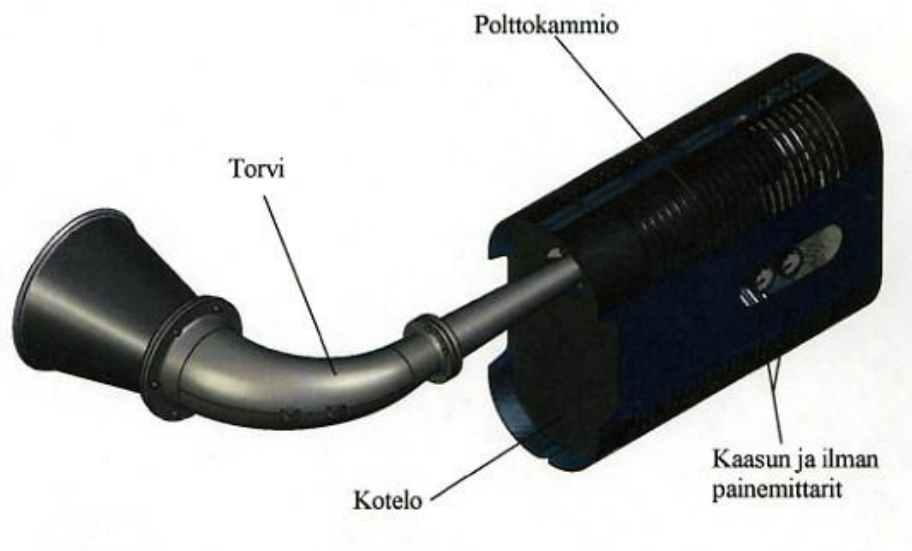
Kuva 2. Ääninuhoin (Nirafon Oy, 12/2012, 3)

Ääninuhoin koostuu äänigeneraattorista ja torvesta. Äänigeneraattori muodostuu rungon, kannen ja kalvon muodostamasta kokonaisuudesta. Laitteen sisällä oleva kalvo toimii venttiilinä, jota kuormittaa rungon ja kannen siihen kohdistava esikieritys, paineilma, torven akustinen impedanssi ja kalvon toisella puolella olevan ilmatilan muodostama jousivoima. Äänigeneraattori vaatii toimiakseen paineilmaa, jonka virtauksen avulla saadaan kalvo avautumaan ja sulkeutumaan nopeaan tahtiin. Näin saadaan voimakas painevaihtelu torveen. Torvi toimii akustisena aaltoputkena, jonka poikkipinta muuttuu jatkuvasti. Torven muotoilu ratkaisee nuohoimen synnyttämän äänen taajuusjakauman.

Nirafonin ääninuohoimet tuottavat 150 dB äänipainetasoa mitattuna yhden metrin päästä torven suusta. Kun puhdistettavalla alueella oleva lämpötila on alle 800 °C, niin saadaan riittävä puhdistustulos. (Nirafon Oy, 12/2012, 4.)

### 3.2.6 Kaasupulssinuohoimet

Kaasupulssinuohoimet kuuluvat akustisiin nuohoimiin. Nuohoimissa kehitetään puhdistava ääni polttamalla pieni määrä neste- tai maakaasua polttokammiossa ja johtamalla äänenpaineisku torven kautta puhdistavaan tilaan.



Kuva 3. Kaasupulssinuohoin (Nirafon Oy, 9/2012, 3)

Nuohottaville pinnoille on kertynyt likapartikkeleita, jotka saadaan irrotettua äänenpaineella, kun pulsseja tuotetaan useita lyhyen ajan sisällä. Äänenpaineen aiheuttama likapartikkeliin kohdistuva voima on suurempi kuin likapartikkelin kiinnipitävä adheesiovoima. Likapartikkelit irtoamisen jälkeen jatkavat matkaa savukaasuvirran mukana.

Kaasupulssinuohoin koostuu polttokammioista, kaasuventtiiliryhmästä, ilmaventtiiliryhmästä sekä torvesta. Polttokammioon syötetään palava kaasun ja ilman seos. Tämän jälkeen polttoaineseos sytytetään sytytystulpalla. Polttoaineseoksen synnyttää palaessaan voimakkaan äänenpaineiskun. Lopuksi polttokammio huuhdellaan pai-

neilmalla palamiskaasujenpoistamiseksi ja polttokammion jäähdyttämiseksi.

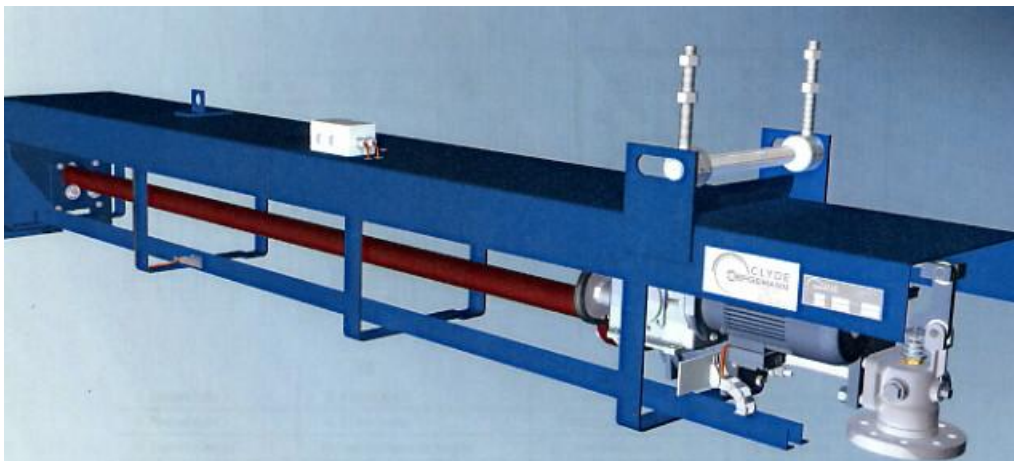
Nirafonin kaasupulssinuohoin tuottaa yli 170 dB:n hetkellisen äänenpainetason.

Puhdistava vaikutus on noin kymmenen metriä. (Nirafon Oy, 9/2012, 3.)

## 4 K1 KATTILAN NUOHOUSMENETELMÄT

### 4.1 Nuohoimet

Kattilaan on asennettu 63 höyrynuohointa. Valtaosa nuohoimista on pitkiä nuohoimia, jotka sijaitsevat tulistimien alueella. Niitä on kaikkiaan 28 kpl. Kuusi pitkää nuohointa on uusittu 2012 ja ne toimitti Clyde Bergemann. Nuohoimen iskun pituus on 5839 mm. Nuohouksen aikana kaksireikäinen suutinputki liikkuu kattilan sisään ja ulos. Laite on varustettu kahdella ketjulla joista toinen pyörittää suutinputkea ja toinen suutinosaa. Suutinputki tekee spiraalimaista liikettä koko liikeratansa aikana suihkuttaen 390 asteista tulistettua höyryä nuohottaviin pintoihin. Pitkien nuohointen nuohousaika on vakio eli noin kahdeksan minuuttia yhteen suuntaan. Nuohoin pyörittää suutinputkea toiseen suuntaan uloskulkiessaan. (Laaninen, 2005, 39.)



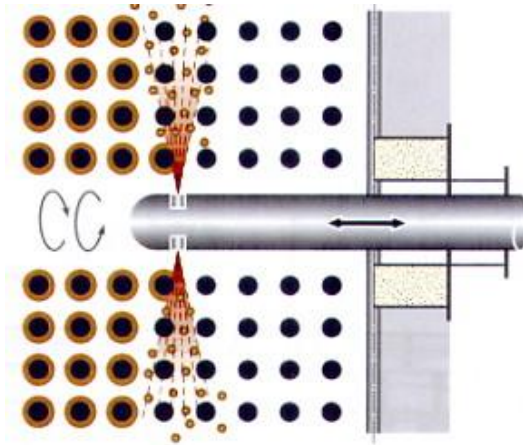
Kuva 4. Pitkä höyrynuohoin (Clyde Bergemann Power Group, 22.11.2012, 29)

Näiden lisäksi kattilassa on 10 monisuutinnuohointa, joista neljä on ykköstulistimen

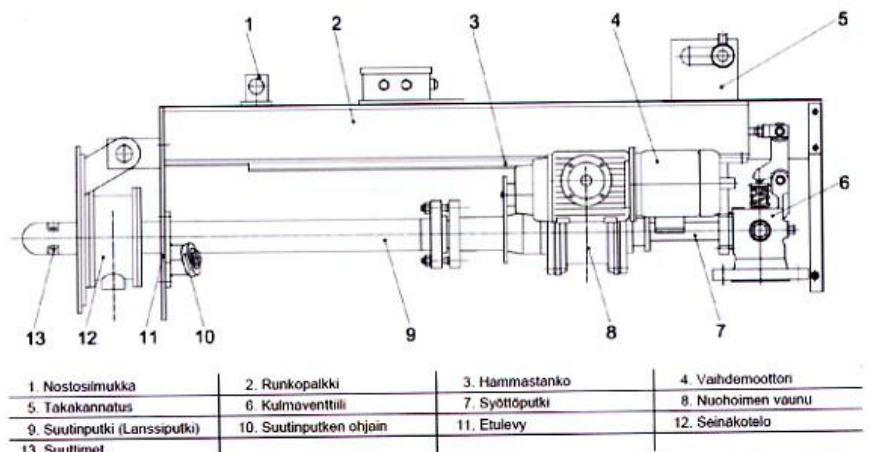


ja hilan alueella. Lopuista neljä sijaitsee ekonomaiserilla ja kaksi Luvossa. Polttin-  
tasojen ylä- ja alapuolelle sijaitsevat seinänuohoimet joita on 25 kpl.

Vuonna 2001 kattilaan tulistimien vesiverhon eteen asennettiin kaksi Nirafon Oy:n  
valmistamaa kaasupulssinuohointa, jotka ovat jatkuvatoimisia. Ne hankittiin, koska  
aikaisemmin kyseiseen paikkaan muodostui valtavia kuonakerrostumia, joiden pois-  
taminen oli työlästä ja jotka pudotessaan kattilan pohjalle vahingoittivat kattilaa.  
Kaasupulssinuohoimen asennuksen jälkeen ongelma on poistunut. Lisäksi käytössä  
on yhteensä 36 kpl ääninuohoimia luvossa ja rikinpoistolaitoksella (kiertöpölysiilo,  
letkusuodattimet, savukaasukanavat). (Laaninen 2005, 39.)



Kuva 5. Pitkän nuohoimen suutinputken liikerata (Clyde Bergemann Power Group,  
22.11.2012, 38)



Kuva 6. Pitkän höyrynuohoimen osat (Clyde Bergemann Power Group,  
2.11.2012, 30)

## 4.2 Aikaisemmat kokemukset

K1- kattilan nuohousta on tehty pääasiassa kerran vuorokaudessa. Yleensä yövuorossa on ajettu yksi viidestä nuohousohjelmasta läpi kerrallaan. Kattilan eri osien lämpötilat ovat toimineen indikaattorina nuohouspäätyä tehdessä. Lisäksi merkittävää on tulistimien ruiskujen säädettävyyden. Ruiskutusvesimäärän ollessa suuri nuohotaan kattilan tulipesä saaden lisää säätövaraa ruiskuihin.

Aikaisemmin nuohousta on tutkittu (Laaninen 2005) ja sen hetkellisillä tuloksilla oli päädytty siihen, että hiilimylykombinaatioilla tai eri hiililaaduilla kattila likaantuu samalla tavalla.

## 5 NUOHOINKOEAJOT

### 5.1 Nuohouksien tarkastelut

Kokeellisen osan tavoitteena oli selvittää kolmen eri höyrynuohousohjelman vaikutusta kattilan kokonaishyötysuhteeseen käyttäen eri hiilimyly-yhdistelmiä. Vesinuohouksen käyttö rajattiin tämän työn ulkopuolelle.

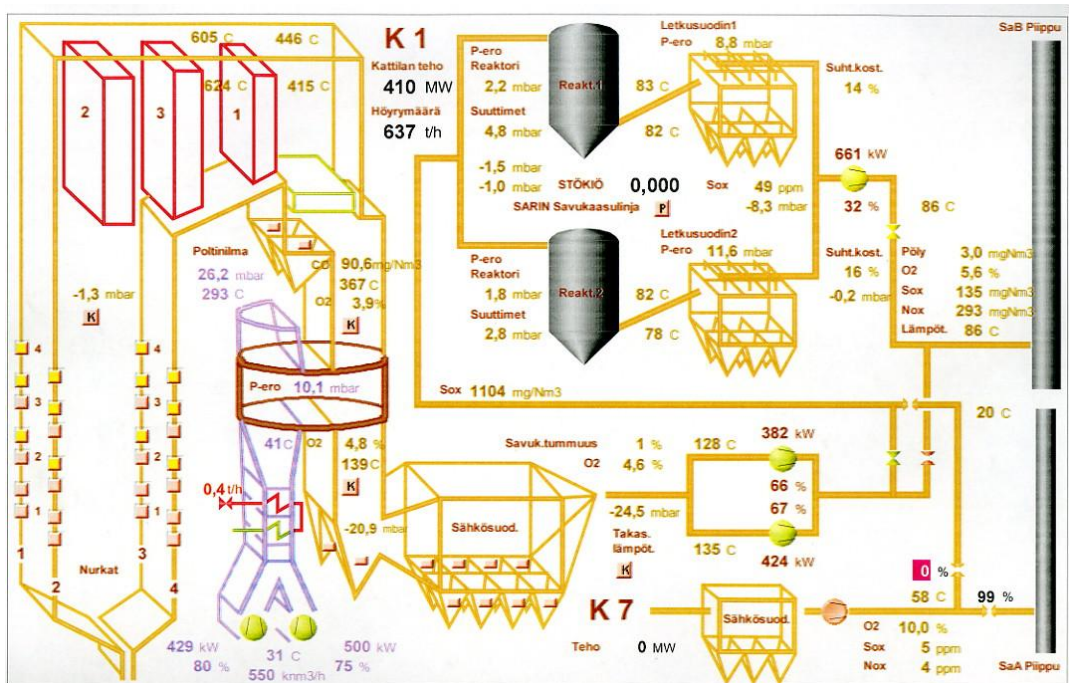
PVJ:stä otettiin eri mittauspisteiden kuvaajat. Kuvaajien mittauspisteiden lukuarvot otettiin minuutin välein ja siirrettiin Excel-ohjelmaan. Marraskuussa 2012 valmistui turbiinirevisio ja datan haku aloitettiin häiriöttömän ajon alkaessa PVJ:stä 16.1.2013.

Tarkasteluajanjakso oli valittu siten, että voimalaitoksen turbiinin pätöteho oli vähintään 150 MW. Hiilenlaatu vaihteli tarkastelujakson aikana puolalaisen ja venäläisen hiilen välillä.

Nuohoushöyryvirtauksen keston sekä käytetyn nuohoushöyryn entalpian avulla saatiin määritettyä nuohoukseen kulunut energiamäärä. Tarkastelussa tutkittiin nuohouksen vaikutusta savukaasun loppulämpötilaan.

## 5.2 Hiilimylykombinaatiot

Työssä tutkittiin kolmea eri hiilimylykombinaatioita, joissa jokaisessa oli kolme eri hiilimylyä käytössä. Neljän hiilimylyn yhdistelmää ei tutkittu tässä työssä, kun kolmella myllyllä päästiin täyteen sähkötehoon. Kuvasta 7 voidaan havaita tutkittavien eri hiilimylykombinaatioiden aikaansaama hiilensyöttö kattilan tulipesään. Kattilan nurkilla sijaitsevat numerot vastaavat hiilimylyjen numeroita. Käytännössä hiilimyly 1 syöttää hiiltä tasolle + 15.6 m ja hiilimyly 4 syöttää hiiltä tasolle + 20.4 m. Lisäksi kuvasta voidaan havaita kattilan tulistimet, joissa on edellä kuvattu tulistin-  
nuohointen sijainti.



Kuva 7 K1- kattilan savukaasuvirtaus (Helsingin Energia, 7.3.2013)

Taulukko 1 Hiilimylykombinaatiot

Kombinaatio	Käytössä olevat hiilimylyt
A	1 3 4
B	2 3 4
C	1 2 3

Taulukko 1 kirjain vastaa PVJ:stä otettua kattilan mittausdatan ajankohtaa.

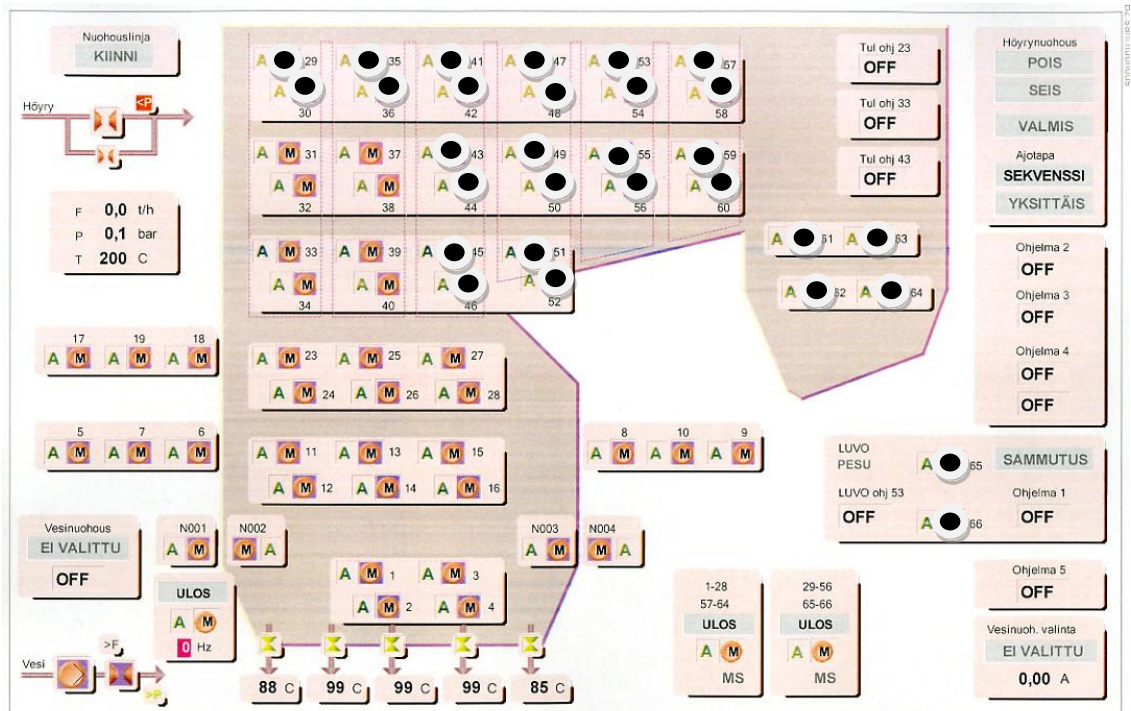
### 5.3 Mittauspisteet ja yksiköt

PVJ:stä otettiin seuraavat prosessin mittauspisteet.

- Savukaasun lämpötila 3:s tulistimen oikea väli, °C
- Savukaasun lämpötila 3:s tulistin vasen väli, °C
- Savukaasun lämpötila ennen ekoa vasen, °C
- Savukaasun lämpötila ennen ekoa oikea, °C
- Päähöry kattilan jälkeen, t/h
- Pätöteho, MW
- Savukaasun lämpöhäviöt, MW
- Kattilan hyötysuhde, %
- Nuohoushöyryn paine, bar
- Nuohoushöyryn lämpötila, °C
- Nuohoushöyryn virtaus, t/h
- Kattilan K1 hiilimäärä, t/h
- Kattilan teho, MW
- Savukaasun lämpötila ennen luvua, °C
- Savukaasun lämpötila luvon jälkeen, °C

## 5.4 Nuohoinohjelmat

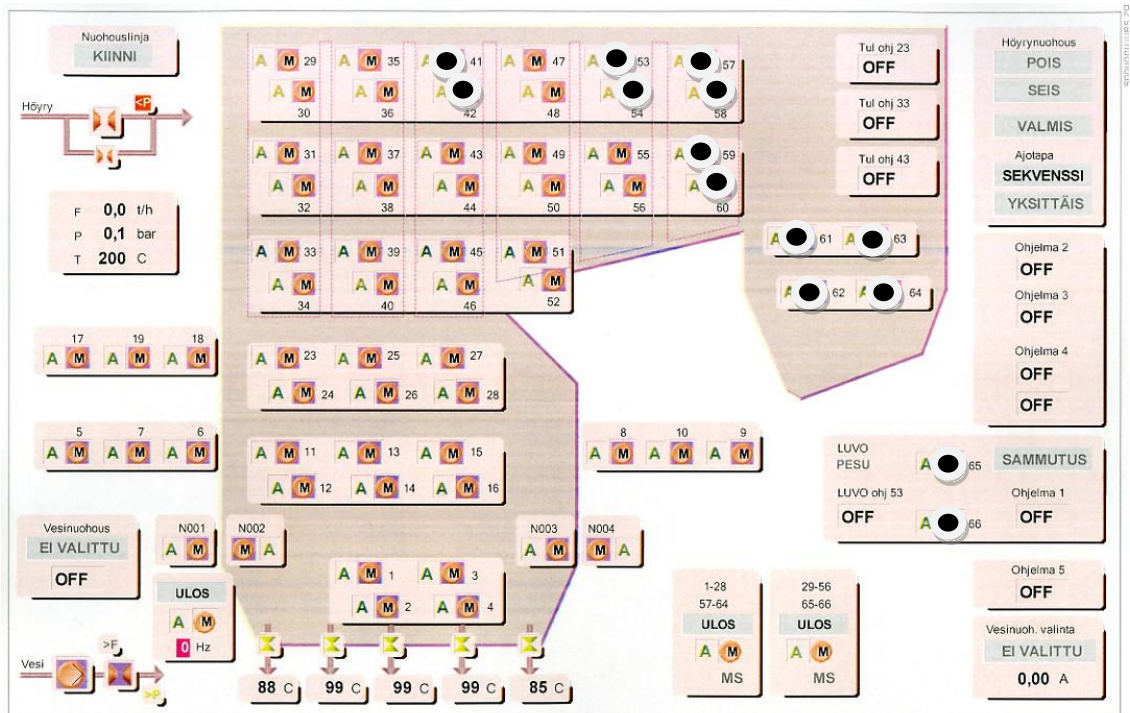
Tarkastelujakson aikana kattila on nuohottu kolmella eri nuohousohjelmalla. Samojen nuohoinohjelmien käyttöä on systemaattisesti sovellettu kaikkiin kolmeen hiilimylly-yhdistelmään. Kuviin 8- 10 on merkattu mustilla pisteillä käytössä olevan ohjelman höyrynuohoimet.



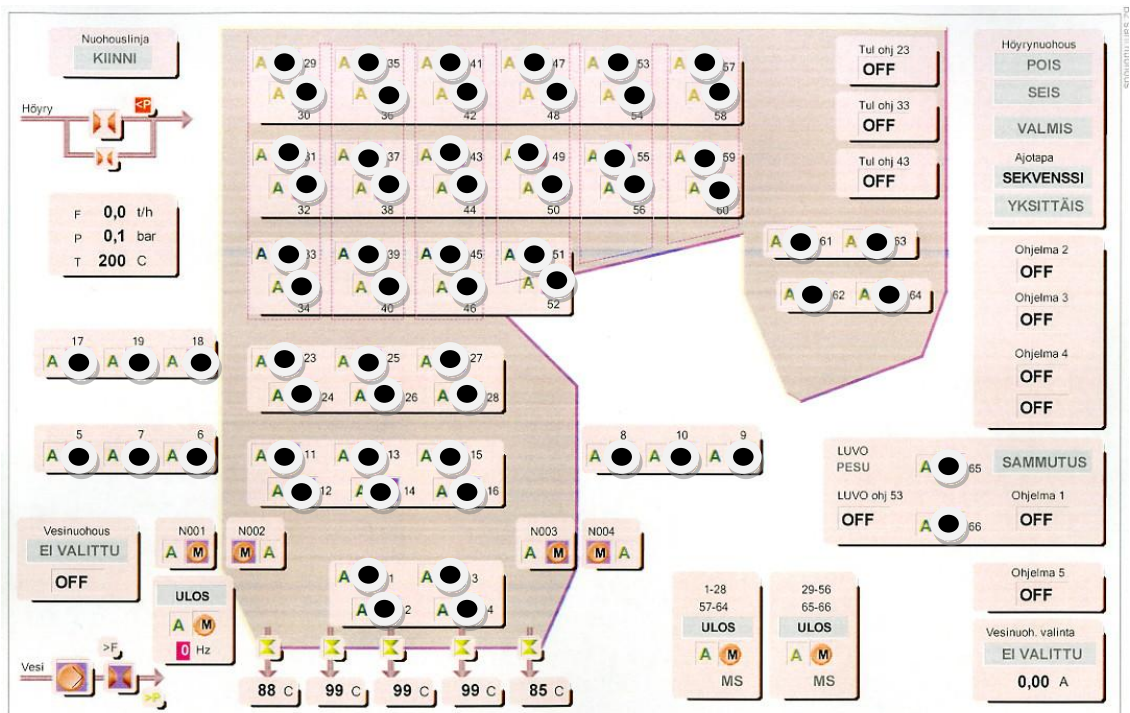
Kuva 8 Nuohoinohjelma 23 (Helsingin Energia, 3.3.2013)

Nuohoinohjelma 23 käsittää kattilan tulistimien 1 - 3 nuohoimet sekä kattilan loppupään hilan, ekonomaiserin ja luvon nuohoimet. Nuohoimia ohjelmassa on kaikkiaan 30 kpl.

Nuohoinohjelma 43 on kevyempi versio edellisestä, sillä kattilan loppupään lisäksi siihen kuuluu tulistimien 1 ja 3 nuhoimet. Nuhoimia ohjelmassa on kaikkiaan 14 kpl.



Kuva 9 Nuohoinohjelma 43 (Helsingin Energia, 4.3.2013)



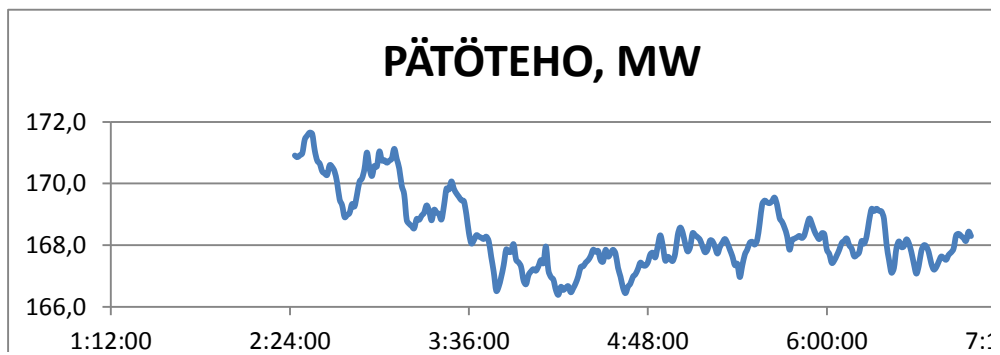
Kuva 10 Nuohoinohjelma 4 (Helsingin Energia, 5.3.2013)

Nuohoinohjelma 4 on koko kattilan käsittävä nuohousohjelma. Edellä kuvatun 23 ohjelman nuohointen lisäksi kattilan tulipesä nuohotaan nuohoimilla 1 - 28. Nuohoimia on käytössä kaikkiaan 66 kpl.

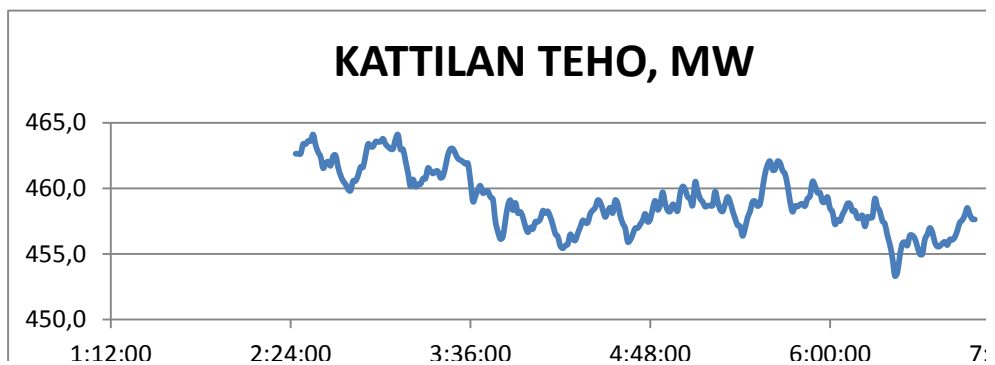
## 6 NUOHOUSSOHJELMIEN VAIKUTUS

### 6.1 Seurantajakson tehoalue

Nuohouksen aikana turbiiniteho oli vähintään 150 MW. Kuvissa 11 ja 12 on tarkastelujakso A pätötehon ja kattilan tehon kuvaajat samalta ajanhetkeltä.



Kuva 11 Pätötehon vaihtelu nuohouksen aikana



Kuva 12 Kattilatehon vaihtelu nuohouksen aikana

Kuvassa 11 pätötehon suuruus vastaa laitoksen normaalia sähkötehoa häiriöttömän ajon aikana.

## 6.2 Savukaasun lämpötila

Tässä tarkastelussa verrataan savukaasun loppulämpötilan muuttumista nuohouksen aikana. Eri myllykombinaatioilla saatuja tuloksia verrataan keskenään. Savukaasun lämpötila alussa on mitattu ennen nuohousohjelman käynnistämistä. Lämpötila lopussa on ajankohta nuohoussekvenssin päättymisen jälkeen. Tarkastelujaksoon on huomioitu nuohouslinjan lämmitykset ja vesitykset. Lämpötilan yksikkö on °C.

Taulukko 2 Savukaasun lämpötila luvon jälkeen

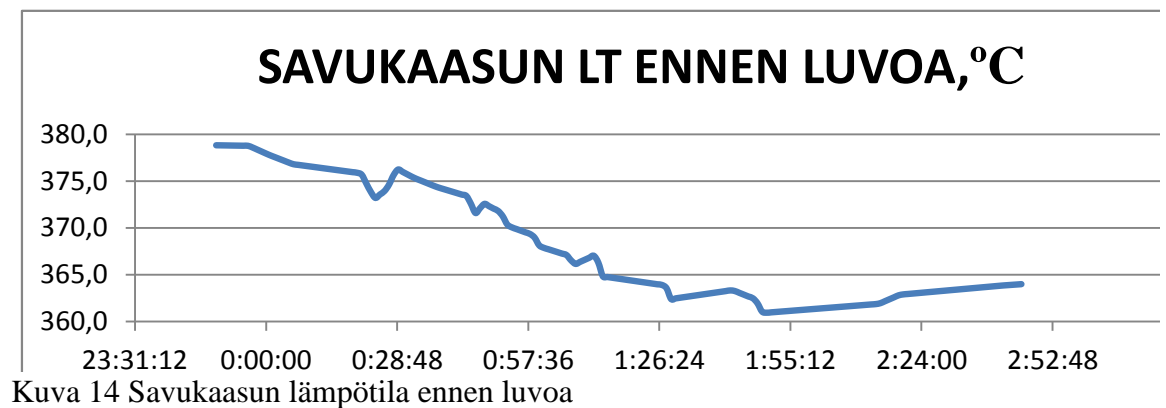
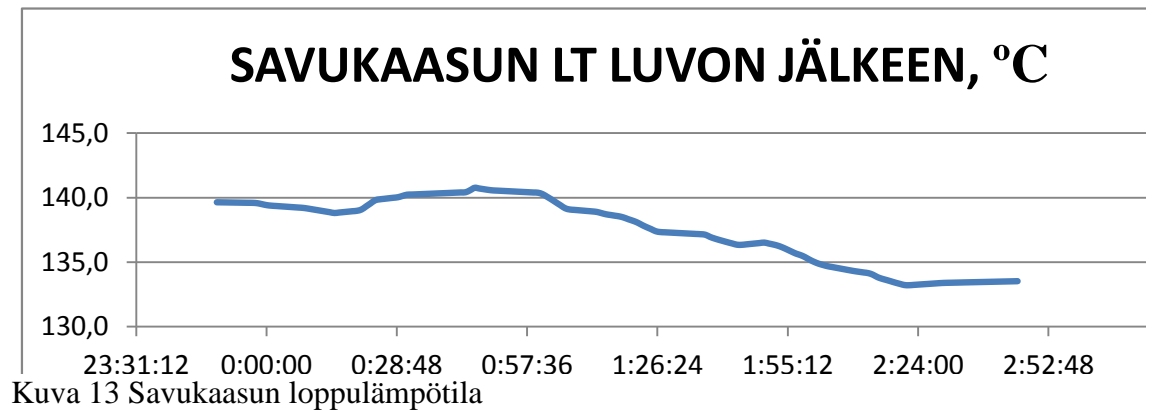
Kombinaatio	Ohjelma	Lämpötila alussa, °C	Lämpötila lopussa °C	Muutos, °C
A (1, 3, 4)	23	136,5	135,1	-1,4
A (1, 3, 4)	43	136,4	135,0	-1,4
A (1, 3, 4)	4	136,7	135,0	-1,7
B (2, 3, 4)	23	139,6	133,5	-6,1
B (2, 3, 4)	43	137,3	135,6	-1,7
B (2, 3, 4)	4	136,9	135,0	-1,9
C (1, 2, 3)	23	135,1	130,3	-4,8
C (1, 2, 3)	43	136,5	131,3	-5,2
C (1, 2, 3)	4	138,7	133,9	-4,8

Taulukon 2 mukaan hiilimyllykombinaation myllyt 1, 2 ja 3 nuohousohjelmat 23, 43 ja 4 sekä myllyt 2, 3 ja 4 ohjelma 23 antavat suurimman savukaasun loppulämpötilan muutoksen. Tuloksista voidaan päätellä, että myllykombinaatiolla on vaikutusta savukaasun loppulämpötiloihin.

Hiilimyllykombinaatiolla 1, 2 ja 3 saavutetaan lähes kaksi astetta suurempi savukaasun loppulämpötilan laskeminen kuin hiilimyllykombinaatiolla 1, 3 ja 4 sekä 2, 3 ja 4. Hiilimylly-yhdistelmällä 1, 3 ja 4 savukaasun loppulämpötilan muutokset ovat hyvin pieniä. Mittaustuloksilla ei voida osoittaa, että mikään nuohousohjelma olisi erityisesti muita nuohousohjelmia tehokkaampi aikaansaamaan suurimman savukaasun loppulämpötilan muutoksen.



Kuvassa 13 on esitetty savukaasun loppulämpötilan muutos suurimmillaan tämän kokeen aikana. Saman nuohousohjelman aikana vastaavasti otettu kuvaaja savukaasun lämpötilasta joka on mitattu ennen luvua kuvassa 14.



Kuvaajista voidaan havaita, että savukaasun lämpötilojen kuvaajat noudattavat samaa muotoa ennen ja jälkeen luvon. Savukaasujen lämpötilojen yksikköinä kuvissa 13 ja 14 käytetään °C.

### 6.3 Kattilan kokonaishyötysuhde

Tässä tarkastelussa selvitettiin eri nuohousohjelmien vaikutus kokonaishyötysuhteeseen. Suurella hiilikattilalla pienetkin parannukset kokonaishyötysuhteeseen ovat merkittäviä kustannusten säästön kannalta.

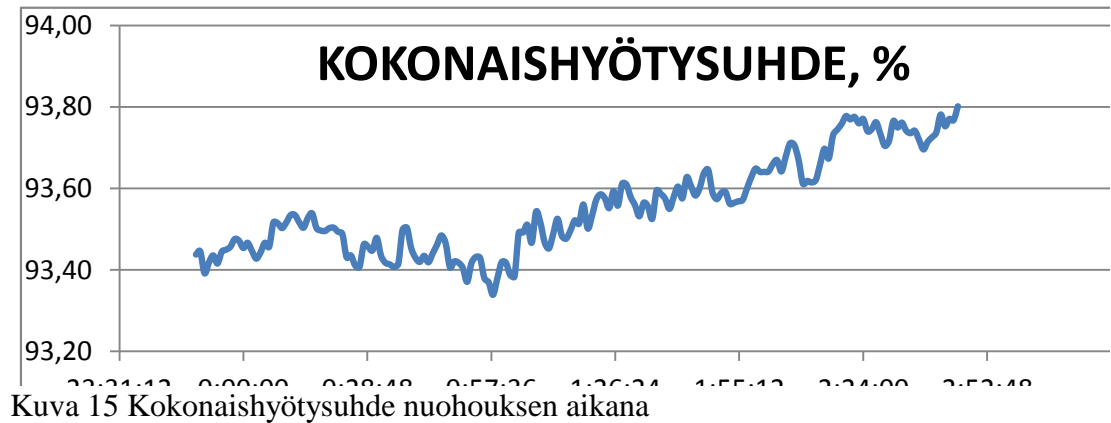
Taulukossa 3 on esitetty kokonaishyötysuhde alussa (a), ennen varsinaista nuohoussekvenssin käynnistämistä. Nuohouslinjan lämmitykseen on varattu 30 min ja ohjelman lopetukseen myös 30 min. Kokonaishyötysuhde lopussa (b) kuvaa ajan-kohtaa jolloin nuohousohjelma on mennyt läpi kokonaisuudessaan.

Taulukko 3 Kattilan kokonaishyötysuhde

Kombinaatio	Ohjelma	Kok hyötysuhde % (a)	Kok hyötysuhde % (b)	Muutos %
A (1, 3, 4)	23	93,18	93,34	+ 0,16
A (1, 3, 4)	43	93,21	93,37	+ 0,16
A (1, 3, 4)	4	93,40	93,23	- 0,17
B (2, 3, 4)	23	93,44	93,80	+ 0,36
B (2, 3, 4)	43	93,03	93,09	+ 0,06
B (2, 3, 4)	4	93,12	93,12	0,00
C (1, 2, 3)	23	93,79	93,89	+ 0,10
C (1, 2, 3)	43	93,67	93,78	+ 0,11
C (1, 2, 3)	4	93,44	93,77	+ 0,33

Taulukko 3 arvoja tarkasteltaessa voidaan todeta, että suurin parannus kokonaishyötysuhteeseen saatiin kombinaation 2, 3 ja 4 nuohousohjelma 23 käyttäen.

Kuvassa 15 on esitetty suurin kokonaishyötysuhteen parannus 93,44 %:sta 93,80 %:iin nuohouksen aikana.



Kuva 15 Kokonaishyötysuhde nuohouksen aikana

Kokonaisuutena suurin parannus kokonaishyötysuhteeseen saatiin hiilimyllykombinaation 1, 2 ja 3 aikana. Alamylykombinaatiolla kaikki nuohousohjelmat paransivat hyötysuhdetta. Kombinaatiossa 1, 3 ja 4 mittaustulokset osoittavat hyötysuhteen huononevan. Tämä selittyy mittausvirheellä.

#### 6.4 Savukaasun lämpöhäviöiden muutos

Tässä tarkastelussa tutkittiin savukaasun lämpöhäviöiden muutosta 18 tuntia kattilan nuohouksen jälkeen. Savukaasun lämpöhäviötä heti nuohousohjelman jälkeen on verrattu tilanteeseen 18 tunnin kuluneesta ajasta. Häviöiden tarkastelupisteet ovat alku ja loppu. Häviöiden yksikkö on MW.

Myllykombinaatio 1, 3 ja 4 tuloksia nuohoinohjelman 23 jälkeen ei ole saatavilla mylly-yhdistelmän muutoksen seurauksena.

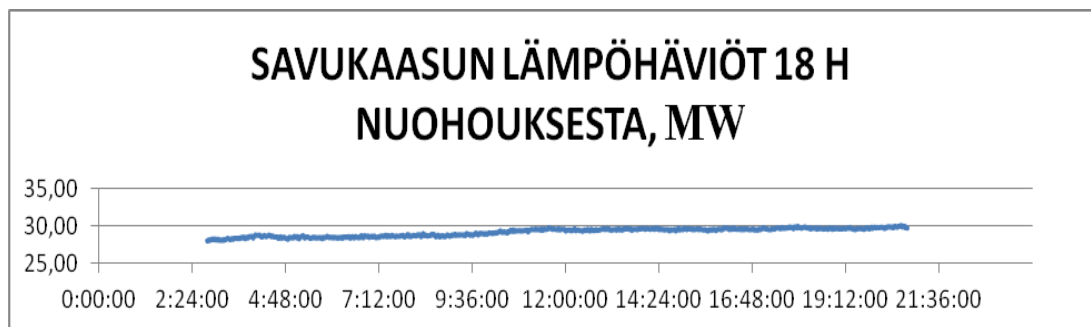
Taulukosta 4 voidaan havaita, että kahdessa tapauksessa savukaasulämpöhäviöt laskevat tai eivät muuttuneet ollenkaan 18 tuntia nuohousohjelman jälkeen. Syy selittyy mittausvirheellä. Käytännössä kattilan rakenteet likaantuvat ja vaativat uutta nuohousta.

Taulukko 4 Savukaasun lämpöhäviöt

Kombinaatio	Nuohousohjelma	Häviö alussa	Häviö lopussa	Häviön kasvu
A (1, 3, 4)	4	30,64	30,66	+ 0,02
A (1, 3, 4)	43	29,83	30,28	+ 0,45
B (2, 3, 4)	23	28,04	29,70	+ 1,66
B (2, 3, 4)	43	30,96	31,19	+ 0,23
B (2, 3, 4)	4	31,06	30,78	- 0,28
C (1, 2, 3)	23	27,16	27,94	+ 0,78
C (1, 2, 3)	43	27,52	28,17	+ 0,65
C (1, 2, 3)	4	25,56	25,56	0,00

Savukaasuhäviöiden pitää siis kasvaa tässä tarkasteluajanjaksossa. Taulukon 5 mukaan kombinaation nuohousohjelma 23 jälkeen tapahtuu suurin kattilarakenteiden likaantuminen.

Savukaasun lämpöhäviöiden suurin kasvu oli nuohousohjelman 23 jälkeen sekä kombinaatiolla 2, 3, ja 4 sekä 1, 2 ja 3 hiilimyllyjä käytettäessä.



Kuva 16 Savukaasujen lämpöhäviöt 18 h nuohouksen päättymisestä

## 6.5 Kattilan lämpöpintojen likaantuminen

Tarkastelussa tutkittiin kattilan nuohouksen jälkeisen ajan savukaasujen lämpötilojen kehitystä ennen ja jälkeen luvon.

Taulukko 5 Savukaasun loppulämpötilan muutos

Kombinaatio	Nuohousohjelma	Lämpötila alussa	Lämpötila lopussa	Lt muutos
A (1, 3, 4)	4	135,0	134,8	- 0,2
A (1, 3, 4)	43	135,0	136,5	+ 1,5
B (2, 3, 4)	23	133,5	139,2	+ 5,7
B (2, 3, 4)	43	135,6	137,2	+ 1,6
B (2, 3, 4)	4	135,0	135,9	+ 0,9
C (1, 2, 3)	23	130,3	134,6	+ 4,3
C (1, 2, 3)	43	131,3	135,0	+ 3,7
C (1, 2, 3)	4	133,9	134,1	+ 0,2

Taulukon 5 mukaan savukaasun loppulämpötila suurenee eniten 23 nuohousohjelmien jälkeen sekä 2, 3 ja 4 kombinaatiolla ja 1, 2 ja 3 hiilimylykombinaatiolla.

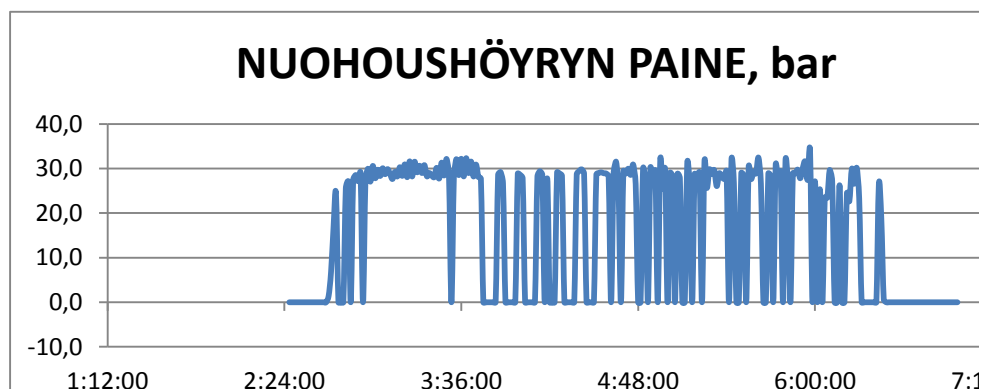
Samaten kombinaatioissa 2, 3 ja 4 sekä 1, 2 ja 3 kokonaisuudessaan savukaasun loppulämpötilat kohoavat eniten eri nuohousten jälkeen 18 tunnin kuluessa.

Hiilimylykombinaatiossa 1, 3 ja 4 koko kattilan nuohouksen jälkeen savukaasun lämpötila on pienentynyt 18 tunnin tarkastelujakson jälkeen. Tämä selittyneen mitausvirheellä.

## 6.5 Nuohousenergian tarve

Kattilalla tuotettavan nuohoushöyryn energian tarve määritettiin kaikilla eri mylykombinaatioilla ja käytettävillä nuohousohjelmilla. Energiankulutus laskuja varten määritettiin taseraja kattilan syöttövesisäiliöön. Laskulla havainnollistetaan miten paljon syöttöveden muuttaminen nuohoukseen tarvittavaksi höyryksi kuluttaa energiaa. Syöttöveden lämpötila on 240 °C ja paineena käytetään 153 bar. HS-diagrammi antaa syöttöveden entalpiaksi 1100 kJ/kg.

Kuvasta 17 voidaan havaita nuohoushöyryn paineen olevan 28 bar ja sen lämpötilan kuvasta 18 olevan 390 °C. HS-diagrammista saadaan tulistetun höyrynarvoilla nuohoushöyryn entalpiaksi 3200 kJ/kg.



Kuva 17 Höyrynuohousohjelman höyrynpaine

Laskuesimerkki nuohousenergian määrästä

Myllykombinaatiossa hiilimyllyt 1, 3 ja 4 nuohousohjelma 4 käytetty höyryn määrä on 7,074 t/h. Nuohousenergia määrä = höyryn määrä (kg/s) \* (nuohoushöyryn entalpia – syöttöveden entalpia) kJ/kg \* nuohousohjelman pituus h = 1,965 kg/s \* (3200 – 1100) kJ/kg \* 2,58 h = 10655,4 kWh = 10,66 MWh.

Taulukko 6 Nuohousenergian määrä eri kombinaatioilla

Kombinaatio	Nuohousohjelma	Nuohousenergian määrä, MWh
A (1, 3, 4)	4	10,66
A (1, 3, 4)	43	1,15
A (1, 3, 4)	23	3,75
B (2, 3, 4)	4	9,08
B (2, 3, 4)	43	1,45
B (2, 3, 4)	23	3,73
C (1, 2, 3)	4	10,35
C (1, 2, 3)	43	4,62
C (1, 2, 3)	23	4,02

## 6.6 Nuohouksen tarpeellisuus

Tässä tarkastelussa tutkitaan savukaasun lämpöhäviöitä 18 tuntia nuohouksesta ja verrataan käytettyyn nuohousenergian määrään (taulukko 6).

Savukaasun lämpöhäviöt määritetään:

(Savukaasun lämpöhäviö nuohousohjelman päätyttyä – 18 h savukaasun lämpöhäviön keskiarvo) \* 18 h = menetetty savukaasun lämpöhäviö

Laskuesimerkki

$$(30,64 - 30,85) * 18 = -3,78$$

Negatiivinen savukaasun lämpöhäviö = häviöt pienenevät.

Positiivinen savukaasun lämpöhäviö = häviöt kasvavat.

Taulukko 7 Savukaasun lämpöhäviöt ja nuohousenergia

Kombinaatio	Nuohousohjelma	Nuohousenergian määrä, MWh	Savukaasun lämpöhäviö, MWh
A (1, 3, 4)	4	10,66	-3,78
A (1, 3, 4)	43	1,15	-8,28
B (2, 3, 4)	4	9,08	+7,20
B (2, 3, 4)	43	1,45	+1,62
B (2, 3, 4)	23	3,73	-20,52
C (1, 2, 3)	4	10,35	-11,16
C (1, 2, 3)	43	4,62	-3,42
C (1, 2, 3)	23	4,02	-15,48

Taulukko 7 voidaan havaita, että nuohousenergian määrää verrattuna savukaasun lämpöhäviöihin 18 tunnin aikana kombinaatiossa 1, 3 ja 4 ainoastaan 43 ohjelmalla saavutetaan hyötyä. Nuohousohjelmalla 4 nuohousenergian kulutus on saavutettua

hyötyä suurempi.

Tarkasteltaessa kombinaatiota 2, 3 ja 4 hyötyä saavutetaan ainoastaan nuohousohjelmaa 23 käytettäessä.

Hiilimyly-yhdistelmässä 1, 2 ja 3 nuohousohjelmilla 4 ja 43 saavutetaan laskennallista hyötyä verrattuna savukaasun lämpöhäviön kehitystä suhteessa nuohousenergian määrään.

Merkittävin hyöty saavutetaan nuohousohjelmalla 23 kombinaatioissa 2, 3 ja 4 sekä 1, 2 ja 3.



## 7 YHTEENVETO

Tässä opinnäytetyössä tutkittiin suuren hiilikattilan höyrynuohousta. Työssä tarkasteltiin kattilan kokonaishyötysuhdetta ja siihen vaikuttavia nuohousohjelmia. Hiilimylly-yhdistelmiä oli kolme erilaista ja jokaisessa oli kolme nuohousohjelmaa tutkittavana. Työ tehtiin voimalaitoksen normaalin käynnin aikana. Neljää eri hiilimylly-yhdistelmää ei päästy tutkimaan, sillä turbiinin startti viivästyi 10 viikkoa. Lisäksi keväällä säiden lämpeneminen vaikuttaa voimalaitoksen tehonmuutoksiin, joten myöhempi tarkastelujakso olisi aiheuttanut virhettä tuloksiin.

Tuloksista voidaan havaita, että niin sanottu alamyly-yhdistelmä antaa suurimman savukaasun loppulämpötilan muutoksen kokonaisuutena kaikilla käytetyillä ohjelmilla. Eli käytössä olevat hiilimyllyt 1, 2 ja 3 antoivat lähes kaksi astetta suuremman savukaasun loppulämpötilan kuin kahdella muulla hiilimylly-yhdistelmällä. Myllykombinaatiolla on siis muutosta savukaasun loppulämpötilaan.

Yksittäisistä nuohousohjelmista suurimpaan savukaasun loppulämpötilan muutokseen päästiin 23 nuohousohjelmalla, kun ko. hiilimyllykombinaatio 2, 3 ja 4.

Kokonaishyötysuhteeseen saatiin suurin parannus nuohoinohjelmalla 23, kun käytössä oli hiilimyllykombinaatio 2, 3 ja 4. Kuitenkin kokonaisuutena parannus kokonaishyötysuhteeseen saatiin hiilimyllykombinaation 1, 2 ja 3 aikana. Alamylykombinaatiolla kaikki nuohousohjelmat paransivat hyötysuhdetta. Sen sijaan koko kattilan nuohousohjelma 4 vaikutus hyötysuhteeseen kombinaatiolla 2, 3 ja 4 oli merkityksetön

Savukaasun lämpöhäviöitä tarkasteltiin nuohouksen jälkeen 18 tunnin ajalta. Sen mukaan lämpöhäviöiden suurin kasvu oli nuohoinohjelma 23 jälkeen hiilimylly-yhdistelmillä 2, 3 ja 4 sekä 1, 2 ja 3 myllyjä käytettäessä.

Niinikään savukaasun loppulämpötilan suurin kasvu nuohouksen jälkeen tapahtui em. hiilimylly-yhdistelmillä 2, 3, ja sekä 1, 2 ja 3, kun käytettiin nuohoinohjelmaa 23.

Nuohouksen taloudellisuustarkastelussa havaittiin, että nuohousenergian määrää verrattuna savukaasun lämpöhäviöihin 18 tunnin aikana kombinaatiossa 1, 3 ja 4 ainoastaan 43 ohjelmalla saavutetaan hyötyä. Nuohousohjelmalla 4 nuohousenergian kulutus on saavutettua hyötyä suurempi. Kombinaatiolla 2, 3 ja 4 hyötyä saavutetaan ainoastaan nuohousohjelmaa 23 käytettäessä.

Hiilimyly-yhdistelmässä 1, 2 ja 3 nuohousohjelmilla 4 ja 43 saavutetaan laskennallista hyötyä verrattuna savukaasun lämpöhäviön kehitystä suhteessa nuohousenergian määrään. Merkittävintä hyötyä saavutetaan nuohoinohjelmalla 23 kombinaatioissa 2, 3 ja 4 sekä 1, 2 ja 3.

Viimeisen seurantajakson aikana ilmeni, että seinänuohoin 14 oli epäkunnossa ja se saattaa aiheuttaa mittausvirhettä tuloksiin. Tämän seurantajakson aikana oli C-myllykombinaatio käytössä.

Nuohouksen kokonaishyötyä ja taloudellisuutta ajatellen kattilan tiettyjen osien nuohoaminen saattaa tuottaa paremman lopputuloksen kuin koko kattilan nuohominen. Lisäksi nuohouksessa 18 tunnin välin lyhentäminen höyrynuohouksessa saattaa tuoda paremman lopputuloksen.

## LÄHTEET

Energiateollisuus ry & Hiilitieto ry. 2009. Hyvä tietää hiilestä. Lönnberg Print: Esite.

Glyde Bergemann Power Group. Nuohoinkoulutus 22.11.2012. Helsinki: Pitkien höyrynuohointen koulutusmateriaali. Koulutus Helsingin Energia, Hannu Parkko. Ei saatavissa.

Helsingin Energia. 1987. Salmisaaren voimalaitokset. Helsinki: Esite.

Helsingin Energia. 1999. Varmaa ja edullista energiaa. Helsinki: Salmisaaren voimalaitokset: Esite.

Helsingin Energia. 2002. Helsingin voimalaitokset. Helsinki: Tuotantoesite.

Helsingin Energia. Salmisaaren voimalaitokset. Prosesessinvalvontajärjestelmä: Ei saatavissa [Viitattu 3.3.2013]

Helsingin Energia. Salmisaaren voimalaitokset. Prosesessinvalvontajärjestelmä: Ei saatavissa [Viitattu 4.3.2013]

Helsingin Energia. Salmisaaren voimalaitokset. Prosesessinvalvontajärjestelmä: Ei saatavissa [Viitattu 5.3.2013]

Helsingin Energia. Salmisaaren voimalaitokset. Prosesessinvalvontajärjestelmä: Ei saatavissa [Viitattu 7.3.2013]

Huhtinen, M., Kettunen, A., Nurminen, P. & Pakkanen, H. 2004. Höyrykattilatekniikka. 6., muuttumaton painos. Helsinki: Edita Prima Oy.

Huhtinen, M., Korhonen, R., Pimiä, T. & Urpalainen, S. 2008. Voimalaitostekniikka. Keuruu: Otavan Kirjapaino Oy.

Laaninen, V. 2005. Pienen ja keskisuuren hiilipölykattilan nuohousjärjestelmien toiminnan tarkastelu. Helsingin TKK. Diplomityö 2005.

Nirafon Oy. Nirafon Acoustic Cleaning Systems 9/2012. Käyttö- ja asennusohje Nirafon kaasupulssinuohoimet. Ei saatavissa.

Nirafon Oy. Nirafon Acoustic Cleaning Systems 12/2012. Käyttö- ja asennusohje Nirafon äälinuohoimet. Ei saatavissa.