

# **Savukaasupesurin lämmöntalteenotto ja sen optimaaliset ajotavat**

Savon Voima Oyj

**Esko Hiltunen**

Opinnäytetyö

---



|  |                              |
|--|------------------------------|
| Koulutusala<br>Tekniikan ja liikenteen ala   |                              |
| Koulutusohjelma<br>Energiatekniikan koulutusohjelma  |                              |
| Työn tekijä(t)<br>Esko Hiltunen  |                              |
| Työn nimi<br>Savukaasupesurin lämmöntalteenotto ja sen optimaaliset ajotavat   |                              |
| Päiväys<br>1.11.2014   | Sivumäärä/Liitteet<br>34 / 5 |
| Ohjaaja(t)<br>Ritva Käyhkö, Kari Anttonen  |                              |
| Toimeksiantaja/Yhteistyökumppani(t)<br>Savon Voima Oyj   |                              |
| Tiivistelmä<br><p>Nykyään pyritään jatkuvasti kehittämään energiantuotantolaitosten energiatehokkuutta. Tarkoituksena on saada tuotettua enemmän energiaa lisäämättä polttoaineen kulutusta. Tässä insinööri-työssä tarkasteltiin savukaasupesureita ja niiden sisältämiä komponentteja ja toimintaa käytännön-läheisellä tasolla, sekä niiden kautta saavutettua kokonaishyötysuhteen lisäystä energiantuotantolaitoksella. Tämän lisäksi tarkasteltiin savukaasupesureiden yhteydessä käytettäviä kostuttimia ja niiden tuomaa hyötyä. Savukaasupesureiden toimintaa havainnollistettiin myös prosessi- ja ajo-kaavioiden avulla. Työssä myös otettiin kantaa savukaasupesureiden vaatimaan vuotuiseen huollontarpeeseen sekä analysoitiin sen kautta niiden kannattavuutta ja kustannustehokkuutta. Työssä selvitettiin polttoaineen kosteuden vaikutusta savukaasupesurin käytössä.</p> <p>Insinööri työn tulokset ja johtopäätökset on tehty referenssilaitoksen savukaasupesurin ja sen antamien mittaustuloksien mukaan. Yleisellä tasolla voidaan sanoa, että savukaasupesuri ja kostutin parantavat energiantuotantolaitoksen energiatehokkuutta jopa yli 25 %.</p> |                              |
| Avainsanat<br>Savukaasupesuri, kostutin, hyötysuhde, huollon tarve, polttoaineen kosteus   |                              |
|  |                              |

|   |           |                  |        |
|---|-----------|------------------|--------|
| Field of Study<br>Technology, Communication and Transport   |           |                  |        |
| Degree Programme<br>Degree Programme in Energy Engineering  |           |                  |        |
| Author(s)<br>Esko Hiltunen  |           |                  |        |
| Title of Thesis<br>Wet scrubbers heat recovery and its optimal execution  |           |                  |        |
| Date  | 1.11.2014 | Pages/Appendices | 34 / 5 |
| Supervisor(s)<br>Ritva Käyhkö, Kari Anttonen  |           |                  |        |
| Client Organisation /Partners<br>Savon Voima Oyj  |           |                  |        |
| <p>Abstract</p> <p>Nowadays we aim to develop energy production facilities more energy efficient all the time. The purpose for this is to produce more energy without increasing fuel consumption. The thesis examines wet scrubbers and their components and also their function in practical level as well as the gained efficiency for the whole energy production in energy production factory. In addition to this, the thesis also examines moisturizers that are used along with wet scrubbers and the benefits they bring for the whole system. Wet scrubbers and their functioning will be demonstrated with the help of process and energy production facility execution charts. This thesis also analyzes wet scrubber's yearly need for maintenance and also alongside that, their profitability and cost-effectiveness. In addition to all this, the thesis also examines, what impact the moisture level of fuel has for the use of wet scrubber.</p> <p>The results and conclusion of this work are based on one reference factory's wet scrubber data. In general, it can be said that the wet scrubber, especially with the help of moisturizer, can improve the overall effectiveness of energy production facility even by 25 %.</p> |           |                  |        |
| <p>Keywords<br/>Wet scrubber, moisturizer, efficiency, the need for maintenance, moisture level of fuel</p>   |           |                  |        |
|   |           |                  |        |

## TERMISTÖJEN SELITYKSET

MW (Megawatti)

energianmäärä

MWh (Megawattitunti)

energianmäärä ajan mukaan

kJ / kg (Kilojoule / kilogramma)  
polttoainetta

kilojoulea energiaa saadaan yhdestä kilosta

m (massa)

polttoaineen painoa [kg]

pH-arvo

aineen emäksisyys tai happamuus

°C (Aste)

lämpötila

## SISÄLTÖ

|       |  |    |
|-------|--|----|
| 1     | JOHDANTO .....                                       | 7  |
| 2     | SAVON VOIMA OYJ.....                                 | 8  |
| 3     | PALAMISEN SAVUKAASUT .....                           | 11 |
| 3.1   | Energiantuotannon polttomenetelmät .....             | 12 |
| 3.1.1 | Arinapoltto .....                                    | 12 |
| 3.1.2 | Leijupoltto.....                                     | 13 |
| 4     | SAVUKAASUPESURI.....                                 | 15 |
| 4.1   | Savukaasupesurityyppejä.....                         | 15 |
| 4.2   | Savukaasupesurin toiminta .....                      | 15 |
| 4.3   | Savukaasupesurin komponentit ja niiden tehtävät..... | 18 |
| 5     | KOSTUTIN .....                                       | 22 |
| 6     | LAUHTEEN KÄSITTELY.....                              | 23 |
| 7     | SAVUKAASUPESURIN HUOLTO .....                        | 24 |
| 7.1   | Käytönaikainen tarkkailu.....                        | 25 |
| 8     | SAVUKAASUPESURI REFERENSSILAITOKSELLA.....           | 27 |
| 9     | SAVUKAASUPESURIN OPTIMAALISET AJOTAVAT .....         | 28 |
| 9.1   | Tutkimusdata.....                                    | 29 |
| 9.2   | Polttoaineenkosteuden vaikutus .....                 | 32 |
| 9.3   | Kostuttimen vaikutus.....                            | 32 |
| 9.4   | Suositukset ajoparametreiksi.....                    | 32 |
| 9.5   | Vaikutukset laitoksen käyttökustannuksiin .....      | 32 |
| 10    | YHTEENVETO.....                                      | 34 |
|       | LÄHTEET .....  | 35 |

## LIITTEET

- Liite 1 Laitoksen ajokaavio, jossa on savukaasupesuri
- Liite 2 Laitoksen vesipiiri ajokaavio
- Liite 3 Laitoksen ajokaavio, lauhde
- Liite 4 Laitoksen ajokaavio, kattila

## 1 JOHDANTO

Savukaasupesuri on suhteellisen uutta tekniikkaa ja sen vuoksi vielä vähän käytetty lämpö-/voimalaitoksissa. Savukaasupesurin tarkoituksena on parantaa energiantuotannon kokonaishyötysuhdetta ja vähentää päästöjä. Kokonaishyötysuhteen lisäksi savukaasupesureiden avulla saadaan vähennettyä laitoksen polttoainekustannuksia tuottamalla tarvittu energiamäärä vähäisemmällä polttoainemäärällä. Savukaasupesurin toiminta perustuu siihen, että polttoaineita poltettaessa vapautuu savukaasua, josta pesurin avulla otetaan vesihöyryn lauhtumisessa vapautuva energia hyötykäyttöön.

Tässä opinnäytetyössä selvitetään lyhyesti erityyppisten kattilalaitosten toimintaa sekä tarkastellaan eri savukaasupesurityyppejä ja niiden toimintaa. Edellä mainitun lisäksi työssä tarkastellaan ja otetaan kantaa savukaasupesureiden optimaalisiin ajotapoihin. Tarkastelulla tarkoitetaan esimerkiksi sitä, millaisilla olosuhteilla on järkevää käynnistää savukaasupesuri hyödyn maksimoinniksi. Työssä otetaan myös kantaa savukaasupesureiden kannattavuuteen taloudellisesta näkökulmasta, jota myös havainnollistetaan laskennallisesti.

Työssä analysoidaan Savon Voiman savukaasupesurin tuottamaa mittadataa ja otetaan kantaa mahdollisiin ongelmakohtiin, huollon tarpeisiin sekä siihen, kuinka voitaisiin parantaa sen hyötysuhdetta.

## 2 SAVON VOIMA OYJ

Savon Voima Oyj on yksi Suomen suurimmista energia-alan yrityksistä. Savon Voiman liiketoimintaa on energian tuottaminen, jakelu ja energia-alan asiantuntijapalvelut. Tällä hetkellä Savon Voimassa työskentelee noin 175 energia-alan asiantuntijaa joista suurimman osan työpaikka on yhtiön pääkonttorilla Siilinjärvellä. Savon Voiman omistaa Savon Energiaholding Oy, jonka omistaa 22 Savon Voiman sähköverkkoalueella olevaa kuntaa. Suurimpina omistajina ovat Kuopio, Lapinlahti ja Iisalmi.

Savon Voima toimittaa kaukolämpöä 13 savolaiskunnan alueella yhteensä 19 taajamassa. Kaukolämpöasiakkaista puolet on asuintaloja ja toinen puoli yritys / liikekiinteistöjä. Kaukolämpöverkostoa on yhteensä noin 350 km.

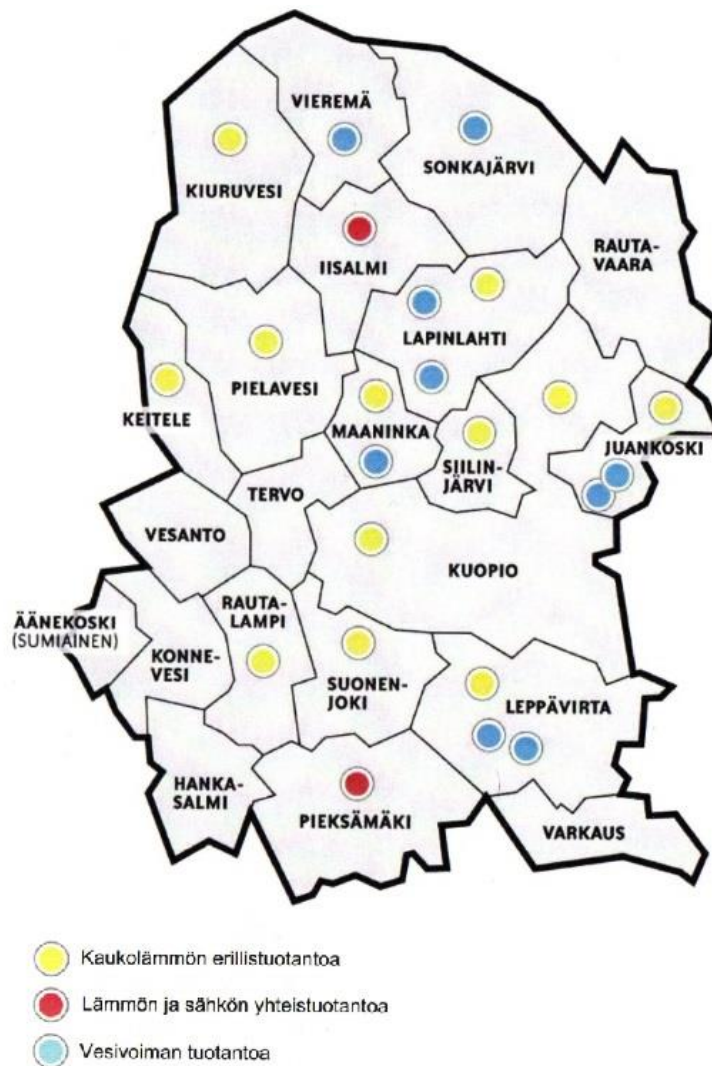
Savon Voima vastaa alueellisesta sähkön siirron tuottamisesta asiakkaille ja noin 25500 km pitkän sähköverkon käytöstä, kunnossapidosta ja rakennuttamisesta.

Kokonaisuudessaan kuvassa 1 on esitetty Savon Voiman konsernirakenne ja tärkeimmät osakkuudet sekä kuvassa 2 eriteltynä kaukolämmön, lämmön ja sähkön yhteistuotanto sekä vesivoiman tuotanto suomessa.



Kuva 1. Konsernirakenne ja tärkeimmät osakkuudet 1.1.2014 (Savon Voima)

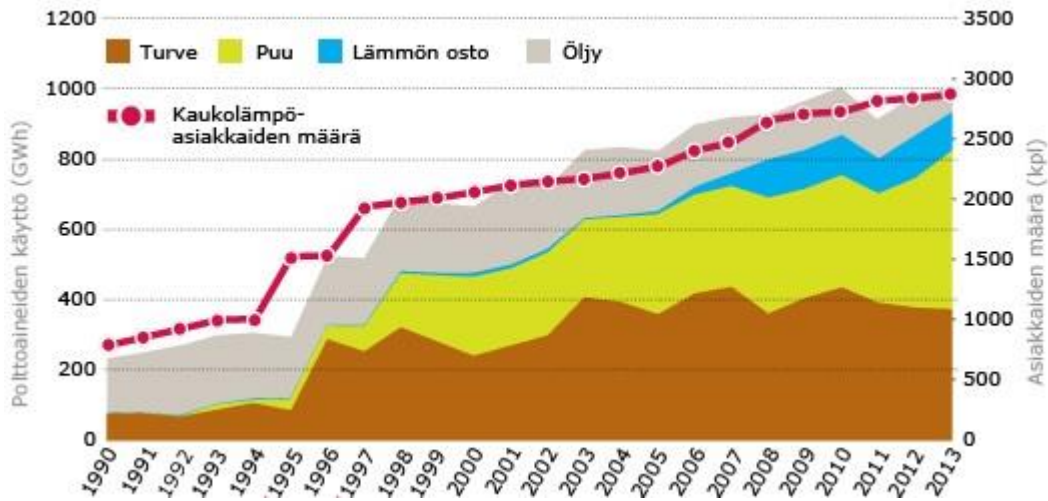




Kuva 2. Kaukolämpö, lämmön ja sähkön yhteistuotanto ja vesivoima (Savon Voima)

Savon Voima -konsernin liikevaihto oli vuonna 2013 noin 196 miljoonaa euroa. Savon Voiman Verkon sähköverkossa oli vuoden 2012 lopussa 113222 käyttöpaikkaa ja kaukolämpöverkossa 2877 asiakasta.

Savon Voimalla on yhdeksän vesivoimalaitosta Pohjois-Savossa ja lämmitysvoimalaitokset Iisalmessa ja Pieksämäellä. Paikallisesti tuotetaan sähköä noin 150 GWh. Kaukolämmön myynti vuonna 2013 oli 600 GWh/a. Polttoaineita kaukolämmön tuotantoon käytettiin 933GWh:n edestä, joista kotimaisten polttoaineiden osuus oli 91 %. Savon Voimalla on myös sähköntuotanto-osuuksia ydinvoimassa, hiililauhdetuotannossa sekä tuulivoimassa.



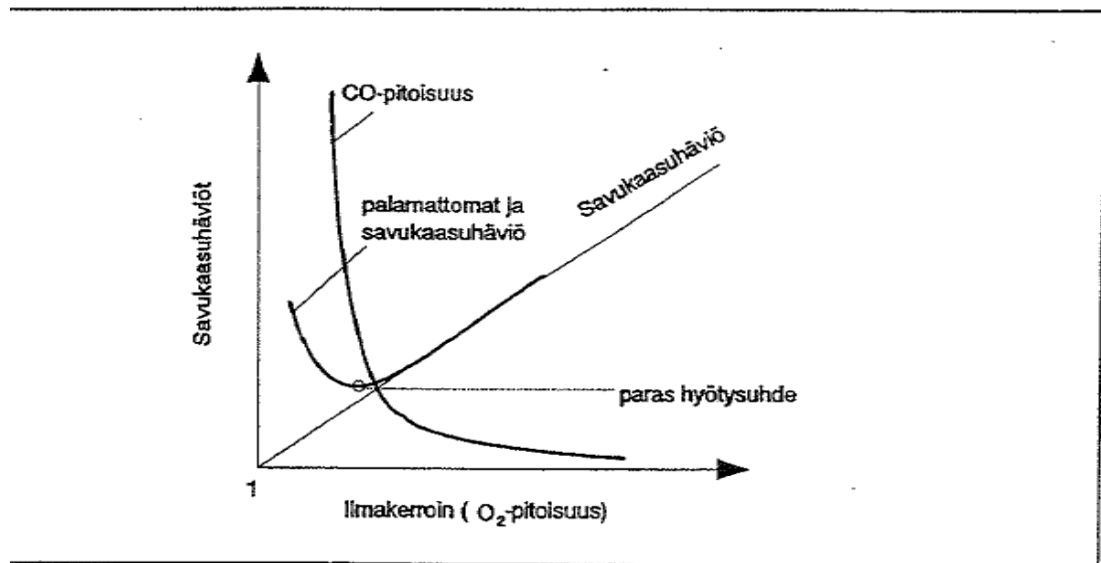
Kuva 3. Polttoaineiden käyttö kaukolämmön tuotannossa ja kaukolämmön asiakasmäärien kehitys (Savon Voima)

Kuvasta 3 voidaan huomata, kuinka puun osuus on vuosien varrella noussut suurimmaksi energianlähteeksi Savon Voiman kaukolämmön tuotannossa, turpeen käytön pysyessä samalla tasolla ja öljyn käytön vähentyessä samaan aikaan.

### 3 PALAMISEN SAVUKAASUT

Savukaasuja muodostuu poltettaessa erilaisia polttoaineita energiantuotantolaitoksissa. Kattiloissa poltettavasta polttoaineesta vapautuu lämpöä palamisreaktion yhteydessä, joka siirtyy savukaasuihin ja laitoksesta riippuen, lämmönsiirtimiin ja niiden kautta vesi- tai vesihöyrypiiriin. Savukaasut koostuvat hiilidioksidista, vesihöyrystä, tyypestä ja hapestä. Näiden lisäksi savukaasut voivat sisältää polttoaineen palamattomista aineosista muodostunutta lentotuhkaa, rikin sekä typen oksidia ja häkää. Varsinaisista palamistuotteista pääasiassa hiilidioksidia, rikkidioksidia ja lentotuhkaa nähdään vaarallisina ympäristölle. (Huhtinen & Kettunen & Nurminen & Pakkanen, 2000, 91–95.)

Savukaasujen päästöihin vaikuttaa suuresti, miten täydellistä palaminen on. Haitta-aineiltaan vähäpäästöisimpiä ovat kaasumaiset polttoaineet kun toista ääripäätä edustaa kiinteiden ja epähomogeenisten polttoaineiden polttaminen. Hyvän palamisen seurauksena savukaasut ovat hajuttomia, värittömiä ja lauhtuessa muodostavat puhtaan näköisen savun savupiipusta poistuessa. Savukaasun koostumus voidaan selvittää päästömittauksin. Nykyään kiristyvät päästörajat ovatkin johtaneet siihen, että päästömittauksilta vaaditaan enemmän ja tarkemmin pidetään silmällä poltossa aiheutuvia päästöjä. Alla olevassa kuvassa esitetään polton optimointi häkä (CO)-pitoisuuden avulla.



Kuva 4. Häkäpitoisuus ja savukaasuhäviöt ilmakertoimen funktiona (Huhtinen & Kettunen & Nurminen & Pakkanen, 2000)

Kuvasta 4 voidaan huomata, kuinka CO-pitoisuus nopeasti suurenee ilmakertoimen pienetessä. Kuvan mukaisesti tulisi pyrkiä sellaiseen optimitilanteeseen, jolloin tietyllä ilmamäärällä kokonaishäviöt ovat minimissään.

### 3.1 Energiantuotannon polttomenetelmät

Energiantuotannossa on kehitetty useita eri polttolaitteita erilaisten polttoaineiden vuoksi. Polttolaitteita on jaoteltu kiinteiden, kaasumaisten ja nestemäisten polttoaineiden mukaan. Tämän jaottelun lisäksi nykyään täytyy myös huomioida eri polttoaineiden palamisominaisuuksia, jotka vaikuttavat valittuun polttomenetelmään. Huomioitavia tekijöitä poltossa ovat pääasiassa muodostuva tuhka ja päästöt.

Kiinteille polttoaineiden polttamiseen käytetään nykyään pääasiassa arina- ja leijupolttoa, joista leijupoltto on yleistynyt nopeasti. Muita kiinteän polttoaineen polttamiseen soveltuvia menetelmiä on mm. pölypoltto. (Huhtinen & Kettunen & Nurminen & Pakkanen, 2000, 126, 139.)

Nestemäisiä polttoaineita ovat pääasiassa kevyt ja raskas polttoöljy sekä hiljalleen polttoon jalostettu kolmannen sukupolven biomassasta saatua bioöljyä eli pyrolyysiöljyä. Nestemäisen polttoaineen polttimet voidaan jakaa sumutusperiaatteen mukaan neljään eri tyyppiin. Nämä ovat paineöljyhajoitteinen, höyryhajoitteinen, pyöriväkuppi- nen sekä paineilmahajoitteinen. (Huhtinen & Kettunen & Nurminen & Pakkanen, 2000, 126, 139.)

Kaasupolttimet taas jaotellaan esisekoituspolttimiin sekä suutinsekoituspolttimiin, joilla poltetaan maakaasua. (Huhtinen & Kettunen & Nurminen & Pakkanen, 2000, 126, 139.)

#### 3.1.1 Arinapoltto

Arinapoltto soveltuu useimmille kiinteille polttoaineille, kuten hiili, turve, puu ja puujäte. Arinapoltto ei kuitenkaan sovellu hyvin yhdyskuntajätteelle, eikä teollisuuden jätelietteilte suuren tuhkapitoisuuden vuoksi. Suuren tuhkapitoisuuden omaavilla polttoaineilla on taipumus tukkia arinan ilmarakoja. Nykyään arinapolttoon tarkoitettuja kattiloita ei rakenneta yli 20 MW:n kokoluokassa. Muutoinkin leijupoltto on korvannut suurelta osin arinapolton pääasiassa, koska leijupoltto soveltuu useammille polttoaineille,

sekä niiden laatuvaihteluille. (Huhtinen & Kettunen & Nurminen & Pakkanen, 2000, 146–147.)

Arinapoltto käsittää laajan kirjon eri arinaratkaisuja. Erilaisia arinaratkaisuja ovat esimerkiksi kiinteä tasoarina, joka on yksinkertaisin arinaratkaisuista, kiinteä viisto- tai porrasarina, mekaaninen viistoarina, valssiarina jne. Mekaaninen arina voi myös tarkoittaa pyörivää kekoarinaa. Kukin arinaratkaisuista on kehitetty eri polttoaineita varten, kuten esimerkiksi mekaanista viistoarinaa käytetään pääasiassa huonolaatuisten kosteiden polttoaineiden, kuten turpeen tai puun polttoon. (Huhtinen & Kettunen & Nurminen & Pakkanen, 2000, 147–150.)

Yleisenä arinapolton periaatteena on, että polttoaine syötetään arinalle, jota pitkin se etenee palaessaan. Polttoaineen sekaan syötetään palamisilmaa arinarautojen raoista (primääri-ilma) sekä kattilan sivuilta polttoainepatjan päälle (sekundääri-ilma). Polttoaineen palettua jäljelle jäänyt hienojakoinen tuhka joko tippuu arinarautojen välistä tai sitten arinan päässä olevaan tuhkakaukaloon. Arinapolton etuina voidaan pitää yksinkertaista rakennetta ja helppokäyttöisyyttä. Pienissä kokoluokissa se on taloudellisin ja sen polttoaineen palakoko voi olla suurempi kuin muilla polttotavoilla. Heikkoutena voidaan mainita, että kaasujen sekoittuminen on melko tehotonta ja poltto-prosessi vaikeammin hallittavissa sekä suuret tuhkahäviöt.

### 3.1.2 Leijupoltto

Arinapolttoon verrattaessa leijupoltto mahdollistaa myös huonolaatuisten polttoaineiden polttamisen. Tämän seikan lisäksi leijupoltossa käytetään alhaisempaa palamislämpötilaa, joka vaikuttaa suoraan päästöihin alentavasti. Edellä mainittujen tekijöiden lisäksi leijupoltto mahdollistaa myös kalkin syöttämisen suoraan tulipesään, jolla alennetaan palamisen seurauksena muodostuvia rikkipäästöjä.

Leijupoltto perustuu siihen, että polttoaineen palaminen tapahtuu kuuman hiekan seassa. Tämän vuoksi myös hyvin kosteat polttoaineet saadaan palamaan kattilassa. Leijupoltto jaetaan pääasiassa kiertopeti- ja kuplapetikattiloihin. Molemmissa tapauksissa primääri-palamisilmaa syötetään tulipesän pohjasta, joka myös toimii hiekan ja syötetyn polttoaineen leijuttajana. Kiertopetikattilassa hiekkaa kierrätetään siten, että osa hiekasta aina johdetaan syklonin läpi, jonka seurauksena hienojakoinen hiekka palaa kattilaan ja karkeampi tulee poistetuksi. Kuplapetikattilassa leijunta puolestaan tapahtuu tasaisesti. Kuplapetikattila soveltuu paremmin kosteammille polttoaineille ja

on kattilana myös hieman yksinkertaisempi verrattuna kiertopetikattilaan, jonka vuoksi on myös kustannuksiltaan matalampi. Kiertopetikattila soveltuu kosteiden polttoainoiden lisäksi myös vähän haihtuvia osia sisältävälle hiilelle ja tämän lisäksi kiertopetikattilalla on alhaisen palamislämpötilan vuoksi myös yleisesti matalammat NOx-päästöt.

Poltettaessa leijukattiloissa puupolttoaineita, puutuhkan kemiallinen koostumus voi aiheuttaa likaantumisen- ja kuumakorroosio-ongelmia kattiloiden lämpö- ja tulistinpinnoille. Poltossa vapautuvat alkalimetallit voivat hapettua oksideiksi, muodostaen sulfaatteja tai klorideja. (VTT.)

Pelkkää puuta poltettaessa palamisprosessin rikkipitoisuus on pieni, jolloin alkalimetallit muodostavat alkaliklorideja, jotka ovat matalissa lämpötiloissa sulavia suoloja. Nämä suolat puolestaan muodostavat tahmeita kerrostumia kattiloiden lämmönsiirtopinnoille, josta seuraa kuumakorroosioriski. Tästä johtuen puun seassa olisi hyvä polttaa esim turvetta. (VTT.)

Puuperäisissä polttoaineissa olevat alkalimetallit vaikuttavat myös leijupedin käyttäytymiseen. Erityisesti metsähakkeen poltossa leijumateriaaliin alkaa tarttua alkalimetalleja ja fosforia sisältäviä yhdisteitä. Nämä yhdisteet agglomeroivat petipartikkeleita toisiinsa ja kasvattavat petipartikkeleiden kokoa. Tästä johtuen leijupeti saattaa sintraantua helposti. Sintraantumisen estämiseksi petimateriaalia tulee vaihtaa useammin kuin pelkällä esim, turvepoltolla. (VTT.)

Etuna arinapoltoon verrattuna on, että leijupolton tila on helposti havaittavissa yksinkertaisin mittauksin ja näin ollen palamisen hallinta on helppo automatisoida.

Leijupolton palamisessa muodostuva tuhka kulkeutuu pois pääasiassa savukaasujen seassa, jonka vuoksi leijupoltto vaatii tehokkaat savukaasunpuhdistuslaitteet. Tällaisia savukaasunpuhdistuslaitteistoja ovat esimerkiksi letkusuodatin ja sähkösuodatin.

## 4 SAVUKAASUPESURI

Tässä luvussa tarkastellaan lähemmin savukaasupesurin toimintaa sekä sen sisältämiä komponentteja ja niiden merkityksiä.

### 4.1 Savukaasupesurityyppejä

Tällä hetkellä markkinoilla on mm. venturi, spray, plate ja cyclone -pesureita, joista jokainen soveltuu erilaisiin käyttökohteisiin.

Esimerkkinä voidaan mainita, että venturipesurissa kaasun ja nesteen nopeutta kiihdytetään venturisuuttimen avulla, jolloin neste törmää suurella nopeudella puhdistettavaan partikkeleihin. Se on halpa rakentaa, mutta tarvitsee paljon energiaa toimiakseen.

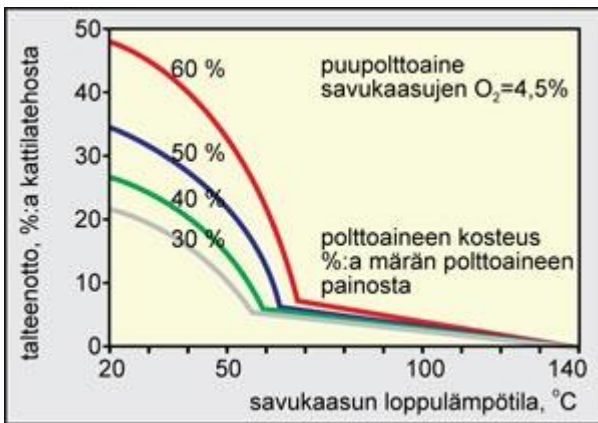
### 4.2 Savukaasupesurin toiminta

Savukaasupesuria voidaan kutsua myös märkäpesuriksi, jonka tarkoituksena alun perin oli hiukkaspäästöjen vähentäminen. Pesurilla voidaan absorboida hiukkasten lisäksi myös rikkiyhdisteitä ja muita kaasukomponentteja, mikäli pesuriin suoraan syötetään kemikaaleja. Kuitenkin ajan myötä savukaasupesurin rooli on enemmän painottunut energiatehokkuuden parantamiseen pienemmän koon laitoksissa. Savukaasupesurin toiminta perustuu siihen, että savukaasu pestään suurella määrällä nestettä, jolloin savukaasussa tapahtuu faasimuutos ja kaasu jäähtyy vesikastepisteelle ominaiseen lämpötilaan. Tällöin polttoaineen sisältämän veden höyrystymiseen tarvittu energia vapautuu ja vapautunut energia otetaan talteen lauhteesta. Tästä saatavaa lämpöä käytetään yleensä kaukolämmön paluulämmön lämmittämiseen. (Condens heat recovery; Elomatic news.)

Yleensä savukaasua "huuhdellaan" vedellä ennen savukaasupesuria, jolloin sen lämpötila laskee noin 50–70°C:seen eli ns. märkälämpötilaan ja samalla tilavuusvirta pienenee. Savukaasun jäähtyessä kastepisteeseen, faasimuutoksen seurauksena vapautuu energiaa, joka voi olla niinkin suuri kuin 2350 kJ/kg. Tämä energia otetaan talteen ja siirretään kaukolämmön paluuveteen. Savukaasu pestään pesurin suuttimilla savukaasupesurin alaosassa, jolloin savukaasun vesihöyryn lämmön talteenotto

tapahtuu pesurin yläosassa lämpimän veden muodossa. Poltettaessa hyvin kosteita polttoaineita, savukaasupesuri on erityisen hyvä, koska savukaasun vesihöyrypitoisuus on korkea. Kuvassa 2 esitetään, kuinka polttoaineen kosteus vaikuttaa savukaasun loppulämpötilaan ja lämmön talteenottoon. (Elomatic news.)

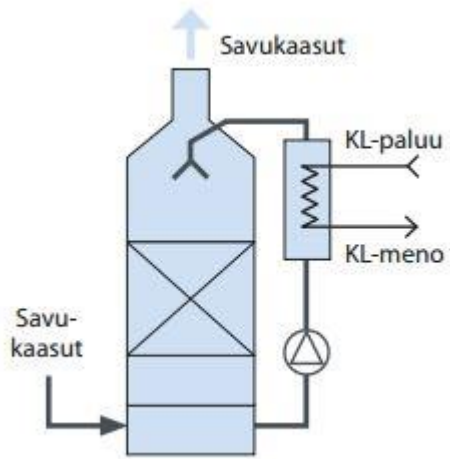
Savukaasujen sisältämä vesimäärä muodostuu polttoaineinen mukana tulleesta vedestä, palamisilman tuomasta vedestä ja itse palamisreaktiossa muodostuvasta vedestä. Alla olevassa kuvassa on vielä havainnollistettu polttoaineen kosteuden vaikutuksen savukaasun lämpötilaan ja lämmön talteenottoon.



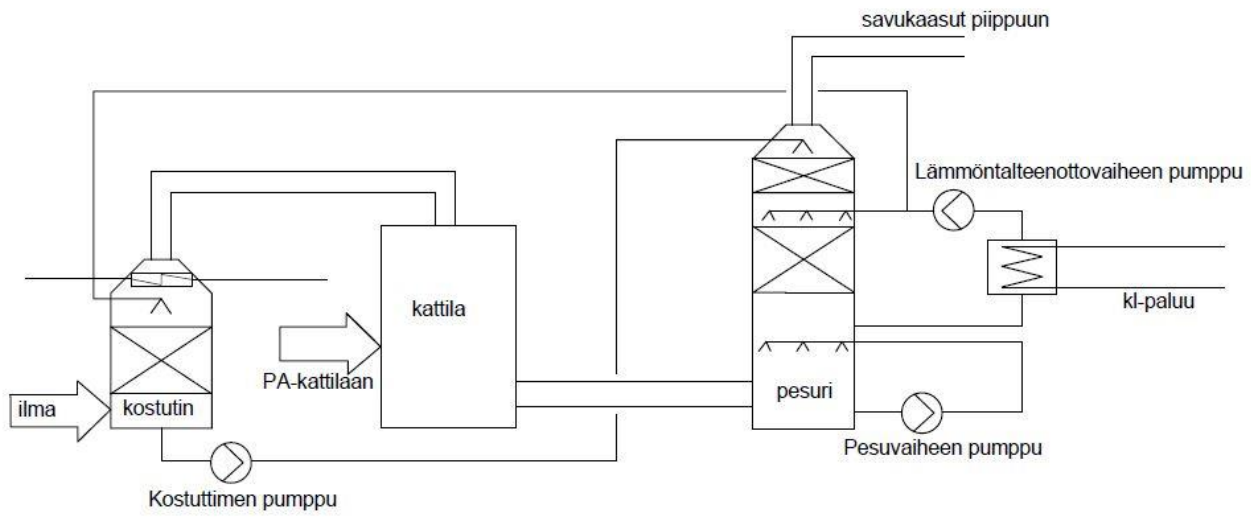
KUVA 5. Polttoaineen kosteuden vaikutus savukaasun lämpötilaan ja lämmön talteenottoon. (Condens heat recovery.)

Kaukolämpölaitosten kannalta on hyvin tärkeää, että kaukolämpöverkoston paluu lämpötila olisi riittävän alhainen. Pesukierron veden lämpötila riippuu täysin kaukolämpöpaluuveden lämpötilasta. Alhaisen veden lämpötilan ansiosta savukaasua saadaan jäähdytettyä enemmän, jolloin vesi vastaanottaa enemmän lauhtumisesta vapautuvaa energiaa. Pesurin lämmönsiirtimien toisiopuolelle johdetaan paluuvesi, joka jäähdyttää savukaasut alle kastepistelämpötilan. Tarkoituksena on, että kaukolämpöverkon paluuvesi pysyy koko ajan selkeästi savukaasun kastepistelämpötilan alapuolella. Kuvassa 6 on esitelty kaukolämpölaitoksen savukaasupesurin prosessi yleisellä tasolla. Kuvassa 7 puolestaan on esitelty yksinkertaistettuna pesuri voimalaitoksessa prosessikaaviona.

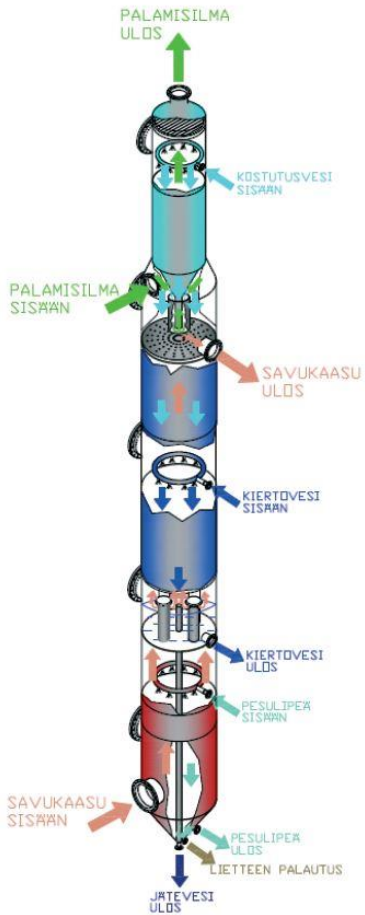




KUVA 6. Pesurin prosessikaavio yksinkertaisimmillaan (Elomatic news.)



Kuva 7. Pesurin yhteyteen lisätty palamisilman kostutin



KUVA 8. Pesurin päälle lisätty palamisilman kostutin

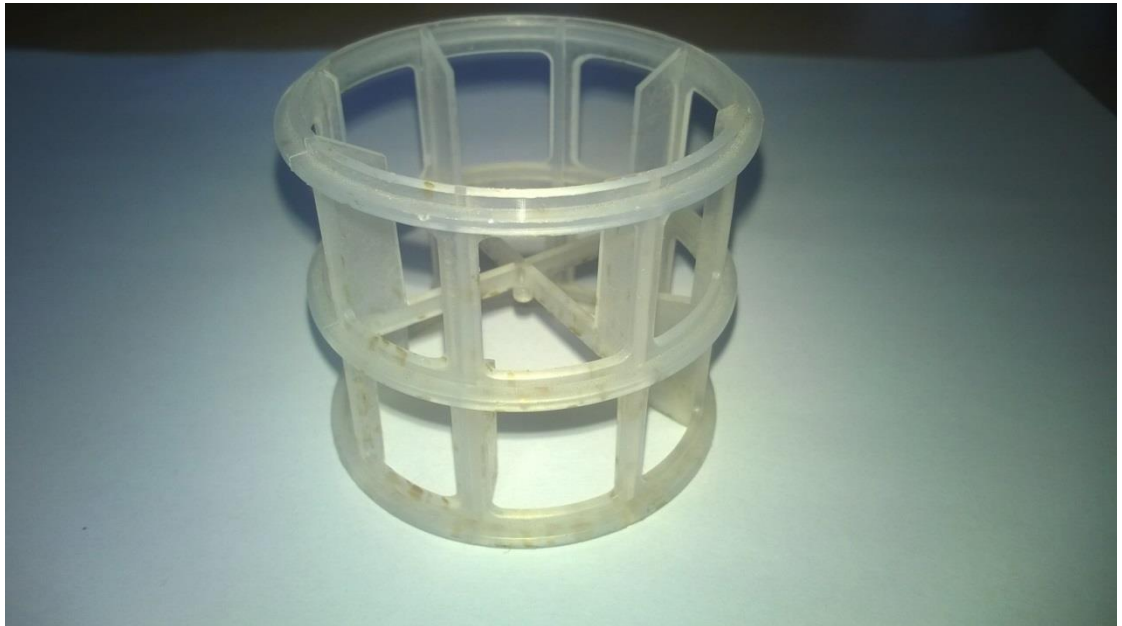
Talvella huipputehotarpeen aikaan yleisesti poltetaan mahdollisimman laadukkaita eli kuivia polttoaineita. Kuivien polttoaineiden savukaasut ovat kuivia, jolloin kastepistelämpötila on alhainen. Huipputehotarpeen aikana myös kaukolämpöverkon paluuveden lämpötila on normaalisti hieman korkeampi, jolloin savukaasun jäähdytys heikenee. Näiden tekijöiden vuoksi savukaasupesurin hyötysuhde on matalampi talviaikaan. Savukaasupesurit tehdään yleensä haponkestävistä teräksistä tai muoveista.

#### 4.3 Savukaasupesurin komponentit ja niiden tehtävät

Savukaasupesurin tärkeimpiä komponentteja ovat lämmöntalteenottovaiheessa oleva täytekappalekerros, jossa on polypropeenista tai metallista valmistettuja pinta-alaa lisääviä täytekappaleita, joissa itse lämmöntalteenotto tapahtuu. Näitä täytekappaleita saattaa olla jopa useita kuutioita. Huomioitavana on, että pesurin lämpötila ei saa nousta yli 85 °C, jolloin polypropeeni voi sulaa.

Pesurissa on moottorikäyttöiset sulkupellit sekä tulevassa että lähtevässä savukaasukanavassa. Kyseisten sulkupeltien tulee olla kaasutiiviitä, jotta pesuria voidaan huoltaa esimerkiksi lämpökeskuksen käydessä. Tällöin huollon aikana savukaasut ohjataan ohituskanavaa pitkin piippuun.

Pesurin alaosassa pidetään noin metrin kerros pesuvettä, jota kierrätetään alakierron pumpulla. Pumppu nostaa menokierron paineen noin 3:een barin tasolle, josta se ohjataan suuttimien avulla savukaasujen vastavirtaan. Tässä toimenpiteessä savukaasut puhdistuvat ja kertynyt liete tippuu pesurin pohjalle, josta se ohjataan märkätuhkalavalle. Lämmöntalteenottovaiheessa on myös kiertopumppu, joka kierrättää lauhdetta kaukolämmönsiirtimelle, jossa pesurissa saatava energia siirretään kaukolämmön paluuveteen. Yläkierrrossa tulee olla myös suuttimet jossa lauhde sumutetaan lämmöntalteenottokerroksen yläosaan. Kuvassa 9 on esitelty lämmöntalteenottovaiheen täytekappale. Kuvassa 10 on esitelty savukaasupesurissa oleva täytekappalekerros. Kuvasta voidaankin huomata, että niitä on hyvin paljon. Kuvassa 11 on puolestaan esitelty savukaasupesurin pisaraneroitus levy.



KUVA 9. Täytekappale



KUVA 10. Täytekappalekerros alhaalta päin kuvattuna



KUVA 11. Pisareneroituslevy

Pesuri varustetaan usein jäähdytysvesiyhteillä, joilla pyritään nopeaan jäähdytykseen. Mikäli savukaasupesurin lämpötila nousee yli 85 °C:een, tulee pesuria jäähdyttää mahdollisimman nopeasti. Pesuriin kertyy jatkuvasti lauhdetta, jonka poistamiseksi pesurin alakiertoon on asennettu moottoritoiminen säätöventtiili, joka ohjaa lauhteen vedenkäsittelyyn. Osa lauhteesta palautetaan takaisin pesukiertoon ja loppu puolestaan viemäriin. Näiden lisäksi pesurissa tulee olla myös pinta-, lämpötila-, ja pH-mittaus. Pesuveden joukkoon syötetään kemikaalia, yleensä lipeää tai happoa, jolla säädetään nesteen alkaliteettia.

## 5 KOSTUTIN

Poltettaessa kuivia polttoaineita, palamisilmaa ajetaan kattilaan kostuttimen kautta, jossa palamisilmaa sitoutuu kosteutta, joka puolestaan tehostaa lämmöntalteenottoa. Palamisilmaa kostutetaan pesurin puhdistamalla kiertoliuksella. Kostuttimen jälkeen palamisilman lämpötila nousee ja lähestyy kastepistettä. Kostuttimen jälkeen palamisilmaa lämmitetään, jotta vältetään palamisilmakanaviston korroosiolta. Kostuttimessa nesteenjako tapahtuu suuttimilla ja palamisilma kulkeutuu täytekaltekeroksen läpi, jolloin siihen saadaan siirrettyä myös lämpöenergiaa.

Myös kostuttimessa käytetään pisaraerottimia. Pisaraerottimen tarkoitus on varmistaa, että palamisilmassa oleva kosteus on sumuna. Pisaraerotin on normaalisti kostutusvaiheen ja ilman esilämmitysvaiheen välissä.

Kostuttimen käyttöä tulee välttää, jos käytettävän polttoaineen kosteus ylittää 55 %. Mikäli kosteus ylittää 55 %, tällöin savukaasukanavisto saattaa saavuttaa kastepisteen, joka taas altistaa kanaviston korroosiolle. Tämän lisäksi kattilan hyötysuhde saattaa kärsiä ja palaminen voi olla epätäydellistä. Savukaasuissa oleva liiallinen kosteus saattaa tiivistyä vedeksi ennen savukaasupesuria ja aiheuttaa kanavistossa syöpymistä. Erityisesti tulee huolehtia, että kanavisto on kunnolla eristetty eikä siinä ole ilmavuotoja. Sähkösuotimen nurkat, ravistimien läpiviennit ja tarkastusluukut ovat myös otollinen paikka korroosiolle, jos savukaasut ovat liian kylmiä.

Kostuttimen jälkeen palamisilman kosteus on lähellä kastepistettä. Tämän vuoksi ilmaa joudutaan lämmittämään, ettei kanavistoon ala kertyä vettä, joka taas voi aiheuttaa kanavistossa korroosiota. Lämmitys tapahtuu erillisen kattilapiirin kiertoa kytkeytyn lämmönsiirtimen avulla ja palamisilman lämpötilaa nostetaan 20 °C, jolloin se on noin 70 °C.

## 6 LAUHTEEN KÄSITTELY

Savukaasupesurissa lauhdetta muodostuu savukaasuista. Savukaasut keräävät kosteutta kostuttimessa, palaessa sekä itse polttoaineen kosteuden mukana. Savukaasupesurista kertynyt ylijäämä kosteus poistuu lauhteena. Savukaasuista poistuva lauhde täytyy ensin puhdistaa kiintoaineista. Tämä toimenpide voidaan suorittaa esimerkiksi ajamalla lauhde hiekkasuotimen läpi tai käyttämällä kemikaaleja. Kiintoaineet pumpataan letkupumpulla märkätuhka lavalle. Kemikaaleja käytetään lisäksi lauhteen pH arvojen säätämiseksi. Tarkoitus on päästä mahdollisimman lähelle neutraalia aluetta. On kuitenkin huomioitava, että pH:n ei tarvitse välttämättä olla juuri 7, vaan ollaan hyväksyttävällä tasolla pH:n vaihdellessa esimerkiksi arvojen 6-8,5 välillä. Poistuvien kiintoaineiden mukana poistuu myös veteen liukenemattomia raskasmetalleja.

Lauhde kokonaisuudessaan toimii kantoaineena kaikelle ”lialle”. Puhdistusvaiheen jälkeen osa puhdistetusta lauhteesta johdetaan takaisin savukaasupesurille, jolloin pidetään kiintoaineiden poistokiertoa yllä. Osa tästä puhdistetusta lauhteesta tulee myös poistetuksi kokonaan, esimerkiksi johtamalla ojaan. Kuitenkin ennen lauhteen poistoa, siitä tulisi ottaa energia talteen. On huomioitava, että savukaasupesurissa täytyy aina olla nestettä, jonka vuoksi sitä voidaan joutua lisäämään. Tämä seikka pätee varsinkin poltettaessa kuivia polttoaineita, kun lauhteen muodostuminen saattaa olla riittämätöntä.

## 7 SAVUKAASUPESURIN HUOLTO

Tässä luvussa selvitetään lyhyesti huoltoon liittyviä tekijöitä sekä huollon tarve yleisellä tasolla. Huollon tarvetta ja sitä kautta muodostuvia kustannuksia tarkastellessa täytyy kuitenkin huomioida, ettei voida ottaa kantaa yllättäviin komponenttirikoihin vaan pääasiassa ennakoivan kunnossapidon tarpeeseen.

Savukaasupesurin huollossa tulee huomioida seuraavia tekijöitä:

- Huollon ajaksi savukaasupesuri tulee pysäyttää ja antaa jäähtyä.
  - Savukaasupesuri tyhjennetään ja täytetään puhtaalla vedellä. Kierrätyspumput käynnistetään, jolloin pesuri puhdistuu. Pesuri tyhjennetään vielä uudelleen.
- Pesurin miesluukut avataan ja huudellaan kertynyt liete pesurin pohjalta pois.
  - Tarkastetaan suuttimien ja pisaraerottimien kunto. Suuttimet saattavat olla syöpyneitä, jolloin ne tulee vaihtaa. Kuvassa 12 on esitelty alaosan pesusuuttimet. Näiden lisäksi pisaraerottimien kunto tarkastetaan.
- Tarkastetaan kiertopumppujen toiminta ja pumput huolletaan erillisohjeen mukaan.
- Tarkastetaan pesurin sisäpuoliset rakenteet. Jos löytyy syöpymisen merkkejä, syynä voi olla liian vähäinen lauhteen poisto tai kemikaalin väärä annostelu.
  - Poltettaessa kuivia polttoaineita lauhteen klooripitoisuus kasvaa. Eri-tyyppisen korroosioherkkäalue on nesteen rajapinta. Korroosiota saattaa syntyä, jos happamat kaasut pääsevät reagoimaan metallin pinnalle tai, jos kiintoainetta on kertynyt metallipinnoille. Tasainen, jatkuva vesikierto on tärkeä, jotta mahdolliset syövyttävät komponentit huuhtoutuvat metallipinnoilta pois.
- Täytekappaleiden tulee olla puhtaita, jotta saavutetaan hyvä kontakti savukaasujen kanssa ja lämmönsiirtyminen on tehokasta. Kappaleiden likaantuminen saattaa olla syy sähkösuotimen toimimattomuudesta. Jos täytekappaleissa on kerrostumia, ne tulee pestä esim. sitruunahappoliuoksella.
- Savukaasupeltien tiivistepinnat tarkastetaan. Tiivistepintojen hyvä kunto auttaa savukaasupesuria säilönnän aikana, jos kattilaa käytetään samaan aikaan. Vuotavat pellit saattavat aiheuttaa savukaasujen pääsyn pesuriin, jolloin on vaara pH:n tippumiselle, joka taas voi aiheuttaa korroosiota.
- Mittalaitteiden toiminta tarkastetaan.



- Huollon ajaksi tulee pumppujen käynnistyminen estää turvakytkimillä ja pesurin sisälle mentäessä tulee noudattaa säiliötyöohjeita.



KUVA 12. Alaosan pesusuuttimet

### 7.1 Käytönaikainen tarkkailu

Käytönaikaisessa tarkkailussa tulee kiinnittää huomiota siihen, että savukaasupesuri toimii niin kuin se on suunniteltu. Prosessin järjestelmäkuvasta voi katsoa, että asetetut parametrit ovat ennalta määrättyissä lukemissa. Seuraavat parametrit tulee katsoa.

- pumppujen toiminta
- säiliöiden pintamittaukset
- savukaasun lämpötila
- saatava teho pesurista
- pesurin ja kostuttimen lämpötilat
- kemikaalin kulutus ja käytössä olevien kemikaalien määrä
- pH-mittareiden toiminta
- palamisilman lämmittimen toiminta

Laitoskierrosta tehtäessä tulee tarkastaa, ettei ole vesi- tai ilmapuotoja. Pumppujen toiminta tulee tarkistaa ja kuunnella, ettei kuulu mitään ylimääräisiä ääniä. Lauhteen käsittelyssä tulee kiinnittää huomiota poistuvan lauhteen puhtauteen sekä siihen, ettei siinä ole kiintoaineita. Lamelliselkeyttimen toimintaan vaikuttaa polttoaineseoksen suhde ja tämän mukana opittu kemikaalien syöttömäärä. Tämän vuoksi, olisi hyvä tehdä taulukko, josta voisi nähdä, kuinka paljon kemikaalia syötetään erilaisille polttoaineseoksille ja näin olisi polttoaineen muutoksen yhteydessä helpompi tehdä jo sopiva kemikaalinsyötön määrittäminen.

## 8 SAVUKAASUPESURI REFERENSSILAITOKSELLA

Tässä testissä oli käytettävissä Suonenjoen biolämpökeskus, joka koostuu MW-Powerin valmistamasta 8 MW:n pyöriväärinlaisesta kattilasta ja kuvassa 13 olevasta Metson valmistamasta savukaasupesurista, kostuttimesta ja lauhteen käsittelystä. Liitteissä 1-4 on eritelty kyseisen voimalaitoksen ajokaaviot ja liitteessä 5 on esitelty kyseisen laitoksen kahden viikon trenditaulukko.



KUVA 13. Savukaasupesuri kyseisellä laitoksella

## 9 SAVUKAASUPESURIN OPTIMAALISET AJOTAVAT

Tässä tapauksessa oli käytettävissä 8 MW:n arinakattila, johon oli kytketty savukaasupesuri ja kostutin. Kattilassa poltettiin haketta, turvetta ja molempia yhdessä. Käytettyjen polttoaineiden kosteus vaihteli välillä 32–52,5 %. Savukaasupesurista otettiin energia talteen kostuttimen kanssa sekä ilman sitä, ja näitä tuloksia verrattiin kattilasta saatuun energiamäärään. Kattilan teho vaihteli 25–50 % johtuen kaukolämpökuormasta. Kattilalla ajettiin kuusi erilaista testiä ja tuloksia kerättiin 15 minuutin välein. Kukin ajojakso oli 1,5 tuntia ja sinä aikana mitattiin kattilan teho, savukaasupesurin teho, jäännöshappi, kaukolämmön paluuv veden lämpötila, savukaasujen lämpötila ja poistuvan lauhteen määrä. Kunkin jakson jälkeen pidettiin vähintään puolen tunnin tauko, jolloin kostuttimen vaikutus poistui mittaustuloksista. Polttoaineen kosteusnäyte otettiin testin puolivälissä syöttöruuvilta ja kosteusmääritys tehtiin laitoksen omalla puntarilla ja kuivausuunilla. Polttoainenäytteitä pidettiin kuivausuunissa 22 h 105 °C lämpötilassa.

Näytteiden kosteus laskettiin kuivauksen aikana tapahtuvasta massamuutoksesta yhtälön 1 mukaan.

$$Mar = (m_1 - m_2 / m_1) * 100 \quad (1)$$

missä *Mar* on märkäpainoa kohti laskettu kosteus saapumistilassa(%)

*m*<sub>1</sub> on märän näytteen massa (g)

*m*<sub>2</sub> on kuivatun näytteen massa (g)

## 9.1 Tutkimusdata

Alla olevissa taulukoissa on havainnollistettu savukaasupesurin tuoma hyöty laskennallisesti tilanteissa, jolloin kostutin oli joko käytössä tai poissa käytöstä.

Taulukko 1. Savukaasupesurin tuottama energia referenssilaitoksella

| Referenssi laitoksen 1 savukaasupesuri 18.9.2014 |                    | Polttoaineen kosteus testausilanteessa 35,6 %, kostutin käytössä        |                                     |                                |                                    |  |                           |
|--|--------------------|---|-------------------------------------|--------------------------------|------------------------------------|--|---------------------------|
| klo  | Kattilan teho [MW] | Pesurin teho [MW]   | Kaukolämpöveden paluulämpötila [°C] | jäännöshappi [O <sub>2</sub> ] | Savukaasun lämpötila piippuun [°C] | Pesurista poistettava lauhde m <sup>3</sup> /h | pesurintuottama energia % |
| 12:00  | 2,52               | 0,49  | 41,8                                | 7,7                            | 36,5                               | 1,1  | 19,444                    |
| 12:15  | 2,44               | 0,49  | 41,7                                | 7,7                            | 36,5                               | 1  | 20,082                    |
| 12:30  | 2,34               | 0,51  | 42,1                                | 7,2                            | 36,3                               | 0,6  | 21,795                    |
| 12:45  | 2,3                | 0,49  | 41,9                                | 7                              | 36,3                               | 0,6  | 21,304                    |
| 13:00  | 2,32               | 0,49  | 42,1                                | 7,4                            | 36,4                               | 0,7  | 21,121                    |
| 13:15  | 2,25               | 0,49  | 41,6                                | 7,3                            | 37                                 | 1,4  | 21,778                    |
| KA   | 2,36               | 0,49  | 41,87                               | 7,38                           | 36,50                              | 0,90   | 20,92                     |
|  |                    | Polttoaineen kosteus testausilanteessa 35,6 %, kostutin poissa käytöstä |                                     |                                |                                    |  |                           |
| klo  | Kattilan teho [MW] | Pesurin teho [MW]   | Kaukolämpöveden paluulämpötila [°C] | jäännöshappi [O <sub>2</sub> ] | Savukaasun lämpötila piippuun [°C] | Pesurista poistettava lauhde m <sup>3</sup> /h | pesurintuottama energia % |
| 13:45  | 2,2                | 0,4   | 41,8                                | 10,5                           | 43,8                               | 0,7  | 18,182                    |
| 14:00  | 2,18               | 0,38  | 42,1                                | 10,4                           | 44                                 | 0,5  | 17,431                    |
| 14:15  | 2,17               | 0,33  | 42,5                                | 10,6                           | 44,4                               | 0,4  | 15,207                    |
| 14:30  | 2,32               | 0,35  | 41,7                                | 10,1                           | 44,2                               | 0,4  | 15,086                    |
| 14:45  | 2,56               | 0,31  | 43,6                                | 10,6                           | 43,9                               | 0,5  | 12,109                    |
| 15:00  | 2,76               | 0,34  | 43,2                                | 9,7                            | 39,7                               | 0,8  | 12,319                    |
| KA   | 2,37               | 0,35  | 42,48                               | 10,32                          | 43,33                              | 0,55   | 15,06                     |
| ero % ilman kostutinta                           |                    | 5,86  |                                     |                                |                                    |  |                           |

Taulukko 2. Savukaasupesurin tuottama energia referenssilaitoksella

| Referenssi laitoksen 1 savukaasupesuri 18.9.2014 |                    | Polttoaineen kosteus testauslaitanteessa 47,2 %, kostutin käytössä        |                                     |                                |                                    |  |                           |
|--|--------------------|---|-------------------------------------|--------------------------------|------------------------------------|--|---------------------------|
| klo  | Kattilan teho [MW] | Pesurin teho [MW]   | Kaukolämpöveden paluulämpötila [°C] | jäännöshappi [O <sub>2</sub> ] | Savukaasun lämpötila piippuun [°C] | Pesurista poistettava lauhde m <sup>3</sup> /h | pesurintuottama energia % |
| 8:15   | 4,14               | 0,98  | 42,5                                | 5,6                            | 35,8                               | 0,8  | 23,671                    |
| 8:30   | 3,59               | 1,03  | 41,9                                | 4,7                            | 37                                 | 1,9  | 28,691                    |
| 8:45   | 2,96               | 0,8   | 41,4                                | 5,9                            | 36,9                               | 0,7  | 27,027                    |
| 9:00   | 3,09               | 0,74  | 41,6                                | 5,5                            | 36,9                               | 1,1  | 23,948                    |
| 9:15   | 2,85               | 0,81  | 41,1                                | 6,7                            | 36,5                               | 0,7  | 28,421                    |
| 9:30   | 2,87               | 0,81  | 41,1                                | 6,2                            | 36,6                               | 0,7  | 28,223                    |
| KA   | 3,25               | 0,86  | 41,60                               | 5,77                           | 36,62                              | 0,98   | 26,66                     |
|  |                    | Polttoaineen kosteus testauslaitanteessa 47,2 %, kostutin poissa käytöstä |                                     |                                |                                    |  |                           |
| klo  | Kattilan teho [MW] | Pesurin teho [MW]   | Kaukolämpöveden paluulämpötila [°C] | jäännöshappi [O <sub>2</sub> ] | Savukaasun lämpötila piippuun [°C] | Pesurista poistettava lauhde m <sup>3</sup> /h | pesurintuottama energia % |
| 10:00  | 2,76               | 0,73  | 41,6                                | 8                              | 43,8                               | 1,4  | 26,449                    |
| 10:15  | 2,76               | 0,63  | 42,1                                | 8,9                            | 44,4                               | 0,7  | 22,826                    |
| 10:30  | 2,55               | 0,52  | 41,4                                | 10,5                           | 43,3                               | 1,1  | 20,392                    |
| 10:45  | 2,7                | 0,5   | 42,1                                | 9,9                            | 44,1                               | 0,7  | 18,519                    |
| 11:00  | 2,69               | 0,52  | 42,2                                | 8                              | 44,4                               | 0,9  | 19,331                    |
| 11:15  | 2,84               | 0,59  | 41,9                                | 9,1                            | 43,8                               | 0,9  | 20,775                    |
| KA   | 2,72               | 0,58  | 41,88                               | 9,07                           | 43,97                              | 0,95   | 21,38                     |
| ero % ilman kostutinta                           |                    | 5,28  |                                     |                                |                                    |  |                           |

Taulukko 3. Savukaasupesurin tuottama energia referenssilaitoksella

| Referenssi laitoksen 1 savukaasupesuri 9.10.2014 |                    | Polttoaineen kosteus testauksilanteessa 52,5 %, kostutin käytössä        |                                     |                   |                                    |  |                           |
|--|--------------------|--|-------------------------------------|-------------------|------------------------------------|--|---------------------------|
| klo  | Kattilan teho [MW] | Pesurin teho [MW]  | Kaukolämpöveden paluulämpötila [°C] | jäännöshappi [O2] | Savukaasun lämpötila piippuun [°C] | Pesurista poistettava lauhde m <sup>3</sup> /h | pesurintuottama energia % |
| 8:45   | 3,48               | 1,09   | 42,1                                | 5,8               | 36,7                               | 2,6  | 31,32                     |
| 9:00   | 3,39               | 1,09   | 41,9                                | 6,3               | 37,1                               | 0,4  | 32,15                     |
| 9:15   | 3,19               | 1,05   | 42,1                                | 5,5               | 36,8                               | 2,4  | 32,92                     |
| 9:30   | 3,38               | 1,06   | 41,3                                | 6,2               | 36,9                               | 0,6  | 31,36                     |
| 9:45   | 3,14               | 0,99   | 41                                  | 5                 | 36,6                               | 2,1  | 31,53                     |
| 10:00  | 3,58               | 1  | 41,12                               | 5,8               | 36,5                               | 1,9  | 27,93                     |
| KA   | 3,36               | 1,05   | 41,59                               | 5,77              | 36,77                              | 1,67   | 31,20                     |
|  |                    | Polttoaineen kosteus testauksilanteessa 52,5 %, kostutin poissa käytöstä |                                     |                   |                                    |  |                           |
| klo  | Kattilan teho [MW] | Pesurin teho [MW]  | Kaukolämpöveden paluulämpötila [°C] | jäännöshappi [O2] | Savukaasun lämpötila piippuun [°C] | Pesurista poistettava lauhde m <sup>3</sup> /h | pesurintuottama energia % |
| 11:15  | 3,38               | 0,87   | 40,8                                | 8                 | 43,8                               | 0,5  | 25,74                     |
| 11:30  | 3,17               | 0,86   | 40,8                                | 7,3               | 44,1                               | 1,6  | 27,13                     |
| 11:45  | 3,59               | 0,89   | 40,8                                | 7,5               | 43,8                               | 0,7  | 24,79                     |
| 12:15  | 3,17               | 0,77   | 41,7                                | 6,5               | 44,1                               | 0,8  | 24,29                     |
| 12:30  | 3,12               | 0,87   | 40,5                                | 7,6               | 43,8                               | 1,2  | 27,88                     |
| 12:45  | 3,02               | 0,8  | 40,8                                | 7                 | 43,6                               | 0,9  | 26,49                     |
|  |                    |  |                                     |                   | 3                                  |  |                           |
| KA   | 3,24               | 0,84   | 40,90                               | 7,32              | 43,87                              | 0,95   | 26,05                     |
| ero % ilman kostutinta                           |                    | 5,15   |                                     |                   |                                    |  |                           |

Saatujen tulosten perusteella voidaan sanoa, että kostutin tuo kyseiselle referenssilaitokselle noin 5 % hyödyn. Tuloksista voidaan myös huomata, kuinka pesurin tuottama energia kasvaa polttoaineen kosteuden kanssa. Kuitenkin täytyy huomioida, että jäännöshappi on ollut hieman korkeampi aina ilman kostutinta, mikä johtui kaukolämpökuorman pienentymisestä ja kattilan ajosta siirtymisestä minimikuormalle. Yliilmalla ajettaessa lämmöntalteenoton hyötysuhde heikkenee hieman.

## 9.2 Polttoaineenkosteuden vaikutus

Testiajojen tuloksista huomaa, että paras hyöty pesurista saadaan käytettäessä märkiä polttoaineita. Polttoaineen kosteuden ollessa 35,6 % pesurin teho oli kattilan tehosta 15,06 % ilman kostutinta ja vastaavasti kostuttimen kanssa 20,92 %. Polttoaineen kosteuden noustessa 47,2 % pesurista saatiin ilman kostutinta kattilan tehosta 21,38 % ja kostuttimen kanssa 26,6 %. Paras tulos syntyi polttoaineen kosteuden ollessa 52,5 %, jolloin teho oli kattilan tehosta 26,05 % ilman kostutinta ja kostuttimen kanssa 31,2 %.

## 9.3 Kostuttimen vaikutus

Kostutin lisää myös lämmöntalteenoton hyötysuhdetta noin 5,5 % ja samalla tiputtaa savukaasujen lämpötilaa 7 °C. Kostutinta tulee käyttää, jos käytettävissä on kuivia polttoaineita. Märkiä polttoaineita käytettäessä vaarana voi olla epätäydellinen palaminen, jolloin kostutin kannattaa ohittaa.

## 9.4 Suositukset ajoparametreiksi

Tässä tapauksessa paras tulos pesurin lämmöntalteenotosta saadaan käytettäessä kosteita polttoaineita kostuttimen kanssa, jolloin lämmöntalteenotosta saatiin 31,2 % teho kattilan tehoon nähden. Kosteiden polttoaineiden käyttöä tulee kuitenkin välttää pakkasjakson aikana, koska niistä aiheutuu toimintahäiriöitä laitoksen polttoainekuljettimissa ja vastaanottotaskuissa. Myös kesäaikana, kuormien ollessa pieniä, tulee käyttää hyvälaatuisia polttoaineita, jotta varmistutaan kattilan häiriöttömästä käytöstä. Testijakson aikana kattila kävi osateholla ja kattilaa ajettiin yli-ilmalla, joka hieman heikensi pesurin lämmöntalteenottoa.

## 9.5 Vaikutukset laitoksen käyttökustannuksiin

Käyttökustannuksia pesurin käytöstä tulee omakäytösähköstä, käytettävistä kemikaaleista, pH-antureista ja vuosihuollosta. Kiertopumppujen sähkön kulutus on ollut luokkaa 101,5 MWh/a, josta saadaan vuosimenoksi 8627 € sähkön hinnan ollessa 85 €/MWh. Neutralointi ja selkeytyskemikaalien kulutus on ollut luokkaa 13 000 €/a. pH-antureiden huoltokulut on 850 €/a ja vuosihuolto kestää yleisesti yhden viikon ja sitoo



kaksi henkilöä. Vuoden aikana pesurilla oli tuotettu 5940 MWh:a ja kuluja siitä oli ollut 22 300 €, siitä saadaan laskettua kulut tuotettua MWh:ta kohden, jotka ovat 3,78 €/MWh ja sen lisäksi huoltohenkilöiden palkat. Koska pesuri on vielä uusi ja laitevi-  
kaantumisia ei ole ollut, ei vielä voida arvioida näiden mahdollisia kustannusvaikutuk-  
sia. Jatkossa tulee todennäköisesti suutinvaihtoja, savukaasupeltien korjauskuluja ja  
kiertopumppujen huoltokuluja.

## 10 YHTEENVETO

Opinnäytetyössä tutkittiin savukaasupesureiden ja niiden yhteydessä käytettäviä kostuttimia ja niiden vaikutusta lämpövoimalaitoksen kokonaisenergiatehokkuuteen. Saatujen tulosten perusteella voidaan sanoa, että savukaasupesuri kostuttimen kanssa on merkittävä energiatehokkuutta parantava komponentti, jolla voidaan saavuttaa yli 25 % parannus hyötysuhteeseen hake- ja turvepolttoisella lämpövoimalaitoksella. Yleensä on polttoaine pyritty saamaan laitoksille mahdollisimman kuivana, mutta savukaasupesurin käyttö jopa edellyttää polttoaineen olevan mahdollisimman kosteaa, ainakin tiettyyn pisteeseen saakka. Pesurin käyttö voi merkittävästi helpottaa polttoaineen hankintaa voimalaitoksille. Polttoaineen hankinta voimalaitoksille on yleisesti ongelmallinen varsinkin hakkeen kohdalla suurten laatuvahteluiden vuoksi.

Savukaasupesurin käyttökulut ovat myös pienet tuotettua MWh:ta kohden, jolloin voidaan päätellä takaisinmaksuajan olevan varsin lyhyt. Kuitenkin savukaasupesurit ovat vielä sen verran uutta tekniikkaa, ettei voida tarkasti määritellä niiden vuotuisia kustannuksia, jos otetaan muuttuvat kustannukset huomioon. Tällaisia ovat esimerkiksi odottamattomat laiterikot. Energiantuotannossa savukaasupesurin hankinta ei loppujen lopuksi ole kovinkaan suuri investointi. Sen hankinta vanhoihin laitoksiin saattaa kuitenkin olla haastavaa.

Oletettavasti savukaasupesurit tulevat yleistymään tulevaisuudessa varsinkin uusissa laitoksissa energiatehokkuuden vuoksi. Energiatehokkuuden lisäksi savukaasupesurilla vaikutetaan myös päästöihin. Pesurista lähtevää savukaasua on jo jonkin verran puhdistettu ja tietyissä tilanteissa voi olla, ettei edes tarvita muita savukaasun puhdistuslaitteistoja, kuten esimerkiksi sähkösuodinta.

Käyttöä voidaan parantaa valitsemalla oikeita polttoaineita eri vuoden aikoina. Tällä tarkoitetaan käytännössä polttoaineiden kosteutta. Esimerkiksi keväisin ja syksyisin voidaan käyttää kosteampia polttoaineita, joista saadaan korkeampi hyötysuhde. Polttoaine valinnoilla voidaan vaikuttaa myös kemikaalikuluihin. Poltettaessa enemmän haketta pienennetään lipeän kulutusta.

Lisäksi olisi hyvä kiinnittää huomiota kaukolämpöpaluuveden lämpötilaan. Mitä alhaisemmaksi saadaan paluuveden lämpötila, sitä parempi hyöty saadaan savukaasupesurista.

## LÄHTEET

Bioenergiatieto www-sivu [Viitattu 29.7.2014] Saatavissa:

[http://www.bioenergiatieto.fi/default/www/etusivu/energian\\_tuotanto/energiatuotannon\\_tekniikka/polttotekniikka\\_nestemaisille\\_polttoaineille/nestemaisen\\_biopolttoaineen\\_palaminen/](http://www.bioenergiatieto.fi/default/www/etusivu/energian_tuotanto/energiatuotannon_tekniikka/polttotekniikka_nestemaisille_polttoaineille/nestemaisen_biopolttoaineen_palaminen/)

Condens heat recovery Oy www-sivu [Viitattu 30.7.2014] Saatavissa:

<http://www.condens.fi/fin/LTO.htm>

Elomatic news www-sivu [Viitattu 30.7.2014] Saatavissa:

[http://www.elomatic.com/fi/assets/files/publications/Elomatic\\_News\\_talvi\\_2014/](http://www.elomatic.com/fi/assets/files/publications/Elomatic_News_talvi_2014/)

Huhtinen M. Kettunen A. Nurminen P. Pakkanen H. 2000. Höyrykattilatekniikka. Helsinki. Edita Prisma Oy.

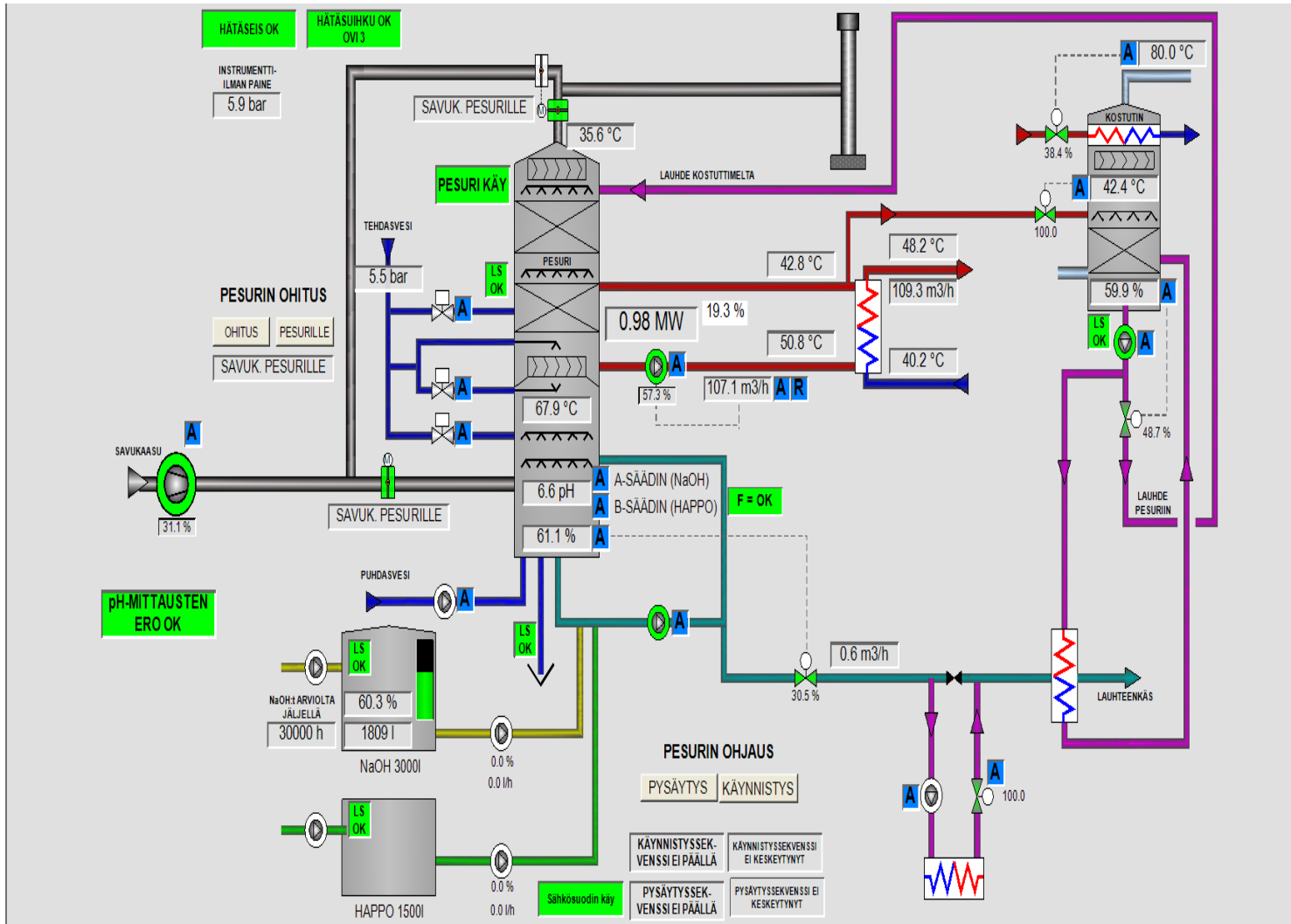
Savon Voima www-sivu [viitattu 14.9.2014] Saatavissa:

<http://www.savonvoima.fi/Yritysesittely/Konserni/Sivut/konserni.aspx>

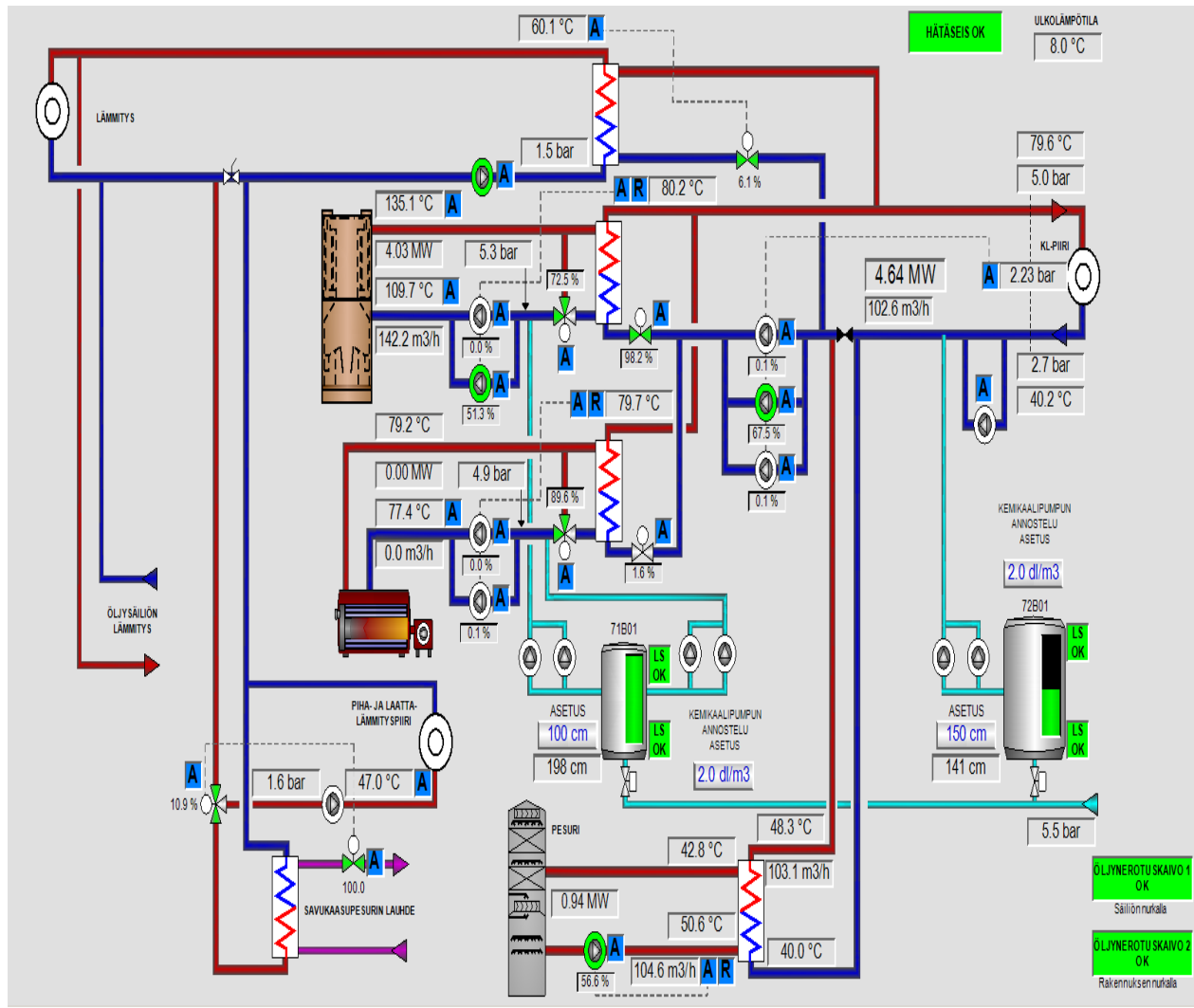
VTT:n esitys leijupolttotekniikasta [viitattu 5.8.2014] Saatavissa:

<http://koti.mbnet.fi/ppom/PDF/R.Y.pdf>

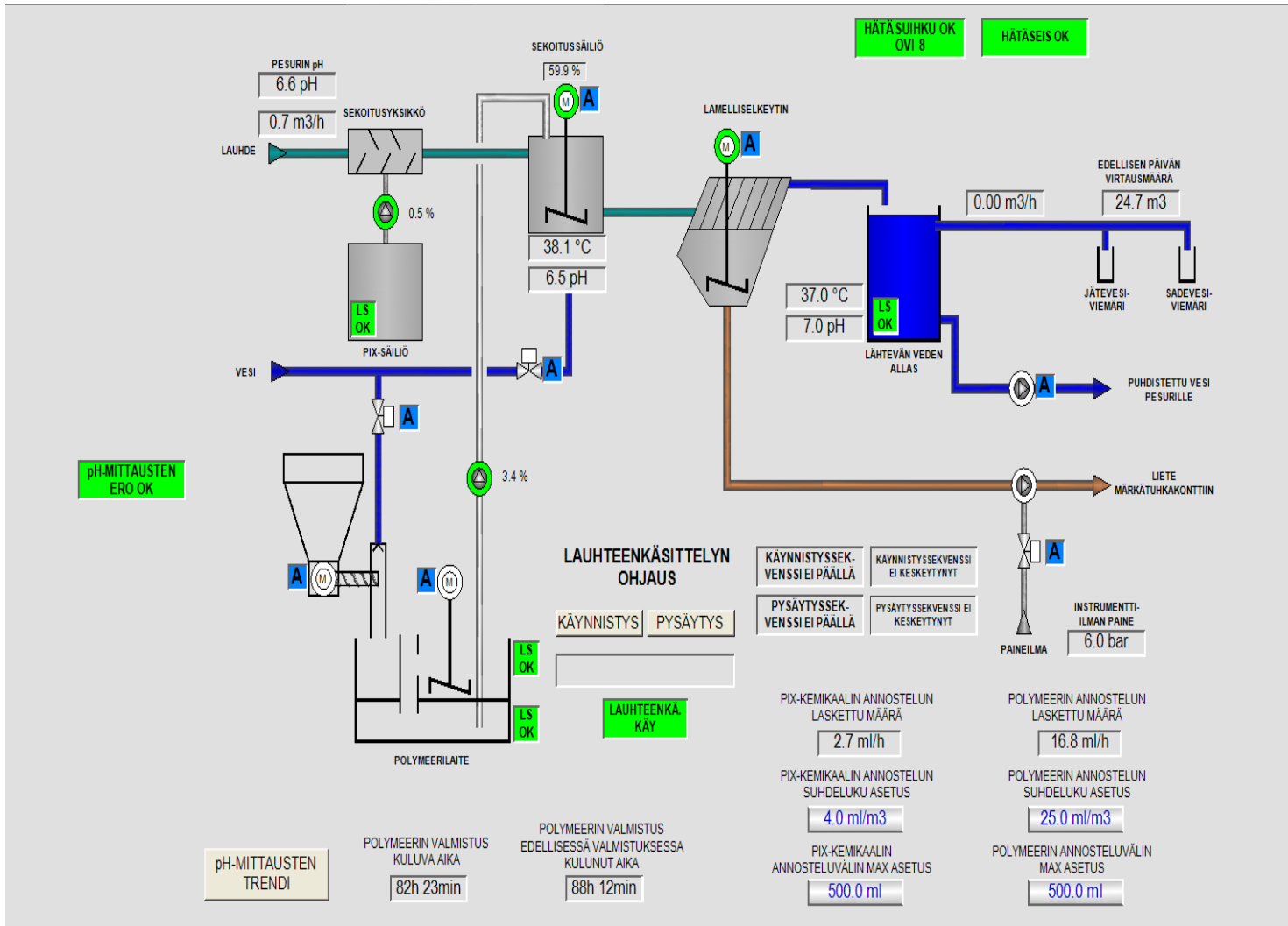
LIITE 1. Laitoksen ajokaavio, jossa on savukaasupesuri



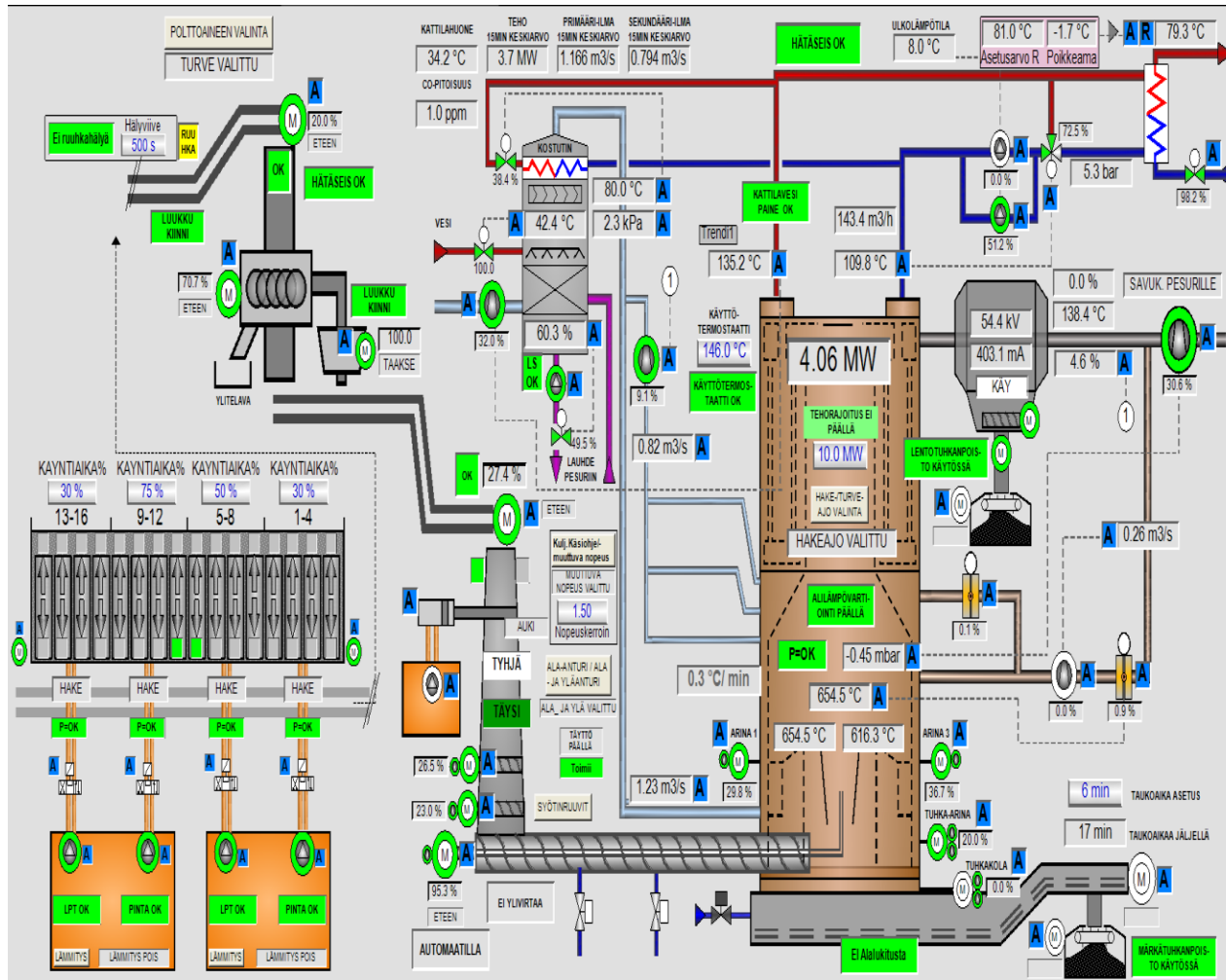
LIITE 2. Laitoksen vesipiirin ajokaavio



LIITE 3. Laitoksen ajokaavio, lauhde

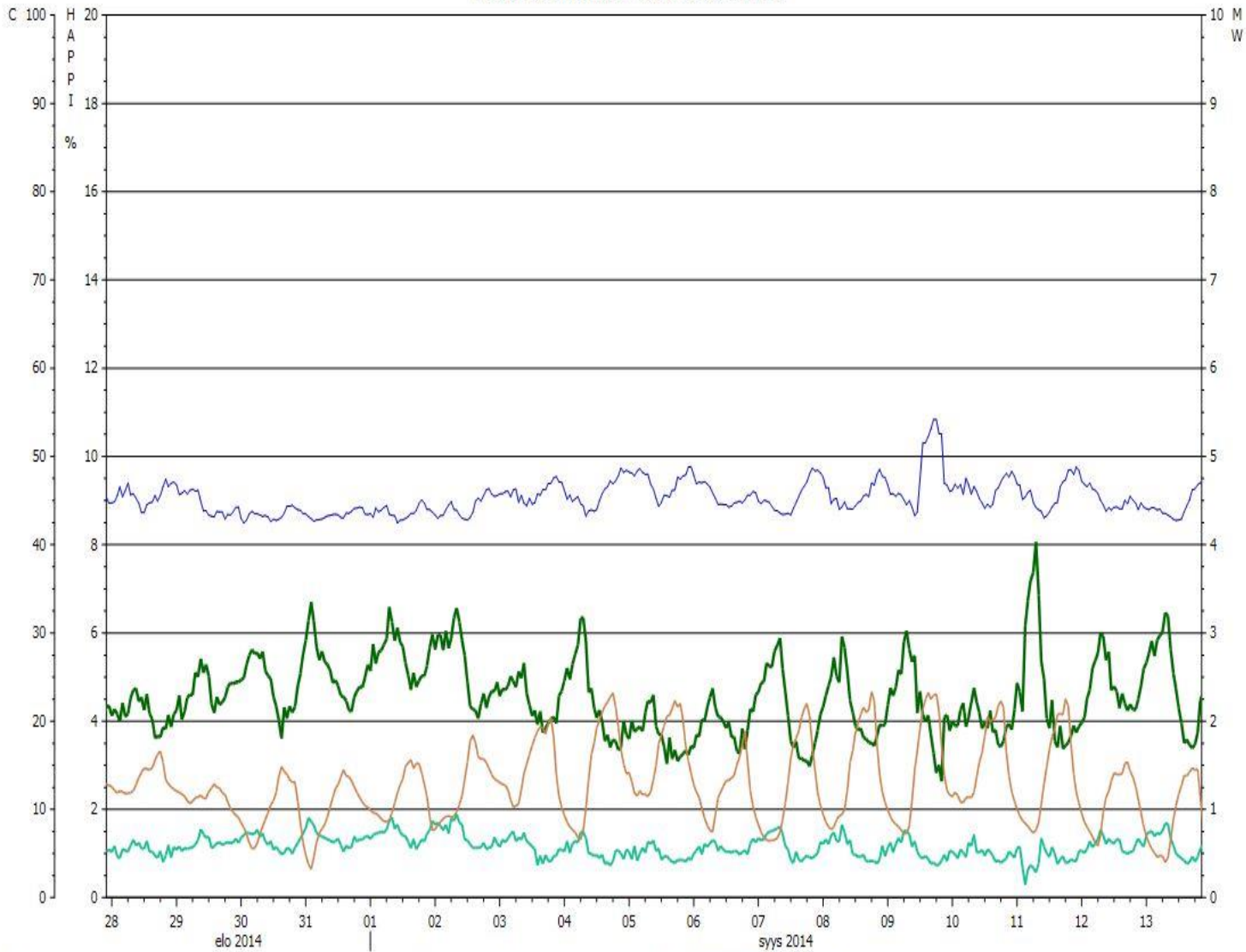


LIITE 4. Laitoksen ajokaavio, kattila



## LIITE 5. Trenditaulukko 2 vk

SNJ.LK25.TRENDIT.LK25 TUNTIARVOT 1



| Kynä  | Tyyppi         | Viimeisin arvo                | Minimi | Maksimi | Välillä | Std. Dev. | Viivain arvo |
|---|----------------|-------------------------------|--------|---------|---------|-----------|--------------|
| • SNJ.LK25.HISTORIA.TUNTIARVOT.KATTILATEHO              | Raaka historia | 13.10.2014 09:00:00:000 5,09  | 1,32   | 4,03    | 2,28    | 0,43      | -            |
| • SNJ.LK25.HISTORIA.TUNTIARVOT.SAVUKAASUPESURI TEHO     | Raaka historia | 13.10.2014 09:00:00:000 1,39  | 0,15   | 0,95    | 0,58    | 0,13      | -            |
| • SNJ.LK25.HISTORIA.TUNTIARVOT.KL-PIIRIN TEHO           | Raaka historia | 13.10.2014 09:00:00:000 6,1   | 1,62   | 4,07    | 2,7     | 0,5       | -            |
| • SNJ.LK25.HISTORIA.TUNTIARVOT.ULKOLAMPOTILA            | Raaka historia | 13.10.2014 09:00:00:000 2,87  | 3,26   | 23,34   | 12,83   | 4,5       | -            |
| • SNJ.LK25.HISTORIA.TUNTIARVOT.KL-PIIRIN MENOLAMPOTILA  | Raaka historia | 13.10.2014 09:00:00:000 83,34 | 78,83  | 82,02   | 80,04   | 0,3       | -            |
| • SNJ.LK25.HISTORIA.TUNTIARVOT.KL-PIIRIN PALUULAMPOTILA | Raaka historia | 13.10.2014 09:00:00:000 40,92 | 42,46  | 54,19   | 45,3    | 1,9       | -            |
| * SNJ.LK25.HISTORIA.TUNTIARVOT.SAVUKAASUN HAPPI         | Raaka historia | 13.10.2014 09:00:00:000 4,61  | 4,58   | 10,73   | 8,18    | 1,2       | -            |
| * SNJ.LK25.HISTORIA.TUNTIARVOT.ÖLJYKATTILATEHO          | Raaka historia | 13.10.2014 09:00:00:000 0     | 0      | 0       | 0       | 0         | -            |





