

Ville Jokelainen

**SAVUKAASUPESURISTA SAATAVAN SEKUNDÄÄRILÄMMÖN
KÄYTTÖKOHTEET**

SAVUKAASUPESURISTA SAATAVAN SEKUNDÄÄRILÄMMÖN KÄYTTÖKOHTEET

Ville Jokelainen
Opinnäytetyö
Kevät 2017
Energiatekniikan koulutusohjelma
Oulun ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu
Energiatekniikka

Tekijä(t): Ville Jokelainen

Opinnäytetyön nimi: Savukaasupesurista saatavan sekundäärilämmön käyttökohteet

Työn ohjaaja(t): Eija-Riitta Mustakangas, Ilkka Laakso, Jukka Ylikunnari

Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: Kevät 2017

Sivumäärä: 47 + 2

Tämä opinnäytetyö on tehty Stora Enso Oyj:n Oulun tehtaalle. Tähän saakka Oulun tehtaalla on savukaasupesurista saatavaa sekundäärienergiaa käytetty ”ilmaisena energiana” eri kulutuskohteissa. Verottaja tulkitsee nykyisin soodakattilan savukaasupesurilta tulevan sekundäärilämmön osaksi voimalaitoksen tuottamaa hyötylämpöä. Tulkinnan vuoksi verollisten polttoaineiden osuus energiantuotannossa kasvaa. Jatkossa pitäisi pystyä luotettavasti määrittämään savukaasupesurin hyötykäyttöön luovutetun sekundäärilämmön määrä.

Opinnäytetyön tarkoituksena oli tutkia savukaasupesurista saatavan hyötylämmön käyttökohteet, niissä kulutettavan lämpöenergian määrä sekä se, mihin kohteisiin tulisi lisätä mittaukset tarkan kulutuksen määrittämiseksi. Työssä oli myös huomioitava energiaverotuksen näkökulma siten, että pesuriveden kannattavimmat käyttökohteet tulisivat esille.

Työssä tehtiin Oulun tehtaalla olevaan Savcor Wedge-ohjelmistoon pesuriveden käytöstä kaavio, johon lisättiin olemassa olevat mittauspisteet sekä laskennallisia mittauksia. Laskennallisilla mittauksilla pystytään helposti seuraamaan pesuriveden lämmön käyttökohteita ja määrittämään pitemmältä aikaväliltä veron perusteena olevan sekundäärilämmön määrä.

Tutkimuksessa huomattiin, että verottajan tulkitsemassa voimalaitoksen omakäyttölämmön määritelmässä on jäänyt kaksi käyttökohdetta laittamatta omakäyttölämmöksi. Näissä kohteissa pesuriveden hyödyntäminen olisi verottoman käytön alaista. Ensisijaisen tärkeää olisi lisätä virtausmittaus kanaaliin ajettavalle pesurivedelle, joka säätyy paineensäätösäiliön pinnansäädön mukaan. Nykyisellään tämä kanaaliin menevä osuus on laskettuna hyötykäyttöön luovutetun lämmön määrässä, joten mittauksen asentamalla veron perusteena olevan lämmön määrä pienenesi.

Asiasanat: savukaasupesuri, sekundäärilämpö, soodakattila, ylijäämlämpö.

ABSTRACT

Oulu University of Applied Sciences
Energy Technology

Author(s): Ville Jokelainen

Title of thesis: Use of Secondary Heat from Flue Gas Scrubber

Supervisor(s): Eija-Riitta Mustakangas, Ilkka Laakso, Jukka Ylikunnari

Term and year when the thesis was submitted: Spring 2017 Pages: 47 + 2

This thesis is done in Stora Enso Plc.'s Oulu mill. Until now, the secondary energy from flue gas scrubber has been used as "free energy" in different applications. However, the tax authorities nowadays consider this secondary heat as part of useful heat. Due to this interpretation the proportion of taxable fuels grows in energy production. In the future, in Oulu mill should be able to reliably determine the amount of secondary heat collected from the flue gas scrubber.

The purpose of this study is to examine the useful heat from the flue gas scrubber applications, consumed quantity of thermal energy, as well as in which points measurements should be added measurements to determine the exact consumption. The work was also considers the perspective of energy taxation so that the profitable applications would come forth.

A diagram of the scrubber water was done with Savcor Wedge program in Oulu Mill. The existing measurement points and calculated measurements were added into the diagram. With calculated measurements the utilization of scrubber water can easily be monitored and in the long run the amount of secondary heat can be determined.

During this work it was discovered that two of the scrubber water applications were not listed by the tax authorities as tax-free use as they should. It is primarily important that flow measurement is added to the pipe which is used to pass scrubber water to canal due to the pressure control surface of the container act. Now this is excluded from the measurement. The passing canal portion is calculated as the amount of the transferred heat utilization, so adding the flow measurement would reduce the amount of taxed fuels.

Keywords: flue gas scrubber, secondary heat, recovery boiler

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ	3
SISÄLLYS	5
1 JOHDANTO	7
2 STORA ENSO OULU	8
3 SOODAKATTILA	10
3.1 Kemikaalikierto	10
3.2 Soodakattila	13
3.2.1 Soodakattilan rakenne	13
3.2.2 Tulipesän prosessit	15
4 SAVUKAASUPESURI	17
4.1 Stora Enso Oulun savukaasupesuri	17
4.2 Sekundäärilämpö	19
4.3 Verotus	21
4.4 Lämmönsiirrin	22
4.5 Mittausjärjestelmät	24
5 HYÖTYLÄMMÖN KOHTEET	26
5.1 VIV-lämmönvaihdin (37397)	27
5.2 Pesuriveden lämmönvaihdin 1 (32632)	28
5.3 ClO ₂ -lämmönvaihdin (29196)	31
5.4 Pesuriveden lämmönvaihdin 2 (25440)	32
5.5 Kanaali	34
5.6 Kuorimo	35
5.7 Kaustistamo, mäntyöljykeittämo, soodakattila ja haihduuttamo	36
5.8 Veron perusteena oleva lämpö	40
5.9 Mittauksien lisääminen ja omakäyttölämpö	41
5.10 Kannattavimmat käyttökohteet	43
6 YHTEENVETO	44
LÄHTEET	45
LIITTEET	48

SANASTO

ClO ₂	Klooridioksidi
ka.	keskiarvo
KW	kilowatti, tehon yksikkö
KWh	kilowattitunti, energian yksikkö
MW	megawatti, 1000 kilowattia
MWh	megawattitunti, 1000 kilowattituntia
Nm ³	normikuutiometri. Kaasumäärän tilavuus kuutiometreinä normaalitilassa
SLA	Sekundäärilauhde A
SLB	Sekundäärilauhde B
VIV	Ionivaihdettu vesi
VKE	Kemiallisesti puhdistettu vesi
VKU	Kuuma vesi
VLM	Lämmin vesi
VPE	Savukaasupesurin pesurivesi
VTE	Tehdasvesi

1 JOHDANTO

Tämä opinnäytetyö on tehty Stora Enso Oyj:n Oulun tehtaalle. Tähän saakka Oulun tehtaalla on savukaasupesurista saatavaa sekundäärienergiaa käytetty ”ilmaisena energiana” eri kulutuskohteissa. Nyt verottaja tulkitsee soodakattilan savukaasupesurilta tulevan sekundäärilämmön osaksi voimalaitoksen tuottamaa hyötylämpöä. Tulkinnan vuoksi verollisten polttoaineiden osuus energiantuotannossa kasvaa. Tehtaan pitäisi jatkossa pystyä luotettavasti määrittämään savukaasupesurin hyötykäyttöön luovutetun sekundäärilämmön määrä.

Työn tehtävänä on selvittää mihin pesurivettä käytetään tällä hetkellä, paljonko käyttö on lämpöenergiana missäkin kohteessa sekä mihin kohteisiin täytyy lisätä mittaukset kulutuksen määrittämiseksi. Työssä tulee huomioida energiaverotuksen näkökulma siten, että hyötylämmöksi tulkittavat kohteet olisi mitattavissa ja pesuriveden käytön kannattavimmat kohteet tulisi esille.

2 STORA ENSO OULU

Stora Enso Oyj on paperi, pakkaus-, biomateriaali- ja puutuoteteollisuudessa toimiva globaali yritys, joka työllistää noin 26 000 työntekijää yli 35 eri maassa. Heidän organisaationsa koostuu viidestä divisioonasta: Consumer Board, Packaging Solutions, Biomaterials, Wood Products ja Paper. Vuoden 2016 liikevaihto oli 9,8 miljardia euroa ja operatiivinen liiketulos 884 miljoonaa euroa. (1; 2.)

Stora Enso Oulun tehtaaseen kuuluvat sulfaattisellutehdas ja voimalaitos, kaksi paperintuotantolinjaa sekä arkittamo. Sellutehtaalla tuotetaan täysvalkaistua havusellua, josta käytetään merkittävä osa omassa paperitehtaassa. Sellutehtaan tuotantokapasiteetti on 350 000 tonnia vuodessa. Merkittävimpinä oheistuotteina saadaan biopolttoainetta (puun kuori), raakamäntyöljyä ja raakatäpättiä

Paperikoneilla tuotetaan kaksoispäällystettyä taidepainopaperia. Paperikoneiden tuotantokapasiteetti on 1 125 000 tonnia vuodessa, joten se on yksi maailman suurimmista puuvapaiden taidepainopaperien tuottajista. Arkittamon arkituskapasiteetti on 457 000 tonnia vuodessa. Tehdasalueen energia tuotetaan sellutehtaan yhteydessä toimivalla voimalaitoksella, jonka pääpolttoaineina ovat mustalipeä, puun kuori, turve ja öljy. Nuottasaaren tehtaalla on noin 650 henkilöä Stora Enso Oyj:n palveluksessa. (3; 4.)

Oulun tehtaiden kunnossapidosta huolehtii Stora Enson omistama Efora Oy. Arizona Chemical Oy, Synthomer Finland Oy, Akzo Nobel Finland Oy ja Oplax Oy myös toimivat Nuottasaaren tehdasalueella. (3; 4.)

Tehdasalueen energia tuotetaan pääasiassa soodakattilalla ja kiinteän polttoaineen leijupetikattilalla K3. Tuotannon kokonaislämpöteho vara- ja hajukaasukattila mukaan lukien on 650 MW ja sähköteho 145 MW. (5.)

Leijupetikattilan lämpöteho on 246 MW ja sen tuottama höyryn määrä noin 95 kg/s. Polttoaineena käytetään sellutehtaan kuorimolta tulevaa puu- ja kuorijätettä, ulkopuolista biopolttoaineita, turvetta sekä sellu- ja paperitehtaan jätevedenpuhdistamojen lietettä. (5.)

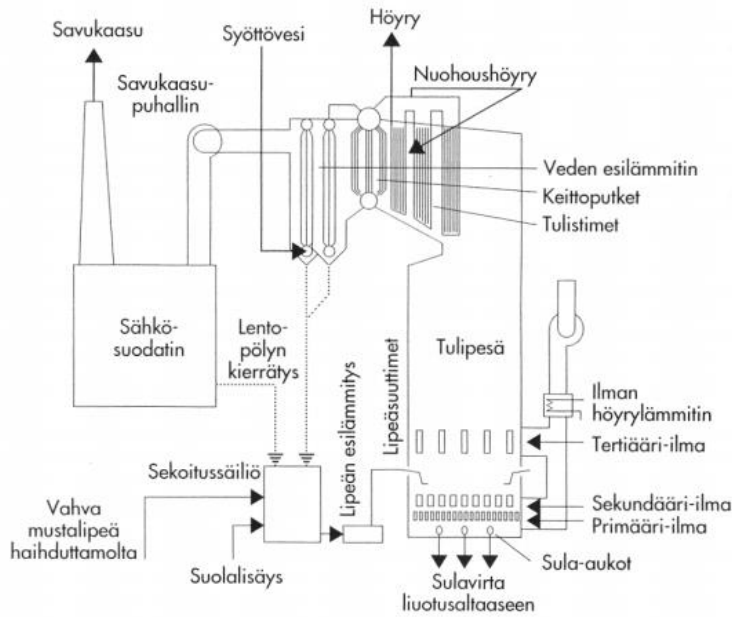
Varakattilana toimii puujätekattila, joka soveltuu tekniikaltaan kaikille yllä mainituille polttoaineille. Puujätekattila on teholtaan 143 MW ja sen tuottama höyryn määrä on noin 50 kg/s. Toissijaisena varakattilana toimii öljykattila. Öljykattila on teholtaan 54,6 MW, ja sen tuottama höyryn määrä on noin 22 kg/s. (5.)

Väkevät hajukaasut poltetaan erillisessä hajukaasukattilassa, jonka lämpöteho on 3,95 MW. Hajukaasukattilassa syntynyt rikkidioksidi otetaan talteen erillispesurilla ja palautetaan bisulfiittina valkaisu-prosessiin. Hajukaasu- ja öljykattilalla ei tuoteta sähköä, vaan ne osallistuvat ainoastaan lämmön tuottamiseen. (5.)

Normaalikäytössä soodakattilalla ajetaan peruskuormaa ja höyryverkossa tapahtuvia muutoksia tasataan höyryakun avulla. Leijupetikattila seuraa höyryakun painetta ja toimii höyryverkkoa säätävänä kattilana. Voimalaitoksen tuottamasta höyrystä noin 20 % käytetään sähköntuotantoon. Turbiineita on käytössä kaksi: TG5 ja TG6. Turbogeneraattori 5:n nimellisteho on 68,7 MW ja sähköteho 61,5 MW. Turbogeneraattori 6:n nimellis- ja sähköteho on 77 MW. Turbiinien vastapaine on 2,8 baaria ja molemmissa turbiineissa on 25 baarin ja 11 baarin väliotto. (3.)

3 SOODAKATTILA

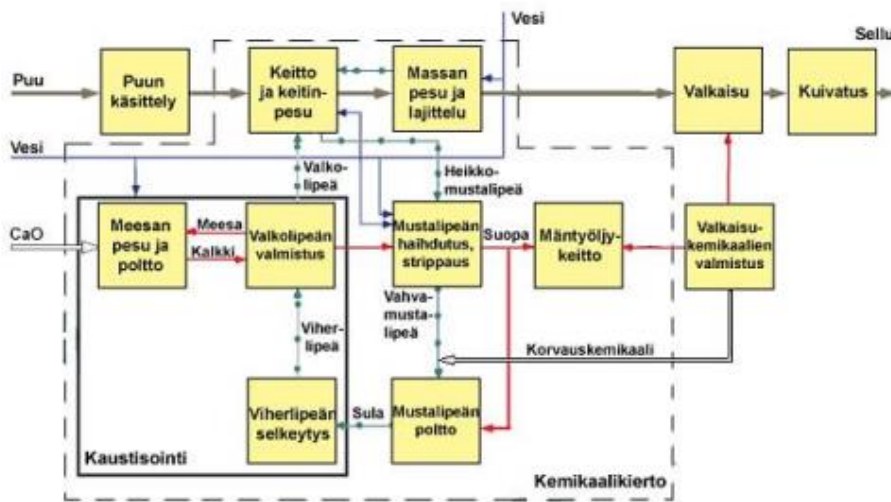
Suomessa sellua valmistetaan lähes yksinomaan sulfaattimenetelmällä. Sulfaattisellun keitossa syntyvän mustalipeän polttoon ja keittokemikaalien talteenottoon sekä regenerointiin suunniteltua kattilaa kutsutaan soodakattilaksi. (6, s.69) Kuva 1 havainnollistaa soodakattilan rakennetta ja ainevirtoja.



KUVA 1. Soodakattilan rakenne ja ainevirrat (6, s. 523)

3.1 Kemikaalikierto

Sulfaattisellun valmistusprosessi on esitetty kuvassa 2. Sellutehdas koostuu massanvalmistusyksiköstä sekä lipeälinjasta. Kuvasta selviää, että mustalipeän poltolla on keskeinen osa lipeälinjan toiminnassa.



KUVA 2. Sulfaattisellutehtaan lohkokkaavio (7)

Sellun raaka-aineena käytettävä havukuitupuu sekä sahaake tuodaan Oulun tehtaalle pääasiassa kuorma-autokuljetuksina ja osa myös rautateitse (9). Ensin puut kuoritaan, jonka jälkeen puu haketetaan ja tuodaan keittämöön. Keittämälä on tarkoitus vapauttaa puun kuidut toisistaan liuottamalla niiden sidosaine ligniini. Liuottaminen toteutetaan keittokemikaaleja sisältävässä keittonesteessä korkeassa lämpötilassa. Liuennut ligniini sekoittuu keittonesteseen, jolloin muodostuu mustalipeää. (6, s. 65–67.)

Mustalipeä sisältää liuenneessa muodossa puusta irronneita orgaanisia makromolekylyyhdisteitä ja keiton epäorgaanisia kemikaaleja, jotka ovat rikki sekä natrium erilaisina yhdisteinä. Tässä vaiheessa lipeä on vielä vesipitoista ("heikkolipeä"), ja sen kuiva-ainepitoisuus on noin 15 %. (8, s. 522.)

Lipeästä haihdutetaan seuraavaksi mahdollisimman paljon vettä, jotta se saadaan polttokelpoiseen muotoon. Haihdutus tapahtuu erityisissä tyhjiöhaihdutinsarjoissa. Vahvamustalipeän kuiva-ainepitoisuus haihdutuksen jälkeen on noin 60–85 %. Jäljelle jäävästä kuiva-aineesta karkeasti 60 % on orgaanista, palavaa ainesta, ja noin 40 % on epäorgaanisia suoloja muodostavaa ainesta. Mustalipeän tyyppillinen alkuainekoostumus on esitelty taulukossa 1. Haihdutuksen

jälkeen lipeä ruiskutetaan noin kiehumislämpötilassaan soodakattilan tulipesään. (6, s. 67–69.)

TAULUKKO 1. Tyypillisen mustalipeän alkuainekoostumus prosentteina kuiva-aineesta (8, s. 527)

Alkuaine	Koostumus (%)
C	38,2
H	3,4
O	31,1
N	0,1
S	5,2
Na	19,8
K	1,9
Cl	0,3
Ca, Si, Fe, Mg, Al, Mn ym	0,2

Soodakattilalla on periaatteessa kaksi eri tehtävää. Toisaalta soodakattilassa sellun keiton kemikaalit rikki ja natrium vapautetaan lipeästä ja otetaan talteen jatkokäsittelyyn sopivina yhdisteinä. Näin soodakattilan tulipesän toimii kemiallisena talteenottoreaktorina. Toisaalta soodakattilassa mustalipeän orgaanisen osan palamisen yhteydessä vapautuva lämpöenergia käytetään höyryn tuottamiseen, jolloin soodakattila toimii höyrykattilana. Soodakattilassa poltetaan palava osa, jolloin palamaton, kemikaalit sisältävä epäorgaaninen aines osa jää tuhkaan. Lämpötilan ollessa riittävän korkea tuhka poistuu kattilasta sulana. Soodakattilan tulipesän prosessit ja savukaasun muodostuminen käydään tarkemmin myöhemmin läpi. (8, s. 523; 5, s. 70.)

Soodakattilan pohjalta taiteenotettuun sulaan liuotetaan laihaa valkolipeää, jolloin syntyy viherlipeää. Viherlipeä selkeytetään ja pumpataan kaustisointiin. Kaustisoinnissa viherlipeästä valmistetaan poltetun kalkin avulla sellun keitossa käytettävää valkolipeää. Kaustisoinnin jälkeen saatu valkolipeä sisältää sulfaattiteittoon tarvittavat aktiiviset kemikaalit, mutta siitä on erotettava reaktion aika-

na muodostunutta kalsiumkarbonaattia, meesaa. Meesa erotetaan valkolipeästä selkeyttämällä, jonka jälkeen valkolipeä on valmis sulfaattikeittoon. (6. s.72; 7.)

Kemikaalikiertoon liittyy vielä meesan pesu ja meesan poltto meesauunissa. Lämmön vaikutuksesta meesauunissa meesasta valmistetaan kalkkia, joka edelleen hyödynnetään kaustisoinnissa. Meesan pesusta ja viherlipeäsakan pesusta kerätyt pesunesteet kerätään yhteiseen nk. laihavalkolipeäsäiliöön. (7.)

3.2 Soodakattila

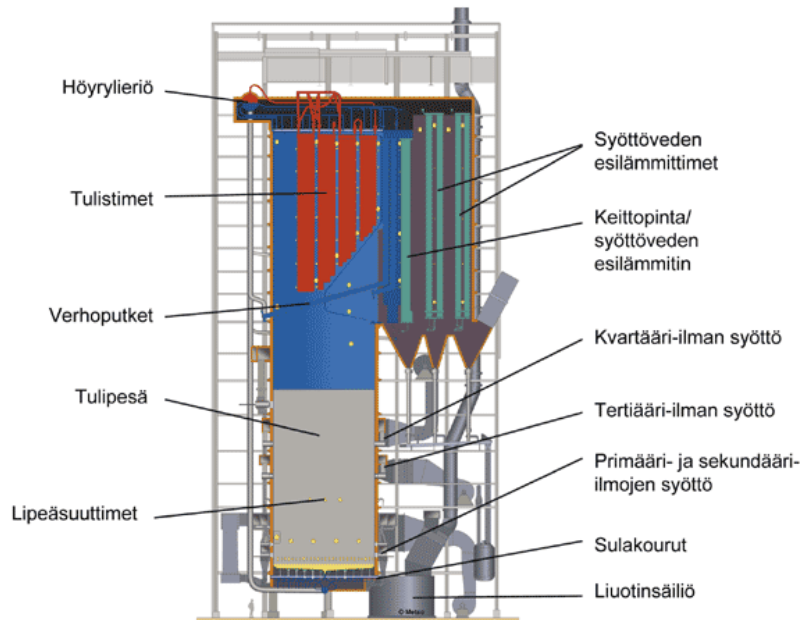
Edellä mainittu soodakattilan kaksoisrooli tekee soodakattilan rakenteen varsin mutkikkaaksi ja kattilan käytön huomattavasti vaativammaksi kuin ”normaaleja” polttoaineita polttavien voimalaitoskattiloitten. Soodakattila on sellutehtaan kaltein komponentti ja sen toiminnalla on suuri merkitys koko sellutehtaan toiminnalle. (8, s. 523–533.)

3.2.1 Soodakattilan rakenne

Kaikki soodakattilat ovat luonnonkiertokattiloita, ja nykyisin soodakattilat ovat poikkeuksetta yksilieriörakenteisia. Perusrakenteeltaan soodakattila muistuttaa muita kattilatyyppejä, mutta mustalipeästä johtuen soodakattila sisältää tunnusomaisia laitteistoja ja rakenteita joita ei muissa kattilatyypeissä ole. Kemikaalien talteenotosta johtuen kattilan pohjassa on sula-aukot, joista kemikaalisulaa poistetaan jatkuvasti jäähdytettyjä sularännejä pitkin liuottajaan. Liuotinsäiliö sijaitsee soodakattilan pohjalla, kattilan ulkopuolella. Mustalipeä syötetään kattilaan lipeäsuuttimia käyttäen. (7.)

Kuvassa 3 kuvataan yksilieriöisen soodakattilan rakennetta pääpiirteittäin. Lieriö on sijoitettu kattilan ulkopuolelle, mihin vesi on tullut syöttöveden esilämmittimien (ekonomaiseri) kautta syöttövesisäiliöstä. Lieriöstä kylläinen syöttövesi kulkeutuu laskuputkia pitkin tulipesän alaosaan ja putkiseiniä pitkin ylöspäin syöttöveden höyrystyessä osittain höyrystinpinnoilla tulipesässä ja pystysuuntaisessa keittopinnassa. Keittoputkistoissa merkittävä osa vedestä höyrystetään. Vesi-höyryseos menee uudestaan lieriöön, jossa lieriö erottaa höyry-

vesiseoksen käyttämällä painovoimaisesti aineiden tiheyseroa. Lieriöstä lähtevä kylläinen höyry tulistetaan tulistimissa ja kylläinen vesi tekee uuden kierroksen kattilassa. (7.)



KUVA 3. Soodakattilan rakenne (7)

Soodakattiloille tunnusomainen piirre on myös verhoputkisto, jonka tarkoituksena on suojata tulistinta tulipesän säteilyltä. Verhoputkisto toimii myös osana kattilan höyrystinputkistoa. Soodakattilan tulipesän seinämäputket ovat alttiita sulan aiheuttamalle korroosiolle, joten niitä pyritään suojaamaan eri keinoin. Putkiin voidaan keon kohdalle hitsata tapit, jotka pidättävät putken pinnalle paksun jähmeän sulakerroksen hidastaen näin korroosiota. (6, s. 74.)

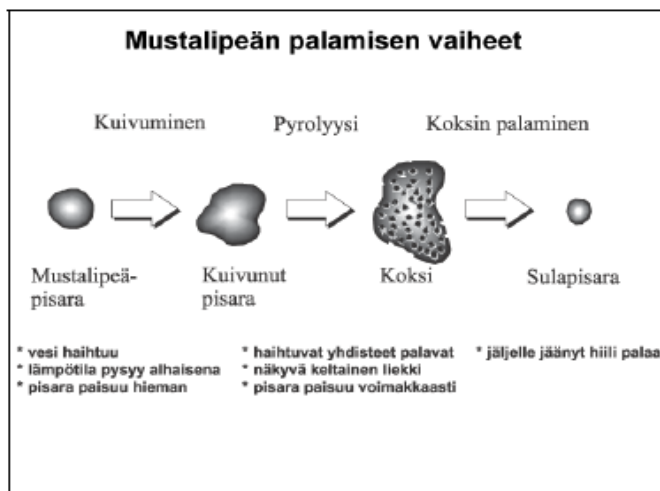
Mikäli vesi pääsee tekemiseen pohjalla olevan kemikaalisulan kanssa, voi seurauksena olla tuhoisa sulavesiräjähdyks, joka saattaa rikkoa kattilarakenteet. Sulavesiräjähdyksen ehkäisemiseksi soodakattiloissa on pikatyhjennysjärjestelmä, jolla kattilan pystyy tyhjentämään vedestä noin 20 minuutissa. Polttoaineesta johtuen soodakattiloita on nuohottava taukoamatta. Nuohoimia on kattilan eri

puolilla useita kymmeniä, nuohoushöyrynä käytetään tulistettua höyryä. (6, s. 74–75.)

Stora Enso Oyj:n Oulun tehtaan soodakattila (SK7) on Ahlström Oy:n valmistama ja se on käyttöön otettu vuonna 1988. Soodakattilan teho on 202 MW ja nimelliskuorma on 1600 kuiva-ainetonna vuorokaudessa (tka/vrk). Tuorehöyryä SK 7 pystyy tuottamaan 70,2 kg/s. Tuorehöyryn arvot ovat 82 baaria ja 480 °C. (10.)

3.2.2 Tulipesän prosessit

Mustalipeä syötetään soodakattilaan tulipesään esilämmitettynä (n. 100–120 °C), ja se hajotetaan pisaroiksi niin sanottua lusikkasuutinta käyttäen. Suuttimesta nopeasti virtaava lipeä törmää suuttimen päässä olevaan levyyn, jolloin se hajoaa pisaroiksi (1–2 mm) ja ruiskuaa leveänä suihkuna kattilaan. Soodakattilan tulipesään saapuvan lipeäpisaran palaminen voidaan kuvata neljällä vaiheella, jotka ovat kuivuminen, pyrolyysi, koksen palaminen ja sulan muodostuminen. Palamisvaiheet on havainnollistettu kuvassa 4. (8, s. 530; 8, s. 535.)



KUVA 4. Mustalipeän palamisen vaiheet (7)

Pyrolyysissä osa pisaran orgaanisesta aineesta vapautuu kaasumaisessa muodossa. Vapautuvat kaasut palavat välittömästi kirkkaalla keltaisella liekillä. Tässä vaiheessa lipeästä vapautuu erilaisten termisten prosessien ansiosta hiilipitoisia kaasuja. Tyypillisesti pisaran paisuessa sen halkaisija kolminkertaistuu, jolloin tilavuus kasvaa jopa 30-kertaiseksi. Pyrolyysissä pisaran lämpötila kohoaa nopeasti koska veden haihtuminen ei enää sido uunista pisaraan säteilevää lämpöä. Pyrolyysivaiheen lopussa pisaran kasvu pysähtyy ja pisaraa ympäröivä liekki sammuu. Tällöin lipeäpisara on vapauttanut kaiken haihtuvan orgaanisen aineksensa ja jäljelle jää paisunut, huokoinen, pääosin kiinteä koksijäännös. Pyrolyysivaihe kestää tyypillisille mustalipeäpisaroille 0,5–2 sekuntia, pisaran koosta ja ympäröivästä lämpötilasta riippuen. (8, s. 535.)

Pyrolyysin jälkeen jäljelle jäävä koksijäännös koostuu lähinnä hiilestä ja epäorgaanisista suoloista. Vaikka epäorgaaniset suolat ovat sulassa tilassa, hiukkasen yleisrakenne on koksantuneen kiinteän hiilen ansiosta kiinteä. Koksen palamisvaiheen lopussa hiilirakenne murtuu ja hiukkanen muuntuu äkkinäisesti sulapisaraksi. (8, s. 536)

Sula koostuu lipeän epäorgaanisista ainesosista, lähinnä rikistä ja natriumista. Rikki on koksen palamisvaiheen lopussa lähes kokonaan sulfidimuodossa, Na_2S . Normaalisti lipeässä on natriumia huomattavasti enemmän kuin rikkiä, ja se osa natriumista, joka ei sitoudu rikin kanssa sulfidiksi, esiintyy koksen palamisvaiheen lopussa karbonaattina, Na_2CO_3 . Mikäli pisara saa olla edelleen kosketuksissa hapen kanssa, pisaran sulfidi hapettuu sulfaatiksi, Na_2SO_4 . Tulipesän pohjalta sula johdetaan tulipesän takaseinältä vesijähdytteisten sulakourujen kautta liuotussäiliöön. (8, s. 537 – 538.)

Oikein tapahtuvassa soodakattilan polttoprosessissa pääosa koksijäännöksestä saavuttaa keon pinnan ennen koksen palamisvaiheen loppua. Keon pinnalla sula vapautuu koksista ja valuu ulos kattilasta ilman, että sulfidi pääsee hapettumaan. Tulipesästä ylöspäin karanneiden carry-over-hiukkasten sulfidi sen sijaan hapettuu vähitellen savukaasuvirrassa. (8, s. 358.)

4 SAVUKAASUPESURI

Savukaasupesurin tehtävänä on poistaa soodakattilan savukaasuista lähinnä rikkiä sisältävät yhdisteet, kuten rikkidioksidi (SO₂) ja rikkivety (H₂S). Savukaasupesurilla saadaan poistettua varsin hyvin hiukkaspäästöt verrattuna muihin pölynerotusmenetelmiin. Nykyään yksi puoltavimmista syistä savukaasupesurille on siitä saatava taloudellinen hyöty, sillä savupiipuista karkaa savukaasujen mukana hyödynnettävissä olevaa lämpöenergiaa.

Ennen savukaasupesuria soodakattilan savukaasut menevät sähkösuotimien läpi. Sähkösuodattimilla puhdistetaan sekä erotetaan kiinteät epäpuhtaudet savukaasuista. Sähkösuodattimessa varataan kaasuvirrasta erotettavat hiukkaset negatiivisesti, kun ne kulkevat ionisoituneen vyöhykkeen läpi. Tämän jälkeen varautuneet hiukkaset erotetaan voimakkaassa sähköisessä kentässä. (11, s. 252)

4.1 Stora Enso Oulun savukaasupesuri

Oulun tehtaan savukaasupesurille johdetaan savukaasut sähkösuotimilta, liuotussäiliön hönkä sekä hajukaasukattilan savukaasut. Savukaasupesurille tulevien kaasujen mitoitusarvot ovat taulukossa 2. (10.)

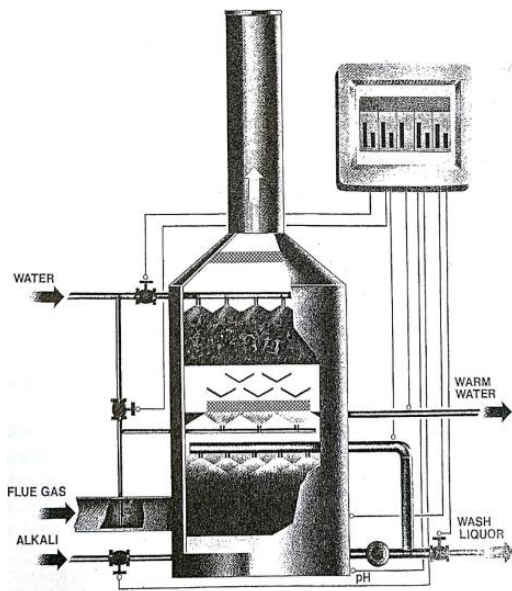
TAULUKKO 2. Savukaasupesurille tulevien savukaasujen mitoitusarvot (10)

Tulevat kaasut	Määrä (Nm ³ /s)	lämpötila (°C)	kosteus %
SK7	92	150	27
Liuottajan hönkä	15,5	80	42
Hajukaasukattila	5	250	20

Savukaasut saapuvat ensimmäiseksi pesurin alaosaan, joka toimii suljetulla kiertoperiaatteella. Pesurin alaosassa savukaasut esijäähdytetään suihkuttamalla vettä savukaasukanavan sisääntuloyhteeseen. Savukaasut jäähtyvät tällöin 150 °C:sta kastepisteeseen, joka on noin 72 °C. (12.)

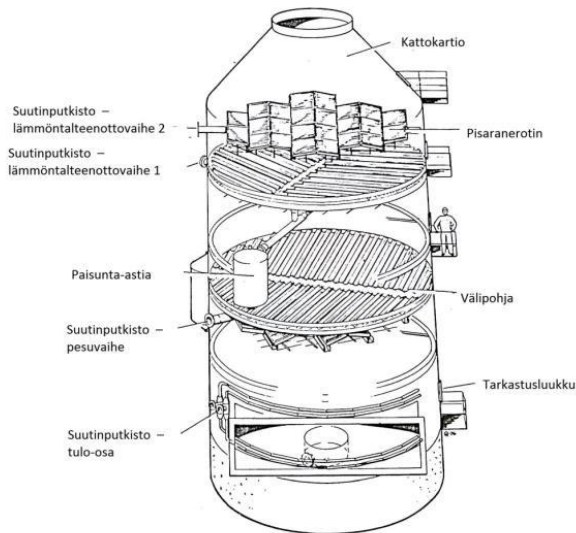
Esijäähdytetyt savukaasut tulevat suutinpesuvaiheeseen, jossa savukaasut joutuvat tehokkaaseen kosketukseen alkalisen pesuliuoksen kanssa. Pesuvaihe koostuu pääasiassa ylä- ja alasuutinputkistosta. Savukaasut sisältävät natriumsulfaattipölyä ja kaasumaisia rikkiyhdisteitä, pääasiallisesti rikkidioksidia. Natriumsulfaattipöly liukenee kiertävään pesuliuokseen ja rikkidioksidi reagoi pesuliuoksen sisältämän alkalin kanssa muodostaen natriumsulfaattia. Pesuliuosta poistetaan kierrosta tiheyden perusteella vain sen verran, ettei se rikastu liikaa. Pesuliuoksen pH:ta säädetään lisäämällä lipeää (NaOH) liuokseen ja tiheyttä säädetään tuomalla vettä pisananerottimen pesuun. Ylemmän suutinputkiston yläpuolella pesuvaiheessa on pisananerotin, joka estää pesuliuosta kulkemasta pölyhiukkasiin ja kemialioineen lämmöntalteenottovaiheeseen. (12; 13.)

Lämmöntalteenottovaiheessa on täytekappalekerros, joka muodostaa tehokkaan lämmönsiirtopinnan. Tuleva raakavesi jaetaan suutinputkistolla tasaisesti yli täytekappalekerroksen, jolloin savukaasut lauhtuvat luovuttaen lämpöenergiänsä raakaveteen. Kuvassa 5 on esitelty savukaasupesurin toimintaperiaate. (12.)



KUVA 5. Savukaasupesurin toimintaperiaate (11, s. 255)

Oulun tehtaan savukaasupesurin sisäosat näkyvät kuvasta 6. Kuten kuvasta selviää, pesuri koostuu pesuvaiheesta ja lämmöntalteenottovaiheesta.



KUVA 6. Savukaasupesurin sisäosat (13)

Savukaasupesurista saatu vesi (VPE) hyödynnetään joko sellaisenaan tai lämmönvaihtimien välityksellä. VPE sisältää rikkiyhdisteitä, minkä vuoksi se soveltuu lähinnä epäsuoraan lämmönsiirtoon. Savukaasuista saatava lämpö on sekundäärilämpöä. (12.)

4.2 Sekundäärilämpö

Teollisuuden energia voidaan jakaa primääri- ja sekundäärienergiään alkuperänsä mukaan. Primäärienergiaa voidaan joko suoraan tai muunnettuna syöttää jakeluun, ja se voi olla joko omaa tai ulkopuolista energiaa. Teollisuuden primäärienergiaa on polttoaine, voimalaitoksessa tuotettu höyry tai kuuma vesi sekä sähkö. (14, s. 28.)

Massan valmistusprosessissa käytetystä primäärienergiasta ainoastaan hyvin pieni osa siirtyy toiseen energiamuotoon. Suurin osa käytetystä energiasta on käyttökohteen jälkeen jätelämpönä nk. sekundäärilämpönä. (15, s. 1506.)

Teollisuuden sekundäärienergia on yleensä samalla myös omaa energiaa, joka on hyödynnettyä energiaa prosessista, ja se rajoittuu yksinomaan lämpöenergiaan. Sekundäärienergian olomuodot ovat yleensä prosessista saatu höyry, kuuma tai lämmin vesi sekä kuuma tai lämmin kaasu. Sekundäärilämpöön liittyy usein erilaisia epäpuhtauksia, esimerkiksi sekundäärilämpövedessä voi olla hiukkasia, kuituja tai liuennetta kemikaaleja. Ensisijaisesti sekundäärilämpö halutaan siirtää puhtaaseen veteen tai ilmaan, jolloin hyödynnetään lämmönsiirtimiä. (14, s. 29; 15, s. 1506.)

Sekundäärilämmölle suositellaan yleensä seuraavia periaatteita, jotka perustuvat parhaaseen mahdolliseen käytettävyyteen ja pienimpiin investointikustannuksiin:

- Sekundäärilämpö on edullisinta käyttää hyväksi siinä prosessissa tai osaprosessissa, jossa sitä syntyy. Prosessin ollessa jatkuva ja tasainen, voidaan lämpö käyttää mahdollisimman täydellisesti hyväksi, koska sen käyttö ja muodostuminen ovat samanaikaisia
- Jos sekundäärilämpöä ei voida käyttää samassa prosessissa, se kannattaa käyttää saman tuotantolinjan toisessa prosessissa. Lämpöä ei enää aina voida käyttää heti sen muodostettua, joten osa lämpötilaeron aikaansaamasta jätelämmön hyödyntämismahdollisuudesta menetetään.
- Jos sekundäärilämpö siirretään toiseen tuotantolinjaan, heikkenee samanaikaisuus edellisestä. (15, s. 1506.)

Yleensä samanaikaisuuskerroin ja hyväksikäyttöaste pienenevät, mikäli lämpö joudutaan kuljettamaan kauemmaksi sen omasta prosessista tai linjasta. Samalla investoinnit kasvavat ja kannattavuus heikkenee. Sekundäärilämmön käyttöä heikentää myös se, että tuotetun ja tarvittavan sekundäärilämmön mää-

rä sekä lämpötila vaihtelevat tehtaan, osaston ja vuodenajan mukaan. (15, s. 1506.)

4.3 Verotus

Yhdistetyn tuotannon polttoaineista veroja kannetaan nestemäisten polttoaineiden valmisteverolain sekä sähkön ja eräiden polttoaineiden valmisteverolain verotaulukoissa määritellyistä tuotteista ja niitä korvaavista tuotteista. Lämmön tuotannon polttoaineet määritellään kulutukseen luovutetun lämmön perusteella käyttäen tehollisia lämpöarvoja. Kulutukseen luovutetulla lämmöllä tarkoitetaan voimalaitokselta kaukolämpö- ja prosessihöyryverkkoihin sekä vastaavaan hyötykäyttöön luovutettua lämpö määrää. Kutakin polttoainetta katsotaan käytetyn samassa suhteessa sekä lämmön, että sähkön tuotantoon. (5.)

Kun sähköä tuotetaan yhdistetyssä sähkön ja lämmön tuotannossa, lämmön tuotannon polttoaineista suoritetaan vero sähkön ja eräiden polttoaineiden valmisteverosta annetun lain 10 §:ssä säädetyin tavoin verotaulukon mukaisesti polttoainemäärästä. Veron perusteena oleva bruttolämpö saadaan kertomalla nettolämpö 0,9:llä. Vastaava säännös on myös nestemäisten polttoaineiden valmisteverolain 10b §:ssä. (5.)

Voimalaitoksen omakäyttölämpö on lämpöä, josta ei suoriteta veroa. Omakäyttölämpö on määritelty Energiaverotusohjeessa 2016, kohdassa 4.3, joka perustuu hallituksen esitykseen 130/2002 (16). Esityksen mukaan voimalaitoksen omakäyttölämpöä on

"Muun muassa voimalaitosrakennuksen ja voimalaitoksen toimintaan liittyvien rakennuksien lämmitys, voimalaitoksella tapahtuvat häviöt, syöttöveden ja palamisilman esilämmitys. Tämän lisäksi voimalaitosta varten tapahtuva polttoaineen käsittely, lämmitys ja kuivaus sekä soodakattilan yhteydessä olevien haihduttamojen lämmön kulutus olisivat osa voimalaitoksen lämmön kulutusta." (17, s. 12.)

Polttoaineet ovat verottomia nestemäisten polttoaineiden valmisteverosta annetun lain 9. §:n 3 kohdan mukaan silloin, kun ne käytetään välittömässä ensikäytössä tavaran valmistuksessa. Oikeuskäytännössä vakiintuneen tulkinnan mu-

kaan välittömällä ensikäytöllä tarkoitetaan sitä, että polttoainetta poltettaessa syntyvät liekki tai savukaasut koskettavat valmistettavaa tuotetta. Mikäli polttoainetta käytetään väliaineen kuumentamiseen tai muutoin välillisesti, tätä ei hyväksytä ensikäytöksi. (5.)

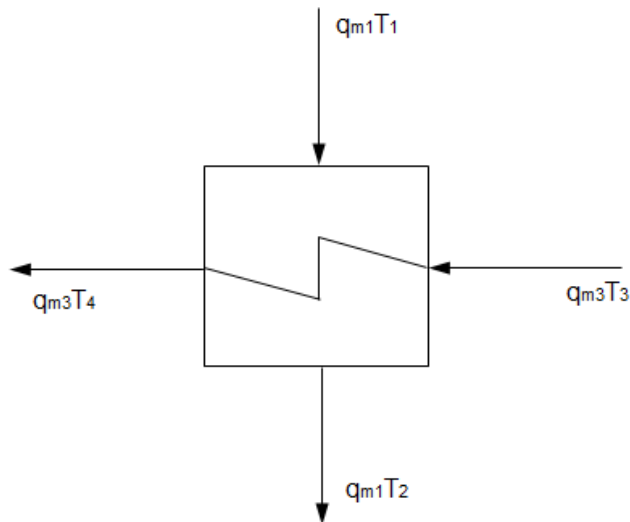
Soodakattilan alasajossa ja tukipoltossa käytetyt polttoaineet katsotaan käytyiksi ensikäytössä, mikäli poltettaessa syntyvä liekki tai savukaasut koskettavat valmistettavaa tuotetta eli lipeää. Kattilan ylösajon polttoaineet eivät ole ensikäyttöä ennen kuin valmistettavaa viherlipeää tulee kattilasta. (5.)

Savukaasupesurilta saatava lämpö on huomioitava veron perusteena olevassa lämmössä (VPO) siltä osin kuin sitä on luovutettu voimalaitokselta hyötykäyttöön. Voimalaitoksen omakäyttöön kohdistuva osuus voidaan perustellusti vähentää verollisesta lämmöstä. Savukaasupesurilta talteen otetun lämmön huomioimisesta veron perusteena olevaan lämpöön on olemassa KHO:n päätös 2910/23.10.2012. (18.)

Hyötylämpö on pääsääntöisesti määritettävä mittaamalla. Käytännössä kuitenkin laskennallinenkin määrittäminen on hyväksyttävissä, jos mittaaminen ei ole mahdollista tai on selkeästi virheellinen. (19, s. 16–17.)

4.4 Lämmönsiirrin

Savukaasupesurista saatavan sekundäärilämmön hyödyntämisessä käytetään vastavirtaperiaatteella toimivia putki- tai levylämmönsiirtimiä. Kuvassa 7 on esitetty lämmönsiirtimen periaatekuva taserajoinen.



KUVA 5. Lämmönsiirtimen taseet (20, s. 281)

Lämmönsiirtimen teho voidaan laskea lämmitettävän tai jäähdytettävän ainevirran puolelta. Tehon laskemiseksi on tiedettävä aineiden lämpötilat ennen ja jälkeen lämmönsiirintä, massavirta sekä aineen ominaislämpökapasiteetti. Kaavat 1 ja 2 kuvaavat lämmönsiirtimen tehon laskua kuvassa 7. (20, s. 281.)

$$\phi = q_{v1} * \rho * c_p * \Delta T = q_{m1} * c_p * (T_2 - T_1) = q_{m1} * (h_2 - h_1) \quad \text{KAAVA 1}$$

$$\phi = q_{v2} * \rho * c_p * \Delta T = q_{m2} * c_p * (T_4 - T_3) = q_{m2} * (h_4 - h_3) \quad \text{KAAVA 2}$$

Φ = lämmönsiirtimen teho, [kW]

ρ = tiheys, [kg/dm³]

q_v = virtaama, [dm³/s]

ΔT = lämpötilaero, [K]

q_m = massavirta, [kg/s]

c_p = ominaislämpökapasiteetti, [kJ/kgK]

T = veden lämpötila, [°C]

h = entalpia [kJ/kg]

Laskennassa käytetään sen piirin ominaislämpökapasiteettia ja lämpötilatasoja, joiden massa- tai tilavuusvirtaa käytetään. Oulun tehtaan lämminvesijärjestelmän paineen ollessa alle 5 baaria, laskuissa käytetään veden ominaislämpökapasiteettina 4,19 kJ/kgK. Tiheytenä on taselaskuissa käytetty 1 kg/dm³.

Lämmönsiirtimen kuukausittaisen tehon keskiarvon avulla voidaan laskea VPE:n luovuttama lämpöenergiämäärä. Energian kaupallisessa mittaamisessa käytetään kilowattituntia, joka saadaan kertomalla teho käytetyllä ajalla tunneissa kaavan 3 mukaisesti. Voimalaitoksen mittakaavassa käytetään megawattituntia kilowattitunnin sijasta.

$$W = \phi * t$$

KAAVA 3

W = energia [kWh]

Φ = lämmönsiirtimen teho [kW]

t = käyttöaika [h]

4.5 Mittausjärjestelmät

Sellutehtaalla ja voimalaitoksella prosessiautomaatiojärjestelmänä on Honeywell. Tiedonkeruujärjestelminä toimii ABB Infojärjestelmä sekä Savcor Wedge. Wedge on prosessidatan hallintaan ja prosessivaihteluiden analysointiin tarkoitettu ohjelmistotyökalu, jota tyypillisesti käytetään vähentämään lopputuotteen laatuvaihtelua ja parantamaan tuotannon tehokkuutta. Ohjelmisto on yleisesti käytössä Euroopan paperiteollisuudessa. (21.)

Ohjelman sisältämien matemaattisten työkalujen avulla voidaan seurata ja analysoida prosessin muutoksia järjestelmällisesti. Matemaattiset analyysit on paketoitu prosessiongelmien ratkaisemisen kannalta käytännöllisiin työkaluihin,

jotka helpottavat prosessivaihteluiden syiden selvittämistä, raportointia ja aaltomuodon tunnistamista. (21.)

Wedgeen tehtiin VPE:n putkilinjastosta kaavio, johon liitettiin tarvittavat mittauspisteet. Kaavio on liitteessä 1. Reaaliaikaiseen lämmönsiirtimien tehon seurantaan kaavioon luotiin uudet laskennalliset mittaukset, johon käytettiin kaavaa 3.

Aikavälinä Wedgessä käytettiin yhtä tuntia, jolloin on mahdollista saada alkuvuoden 2016 mittausarvoja. Tuleviin taulukoihin on listattu myös virtaavien aineiden sekä lämmönvaihtimien kuukausittaisia keskiarvoja, jotka on kerätty Wedgestä. Keskiarvojen avulla on helpompi saada käsitys VPE:n käytöstä kuukausitasolla.

5 HYÖTYLÄMMÖN KOHTEET

Liitteessä on esitelty Oulun tehtaan lämpimän veden järjestelmän PI-kaavio, josta selviää putkilinjat, lämmönvaihtimet sekä mittauspisteet. Tilaajan toivomuksesta PI-kaaviota ei julkaista. Savukaasupesurin lämmöntalteenotosta saatu vesi menee ensimmäiseksi lämpimän veden paineentasaussäiliöön (37396). Paineentasaussäiliöstä lähtee kaksi putkilinjaa: SK 642 ja SK 644. SK 642 -linjaa käytetään pisaranerotimen pesuvesipumpulla (37406), joka pumppaa paineensäätösäiliöstä VPE:tä savukaasupesurin pisaranerotimien pesuun. Linjassa ei ole virtausmittausta.

SK 644 -linja on ”päälinja” paineentasaussäiliöltä, johon on lämmönvaihtimet kytkettyinä. Päälinjasta haarautuu ensimmäisenä SK 645 -putkilinja, jota käytetään soodalipeäsäiliön hönkien pisaranerotimen pesuun aikaohjatulla pesutoiminnolla venttiiliin 11-KV-085_1 kautta. Venttiili on normaalisti kiinni ja pesutoiminnossa venttiili on n. 5 minuuttia auki. Ennen päälinjan haarautumista linjassa on lämpötilanmittaus (11T087) sekä haarautumisen jälkeen virtauksenmittaus (11F086). Näillä tiedoilla saadaan laskettua VPE:n sisältämä lämpöenergian määrä kaavalla 4.

$$Q = q_v * c_p * T$$

KAAVA 4

Q = Lämpöenergia [kW]

c_p = ominaislämpökapasiteetti [kJ/kgK]

T = lämpötila [°C]

Taulukkoon 3 on kerätty VPE:n arvoja. Wattituntien laskemiseen on käytetty kaavaa 3.

TAULUKKO 3. Pesuriveden mittaus- ja laskenta-arvoja

Aika	Virtaus ka. [l/s]	VPE:n lämpötila ka. [°C]	Teho ka. [MW]	Lämpöenergia kuukaudessa [MWh]
1/2016	148,7	66,2	41,6	30 950
2/2016	148,9	67,8	42,3	29 460
3/2016	136,9	64,1	38,4	28 550
4/2016	140,4	68,1	40,1	28 850
5/2016	138,1	67,3	39	28 980
6/2016	129,8	67,1	36,6	26 320
7/2016	133,7	68,2	38,2	28 440
8/2016	126	66,1	35,1	26 130
9/2016	114,3	62,4	32,2	23 170
10/2016	137,3	68,2	39,2	29 240
11/2016	154,1	67	43,3	31 170
12/2016	157,4	67,1	44,5	33 120
Yhteensä				344 380

5.1 VIV-lämmönvaihdin (37397)

SK 645-linja menee VIV-lämmönvaihtimelle, jossa lämmitetään täyssuolanpoistolaitokselta tulevaa ionivaihdettua vettä (VIV). VIV kiertää vielä kahden lämmönvaihtimen ja hartsinpidättimen läpi VIV-säiliöön 2, josta VIV pumpataan syöttövesisäiliöön.

VPE:tä käytetään VIV-lämmönvaihtimella vain silloin, kun sen lämpötila on yli 55 °C, jolloin pesurivesipumppu (37398) lämmönvaihtimen jälkeen käynnistyy. Lämmönvaihtimen jälkeen VPE palaa takaisin savukaasupesurille. VPE:n lämpötila VIV-lämmönvaihtimelle saadaan lämpötilamittauksesta 11-TIR-087, mutta vaihtimen jälkeen on vain lämpötilan paikallismittaus. VPE:n virtaukselle VIV-lämmönvaihtimelle ei ole mittausta.

Lämmönvaihtimelle tuleva VIV:n virtaus saadaan laskettua summaamalla suo- lanpoistosarjoille 1–3 tulevalla vedellä (13_FIC_243_1, 13_FIC_243_2 ja

13_FIC_243_3), josta vähennetään kemianteollisuuteen menevän VIV:n määrä (13_FIQ_051). VIV:lle on ainoastaan lämpötilan paikallismittaukset ennen ja jälkeen lämmönvaihdinta.

5.2 Pesuriveden lämmönvaihdin 1 (32632)

Pesuriveden lämmönvaihdin 1:llä lämmitetään haihduttamolta saatavaa sekundäärilauhdetta B (SLB). Haihduttamon lauhde on jaettu seuraaviin jakeisiin niiden puhtauden mukaan: primäärilauhde, sekundäärilauhde A, sekundäärilauhde B ja sekundäärilauhde C. Haihdutinyksiköistä V ja VI saadaan SLB:tä, jota paisuntasäiliöiden ja lauhduttimen kautta johdetaan SLB:n pumppaussäiliöön/paisuntasäiliöön (32592). Pumppaussäiliöstä lauhde pumpataan SLB-lauhdepumpulla (32593) pintasäädettynä (LIC-105) johtokykymittarin (QISA-106) ohjatessa vaihtventtiilejä. Johtokyvyn ollessa tarpeeksi alhainen SLB ohjataan pesuriveden lämmönvaihtimen 1 kautta jälkilämmittimeen (32606) ja/tai SLB-lauhteen säätösäiliöön. Johtokyvyn ylittyessä SLB menee keräilylipeäsäiliöön. (22.)

Pesuriveden lämmönvaihtimelle 1 menevä SLB kulkee säätöventtiilin HS-105.3 läpi ja säätösäiliöön menevä osuus säätöventtiilin HS-105.1 kautta. Kummassakaan venttiilissä ei ole virtausmittausta, mutta ennen linjan haarautumista on virtausmittaus (FI-107). Pesuriveden lämmönvaihtimelle 1 ohjataan SLB:tä silloin, kun SLA-säiliössä (32593) on tilaa ja johtokyky sallii.

SLB:n virtaus lämmönvaihtimelle onnistuu laskea jatkuvuusyhtälön avulla, jolloin putkiristeykseen tulevien tilavuusvirtojen summa on yhtä suuri kuin siitä lähtevien tilavuusvirtojen summa (23, s. 29). Lämmönvaihtimelle ja säätösäiliöön menevä putki ovat kummatkin kokoa DN 150, jolloin voidaan olettaa pumppaussäiliöstä lähtevän virtauksen jakautuvan tasan kummallekin. Kaavan 5 avulla saadaan laskettua pesuriveden lämmönvaihtimelle 1 virtaava SLB.

$$qv_{118.1} = \frac{\%_{105.3} * qv_{SLB}}{\%_{105.1} + \%_{105.3}}$$

KAAVA 5

$qv_{118.1}$ = lämmönvaihtimelle 1 menevä SLB [l/s]

$\%_{105.3}$ = Säätöventtiilin LV-150.3 ohjaus [%]

$\%_{105.1}$ = Säätöventtiilin LV-150.1 ohjaus [%]

q_{vSLB} = SLB:n virtaus [l/s]

Lämmönvaihtimelle tulevalle VPE:lle on virtausmittaus (07FI301) ja lämpötilamittaus (11-TIR-087). Lähtevälle VPE:lle ei ole lämpötilamittausta. Lämmönvaihtimen energiataseen avulla saadaan laskettua VPE:n lämpötila lämmönvaihdin 1:sen jälkeen kaavalla 6.

$$T_2 = T_1 - \frac{\phi}{qv \cdot c_p}$$

KAAVA 6

T_2 = lämmittävän aineen lämpötila lämmönvaihtimen jälkeen [°C]

T_1 = lämmittävän aineen lämpötila ennen lämmönvaihdinta [°C]

ϕ = lämmönsiirtimen teho, jäähdytettävän aineen puolelta laskettuna [kW]

q_v = lämmittävän aineen virtaus [l/s]

c_p = lämmittävän aineen ominaislämpökapasiteetti [kJ/kgK]

Taulukkoon 4 on kerätty SLB:n virtaus, lämpötilat ennen ja jälkeen lämmönvaihdinta, lämmönvaihtimen teho sekä lämmönvaihtimen megawattitunnit.

TAULUKKO 4. Pesuriveden lämmönvaihtimen 1 mittausarvot ja laskennalliset mittaukset kuukausittain

Aika	SLB virtaus ka. [l/s]	SLB ₁ ka. [°C]	SLB ₂ ka. [°C]	Teho ka. [MW]	Lämpöenergia kuukaudessa [MWh]
1/2016	26,6	62,6	64,2	0,3	232
2/2016	30,9	60,6	64,5	0,6	386
3/2016	26,5	60	62,3	0,4	327
4/2016	25,5	60,9	66	0,5	394
5/2016	23,8	62,5	65,9	0,4	306
6/2016	24,7	63,5	66	0,3	227
7/2016	25,8	59,1	65,7	0,7	524
8/2016	22,3	60,5	64,5	0,4	331
9/2016	25,9	58	60,6	0,5	394
10/2016	31,1	60,8	65,6	0,6	475
11/2016	32,1	59,7	64,5	0,7	508
12/2016	33,3	59	64,4	0,8	606
Yhteensä					4 710

Taulukkoon 5 on kerätty VPE:n kuukausittaiset keskiarvot virtauksesta sekä lämpötiloista.

TAULUKKO 5. VPE:n kuukausikeskiarvot lämmönvaihdin 1:llä

Aika	VPE:n virtaus ka. [l/s]	VPE1 ka. [°C]	VPE2 ka. [°C]
1/2016	49,5	66,2	65,1
2/2016	48,3	67,8	65,8
3/2016	50,5	64,1	62,5
4/2016	50,6	68,1	66,1
5/2016	55,6	67,3	65,9
6/2016	56,3	67,1	66
7/2016	59,5	68,2	65,6
8/2016	54,6	66,1	64,5
9/2016	45,2	62,4	60,4
10/2016	52,9	68,2	65,9
11/2016	61,8	67	64,4
12/2016	63,4	67,1	64,1

5.3 ClO₂-lämmönvaihdin (29196)

Valkaisussa käytettävä klooridioksidivesi tulee viereiseltä kemiantehtaalta Akzo Nobel Finland Oy:ltä. Klooridioksidiveden valmistuksessa klooridioksidikaasu absorboidaan jäähdytettyyn veteen. ClO₂-lämmönvaihtimella esilämmitetään ClO₂-vesi ennen syöttämistä valkaisuprosesiin, jolloin säästetään kuuman veden ja höyryn kulutuksessa valkaisuprosesissa. Normaalisti ClO₂-veden lämpötila on 12 °C. Alimmillaan talvella lämpötila voi olla 10 °C ja ylimmillään kesällä 16 °C, kun ei ole kyseessä ylös- tai alasajotilanne. (24.)

Klooridioksidiveden virtaus lämmönvaihtimelle lasketaan seuraavasti: varastosäiliöiltä lähtevästä virtauksesta (39F2869) vähennetään D2-vaiheeseen menevä klooridioksidivesi (05F523), puhdasvesialtaaseen (12F1270) ja VKE-laitokseen syötettävä klooridioksidivesi (12F1274).

ClO₂-lämmönvaihtimelle tulevaa VPE:tä ohjataan venttiilillä TV-502, joka säätyy ClO₂-lämmönvaihtimelta lähtevän klooridioksidiveden lämpötilan mukaan (TIC-502). Lämmönvaihtimelle on ohitus venttiilin GV 532 kautta, joka säätyy myös lämmönvaihtimelta lähtevän klooridioksidiveden mukaan. ClO₂-lämmönvaihtimen jälkeen VPE:n putki yhdistyy takasin VPE:n päälinjaan. VPE:n lämpötila putkien yhdistymisen jälkeen saadaan laskettua kaavalla 7.

$$T_2 = \frac{(T_1 * q_v * c_p) - \phi}{q_v * c_p} \quad \text{KAAVA 7}$$

T_2 = VPE:n lämpötila putkien yhdistymisen jälkeen [°C]

T_1 = laskettu VPE:n lämpötila lämmönvaihdin 1:sen jälkeen [°C]

q_v = VPE:n virtaus lämmönvaihdin 1:sen jälkeen [l/s]

ϕ = ClO₂-lämmönvaihtimen teho [kW]

c_p = VPE:n ominaislämpökapasiteetti [kJ/kgK]

Taulukkoon 6 on kerätty ClO₂-lämmönvaihtimen mittausarvot sekä laskennalliset mittaukset kuukausittain.

TAULUKKO 6. ClO₂-lämmönvaihtimen arvoja

Aika	ClO ₂ virtaus ka.[l/s]	ClO ₂ lämpötila ka. [°C]	LV:n teho ka. [MW]	Lämpöenergia kuukaudessa [MWh]
1/2016	17,4	40,8	2,2	1 673
2/2016	19,9	38,1	2,3	1 621
3/2016	18,7	36,2	2,1	1 596
4/2016	21,4	33,7	2,1	1 504
5/2016	20	34,4	2	1 500
6/2016	17,8	33,6	1,7	1 212
7/2016	18,1	33,8	1,8	1 320
8/2016	14,8	37,5	1,6	1 211
9/2016	16,1	32,8	1,7	1 239
10/2016	18,9	36,8	2,1	1 565
11/2016	18	36,4	1,9	1 369
12/2016	18,3	35,8	1,9	1 434
Yhteensä				17 244

5.4 Pesuriveden lämmönvaihdin 2 (25440)

Pesuriveden lämmönvaihdin 2:lla lämmitetään tehdasvettä (VTE), joka menee kemiallisen vesilaitoksen syöttöön. Lämmönvaihdin 2 on viimeinen lämmönvaihdin, jolla hyödynnetään savukaasupesurista saatavaa sekundäärilämpöä ennen VPE:n syöttöä kanaaliin.

VTE on mekaanisesti suodatettua ja kloorattua merivettä. Lämmönvaihtimelle tulevan VTE:n lämpötila saadaan mittausanturista 12T1252, joka on sijoitettu kahden koneväljän jälkeen ennen pystyviirasuotimia ja pumppauskaivoa. Lämmönvaihtimen jälkeen VTE:n linjastossa on lämpötilamittaus (02T389) ja virtausmittaus (02F389).

VPE:n virtaus saadaan lämmönvaihdin 1:n jälkeen olevasta virtausmittauksesta. Lämpötila ennen lämmönvaihdin 2:ta saadaan ClO₂-lämmönvaihtimen jälkeen olevasta VPE:n lämpötilasta. Kanaaliin menevä VPE:n lämpötila on laskettu kaavalla 6, muuttamalla arvot lämmönvaihdin 2 vastaaviin arvoihin. Taulukkoon 7 on kerätty VTE:n ja lämmönvaihtimen 2 arvoja.

TAULUKKO 7. Kuukausittaisia arvoja pesuriveden lämmönvaihdin 2:sta.

Aika	VTE1 ka. [°C]	VTE 2 ka. [°C]	VTE:n virtaus ka. [l/s]	Lv 2:n teho ka. [MW]	Lämpöenergia kuukaudessa [MWh]
1/2016	-0,3	41,6	5,3	1	708
2/2016	-0,5	43,1	2,6	0,5	328
3/2016	-0,2	41,3	2,5	0,4	311
4/2016	1,6	43,5	2,5	0,5	327
5/2016	9	49,1	5,2	0,8	601
6/2016	14,6	51,8	2,2	0,3	250
7/2016	19,1	53,4	0,1	0	10
8/2016	17,5	50,2	0,3	0	31
9/2016	12,7	47,9	0,5	0	18
10/2016	7	50,3	1,4	0,2	175
11/2016	0,7	46,3	14,5	2,7	1 928
12/2016	0	46,2	16,6	3,1	2 324
Yhteensä					7 011

Taulukossa 8 on VPE:n lämmönvaihtimen 2 arvoja. VPE:n virtaus on sama kuin taulukossa 5.

TAULUKKO 8. VPE:n lämpötilat ennen lämmönvaihdin 2:ta

Aika	VPE ₁ ka. [°C]
1/2016	53,9
2/2016	53,7
3/2016	51,3
4/2016	55,9
5/2016	57,1
6/2016	58,8
7/2016	58,6
8/2016	57,7
9/2016	49,9
10/2016	56
11/2016	56,9
12/2016	57

5.5 Kanaali

Lämmönvaihdin 2:n jälkeen VPE päättyy kanaaliin. Puhtaudesta riippuen VPE ajetaan joko mereen tai aktiivilietelaitokselle. VPE:tä päätty kanaaliin myös ennen lämmönvaihdin 1:tä venttiilin 11-LIC-084 kautta, jolla säädetään paineensäätösäiliön pintaa. VPE:n lämpötila lämmönvaihdin 2 jälkeen saadaan lasketua kaavalla 6, jolloin arvot muutetaan lämmönvaihdin 2 vastaaviin arvoihin. VPE:n virtaus on sama kuin taulukossa 5. Paineensäädöstä johtuvalle kanaaliin ajettavalle VPE:lle ei ole virtausmittausta. Taulukkoon 9 on kerätty kanaaliin menevän VPE:n arvoja kuukausittaisista keskiarvoista.

TAULUKKO 9. Lämmönvaihtimen 2 jälkeen kanaaliin päätyvän VPE:n arvoja

Aika	VPE:n virtaus ka. [l/s]	VPE:n lämpötila ka. [°C]	Lämpöenergia kuukaudessa [MWh]
1/2016	22,5	66	4 647
2/2016	18,7	67,6	3 713
3/2016	12,6	63,5	2 634
4/2016	10,3	67	2 121
5/2016	6	66,1	1 269
6/2016	0,3	64,3	63
7/2016	0,6	65,2	120
8/2016	0,2	62,9	34
9/2016	0,3	58,8	51
10/2016	5	66,9	1 052
11/2016	12,5	66,7	2 535
12/2016	12,7	66,2	2 653
Yhteensä			20 892

5.6 Kuorimo

VPE:llä korvataan lämpimän veden käyttö kuoren sulatuksessa kuorimolla suotonauhapuristimella ja kamiseulalla. Kuorimolle menevässä VLM-linjassa on ennen VPE-linjan yhdistymistä lämminvesisäiliöltä tulevassa linjassa lämminvesipumppu 3 (32653), jota käytetään ainoastaan kuorimon VLM-verkoston täyttöön. Normaalisti lämminvesipumppu 3 on poissa käytöstä.

Kuorimolle menevä VPE kulkee säätöventtiilin 07H319 kautta, jonka asetusarvo on 30 % auki. VPE:lle on virtausmittaus (01F025) ja lämpötilanmittaus (01T022) kuorimolle menevässä putkilinjassa. Kuorimolle menevä VPE voidaan vähentää voimalaitoksen omakäyttönä, koska kyseessä on voimalaitosta varten tapahtuva polttoaineen käsittely. Kuorimolle menevän VPE:n lämpöenergian sekä wattituntien suuruus saadaan laskettua kaavoilla 5 ja 6. Taulukkoon 10 on kerätty kuorimoon menevän VPE:n arvoja.

TAULUKKO 10. VPE:n arvoja kuorimolle

Aika	VPE:n virtaus ka. [l/s]	VPE:n lämpötila ka. [°C]	Lämpöenergia kuukaudessa [MWh]
1/2016	22,5	66	4 647
2/2016	18,7	67,6	3 713
3/2016	12,6	63,5	2 634
4/2016	10,3	67	2 121
5/2016	6	66,1	1 269
6/2016	0,3	64,3	63
7/2016	0,6	65,2	120
8/2016	0,2	62,9	34
9/2016	0,3	58,8	51
10/2016	5	66,9	1 052
11/2016	12,5	66,7	2 535
12/2016	12,7	66,2	2 653
Yhteensä			20 892

Kesäkuusta syyskuuhun virtausmittauksen antamat arvot ovat pieniä, joten näiden kuukausien arvot jätetään huomioimatta lopullisessa hyötykäyttöön menevän lämmön laskemisessa.

5.7 Kaustistamo, mäntyöljykeittäjä, soodakattila ja haihduttamo

VPE:tä käytetään suoraan eri prosesseissa korvaamassa kuumaa ja lämpimää veden käyttöä. SK644-linjasta haarautuu VIV-lämmönvaihtimen jälkeen KM037-linja, joka yhdistyy kuumavesilinjaan C 100. Ensisijaiset käyttökohteet ovat eco-jen pesussa tarvittavan happoliuoksen valmistuksessa sekä soodasakkasuotimen ja lajittimen pesuvedenä. VPE:tä ohjataan myös meesasuoitimelle ja meesasiiloille, mikäli normaalisti näissä käytettävän SLB-lauhteen johtokyky (QISA-084) menee ylärajalle. Meesasuoitimelle menevälle VPE:lle on virtausmittaus (09_FIC_302) ja lämpötilamittaus (09_T_303), muille ei ole mittausta. Taulukon 11 on kerätty meesasuoitimelle menevän VPE:n arvoja.

TAULUKKO 11. Meesasuoitimen pesuun menevän VPE:n arvoja

Aika	VPE:n virtaus ka. [l/s]	VPE:n lämpötila ka. [°C]	Lämpöenergia kuukaudessa [MWh]
1/2016	7,8	66,7	1 634
2/2016	8,4	67,7	1 659
3/2016	7,4	62,1	1 542
4/2016	8,5	67,9	1 745
5/2016	8,1	67,1	1 696
6/2016	7,4	66,9	1 504
7/2016	8,3	68	1 768
8/2016	6,9	65,8	1 446
9/2016	6,4	60,1	1 300
10/2016	7,94	68	1 685
11/2016	7,8	66,8	1 576
12/2016	8	66,9	1 685
Yhteensä			19 240

Mäntyöljykeitämölle haarautuu SK 644-linjasta putki, joka yhtyy kuuman veden linjaan MK 43 kuumavesipumpun (32490) jälkeen. MK43-linja haarautuu ohjauksvesisäiliöön ja sekoituskappaleelle meneviin linjoihin. Ohjauksvesisäiliöltä vesi menee separaattorille. Sekoituskappaleelle menevässä linjassa on virtausmittaus (08F029). Taulukkoon 12 on kerätty sekoituskappaleelle menevän VPE:n arvoja

Taulukko 12. Sekoituskappaleelle menevän VPE:n arvoja

Aika	VPE:n virtaus ka. [l/s]	VPE:n lämpötila ka. [°C]	Lämpöenergia kuukaudessa [MWh]
1/2016	0,6	66,2	118
2/2016	0,6	67,8	119
3/2016	0,6	64,1	123
4/2016	0,6	68,1	128
5/2016	0,6	67,3	126
6/2016	0,6	67,1	117
7/2016	0,5	68,2	114
8/2016	0,4	66,1	90
9/2016	0,5	62,4	106
10/2016	0,6	68,2	121
11/2016	0,5	67	109
12/2016	0,4	67,1	95
Yhteensä			1 366

Soodakattilalla VPE:tä käytetään suolan liuotussäiliössä ja sularännien kotelovetenä. Suolan liuotussäiliöön menevälle VPE:lle on virtausmittaus (11_FIC_853), kuten on myös sularännien kotelovetenä käytettävälle VPE:lle (11_FI_573). Taulukkoon 13 on kerätty sularännien kotelovetenä käytettävän VPE:n arvoja.

TAULUKKO 13. Sularännien kotelovetenä käytettävän VPE:n arvoja

Aika	VPE:n virtaus ka. [l/s]	VPE:n lämpötila ka. [°C]	Lämpöenergia kuukaudessa [MWh]
1/2016	8,8	66,2	1 834
2/2016	8,8	67,8	1 733
3/2016	7,6	64,1	1 606
4/2016	8,5	68,1	1 738
5/2016	7,7	67,3	1 627
6/2016	7,8	67,1	1 580
7/2016	9,1	68,2	1 954
8/2016	7,5	66,1	1 586
9/2016	7,7	62,4	1 574
10/2016	9,4	68,2	1 992
11/2016	8,7	67	1 763
12/2016	9,3	67,1	1 961
Yhteensä			20 948

Taulukkoon 14 on kerätty suolan liuotussäiliössä käytettävän VPE:n arvoja

Taulukko 14. Suolan liuotussäiliössä käytettävän VPE:n arvoja

Aika	VPE:n virtaus ka. [l/s]	VPE:n lämpötila ka. [°C]	Lämpöenergia kuukaudessa [MWh]
1/2016	1,1	66,2	214
2/2016	1,1	67,8	207
3/2016	0,9	64,1	167
4/2016	2	68,1	403
5/2016	2,4	67,3	512
6/2016	1,1	67,1	220
7/2016	1,1	68,2	222
8/2016	1	66,1	206
9/2016	1,1	62,4	199
10/2016	1	68,2	213
11/2016	1	67	207
12/2016	1	67,1	209
Yhteensä			2 979

Haihduuttamalla VPE:tä käytetään I, II ja III-haihdutinyksiköiden pisaranerotinpesuun. Pisaranerotin poistaa paisuneen höyryn mukaan tempautuneita pieniä lipeäpisaroita. VPE:lle ei ole virtausmittausta.

5.8 Veron perusteena oleva lämpö

Nykyisillä mittauksilla hyötykäyttöön menevä nettolämpömäärä saadaan, kun vähennetään taulukon 3 energiamäärästä kanaaliin ja omakäyttölämpöön menevä lämpöenergia. Omakäyttölämpöä Stora Enson Oulun tehtaalla on tullin päätökseen mukaan ainoastaan kuorimolle menevä VPE. Taulukkoon 15 on laskettu hyötykäyttöön luovutettu nettolämpö.

TAULUKKO 15. Hyötykäyttöön menevä nettolämpömäärä VPE:stä

Aika	VPE pesurilta [MWh]	VPE kanaaliin [MWh]	VPE kuorimolle [MWh]	Hyötykäyttöön [MWh]
1/2016	30 950	7 748	4 647	18 555
2/2016	29 460	7 306	3 713	18 441
3/2016	28 550	8 421	2 634	17 495
4/2016	28 850	8 250	2 121	18 179
5/2016	28 980	9 298	1 269	18 413
6/2016	26 320	9 741	0	16 579
7/2016	28 440	10 860	0	17 580
8/2016	26 130	9 840	0	16 290
9/2016	23 170	7 616	0	15 554
10/2016	29 240	9 126	1 052	19 062
11/2016	31 170	8 700	2 535	19 935
12/2016	33 120	9 002	2 653	21 465
Yhteensä	344 380	105 908	20 624	217 848

Verollinen lämpö saadaan kertomalla hyötykäyttöön menevä nettolämpömäärä 0,9:llä.

$$W_{\text{verollinen}} = W_{\text{nettolämpö}} * 0,9$$

KAAVA 8

$W_{\text{verollinen}} = \text{Verollinen lämpö [MWh]}$

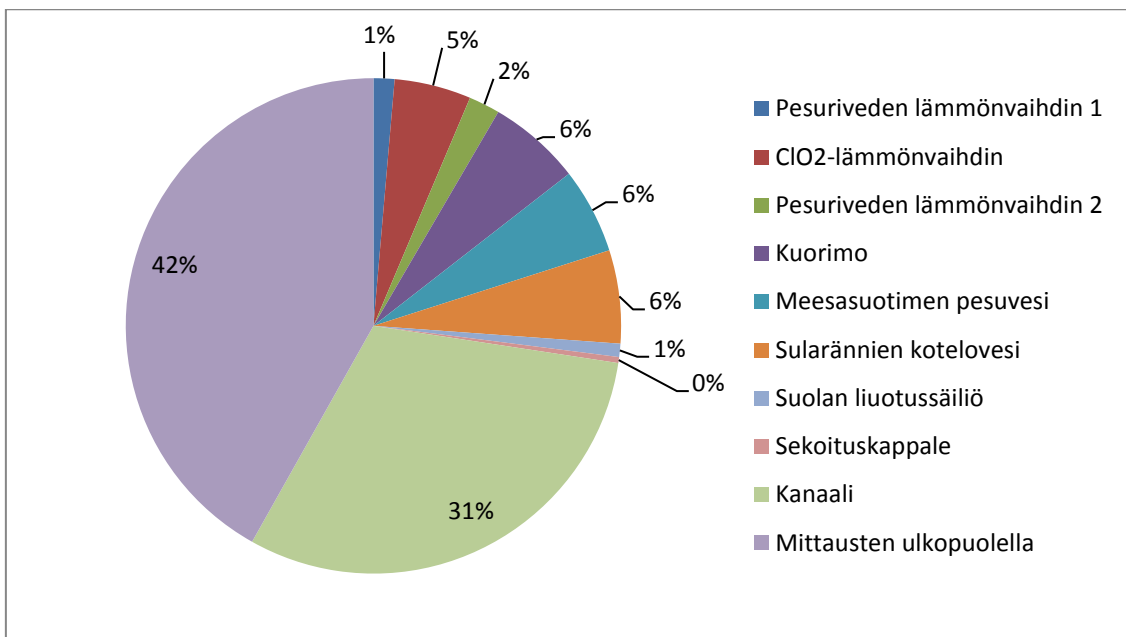
$W_{\text{nettolämpö}} = \text{Hyötykäyttöön menevä lämpömäärä [MWh]}$

$W_{\text{verollinen}} = 217\,848 \text{ MWh} * 0,9 = 196\,063 \text{ MWh}$

Vuonna 2016 Stora Enson Oulun tehtaalla savukaasupesurista on saatu verollista lämpöenergiaa 196 063 MWh.

5.9 Mittauksien lisääminen ja omakäyttölämpö

Kuvassa 8 on mittauksista saatuja ja laskettuja lämpöenergian arvoja vuodelta 2016 prosenttiosuuksina esiteltynä. Kuvasta nähdään, että mittausten ulkopuolella on 42 % savukaasupesurista saatavasta lämpöenergiasta. Mitattavat lämpöenergian kohteet hyödyntävät 27 % kokonaislämpöenergiasta ja olemassa olevilla mittauksilla kanaaliin menee 31 % kokonaislämpöenergiasta.



KUVA 6. Pesuriveden käyttökohteet vuonna 2016

Ensisijaisen tärkeää olisi saada virtausmittaus putkilinjaan HA308, jolla johdetaan VPE:tä kanaaliin paineensäätösäiliön säätöventtiilin kautta. Nykyisillä mit-

taustiedoilla pinnansäädöstä johtuva kanaaliin ajettava VPE jää mittausten ulkopuolelle. Mittauksen lisäämisellä saataisiin tarkemmin selville hyötykäyttöön menevän VPE:n virtaus, jolloin myös polttoaineveromaksu pienenesi.

Energiaverotusohjeen mukaan voimalaitoksen omakäyttölämpöön lasketaan mukaan syöttöveden lämmitys sekä voimalaitoksen yhteydessä olevan haihduttamon lämmönkulutus. Tullin yritystarkastuksessa VPE:n käyttöä VIV-lämmönvaihtimessa ja haihduttamon pisaranerotimissa ei ole merkitty omakäyttölämmöksi. Mikäli tulevaisuudessa nämä kaksi lämmönkohdetta lasketaan omakäyttölämmöksi, niissä hyödynnettävä VPE:n lämpöenergia on taloudellisesti järkevää saada selville.

VIV-lämmönvaihtimen tehon laskemiseksi tarvitaan virtausmittaus määrittämään VPE:n virtaus lämmönvaihtimelle ja lämpötilamittaus lämmönvaihtimen jälkeen VPE:lle. Ennen lämmönvaihtintä VPE:n lämpötila saadaan nykyisillä mittauksilla. Haihduttamon pisaranerotimien pesuveden kulutus on kokonaisuuden kannalta sen verran pientä, ettei virtausmittaukseen investoiminen ole taloudellisesti järkevää.

Savukaasupesurista saatava lämpö on huomioitava veron perusteena olevassa lämmössä siltä osin kuin sitä on luovutettu voimalaitokselta hyötykäyttöön. Laisa ei ole käsitelty, lasketaanko VPE:n käyttö ”puhtaan veden” korvaajana lämmön hyötykäyttöön. Näitä käyttökohteita VPE:llä on kaustistamolla, soodakattilalla ja mäntyöljykeittämöllä. Tullin tekemässä yritysverotarkastuksessa kaustistamolle ja mäntyöljykeittämölle menevä VPE on laskettu verolliseksi lämmöksi. VPE:n käyttöä soodakattilalla ei ole käsitelty yritystarkastuksessa.

Mikäli tulevaisuudessa veron perusteena olevana lämpönä lasketaan ainoastaan lämmönsiirtimien avulla siirretty lämpö, riittävät nykyiset mittaukset. Tässä tapauksessa VIV-lämmönvaihtin lasketaan omakäyttölämmöksi. Jos VIV-lämmönvaihtin lasketaan veron perusteena olevaksi lämmöksi, tarvitaan VIV-lämmönvaihtimelle mittaukset jotka on edellä mainittu.

5.10 Kannattavimmat käyttökohteet

Polttoaineverotuksen kannalta kannattavin käyttökohde VPE:lle on kohteissa, jotka luetaan voimalaitoksen omakäyttölämmön nimekkeen alle. Lopputyön tekemisen aikaan omakäyttölämpöä on ainoastaan kuorimolle menevä VPE. VIV-lämmönvaihtimelle sekä haihdutinyksiköiden I, II, III-pisaranerotimien pesuun menevä VPE tulisi energiaverotusohjeen mukaan mennä omakäyttölämmöksi, mutta Tulli ei ole näin tekemässään yritystarkastuksessaan tehnyt.

Tärkeänä jatkoselvityksen aiheena voisi olla myös ylijäämlämmön hyödyntäminen eri kiinteistön lämmitystarpeisiin. Kanaaliin ajettavan VPE:n lämpötila ollessa vuoden ympäri n. 50 °C, voitaisiin tätä hyödyntää lämpöpumppujen avulla rakennusten lämmityksessä. Suurissa rakennuksissa, joissa sisäilmaolosuhteilla ei aseteta suuria vaatimuksia, ylijäämlämmön luovutus voi tapahtua hyvinkin yksinkertaisesti esim. sisätiloissa olevan nestejäähdyttimen avulla tai korvausilmasäleikön eteen asennettavalla esilämmityspatterilla. (25.)

VPE:n ylijäämlämmön hyödyntämismahdollisuuden ratkaisee kuitenkin viimekädessä taloudellinen kannattavuus. Energiansäästöhankeet kilpailevat useimmiten yrityksen investointibudjetissa samalla viivalla tuotannollisten hankkeiden kanssa. Rajallisen budjetin vuoksi kannattavatkin hankkeet saattavat viivästyä tai jäädä kokonaan toteuttamatta.

6 YHTEENVETO

Tämän työn tarkoituksena oli selvittää ja määrittää soodakattilan savukaasupesurista saatavan sekundäärilämmön hyötykäyttökohteet sekä niissä luovutetun sekundäärilämmön määrä. Tähän asti Oulun tehtaalla sekundäärilämpöä on käytetty ”ilmaisena energiana” eri kulutuskohteissa. Nykyään verottaja tulkitsee savukaasusta saadun lämpöenergian osaksi voimalaitoksen tuottamaa hyötylämpöä. Tulkinnan vuoksi verollisten polttoaineiden osuus energiantuotannossa kasvaa.

Työn tuloksena Oulun tehtaan informaatiojärjestelmään Savcor Wedgeen tehtiin pesuriveden putkilinjasta kaavio, johon liitettiin käytössä olevat mittauspisteet. Mittauspisteiden ja matemaattisten laskujen avulla kaaviossa on reaaliaikaiset teholaskelmat pesuriveden käyttökohteista. Kaavion avulla voidaan myös takautuvasti tarkastella lämmön käyttöä.

Energiaverotusohjetta ja tullin tekemää yritystarkastusta tutkittaessa huomattiin, että kaksi pesuriveden käyttökohdetta on jäänyt laittamatta voimalaitoksen omakäyttölämmöksi. Yksiselitteisesti nämä kohteet kuuluisivat voimalaitoksen omakäyttölämmöksi energiaverotusohjeen mukaan.

Nykyisillä mittauksilla ja omakäyttölämpöön laskettavilla kulutuskohteilla savukaasupesurista saatiin verollista hyötylämpöä 196 063 MWh vuonna 2016. Savukaasupesurista saatiin kokonaisuudessaan vuonna 2016 lämpöenergiaa 344 380 MWh. Todellisen hyötylämmön määrän laskemiseksi tulisi asentaa virtausmittaus paineensäätösäiliön pinnansäätöventtiiliin jälkeiseen linjaan, jolla johdetaan vettä kanaaliin. Olemassa olevilla mittauksilla pinnansäädöstä johtuva VPE:n virtaus kanaaliin jää tuntemattomaksi, jolloin hyötylämmössä on tätä ”tyhjää lämpöä”.

LÄHTEET

1. Stora Enso lyhyesti. 2017. Stora Enso Oyj. Saatavissa: <http://www.storaenso.com/lang/finland/about/Pages/stora-enso-brief.aspx>. Hakupäivä 3.4.2017
2. Stora Enso. Saatavissa <http://www.storaenso.com/lang/finland/about/Pages/divisions.aspx>. Hakupäivä 27.12.2016.
3. Stora Enso Oyj Oulun tehdas. Sisäinen dokumentti Stora Enso Oyj, Oulun tehtaas.
4. Voimalaitosalue 11.4.2013. Sisäinen dokumentti. Stora Enso Oyj, Oulun tehdas.
5. 2016-YRTA-2816. 2016. Yritystarkastus. Sisäinen dokumentti Stora Enso Oyj, Oulun tehdas
6. Huhtinen, Markku – Korhonen, Risto – Pimiä, Tuomo – Urpalainen, Samu 2013. Voimalaitostekniikka. 2. tarkistettu painos. Helsinki: Opetushallitus.
7. KnowPulp 12.0 (12/2013) Saatavissa: <http://www.knowpulp.com/suomi/>. Haettu 19.1.2017
8. Hupa, Mikko – Hyöty Paavo 2002. Mustalipeän poltto ja soodakattila. Raiko, Risto – Saastamoinen, Jaakko – Hupa, Mikko, - Kurki-Suonio, Ilmari (Toimittaja). Teoksessa Poltto ja palaminen. Helsinki: Teknillistieteelliset akatemit.
9. Laakso, Ilkka 2016. Pulp Mill 2016 general presentation. Sisäinen dokumentti. Stora Enso Oyj, Oulun tehtaas.
10. Käyttö-ohje Soodakattila 7 02, 1988. Sisäinen dokumentti Stora Enso Oyj, Oulun tehtaas.
11. Huhtinen, Markku – Kettunen, Arto – Nurminen, Pasi – Pakkanen, Heikki 2000. Höyrykattilatekniikka. Helsinki: Oy Edita Ab
12. Käyttö-ohje Soodakattila 7 05, 1988. Sisäinen dokumentti Stora Enso Oyj, Oulun tehtaas.

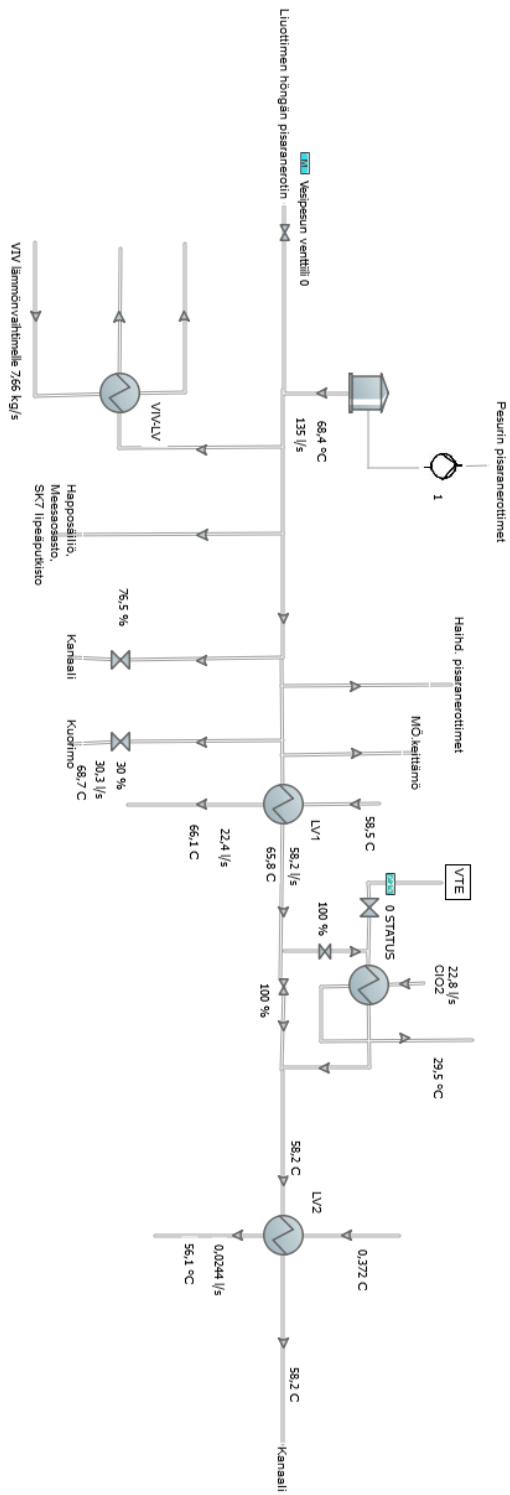
13. Savukaasupesurin käyttöohjeet. Sisäinen dokumentti Stora Enso Oyj
14. Bäckström, Björn 1986. Prosessien energiankäytön hallintamenetelmien kehittäminen. Tehtaan energiankäytön selvitys ja raportointi. Energiataloudellinen yhdistys raportti 16/1986: Helsinki.
15. Männistö, Heikki 1986. Energiantarve tarve ja kehitys. Energiankäytön tehostaminen. Teoksessa Puumassan valmistus: Suomen paperi-insinöörien yhdistyksen oppi- ja käsikirja, Virkola, Nils-Erik (Toimittaja). 2.täysin uudistettu painos. Turku: Suomen Paperi-insinöörien yhdistys r.y.
16. Energiaverotusohje 2016. 2016. Helsinki: Verohallinto. Saatavissa: https://www.vero.fi/fi-FI/Syventavat_veroohjeet/Valmisteverotus/Energiaverotusohje_2016. Haettu 20.3.2017
17. HE 130/2002. Hallituksen esitys Eduskunnalle laeiksi sähkön ja eräiden polttoaineiden valmisteverosta annetun lain ja nestemäisten polttoaineiden valmisteverosta annetun lain muuttamisesta. Saatavissa: <http://www.finlex.fi/fi/esitykset/he/2002/20020130.pdf>. Haettu 20.3.2017.
18. Diaarinumero 1064/2/11. 2012. Valmisteverosta koskeva valitus. Helsinki: Korkeimman hallinto-oikeuden päätös.
19. 1260/1996 (2016). 1997. Laki sähkön ja eräiden polttoaineiden valmisteverosta. Helsinki: Valtiovarainministeriö. Saatavissa: <http://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/1996/19961260>. Haettu 20.3.2017
20. Gullichsen, Johan – Fogelholm, Carl-Johan 1999. Chemical pulping. Papermaking science and technology, book 6B. Helsinki: Fapet Oy.
21. Savcor Wedge Käyttöopas. Sisäinen dokumentti Stora Enso Oyj, Oulun tehtaat.
22. Käyttöohje M3245/1A, 1999. Sisäinen dokumentti Stora Enso Oyj, Oulun tehtaat.
23. Kauranne, Heikki – Kajaste, Jyrki – Vilenius, Matti 2002. Hydrauliteknii-
kan perusteet. Helsinki: WSOY
24. Maaninka, Jukka 2017. Re: Klooridioksidiveden lämpötila sellutehtaalle. Sähköpostiviesti. Vastaanottaja: Ville Jokelainen. 20.3.2017

25. Heikkilä, Ilkka – Kiuru, Tomi 2014. Ylijäämälämmön taloudellinen hyödyntäminen. Saatavissa:
https://www.motiva.fi/files/8808/Ylijaaamalammon_taloudellinen_hyodyntaminen_-_ylijaamalampoenergia-analyysit.pdf. Haettu 3.4.2017

LIITTEET

- Liite 1 WEDGEEN TEHTY KAAVIO PESURIVEDEN KÄYTÖSTÄ
- Liite 2/1 LÄMPIMÄN VEDEN PI-KAAVIO 1/6 (ei julkaista)
- Liite 2/2 LÄMPIMÄN VEDEN PI-KAAVIO 2/6 (ei julkaista)
- Liite 2/3 LÄMPIMÄN VEDEN PI-KAAVIO 3/6 (ei julkaista)
- Liite 2/4 LÄMPIMÄN VEDEN PI-KAAVIO 4/6 (ei julkaista)
- Liite 2/5 LÄMPIMÄN VEDEN PI-KAAVIO 5/6 (ei julkaista)
- Liite 2/6 LÄMPIMÄN VEDEN PI-KAAVIO 6/6 (ei julkaista)

WEDGEEN TEHTY KAAVIO PESURIVEDEN KÄYTÖSTÄ LIITE 1



Tehot	
SAVUKAASUPESURIN TEHO	38,8 MW
KUORNOLE MENEVÄ VPE:n TEHO	8,21 MW
PESURIVEDEN LÄMMÖNVAIKTIMEN TEHO	0,719 MW
CO2-LÄMMÖNVAIKTIMEN TEHO	1,86 MW
LÄMMÖNVAIKTIMEN TEHO	0,0057 MW
KANAALIN MENEVÄ VPE	14,2 MW

MWh/kk	
PESURIN ENERGIA	929 MWh
KUORNOLE MENEVÄ VPE	155 MWh
VLM pesuveden l-vaihtimella	111,4 MWh
CO2-lämmönvaihdin	37 MWh
LV2-lämpöenergia	28 MWh
VPE kanaalin	286 MWh

Hyötykäytön menevä lämpö	
Hyötykäytön menevä lämpöteho	15,9 MW
Hyötykäytön	518 MWh