

KYMENLAAKSON AMMATTIKORKEAKOULU

Kone- ja tuotantotekniikka / Energia- ja ympäristötekniikka

Tomi Mickos

KALKIN ANNOSTELUN OPTIMOIMINEN JÄTTEENPOLTTO-
LAIKSESSA

Opinnäytetyö 2011

TIIVISTELMÄ

KYMENLAAKSON AMMATTIKORKEAKOULU

Kone- ja tuotantotekniikka

MICKOS, TOMI	Savukaasunkäsittelyn optimointi jätteenpolttolaitoksessa
Opinnäytetyö	46 sivua + 6 liitesivua
Työn ohjaajat	Risto Korhonen, lehtori, DI Petri Jalkanen, käyttöinsinööri
Toimeksiantaja	Kotkan Energia Oy
Huhtikuu 2011	
Avainsanat	kalkki, jätteenpoltto, savukaasut, NID

Opinnäytetyössä käydään läpi savukaasunpuhdistusjärjestelmä jätteenpolttolaitoksella. Alstomin aikaisemmin tekemän tutkimuksen mukaan savukaasunpuhdistukseen käytettävän kalkin annostelumäärässä on havaittu säästöpotentiaalia. Vähentämällä kalkin annostelumäärää syntyy vähemmän lopputuotetta. Kalkin kulutuksen ja lopputuotteen määrän vähenemisestä on suoraa taloudellista hyötyä Hyötyvoimalaitokselle. Työn tavoitteeksi asetettiin kalkinannostelun optimoiminen ja mahdollisesti siirtyminen uuden kalkkityypin käyttöön.

Työ aloitettiin tutkimalla lopputuotteessa olevaa jäännöskalkin määrää, jossa todettiin olevan optimoimisen varaa. Teoreettinen kalkin tarve laskettiin ja siitä saatuja tuloksia on sovellettu jätteenpolttoprosessiin. Kalkinannostelun säätöohjauksen parametreja tutkittiin sekä testattiin työn tekemisen aikana. Mahdollista kalkkityypin vaihtoa on tutkittu kustannustehokkuuden kannalta ja mahdollisten prosessiin tehtävien linjamuutosten kannalta.

Tässä työssä tehtyjen laskelmien perusteella on annosteltavan kalkin kuluusta saatu alennettua. Syntyvän lopputuotteen määrän vähenemisen ansiosta saavutetaan lisää säästöä. Työssä tehdyt parametrimuutokset ovat käytössä ja niiden avulla savukaasunpuhdistus toimii hyvin. Uuden kalkkityypin käyttöönotto todettiin kustannustehokkuuden kannalta kannattamattomaksi. Tästä työstä saatujen tietojen avulla saavutetaan etulyöntiasema NID-tyyppisissä prosesseissa ja saadaan vertailupohja kalkin annostelulle muihin samankaltaisiin prosesseihin.

ABSTRACT

KYMENLAAKSON AMMATTIKORKEAKOULU

University of Applied Sciences

Mechanical and Production Engineering

MICKOS, TOMI

Optimizing Flue Gas Treatment in Waste Burning plant

Bachelor's Thesis

46 pages + 6 pages of appendices

Supervisors

Risto Korhonen, Senior L, M.Sc.

Petri Jalkanen, Operation Engineer

Commissioned by

Kotkan Energia Oy

March 2011

Keywords

lime, waste burning, flue gases, NID

Objective of this thesis was to optimize flue gas treatment in a waste burning plant. Alstom's previous series of test had found that it was possible to reduce the amount of lime fed into process and thus reduce the amount of residue. A new type of lime was also inspected in order to find out if it was profitable to change the lime type.

Profitability for a new type of lime was calculated and the possible feeding line changes were researched. The costs of semi-wet flue gas treatment were reduced by optimizing and examining the parameters of the lime dispenser.

This thesis work was started by taking residue samples. The results of residue samples were analyzed. Theoretical need of lime in the process was calculated and the results were adapted to the process. The control parameters for the lime dispensers were examined and adjusted. New process parameters were tested in practice. A new type of lime was examined and costs were calculated.

Kotkan Energia was able to use the results of this thesis in practice right after the work was completed. The costs of lime feeding were reduced considerably. Residue amount was brought down and it gave more savings. The new lime type was discovered to be unprofitable. The company now has such knowledge that will give them an advantage in the field of flue gas treatment using semi-wet process.

ALKUSANAT

Suoritin työni Kotkan Energian Hyötyvoimalaitoksella. Haluan kiittää koko Hyötyvoimalaitoksen henkilökuntaa työni tukemisesta. Käyttöinsinööri Petteri Jalkaselle haluan esittää kiitokset työni ohjauksesta ja omien näkemystensä esittämisestä joiden avulla työtä hiottiin paremmaksi. Kiitos käyttöpäällikkö Antti Langille, joka ehdotti tätä mielenkiintoista työn aihetta sekä tarjosi vaihtoehtoisia lähestymistapoja erilaisissa ongelmatilanteissa. Haluan myös kiittää ohjaajaani koulun puolelta, DI, lehtori Risto Korhosta. Korhosen ammattitaidon avulla työ sai nopeasti suuntaviivat sekä työstä tuli teknisesti parempi.

Hyötyvoimalaitoksen ajureille sekä SST -osaston miehille erityiset kiitokset omien näkemystensä tarjoamisesta ja mielenkiinnosta työtäni kohtaan. Eriyisesti SST -osaston miehille kiitokset hyvistä hermoista.

Haluan esittää suuret kiitokset myös Faxe Kalkin prosessiasiantuntijalle Thomas Koudal Maulille, jonka asiantuntemuksen avulla kalkinannostelun salat saatiin selvitettyä. Suuret kiitokset Ekokemille yhteistyöstä kanssani, erityisesti kehitysinsinööri, DI, Jouni Perttilälle ja Timo Kapulaiselle. Pöyrin edustajalle Sepolle kiitokset automaattiosäätöjen toteuttamisessa.

Viimeisimpänä haluan esittää *suurimmat* kiitokset vanhemmilleni. He tukivat minua paljon koko opintojeni ajan. Kiitos Hillevi ja Jan.

Tomi Mickos

TERMIT

CHP-LAITOS	Voimalaitos, jossa on yhdistetty sähkön- ja lämmöntuotanto
EFFIC-JÄRJESTELMÄ	Järjestelmä, joka ohjaa paineilmalla toimivaa on-line puhdistusta
ELY	Elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus
KUONA	Loppuun palaneen jätteen jäljelle jäävä tuote
LOPPUTUOTE	Savukaasunpuhdistuksen lopullinen tuote joka sisältää pölyä, tuhkaa ja prosessissa käytettyjä sorbentteja
NID	Novel Integrated Desulphurisation eli uudenlainen integroitu rikinpoistolaitos
POLTETTU KALKKI	Kalkin polttamisen tuote, CaO, kalsiumoksidi
PTFE	Letkusuodattimissa käytettävä materiaali, polytetrafluorieteeni
SAMMUTETTU KALKKI	Poltettu kalkki sammutetaan eli se reagoi veden kanssa ja tuote on kalsiumhydroksidi, $Ca(OH)_2$

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

ALKUSANAT

TERMIT

1	JOHDANTO	8
2	YHTIÖN ESITTELY	9
	2.1 Kotkan Energia Oy:n arvot ja politiikka	9
	2.2 Tuotantopalveluiden kehitys	10
	2.3 Kotkan Energia Oy:n voimalaitokset	10
	2.3.1 Hovinsaaren voimalaitos	11
	2.3.2 Korkeakosken voimalaitos	11
	2.3.3 Kaukolämpökeskukset	12
3	HYÖTYVOIMALAITOKSEN JÄTTEENPOLTTOPROSESSI JA YMPÄRISTÖLUPA-ASIAT	12
	3.1 Jätteen vastaanotto	13
	3.2 Jätteenpoltto arinalla	14
	3.3 Veden ja höyryn kierto	15
	3.4 Savukaasujen kulku prosessissa	16
	3.5 Kuona, kattilatuhka ja lopputuote	16
	3.6 Ympäristöluvanvaraiset savukaasupäästöjen raja-arvot	17
	3.7 Ympäristöluvassa savukaasun käsittelyn kannalta tärkeimpiä käsiteltäviä asioita	18
	3.8 Ympäristöluvan mukaisen toiminnan valvonta	19
4	SAVUKAASUJEN PUHDISTUS NID-JÄRJESTELMÄN AVULLA	19
	4.1 NID-reaktori	20
	4.2 Sekoitin ja sammutin	20
	4.3 Letkusuodatin	21
	4.4 Sorbenttien käsittely	22

4.5	Lopputuotteen käsittely	23
5	KALKKI	24
5.1	Poltetun sammuttamattoman kalkin ominaisuudet ja sen valmistus	24
5.2	Sammutetun kalkin annostelu prosessiin	25
5.3	NID-reaktorissa tapahtuvat kemialliset reaktiot	26
6	KALKIN KULUTUKSEN OPTIMOIMINEN	28
6.1	Lopputuotteen näytteiden ottaminen	28
6.2	Lopputuotenäytteiden tuloksien analysointi	29
6.3	Sammutetun kalkin optimoimisen lähtökohdat	29
6.4	Kemiallisten laskujen tarkastelu	30
6.5	Sammuttamattoman kalkin teoreettinen tarve	33
6.6	Sammuttamattoman kalkin tarve käytännössä	35
6.7	Kalkinsyötön kaskadiohjauksen toiminta	35
6.8	Kalkinsyötön kaskadiohjauksen parametrien muuttaminen	37
6.9	Vaihtoehtoinen kaskadisäätö	39
6.10	Vaihtoehtoinen kalkkilaatu	40
	6.10.1 Sorbacal SP:n rakenne ja sen reagoiminen päästökomponentteihin	41
	6.10.2 Sorbacal SP:n soveltuvuus NID-prosessiin	42
7	YHTEENVETO	42
	LÄHTEET	46
	LIITTEET	
	Liite 1. Kotkan Energian kaukolämpöverkko	
	Liite 2. Parametrikuva	
	Liite 3. Honeywell-automaatiojärjestelmän kaskadisäädön esimerkkikuva	
	Liite 4. Kalkinannostelun määrä (6 kk)	
	Liite 5. HCl- ja SO ₂ -päästöjen vertailu 2010 ja 2011	
	Liite 6. Tuotettu höyry ja poltettu jäte 2010 ja 2011	

1 JOHDANTO

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on optimoida savukaasunkäsittelyssä käytettävää kalkin määrää puolikuivassa savukaasunpuhdistusmenetelmässä. Kalkin määrän optimoimisen yhteydessä tutkitaan myös erityyppistä kalkkia. Työn tilaaja on Kotkan Energia Oy.

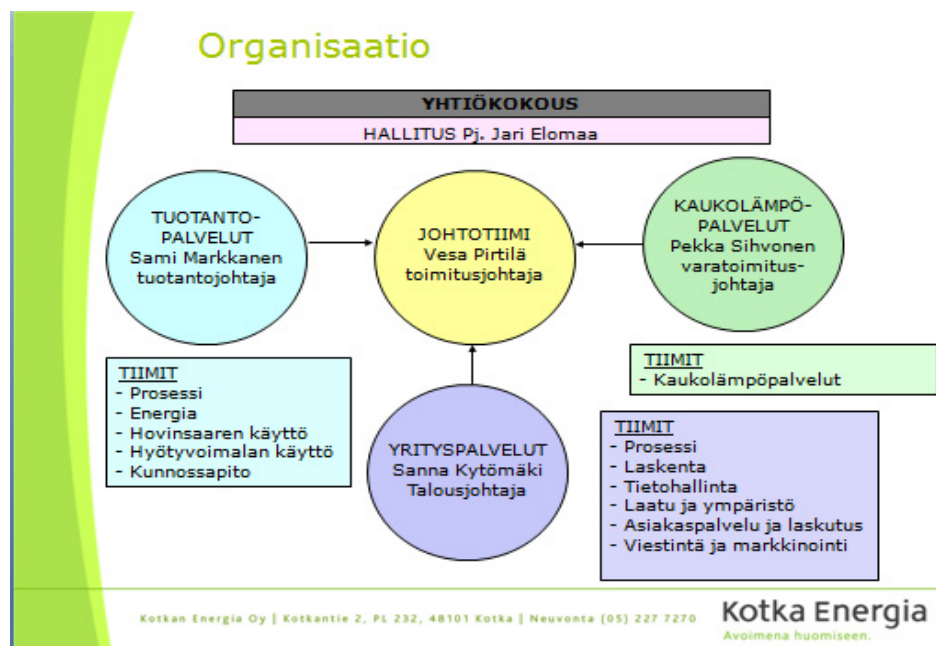
Tarkoituksena on etsiä mahdollisia säästökohteita määrittämällä laitteiston nykyistä tilaa, säätöjen optimoimisella sekä mahdollisella kalkkityypin muutoksella. Tutkimalla kalkin nykyisiä annostelumääriä voidaan havaita mahdollista säästöpotentiaalia perustuen Alstomin aikaisemmin tekemään testijaksoon. Jätteenpoltossa syntyvät päästöt ovat alhaiset verrattuna ympäristöluvassa mainittuihin raja-arvoihin, mikä viestii siitä, että kalkkia on annosteltu prosessiin liikaa.

Työssä on tutkittu lopputuotteen koostumusta mahdollisen kalkkiylimäärän vuoksi, kalkin annostelun ohjaussäätöä ja sen parametreja. Erityyppisen kalkin kannattavuutta taloudellisesti ja sen prosessiin soveltuvuutta on tutkittu. Työ on suoritettu Korkeakosken Hyötyvoimalaitoksella Kotkassa.

2 YHTIÖN ESITTELY

Kotkan Energia Oy on perustettu vuonna 1993. Yhtiön business-ideana on myydä kaukolämpöä sekä sähkön ja lämmön yhteistuotanto. Uusiutuvien energiamuotojen hyödyntäminen ja jätteiden hyötykäyttö on taloudellisesti kannattava osa Kotkan Energia Oy:n strategiaa. Yritys jakautuu tuotanto-palveluihin, kaukolämpöpalveluihin ja yrityspalveluihin, ja näitä johtaa joh-totiimi.

Kuva 1. Kotkan Energia Oy:n organisaatiokuvaus (1)



2.1 Kotkan Energia Oy:n arvot ja politiikka

Kotkan Energia Oy pyrkii toimimaan neljän erilaisen arvon mukaan. Toiminnassa pyritään toimimaan ihmisläheisesti, innovatiivisesti, tavoitteellisesti ja ympäristöystävällisesti. Näiden arvojen mukaisesti toimimalla voidaan saavuttaa kilpailukykyinen yhtiö, joka kuitenkin muistuttaa siitä, että se ei ole vain kasvoton yhtiö. Jokaisen päätöksen takana on joukko ihmisiä jotka haluavat vaikuttaa hyvinvointiimme omien kykyjensä mukaisesti.

Yhtiön politiikka mukailee hyvin edellä mainittuja arvoja. Laatu politiikan mukaan yhtiö pyrkii edistämään asiakkaidensa ja ympäristön hyvinvointia tuottamalla laadukkaita ja kustannustehokkaita energiapalveluja. Toiminnan

jatkuvaan parantamiseen on sitouduttu, ja tavoitteena on saada aikaan entistä parempi yhteistyö asiakkaiden kanssa. Ympäristön kuormitusta pyritään vähentämään sekä tietoisuus siitä, paljonko yhtiö itse aiheuttaa kuormitusta, takaavat erittäin tietoisin yhtiön, joka aidosti välittää ympäristöstään. Henkilökunnan ja asiakkaiden kannustamisella saadaan kohderyhmät vielä entistä tietoisemmiksi ympäristöstään. (1)

2.2 Tuotantopalveluiden kehitys

Kotkan Energia Oy:n tuotantopalvelut ovat kehittyneet merkittävästi viimeisen 16 vuoden aikana. Trendinä on ollut korvata fossiilisia polttoaineita ja lisätä uusiutuvien polttoaineiden määrää tuotannossa. Oheiseen taulukkoon 1 on koottu merkittävimmät tapahtumat vuosien varrelta.

Taulukko 1. Tuotantopalveluiden kehitys

Vuosi	Tapahtuma
1995	Hovinsaaren voimalaitoksen osto
1997	Kombivoimalaitos
1999	Tuulivoimalaitokset
2003	Sähkön myynti- ja siirtoliiketoiminta Kymenlaakson Sähkö Oy:lle
2003	Biovoimalaitos
2005	Biokaasulämpölaite
2006	Kierrätyspolttoaine (REF) Hovinsaaren voimalaitokselle
2009	Hyötyvoimalaitos Korkeakoskelle

2.3 Kotkan Energia Oy:n voimalaitokset

Kotkan Energia Oy:llä on kaksi voimalaitosta, joista toinen sijaitsee Hovinsaarella ja toinen Korkeakoskella. Hovinsaaren voimalaitoksessa on käytössä paljon uusittua tekniikkaa ja se on myös päätuotantolaitos. Korkeakoskella sijaitseva hyötyvoimalaitos on aloittanut toimintansa vuonna 2009. Kotkan Energialla on myös kaksi 1 MW:n tuulivoimalaitosta. Yhtiön prioriteettina on tuottaa kaukolämpöä Kotkan kaupungille.

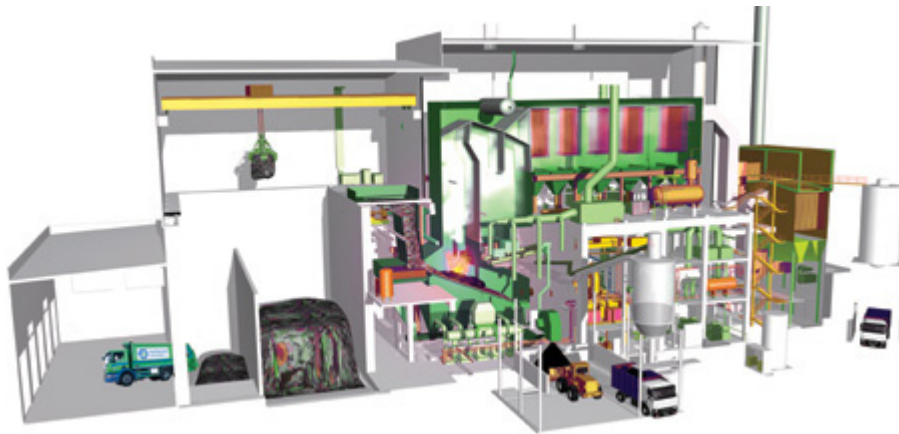
2.3.1 Hovinsaaren voimalaitos

Hovinsaaren voimalaitos tuottaa kaukolämpöä, sähköä ja prosessihöyryä. Hovinsaarella on kombivoimalaitos ja biokattilalaitos. Kaasukombilaitoksessa on ABB GT10 kaasuturbiini (25 MW sähkö), ABB VAX höyryturbiini (19 MW sähkö), lämmöntalteenottokattila (60 MW) ja kaukolämmönvaihdin (11MW). Biovoimalaitokseen kuuluu biokattila (66MW), sähkönsuodatin ja savukaasupesuri (16 MW kaukolämpö). Biovoimalaitoksessa hyödynnetään lisäksi vanhoja höyryturbiineja. Hovinsaaren maksimitehot ovat 50 MW sähköntuotannossa, 140 MW lämmöntuotannossa ja 206 MW polttoaineissa. Apukattilana Hovinsaaren voimalaitoksessa on maakaasulla toimiva Högfors-höyrykattila (25 MW).

2.3.2 Korkeakosken voimalaitos

Korkeakoskella sijaitsee uusi Hyötyvoimalaitos. Se on CHP-laitos joka tuottaa sähköä, höyryä ja kaukolämpöä. Voimalaitos on 34 MW polttoaineteholtaan. Noin 50 % tuotannosta menee prosessihöyryksi, 30 % kaukolämmöksi ja 20 % sähköksi. Voimalaitoksen vuotuiseksi käyttöajaksi arvioidaan noin 8000 h ja jäteperäisten polttoaineiden määräksi noin 100 000 t vuodessa. Hyötyvoimalaitos käyttää polttoaineenaan syntypaikkalajiteltua jätettä, jonka polttaminen tapahtuu arinalla. Myös muuta jätettä kuten biojätettä, teollisuusjätettä tai rakennusjätettä voidaan polttaa pieniä määriä. Jätteiden poltolla kuumennetaan vettä, josta syntyvä höyry johdetaan turbiiniin jonka siivistö alkaa pyöriä tuottaen samalla sähköä. Höyryä jaetaan prosessihöyryksi ja siitä tehdään kaukolämpöä. Hyvin nykyaikainen laitos tuottaa energiaa pienillä päästöillä. Savukaasujen puhdistaminen hoidetaan puoli-kuivalla menetelmällä. Jätteenpolton ja pienten päästöjen ansiosta hyötyvoimalaitos on ympäristöystävällistä nykYTEKNIikkaa. Kaatopaikkojen kuormitusta pyritään vähentämään tuottamalla jätteistä energiaa. Kuvassa 2 on esitelty Hyötyvoimalaitoksen yleiskuva.

Kuva 2. Yleiskuva Hyötyvoimalaitoksesta (1)



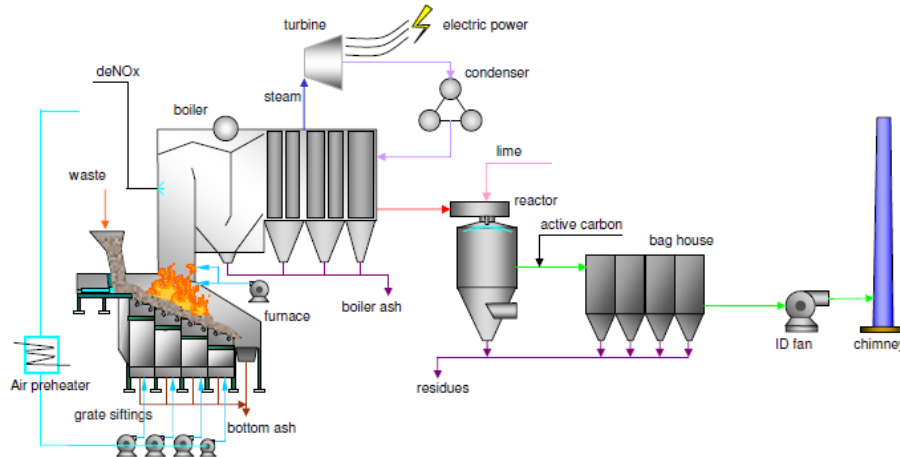
2.3.3 Kaukolämpökeskukset

Kotkan Energia Oy:n kaukolämpöverkkoon kuuluu myös useita kaukolämpökeskuksia. Niissä tuotetaan kaukolämpöä Kotkan kaupungin tarpeisiin ja niiden käyttöä ohjataan tarvittavan kulutuksen mukaan. Pumppaamoiden ansiosta voidaan ylläpitää kaukolämpöverkon painetta ja näin voidaan pumpata kaukolämpöä koko verkon alueelle. Kotkan Energian kaukolämpöverkko on esitelty liitteessä 1.

3 HYÖTYVOIMALAITOKSEN JÄTTEENPOLTTOPROSESSI JA YMPÄRISTÖLUPA-ASIAT

Hyötyvoimalaitos käyttää polttoaineenaan syntypaikkalajiteltua jätettä. Sitä kerätään Kotkan lähiseuduilta Kaakkois-Suomen Hankintarenkaan kautta, mutta sitä toimitetaan myös pidemmältä kuten Lapinjärveltä ja Turusta saakka. Jätteenpoltaminen hoidetaan nykyaikaisella arinapolttotekniikalla, ja siitä tuotetaan prosessihöyryä, sähköä ja kaukolämpöä. Jätteenpoltossa syntyvät savukaasut puhdistetaan huolellisesti puolikuivalla menetelmällä, ennen kuin kaasut pääsevät piippuun asti. Kuvassa 3 esitellään Hyötyvoimalaitoksen prosessi.

Kuva 3. Hyötyvoimalaitoksen prosessikuvaus (2)



3.1 Jätteen vastaanotto

Jäte kulkeutuu hyötyvoimalaitokselle rekkojen tuomana. Rekat saapuvat voimalaitoksen alueelle vaa'an kautta. Punnituksen jälkeen jätekuorma tyhjennetään bunkkerin vastaanottoon ja autot poistuvat pois alueelta. Jäte nostetaan vastaanotosta automaattitoimisella kahmarilla, joka nostaa sen varsinaiselle bunkkerialueelle. Bunkkerissa kahmari myös sekoittaa ja siirtää jätettä, jotta se ei painu kasaan liian huonosti palavaksi kerrostumaksi. Kun jäte ei painu kasaan, se on myös helpompi syöttää hopperiin. Kahmarin saatua syöttöpyynnön, se nostaa kauhallisen jätettä hopperiin jota pitkin jäte kulkeutuu arinassa oleville liukulaatoille. Kahmari voi nostaa maksimissaan 4 tonnin painoisen kuorman mutta normaali kauhallinen on 2 - 2,5 tonnia. Hopperiin syötetään 4 - 5 kauhallista tunnissa. Kuvassa 4 on kahmari, joka juuri siirtää jätettä.

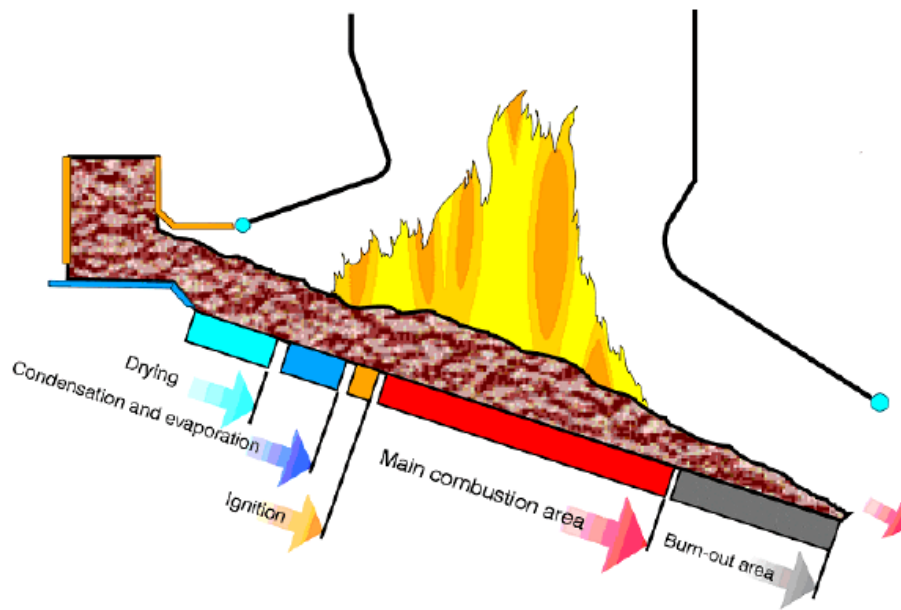
Kuva 4. Kahmari (2)



3.2 Jätteenpoltto arinalla

Liukulaatat on jaettu viiteen elementtiin, joissa palaminen tapahtuu. Elementillä 1 jäte kuivuu, elementillä 2 jäte syttyy palamaan, elementillä 3 poltetaan jätettä ja elementeillä 4 ja 5 jäte poltetaan loppuun ja jäljelle jää kuonaa. Loppuun palamisen jälkeen jäljelle jäävää kuonaa jäähdytetään ja kuona poistetaan kuonakuljetinta pitkin kuonahalliin. Jätteenpolttoa voidaan hallita primääri- ja sekundaari-ilmapuhaltimilla ja niiden ilmavirtoja säätämällä. Palamisilmaa lämmitetään ulkoilman lämpötilan mukaan. Palamista voidaan hallita myös säätämällä jätteen syöttönopeutta, joka määrittelee palavan jätepatjan paksuuden. Jätteen palamisen varmistamiseksi voimalaitoksella on kaksi maakaasutoimista tukipoltinta, joita käytetään, jos palaminen hiipuu liiaksi tai tulipesän lämmöt uhkaavat pysyä 2 sekuntia alle 850 celsiusastetta. Kuvassa 5 esitetään jätteen palaminen arinalla.

Kuva 5. Arinalla tapahtuva jatkuva palaminen (3)



3.3 Veden ja höyryn kierto

Verkosta otettava kaupunkivesi käsitellään kemikaaleilla kuten antiscalantilla ja natriumbisulfiittilla, minkä jälkeen se pumpataan puhdistettuna syöttövesisäiliöön. Syöttövesisäiliöstä lähtevä 130 asteinen vesi lämmitetään kattilan perässä sijaitsevien ekonomaisereiden avulla ja pumpataan lieriöön, josta lähtevä vesi johdetaan laskuputkia pitkin tulipesää ympäröivien höyrystinputkien alapäähän. Höyrystinputkista veden ja vesihöyryn seos johdetaan takaisin lieriöön, jossa vesi ja höyry erotetaan toisistaan. Höyrystymättä jäänyt vesi sekoittuu lieriöön syötettävään uuteen syöttöveteen ja aloittaa uuden kierron. Höyry johdetaan edelleen tulistimien läpi ja siitä turbiinille, joka tekee sähköä. Turbiinille mennessään höyry on noin 400-asteista ja painetta on noin 40 baaria. Turbiinin välioton kautta johdetaan matalapainehöyryä prosessihöyryksi, ja sillä tehdään myös kaukolämpöä. Koko turbiinin läpi kulkenut höyry pyörittää turbiinin siivistöä, ja generaattorin avulla siitä tuotetaan sähköä. Höyryä voidaan ajaa myös reduktioventtiilin kautta tarvittaessa. Lauhteet palaavat takaisin syöttövesisäiliöön. Riittävän höyryntuotannon varmistavat kaksi Vapor-apukattilaa.

3.4 Savukaasujen kulku prosessissa

Arinalla poltetusta jätteestä syntyy savukaasuja, jotka kulkeutuvat kattilan yläosaan ja siitä aina eteenpäin vaakaosalle. Savukaasujen kulkua laitoksen läpi helpottaa savukaasupuhallin, joka imee savukaasuja ja puhalttaa ne piippuun. Savukaasujen kulkeutuessa, hyödynnetään niiden sisältämä lämpöenergia. Syntyvällä lämmöllä lämmitetään syöttövettä joka, kulkeutuu lieriöön. Lieriöstä lähtevä vesi alkaa muuttua höyryksi, jota tulistetaan savukaasujen lämmöllä, kunnes saadaan riittävän kuumaa höyryä. Savukaasut kulkeutuvat NID-reaktoriin, jossa alkaa puhdistusprosessi. NID:iin saapuessaan savukaasujen lämpötila on noin 160 - 170 astetta ja NID-prosessin läpikäyneiden savukaasujen lämpötila on noin 140 - 145 astetta. Kalkkia ja aktiivihiiltä käyttämällä saadaan alennettua savukaasujen päästöpitoisuuksia. Näitä kemikaaleja annostellaan NID reaktoriin, ja kemikaalit vaikuttavat siellä ohivirtaaviin savukaasuihin. Letkusuodattimien läpi virranneet kaasut kulkeutuvat savukaasupuhaltimen läpi ja poistuvat pienin päästöin piippuun. Riittävästi reagoiut kalkki ja aktiivihiili poistuvat syntyvän lopputuotteen mukana omaan siiloonsa, ja sieltä se haetaan edelleen jälleenkäsiteltäväksi.

3.5 Kuona, kattilatuhka ja lopputuote

Polttoaineen palamisen yhteydessä syntyy sivutuotteita. Kuona, kattilatuhka ja lopputuote ovat jätteenpolton sivutuotteita. Syntyneitä sivutuotteita kerätään talteen ja toimitetaan eteenpäin jatkokäsittelyyn.

Loppuun palanut jäte kulkeutuu arinalta liukulaattojen vaikutuksesta kuonakuljettimeen. Kuonakuljettimen alkuosassa on noin 1500 mm korkea vesipinta, joka viimeistään sammuttaa palaneen jätteen. Lisäksi seulakuljettimelta kuljettaa tuhkaa arinan elementtien alta, jonne sitä putoaa. Seulakuljettin kuljettaa tuhkan kuonakuljettimen alkuosaan ja kuljettaa syntyneen kuonan kuonahalliin. Sieltä se lastataan rekkojen kontteihin ja kuljetetaan jatkokäsiteltäväksi. Jatkokäsittelyssä kuonasta erotellaan talteen metallit. Jäljelle jäävästä metallittomasta kuonasta voidaan tehdä esimerkiksi mursketta.

Kattilatuhkaa kerätään kattilan vaakaosalta sekä säteilyosalta. Kattilatuhka kulkeutuu savukaasun mukana ja se on kerättävä talteen, jotta savukaasut

saataisiin paremmin puhdistettua. Jos kattilatuhkaa ei kerättäisi talteen, se saattaisi tukkia savukaasujen puhdistusprosessin. Vaakaosalta ja säteilyosalta tuhka kuljetetaan kuljettimia pitkin omaan kattilatuhkasiiloon. Tuhkan osalta on tärkeää että sen joukkoon ei pääse kosteutta. Kostuessaan tuhkasta tulee kovaa ja se saattaa tukkia siilon purkuaukon. Kattilatuhka haetaan pois rekoilla ja kuljetetaan jatkokäsiteltäväksi. Tuhkaa voidaan käyttää esimerkiksi kaatopaikkojen katemateriaalina.

Lopputuotetta muodostuu, kun savukaasut puhdistetaan. Lopputuotetta muodostuu reaktorin pohjalta, pölytaskun pohjalta ja suppiloiden pölystä. Lopputuotteessa on jäämiä kalkista, aktiivihiilestä sekä niiden kanssa reagoineista savukaasun päästöistä.

3.6 Ympäristöluvanvaraiset savukaasupäästöjen raja-arvot

Jätteenpoltossa on tärkeää toimia ympäristöluvan mukaisesti. Luontoa ja ympäristöä kuormitetaan vähemmän, kun toimitaan yhteisten sääntöjen mukaan. Ilmasto ja ympäristö pysyvät puhtaampana, kun annettuja päästöjen raja-arvoja noudatetaan. Seuraavissa taulukoissa on annettu ilmaan johdettavien päästöjen vuorokauden ja puolen tunnin keskiarvojen raja-arvot, jotka perustuvat jätteenpolttoasetukseen 362/2003.

Taulukko 2. Ilmaan johdettavien vuorokauden ja puolen tunnin keskiarvojen raja-arvoja, mg/m³, redusoitu 11 %:n happipitoisuuteen (jätteenpolttoasetus 362/2003).

	24 h	30 min
Hiukkaset	10	30
Orgaanisen hiilen kokonaismäärä	10	20
HCl	10	60
HF	1	4
SO ₂	50	200
No _x (NO ₂ :na)	200	400

Taulukko 3. Raskasmetallien raja-arvoja (jätteenpolttoasetus 362/2003)

Vuospäästökertoimet mg/m ³	
Cd, Tl	yhteensä 0,05
Hg	0,05
Sb, As, Pb, Cr, Co, Cu, Mn, Ni, V	yhteensä 0,5

3.7 Ympäristöluvassa savukaasun käsittelyn kannalta tärkeimpiä käsiteltäviä asioita

Ympäristöluvan yleisten määräysten kohdassa 2 on annettu lupa polttaa tiettyjä polttoaineita. Ensisijaisina polttoaineina tulee käyttää syntypaikkalajiteltua yhdyskuntajätettä ja kartonginvalmistuksessa syntyviä polttokelpoisia jätteitä. Edellä mainittuja polttoaineita voidaan polttaa ilman käyttömäärärajoituksia. Syntyvien savukaasujen kannalta on tärkeää, että polttoaine on suhteellisen tasalaatuista, jolloin sitä on helpompi puhdistaa, kun savukaasujen päästöjen pitoisuudet eivät vaihtele ylettömän paljon.

Yleisten määräysten kohdassa 17 käsitellään savukaasun päästöjen raja-arvojen ylityksiä. Jos tehdyistä mittauksista käy ilmi, että raja-arvot ylittyvät, tulee toiminnanharjoittajan ilmoittaa asiasta viipymättä Elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskukselle (ELY) sekä Kotkan kaupungin ympäristökeskukselle. Kaikista vakavista häiriötilanteista ja päästömääräyksistä poikkeamisista tehdään ilmoitus. Päästöjen jatkuva seuranta on tärkeää, jotta ympäristöä ei kuormitettaisi liikaa. Välittömät ilmoitukset kertovat siitä, että päästöjen seurantaan kiinnitetään huomiota ja myös siitä, että niihin reagoidaan välittömästi.

Päästömittauslaitteistolle on suoritettava ainakin kerran vuodessa tarkastustestit. Mittaustuloksia on seurattava jatkuvasti, ja jos niissä havaitaan poikkeamia, niihin on reagoitava sopivilla menetelmillä. Kohdan 19 mukaan mittauslaitteiston tulee tarkastaa riippumaton taho. Myös mittauslaitteiden kalibrointi tulee suorittaa ainakin kerran kolmessa vuodessa. Mittauslaitteis-

ton kalibroinnilla pyritään varmistamaan, että laitteet mittaavat oikein. Jätteenpolttolaitoksissa olisi hyvä kalibroida useammin, koska jätteistä syntyvät päästöt saattavat tukkia mittauslaitteiston suodattimia ja näytelinjoja, jolloin ne alkavat toimia epätarkasti. (4)

3.8 Ympäristöluvan mukaisen toiminnan valvonta

Ympäristöluvan mukaista toimintaa pyritään valvomaan. Ympäristölupien valvonta kuuluu ELY-keskuksille. Eri laitokset saavat erilaisen luokituksen, joka kuvastaa valvonnan tarvetta. Jos laitoksella esiintyy raja-arvojen ylityksiä tai häiriötoimintaa, se on velvoitettu ilmoittamaan valvontaviranomaisille tapahtuneesta. Kaikille laitoksille suoritetaan tarkastus määräajoin. Tarkastuksista tehdään sähköinen raportti VAHTI-tietojärjestelmään, joka on ympäristöhallinnon ylläpitämä. ELY:n toimintaa ja kehitystä ohjaa ympäristöministeriö.

4 SAVUKAASUJEN PUHDISTUS NID-JÄRJESTELMÄN AVULLA

Savukaasunpuhdistuslaitos puhdistaa polttolinjan savukaasut. Reaktoriin ohjatut savukaasut puhdistetaan kaasumaisista komponenteista, ja reaktorin jälkeen on sijoitettu letkusuodatin, joka erottaa partikkelit savukaasuvirrasta. Letkusuodattimen jälkeen savukaasut johdetaan savupiippuun. Järjestelmään kuuluu NID-reaktori, lopputuotteen käsittely ja savukaasupuhallin. Kuvassa 6 esitellään NID-savukaasunpuhdistuslaitos. (5)

Kuva 6. NID-savukaasunpuhdistuslaitos (6)



4.1 NID-reaktori

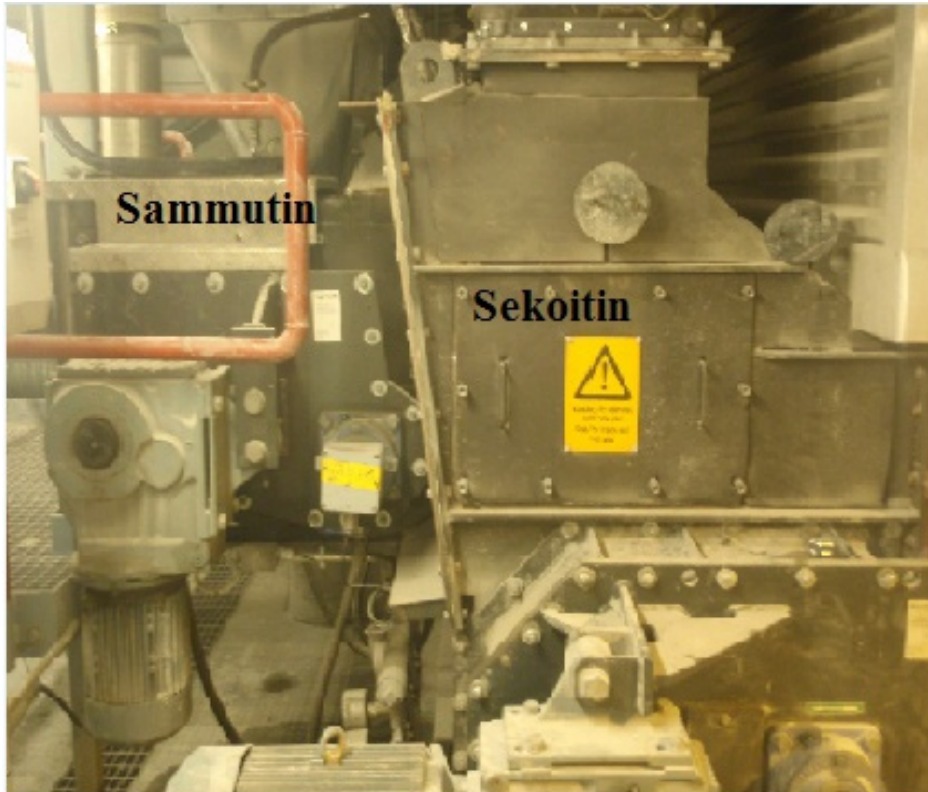
NID-reaktori on osana tulokanavaa. Suurin osa reaktioista tapahtuu reaktorissa. Kemialliset reaktiot tapahtuvat, kun sorbentit reagoivat happamien komponenttien kanssa. Aktiivihiili lisätään ennen reaktoria. Reaktorissa puhdistettu savukaasu kulkeutuu kohti savupiippua. Piipussa on kahdennettu päästömittaus, jota voidaan seurata valvomosta käsin.

4.2 Sekoitin ja sammutin

Sekoitin koostuu kahdesta osasta, joihin kuuluvat sammutin ja sekoitin. Sammuttimeen syötetään sammuttamatonta kalkkia ja vettä. Sammuttimessa tapahtuu kemiallinen reaktio, jonka seurauksena syntyy sammutettua kalkkia. Sammutettu kalkki virtaa suoraan sekoittimeen ylivirtausperiaatteella.

Sekoittimeen virtaa pölyä letkusuodattimesta ja sammuttimesta. Sammuttimesta tulevaan pölyyn ruiskutetaan vettä, ja se sekoitetaan seosruuveilla ja fluidisoimalla pöly. Kiertävän pölyn määrä säädetään sekoittimen yläpuolelle asennetulla sulkusyöttimellä. Kostutettu pöly virtaa reaktoriin. Kuvassa 7 on sammutin ja sekoitin.

Kuva 7. Sammutin ja sekoitin (2)



4.3 Letkusuodatin

Letkusuodatin on jaettu neljään erilliseen kammioon. Jokaisessa kammiossa on 215 letkua jaettuna 10 riviin. Kussakin rivissä on 21 tai 22 letkua, ja yhteensä letkuja on 860 kpl. Letkut ovat 6 metriä pitkiä, ja ne on tuettu sisäpuolelta teräslangasta tehdyllä korilla. Korit on jaettu kahteen osaan käsittelyn yksinkertaistamiseksi. Letkukammio on varustettu kahdella päällekkäisellä luukulla, joista ylempi on varustettu eristyksellä. Näiden luukkujen kautta tehdään letkujen huoltotyöt.

Neljä kammiota on yhdistetty pölytaskuun erillisillä ilmaränneillä. Pölytasku ja pohjasuppilot on varustettu miesluukuilla. Pöly kuljetetaan pölytaskusta edelleen kiertopölyn sulkusyöttimellä sekoittimeen tai lopputuotesul-

kusyöttimeltä lopputuotekuljettimille. Pölytaskun fluidisointi pitää pölyn hyvin virtaavana, ja siten se on mahdollista tyhjentää sulkusyöttimillä. Pölytasku on varustettu pintamittauksilla, joiden avulla prosessissa pidetään aina sopiva määrä pölyä kierrossa. Letkusuodattimen lämmitystä varten fluidiilmajärjestelmä on varustettu vastuslämmittimellä.

Letkujen puhdistusta ohjataan EFFIC-järjestelmällä. EFFIC:in avulla säädetään pölykerroksen paksuutta letkujen pinnalla, mikä parantaa suodattimen suorituskykyä. Säättämällä puhdistuspulssin pituutta ja painetta voidaan letkut puhdistaa tehokkaammin ja pidentää samalla letkujen elinikää.

Letkusuodatin on varustettu ohituskanavalla, joka johtaa tulokanavasta suoraan letkusuodattimen poistokanavaan. Ohituskanavaa voidaan käyttää tuuletuksen aikana ja silloin, kun poltetaan polttoaineita, jotka eivät vaadi savukaasunpuhdistusta. Normaaliajotilanteissa ohituspelti on suljettu. Tällöin ohituskanavan sulkupellille virtaa tiivisteilmaa, jolla torjutaan mahdollista korroosiota ja pyritään pitämään kanava kuivana. (6)

4.4 Sorbenttien käsittely

Sorbentti on yleisnimi sammuttamattomalle kalkille ja aktiivihieille. Sammuttamaton kalkki annostellaan kalkkisiilosta ja kuljetetaan sammuttimeen ruuvikuljettimella. Sammuttimessa siihen sekoitetaan vettä, jolloin saadaan sammutettua kalkkia. Kuvissa 7 ja 8 esitellään kalkin annostelulaitteisto ja aktiivihieiden annostelulaitteisto.

Kuva 8. Kalkin annostelulaitteisto (2)



Aktiivihiihtä annostellaan aktiivihiihisiilosta ja kuljetetaan kanavaan ruuvi-
kuljettimella ja sulkusyöttimellä.

Kuva 9. Aktiivihiihen annostelulaitteisto (2)



4.5 Lopputuotteen käsittely

Pöly pohjasuppilosta, reaktorista ja lopputuote pölytaskusta kuljetetaan ruu-
vikuljettimin pneumaattisille kuljettimille, jotka lähettävät lopputuotteen

lopputuotesiiloon. Siilossa on siilosuodatin ja puhallin, jonka avulla siilo voidaan alipaineistaa ja vähentää pölyämistä lopputuotteen purun aikana. Lopputuotesiiilon koko on 150 kuutiometriä. (6)

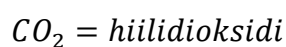
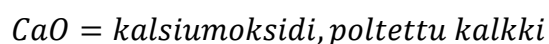
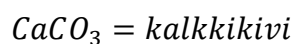
5 KALKKI

Voimalaitoksella on käytössä sammuttamatonta kalkkia. Sen avulla pyritään neutraloimaan savukaasuissa syntyvien päästöjen komponentteja. Rikin, kloorivedyn ja fluoridien päästöjen määrään voidaan vaikuttaa annosteltavalla kalkilla. Optimaalisella kalkinannostelulla voidaan saavuttaa kustannuksien alenemista ilman, että ympäristöluvassa määritellyjä päästöjen raja-arvoja ylitetään.

5.1 Poltetun sammuttamattoman kalkin ominaisuudet ja sen valmistus

Poltetun sammuttamattoman kalkin toimittaja on Lhoist. Käytettävän kalkin pitoisuus on noin 95 %. Kalkki vahingoittaa silmän sarveiskalvoja joutuesaan sen kanssa kosketuksiin sekä ärsyttää limakalvoja. Kalkki reagoi veden kanssa muodostaen lämpöä vesihöyryä ja pölyä. Kalkki on hyvin paloturvallinen, sillä se ei pala. Ominaisuuksiltaan se on kiinteää, rakeista, vaaleanharmaata sekä hajutonta. Suhteellinen tiheys on 0,8 - 1,2 t/m³. (7)

Poltettua kalkkia valmistetaan murskatusta ja lajitellusta kalkkikivestä. Kalkkikivi hajoaa ja siitä vapautuu hiilidioksidia ja kalsiumoksideja. Kalsiumoksidi tunnetaan nimellä poltettu kalkki.



Yllämainittu reaktio vaatii noin 1 100 celsiusasteen lämpötilaa tapahtuakseen. Poltettu kalkki on reaktion jälkeen palasina, rakeina ja jauheena. Pol-

tettu kalkki käsitellään edelleen seulomalla tai jauhamalla entistä hienomaksi. Poltettua kalkkia tulee käsitellä huolella ja varastoida tarkoin, sillä se on erittäin reaktiivista. Poltetusta kalkista tulee sammutettua kalkkia, jos se joutuu kosketuksiin veden kanssa.

Kalkkia syötetään prosessiin, jotta sillä voitaisiin puhdistaa savukaasuja ja siten pienentää ilmaan kohdistuvia päästöjä. Sammuttimessa kalkkisiilosta tuleva poltettu kalkki reagoi veden kanssa ja saadaan siitä sammutettua kalkkia, joka on reaktiivisempaa kuin poltettu kalkki. Sammutetun kalkin tulee olla riittävän kuivaa. Sammuttimessa tapahtuu seuraavanlainen kemiallinen reaktio:



CaO = kalsiumoksidi, kalkki

H_2O = vesi

$Ca(OH)_2$ = kalsiumhydroksidi

5.2 Sammutetun kalkin annostelu prosessiin

Sammutetun kalkin määrää säädetään annostimella, joka on suunniteltu antamaan vakiomäärä pölyä jokaisella ruuvin kierroksella, riippumatta kierrosnopeudesta tai siilon täyttöasteesta. Tarvittavan kalkin määrä lasketaan tulevien ja lähtevien savukaasukomponenttien määrän perusteella. Sammuttimeen syötetään kulloinkin tarvittava vesimäärä, jolla syötetty kalkki saadaan sammutettua. Sammutusta seurataan sammuttimen lämpötilamittauksen avulla. Sammutustapahtumassa noin puolet vedestä reagoi kalkin kanssa ja puolet höyrystyy ja siten jäädyttää sammutusprosessia. Sammutusprosessin toiminta on tärkeä osa, jolla vaikutetaan suoraan kalkin kulutukseen ja sitä kautta laitoksen käyttökustannukseen. (6)

5.3 NID-reaktorissa tapahtuvat kemialliset reaktiot

Sammutettu kalkki reagoi happamien savukaasukomponenttien kanssa NID-reaktorissa. Suurimmilta osin reagoivia komponentteja on rikkidioksidi, rikki-trioksidi, vetykloridi ja vetyfluoridi. Kaikki edellä mainitut komponentit ovat jäännöksiä polttoaineen palamisesta. NID-reaktorissa tapahtuu seuraavia kemiallisia reaktioita:



$SO_2 =$ rikkidioksidi

$Ca(OH)_2 =$ kalsiumhydroksidi

$CaSO_3 =$ kalsiumsulfitti

$H_2O =$ vesi

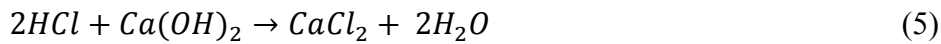


$SO_3 =$ rikki-trioksidi

$Ca(OH)_2 =$ kalsiumhydroksidi

$CaSO_4 =$ kalsiumsulfaatti, kipsi

$H_2O =$ vesi



HCl = vetykloridi

$\text{Ca}(\text{OH})_2$ = kalsiumhydroksidi

CaCl_2 = kalsiumkloridi

H_2O = vesi



HF = vetyfluoridi

$\text{Ca}(\text{OH})_2$ = kalsiumhydroksidi

CaF_2 = kalsiumfluoridi

H_2O = vesi

Kalsiumkloridi on hyvin hygroskooppinen eli vettä keräävä komponentti. Kuiva kalsiumkloridi absorboi hyvin nopeasti vettä ilmasta ja tulee kosteaksi, jos se jätetään vapaaseen ilmatilaan. Koska kalsiumkloridi on hygroskooppinen aine, se kuivuu reaktorissa hitaasti ja parantaa siten huomattavasti rikinerotuskykyä pidentämällä alkalien kosteaa viipymäaika. Toisaalta hygroskooppisuus saattaa hankaloittaa lopputuotteen käsittelyä, ja tähän vaikutetaan prosessin loppulämpötilan säädöllä. (7)

Sammutetun kalkin tarkoitus savukaasunpuhdistusprosessissa on alentaa rikkidioksidin, rikkitrioksidin, vetykloridin ja vetyfluoridien päästöjä. Sammutettu kalkki siis reagoi näiden komponenttien kanssa ja sitoo niitä itseensä. Sammutettua kalkkia, joka on sitonut näitä komponentteja itseensä, kutsutaan lopputuotteeksi. Lopputuote kuljetetaan lopputuotekuljettimia pitkin omaan siilonsa ja siilosta edelleen jatkokäsiteltäväksi.

6 KALKIN KULUTUKSEN OPTIMOIMINEN

6.1 Lopputuotteen näytteiden ottaminen

Lopputuotetta analysoimalla saadaan selville, kuinka paljon reagoimatonta eli niin sanottua ylijäämäkalkkia on lopputuotteessa. Reagoimattoman kalkin määrän vähentäminen vaikuttaa muodostuvan lopputuotteen määrään. Lopputuotteen analysoimista varten siitä tarvitsee ottaa näyte, jotta sen koostumus saadaan selville. Yhdestä näytteestä ei voida riittävällä varmuudella saada tarkkoja tuloksia, koska se kuvastaa vain prosessin senhetkistä tilannetta. Riittävän varmuuden aikaansaamiseksi on järjestetty viiden päivän mittainen testijakso, jonka aikana on otettu yksi näyte/päivä ja aina samaan kellonaikaan. Lopputuotteenäytteiden ottamispaikkana on käytetty pölylähettimien päällä sijaitsevaa lopputuotekuljetin 3:n luukkua, jonka kautta näyte voidaan ottaa suoraan lopputuotekuljetin 2:n päästä. Turvallisuussyistä pölylähettimet ja lopputuotekuljetin 3 käännettiin pois näytteidenoton ajaksi. Suojavarusteina on ollut erillinen suojarahku sekä raitisilmamaski. Näytteiden ottaminen kestää noin 5 minuuttia/näyte. Näyte otettiin litran suuruiseen astiaan ja suljettiin tiiviisti. Valmiit näytteet lähetettiin Tanskaan, jossa ne tutkittiin Faxe Kalkin omassa laboratoriossa ja ALS Scandinavia AB:n laboratoriossa. Näytteiden tutkiminen kesti noin 3 viikkoa, minkä jälkeen kerätyt tiedot lähetettiin Kotkan Energia Oy:lle. Kuvassa 10 on näytteenottoluukku ja valmis näyte.

Kuva 10. Lopputuotenäyte ja näytteenottoluukku (2)



6.2 Lopputuotenäytteiden tuloksien analysointi

Pääperiaate lopputuotenäytteiden tutkimisessa on selvittää, kuinka hyvin käytetty sorbentti, eli tässä tapauksessa sammutettu kalkki, on reagoinut savukaasussa syntyvien päästökomponenttien kanssa. Näytteiden ottaminen oli onnistunut hyvin ja kaikista näytteistä saadut arvot olivat samanlaisella alueella. Kiinnostavin osa näytteiden tuloksista kohdistui jäljelle jääneen kalsiumhydroksidin määrään, jonka avulla saadaan selville, onko poltettua kalkkia annosteltu prosessiin liian paljon. Kalsiumhydroksidin määrä näytteissä oli 11 %, joka on NID-prosessille hyvin tyypillinen lukema. Aikaisempien kokemusten perusteella samankaltaisissa prosesseissa jäljelle jääneen kalsiumhydroksidin määrä on ollut 6,5 % - 13,5 %. Tuloksia analysoimalla saadaan selville, että prosessiin annosteltavan poltetun kalkin määrä on riittävä, mutta siinä on vielä optimoimisen varaa. (8)

6.3 Sammutetun kalkin optimoimisen lähtökohdat

Sammutetun kalkin käytön määrässä on havaittu optimoimisen varaa aikaisempien tarkastelujen perusteella. Tarkastelun suorittajana toimi Alstom, joka on suunnitellut NID-järjestelmän Hyötyvoimalaitokselle. Vuonna 2010

on ajettu keskimäärin noin 80 kg/h, silloin kun laitos on ollut normaaliajotilassa. Kaskadiohjauksella ollessaan on havaittu, että kalkin annostelu saattaa rynnätä 150 - 200 kg/h ilman tiedossa ollutta syytä. Hyötyvoimalaitoksella on tasalaatuista jätettä, minkä ansiosta päästöjen pitoisuuksien vaihtelu ei ole suuri. Tietysti pitää ottaa huomioon, että kun kyse on jätteestä, saattaa sen seassa olla jotain, joka nostaa huomattavan piikin esimerkiksi rikin raakakaasun pitoisuuksiin.

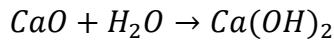
Kaskadiohjaus on äärimmäisen riippuvainen savukaasuanalysointilaitoksesta, jolla raakakaasun pitoisuuksia mitataan. Epäilysten herätessä, että kalkkia annostellaan liikaa, ajomoodi muutettiin manuaalille. Manuaalilla pystyttiin ajamaan 70 kg/h ilman, että savukaasujen päästöt piipussa nousivat. Opinnäytetyön tekeminen alkoi edellä mainitusta tilanteesta, jossa kalkin annostelu oli manuaalimoodissa ja kalkkia syötettiin tasaisesti 70 kg/h riippumatta raakakaasun päästöarvoista, koska päästöarvot eivät nousseet piipussa kyseisellä kalkinannostelun määrällä.

6.4 Kemiallisten laskujen tarkastelu

Savukaasunkäsittelyssä tulee muistaa, että siitä ei voi saada varmoja tietoja vaan ainoastaan suuntaa antavia. Jokainen prosessi on uniikki, eli mikään täysin samanlainen prosessi ei toimi saman lailla, johtuen käytettävästä polttoaineesta, kemikaaleista ja lukuisista muista tekijöistä. Kalkin tarvetta voidaan määrittää teoreettisesti laskemalla, mutta käytännössä jäädyään vielä kauas teoreettisista arvoista. Teoreettinen määrä voidaan laskea moolisuhteiden avulla, jotka saadaan tasapainotetuista reaktioyhtälöistä (luku 5.3). Tasapainotetut reaktioyhtälöt tarkoittavat sitä, että stoikiometrisessa reaktiossa ainetta ei synny eikä sitä häviä. Reaktioyhtälöt tasapainotetaan siten, että molemmilla puolilla on yhtä paljon ainetta ja tasapainokertoimien avulla voidaan saattaa yhtälö kyseiseen tilaan. Moolimassat selvittämällä voidaan havaita että ainetasapaino on kunnossa.

Alkuaineiden jaksollisesta järjestelmästä saadaan alkuaineille moolimassaluvut. Moolimassaluvut ovat yksikössä (g/mol). Poltetun kalkin (CaO) reagoimista veden (H_2O) kanssa tarkastellaan seuraavassa reaktioyhtälössä. Lasketaan ensin reagoiville aineille moolimassat:

Reaktioyhtälön tasapainon tarkastelu:



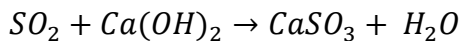
$$(40,08 + 16,00) + (2 * 1,008 + 16,00) \rightarrow 40,08 + 2 * (16,00 + 1,008)$$

$$56,08 + 18,016 \rightarrow 74,096$$

$$74,096 \rightarrow 74,096 \quad \left(\frac{g}{mol}\right) \rightarrow \left(\frac{g}{mol}\right)$$

Poltetun kalkin ja veden reagointi on nyt tasapainotettu, ja reaktion alussa on yhtä paljon ainetta kuin lopussa eli reaktiotuotteessa. Seuraavassa kaavassa käydään läpi moolisuhteiden laskeminen ja saadaan selville SR-kerroin. SR-kerroin määrittelee ainemäärien suhteita.

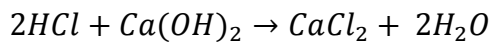
Rikkidioksidin ja kalsiumhydroksidin tasapainotettu reaktioyhtälö:



Eli tarvitaan 1 mooli rikkidioksidia ja 1 mooli kalsiumhydroksidia, jotta saadaan 1 mooli kalsiumsulfiittia ja 1 mooli vettä.

$$SR = \frac{1 \text{ mol } (SO_2)}{1 \text{ mol } (Ca(OH)_2)} = \frac{1}{1} = 1 \quad (7)$$

Tarkastellaan seuraavaksi kloorivedyn ja sammutetun kalkin tasapainotettua reaktiota selventääksemme tilannetta:



Kloorivetyä tarvitaan 2 moolia ja sammutettua kalkkia 1 mooli, jotta saadaan 1 mooli kalsiumkloriittia ja kaksi moolia vettä.

$$SR = \frac{2 \text{ mol } (HCl)}{1 \text{ mol } (Ca(OH)_2)} = \frac{2}{1} = 2 \quad (8)$$

Näin saadaan rikille kertoimeksi yksi ja kloorivedylle kaksi suhteessa sammutettuun kalkkiin eli reagoivaan aineeseen.

Ainemäärän laskemisen avulla saadaan selville, kuinka paljon ainetta (g) on tietyssä moolimäärässä (mol). Esimerkissä tarkastellaan, kuinka paljon ainetta on yhdessä rikkidioksidimoolissa.

Ainemäärän laskeminen:

$$n = \frac{m}{M} \quad (9)$$

$$n = \text{ainemäärä (mol)}$$

$$m = \text{atomimassa (g)}$$

$$M = \text{moolimassa } \left(\frac{\text{g}}{\text{mol}} \right)$$

Esimerkki:

$$1 \text{ mol} = \frac{m}{64,06 \frac{\text{g}}{\text{mol}}} \rightarrow 1 \text{ mol} * 64,06 \frac{\text{g}}{\text{mol}} = m \rightarrow 64,06 \text{g}$$

Laskennan tuloksena saadaan että yhdessä moolissa rikkidioksidia on 64,06 grammaa. Kaava on yleispätevä eli sillä voi laskea myös muiden aineiden määriä.

Moolimassojen suhteet laskemalla saadaan selville ainemäärien riippuvuudet eli kuinka paljon X- ja Y-ainetta tarvitaan, jotta voidaan saada täydellinen reaktio aikaan. Tästä on huomattavaa hyötyä, kun halutaan selvittää reagoivan aineen kilogrammamäärää suhteessa savukaasujen raakapäästön kilogrammamäärään.

Esimerkki:

$$M - \text{ker}_{\text{SO}_2} = \frac{M_{\text{Ca(OH)}_2}}{M_{\text{SO}_2}} = \frac{74,096 \text{ g/mol}}{64,06 \text{ g/mol}} = 1,157 \quad (10)$$

$$M_{Ca(OH)_2} = \text{sammutetun kalkin moolimassa } \frac{g}{mol}$$

$$M_{SO_2} = \text{rikkidioksidin moolimassa } \frac{g}{mol}$$

$$M - ker_{SO_2} = \text{massojen välinen suhdeluku}$$

Yllä olevan esimerkin mukaan saadaan tietää, että tarvitaan 1,157 kg sammutettua kalkkia jotta saadaan neutraloitua 1 kg rikkipestäjä. Samalla tavalla laskemalla saadaan sammutettu kalkki-kloorivety-suhteeksi 1,01. Eli 1,01 kg sammutettua kalkkia neutraloi 1 kg:n kloorivetypestäjä.

6.5 Sammuttamattoman kalkin teoreettinen tarve

Sammuttamattoman kalkin (CaO) teoreettinen tarve voidaan laskea kun tiedetään savukaasun virtaus, savukaasun kosteus, raakakaasujen pitoisuudet, sammuttamattoman kalkin puhtaus ja sammuttamattoman kalkin osuus sammutetusta kalkista. Savukaasun virtaus tulee muuntaa kuiviin olosuhteisiin koska savukaasuanalysointori ilmoittaa mitatun lukeman kuivissa olosuhteissa.

Tarkastellaan sammuttamattoman kalkin teoreettista tarvetta kun savukaasun virtaus on $73\,000\text{ Nm}^3/\text{h}$, kosteus 15,3 %, SO_2 – pitoisuus $300\text{ mg}/\text{Nm}^3$, HCl – pitoisuus $600\text{ mg}/\text{Nm}^3$, kalkin puhtaus 95 % ja osuus sammutetusta kalkista 76 %. Kalkin tarpeeseen lisätään 0,5 kg, joka on HF:lle määritelty kiinteä osuus savukaasuissa.

Märkien savukaasujen muuntaminen kuiviksi savukaasuiksi:

$$SK_{kuiva} = SK_{kosteus} * \left(\frac{100 - SK_{kosteus\%}}{100} \right) \quad (11)$$

$$SK_{kuiva} = \text{savukaasun määrä (kuiva)} \text{ (Nm}^3/\text{h)}$$

$$SK_{kosteus} = \text{savukaasun määrä (kosteissa)} \text{ (Nm}^3/\text{h)}$$

$$SK_{kosteus\%} = \text{savukaasun mitattu kosteus (\%)} \text{ (Nm}^3/\text{h)}$$

Savukaasujen päästökomponenttien muuntaminen kilogrammoiksi:

SK_{kuiva} :n laskeminen on määritelty aikaisemmassa kaavassa 11.

$$SO_{2kg} = \frac{SO_{2mitattu}}{1000000} * SK_{kuiva} \quad (12)$$

$$SO_{2kg} = \text{rikin määrä (kg)}$$

$$SO_{2mitattu} = \text{mitattu rikin määrä mg/Nm}^3$$

$$HCl_{kg} = \frac{HCl_{mitattu}}{1000000} * SK_{kuiva} \quad (13)$$

$$HCl_{kg} = \text{kloorivedyn määrä määrä (kg)}$$

$$HCl_{mitattu} = \text{mitattu kloorivedyn määrä mg/Nm}^3$$

Sammutetun kalkin tarve lasketaan kaavan 14 mukaisesti. SO_{2kg} ja HCl_{kg} lasketaan kaavan 12 ja 13 mukaisesti ja $M - ker_{SO_2}$ ja $M - ker_{HCl}$ lasketaan kaavan 10 mukaisesti:

$$SO_{2kg} * M - ker_{SO_2} + HCl_{kg} * M - ker_{HCl} = Ca(OH)_{2teor} \quad (14)$$

$$Ca(OH)_{2teor} = \text{teor. sammutetun kalkin tarve } \left(\frac{kg}{h}\right)$$

Poltetun kalkin (CaO) tarve lasketaan kaavalla 15. $Ca(OH)_{2teor}$ on määritetty kaavassa 14:

$$CaO_{teor} = Ca(OH)_{2teor} * CaO_{osuus\%} * CaO_{puhtaus\%} \quad (15)$$

$$CaO_{teor} = \text{teor. sammuttamattoman kalkin tarve } \left(\frac{kg}{h}\right)$$

$$CaO_{osuus\%} = CaO:n \text{ osuus } Ca(OH)_2: \text{ sta (n. 75 \%)}$$

$$CaO_{puhtaus\%} = \text{kalsiumoksidin puhtaus (95 \%)}$$

HF:n osuus 0,5 kg lisätään CaO_{teor} -tarpeeseen ja näin saadaan todellinen teoreettinen tarve prosessiin syötettävälle sammuttamattomalle kalkille (CaO). Edellä mainittujen kaavojen mukaan laskemalla kyseisille arvoille saadaan todelliseksi teoreettiseksi tarpeeksi 43,1 kg/h.

6.6 Sammuttamattoman kalkin tarve käytännössä

Kalkinannostelun todellisen teoreettisen laskennan avulla saadaan suuntaa antava tulos, joka vaatii ideaaliolosuhteet toteutuakseen. Prosessissa jatkuvasti muuttuvat lämpötilan, kosteuden ja paineen arvot sekä poltettavan jätteen koostumus aiheuttavat sen, että kalkinannostelun ideaalitalanteeseen ei tulla pääsemään käytännössä. Prosessissa tulee olla tietynlainen puskuri reagoivaa ainetta, joka ottaa syntyvät päästökäkomponentit vastaan. Jo pelkästään puskurin takia on mahdotonta päästä todelliseen teoreettiseen arvoon, mutta voidaan kuitenkin päästä lähelle. Todellisuudessa kalkki joudutaan annostelemaan n. 1,6 - 2,3 kertaa teoreettista arvoa enemmän. Kemikaalin optimoimisen idea onkin päästä mahdollisimman lähelle ideaalitalan lukemaa kuitenkin siten, että päästörajat savupiipussa eivät ylity. (9)

Kalkkia on annosteltu manuaalisella säädöllä, koska on ollut epäilyjä savukaasuanalysoittorin mittausvirheestä sekä kaskadisäädön virheellisyydestä. Manuaalisella säädöllä on päästy kalkinannostelussa alemmas. Kaskadisäätöön perehtyminen tuo lisää säästöpotentiaalia, joten se käydään läpi luvussa 6.7.

6.7 Kalkinsyötön kaskadiohjauksen toiminta

Kaskadiohjauksella ollessaan kalkinannostelu on noussut rajusti ilman löydettyä syytä. Kaskadi laskee kalkinsyötön matemaattisella kaavalla, joka on toimittajan määrittämä. Matemaattinen kaava on seuraavanlainen:

$$\left(\frac{K4}{K6}\right) * K5 * \left(\frac{HCl}{K1}\right) * SR1 + \left(\frac{SO_2}{K2}\right) * SR2 + \left(\frac{HF}{K3}\right) * SR3 \quad (16)$$

$$K1 = HCl - atomipaino \text{ g/mol}$$

$$K2 = SO_2 - atomipaino \text{ g/mol}$$

$K3 = HF - \text{atomipaino } g/mol$

$K4 = HCl - \text{atomipaino sammuttamaton kalkki } g/mol$

$K5 = \text{skaalauskerroin}$

$K6 = \text{sammuttamattoman kalkin puhtaus}$

$SR1 = HCl - SR - \text{kerroin}$

$SR2 = SO_2 - SR - \text{kerroin}$

$SR3 = HF - SR - \text{kerroin}$

$HCl = \text{mitattu } HCl \text{ } mg/Nm^3$

$SO_2 = \text{mitattu } SO_2 \text{ } mg/Nm^3$

$HF = \text{kiinteä } HF - \text{osuus}$

Yllä oleva laskentakaava kerrotaan vielä savukaasuvirtauksella (kostea), jonka jälkeen saadaan annosteltava määrä kalkkia. Kalkinannostelu kyseisellä kaavalla ei voi toimia, koska savukaasuvirtaus tulee olla kuiva, kun annetut savukaasun pitoisuudetkin ovat kuivissa olosuhteissa. Savukaasun virtaus lasketaan piipun virtauksen mukaan, ja siitä poistetaan NID:llä tulevat virtaukset. Laskenta suoritetaan seuraavalla kaavalla:

$$SK_{lask} = (SK_{piippu} - K08) - K32 - (H_2O_{virt} \cdot 1,242) \quad (17)$$

$$SK_{lask} = \text{savukaasun virt. lasken. määrä } Nm^3/h$$

$$SK_{piippu} = \text{savukaasun virtausmäärä piipussa } Nm^3/h$$

$$K08 = \text{fluidi - ilmamäärä } Nm^3/h$$

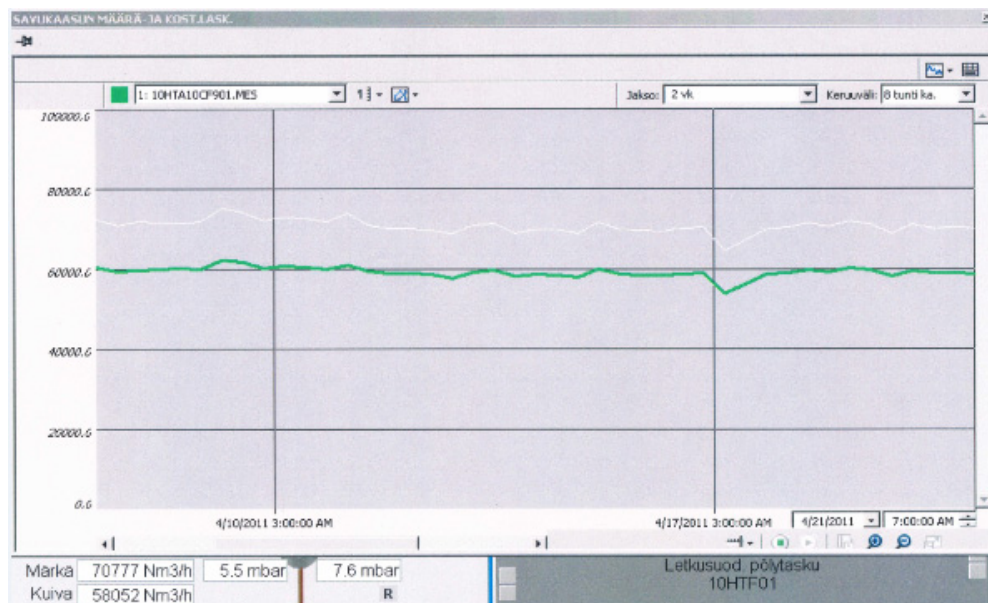
$$K32 = \text{letkusuodattimen puhdistusilmamäärä } Nm^3/h$$

$$H_2O_{virt} = \text{sekoittimen veden virtaus}$$

6.8 Kalkinsyötön kaskadiohjauksen parametrien muuttaminen

Kaskadiohjauksen parametreja voidaan muuttaa, jos halutaan muutosta kalkin annosteluun. Ohjauksen laskennassa käyttämää kosteaa savukaasuvirtaa on muutettu siten, että se laskee mukaan kosteuden NID:n kohdalla. Myös ajonäyttökuviiin on tehty muutos, jossa on nyt erikseen kostea ja kuiva arvo. Aikaisemmin kosteasta laskennallisesta arvosta ei voinut ottaa trendiä, joten sekin on nyt mahdollistettu. Kuvassa 11 on valvomon näyttökuvaa, josta näkee uuden trendin.

Kuva 11. Kostean ja kuivan savukaasunvirtauksen uusi trendi (2)



Parametrien muuttaminen vaatii, että ymmärtää, mitä kukin muutos tekee. Kalkin puhtausprosentti on muutettu nyt 0.95 sen aikaisemmin ollessa 0.90. Puhtauden muutos muuttaa laskentaa siten, että annosteltavaa kalkkia tarvitaan aikaisempaa vähemmän. Tehdyn testin perusteella muutos alensi kalkinannostelua noin 2 - 3 kg/h.

Kalkin annostimen moottorin kierroslukua on pudotettu, jotta voitaisiin päästä annostelussa alle 50 kg/h. Nykyisellä laitteistolla ehdoton minimi on 37,5 kg/h. Kuitenkin minimi- ja maksimirajat määrittelevät sen, että säädettävä toiminta-alue on nyt 45 kg/h:n ja 65 kg/h:n välillä.

Kalkin annostimen minimi ja maksimiannostelumäärää on muutettu enemmän realistisiksi arvoiksi. Entisen maksimin 700 kg/h tilalle on asetettu 65 kg/h ja entisen minimin 50 kg/h tilalle 45 kg/h. Muutos estää kalkinannostelun ryntäämiseen tarpeettoman suuriin lukemiin sekä mahdollistaa myös sen, että kalkkia on aina suhteellisen sopiva määrä puskurissa, koska säätövara on skaalattu sopivalle alueelle.

Kaskadiohjauksen parametrien muuttumisen lomassa huomattiin, että kalkinannostin saa myös toisen ohjauksen. Tämä ohjaus on niin sanottu lukitusohjaus, eli jos vaadittavat ehdot tulevat voimaan, ohjaus ottaa prioriteettin. Annostelun määrässä on ehto, joka alkaa annostella sammuttamaton

kalkkia prosessiin suuria määriä, jos se havaitsee pölytaskussa alimmaisen pintarajahälytyksen. Jos pölytaskusta tulee kyseinen hälytys, se tarkoittaa pölytaskun olevan lähes tyhjä. Siinä tapauksessa kaskadiohjauksella ollessaan annostin alkaa paikata pölytaskun pölyn vajetta ja yrittää korvata sen annostelemalla paljon uutta kalkki kiertoön. Tämä lukitusohjaus on syy kalkin annostelun ”karkailemiseen”, kun se on ollut kaskadiohjauksella.

SR-kertoimien osalta muutosta vaati vain kloorivedyn kerroin. SR-kerrointa on nostettu 2,4:stä 2,8:aan. Tällä tavoin voidaan neutraloida kloorivedystä aiheutuvat päästöt siten, että kalkkia jää optimaalisesti puskuriin. SR-kerroin 2,8 ylittää ideaalisen kertoimen, joka on 2. Liitteessä 2 esitellään valvomonäytön parametrikuva, josta voidaan muuttaa parametrien arvoja. On kuitenkin havaittu testijaksojen aikana, että voidaan ajaa noin 60 kg/h pidempiä jaksoja, joten kertoimen määrittely ideaalisen yläpuolella säätelee sopivan puskurin määrää. Kloorivedyn päästöjen pitoisuus on moninkertainen verrattuna rikkidioksidin pitoisuuksiin.

6.9 Vaihtoehtoinen kaskadisäätö

Kaskadisäädön laskentaa voidaan muuttaa myös siten, että se laskee tarvittavan kalkkimäärän savukaasujen kilogrammamäärien mukaan, jolloin säädön toimintaa on helpompi ymmärtää. Vaihtoehtoisessa säädössä otetaan huomioon samat asiat kuin alkuperäisessäkin, mutta laskenta suoritetaan hieman eri lailla ja kalkin määrää säädellään ylimääräkertoimen mukaan.

Vaihtoehtoisen säädön matemaattinen kaava:

$$CaO_{teor} = \quad (18)$$

$$\left(\frac{SO_2_{mitattu}}{1000000} * Sk_{kuiva} * M - ker_{SO_2} + \frac{HCl_{mitattu}}{1000000} * Sk_{kuiva} * M - \right. \\ \left. ker_{HCl} + HF_{kiint} \right) * CaO_{osuus\%} * \left(\frac{1}{CaO_{puhtaus\%}} \right) * CaO_{ylim}$$

CaO_{teor} = sammuttamattoman kalkin määrä

$SO_2_{mitattu}$ = mitattu rikin määrä (mg/Nm³)

$HCl_{mitattu}$ = mitattu vetyklorodin määrä (mg/Nm³)

Sk_{kuiva} = kuivan savukaasun virtausmäärä (Nm³/h)

$M - ker_{SO_2}$ = massojen välinen suhdeluku $\left(\frac{Ca(OH)_2}{SO_2} \right)$

$M - ker_{HCl}$ = massojen välinen suhdeluku $\left(\frac{Ca(OH)_2}{SO_2} \right)$

HF_{kiint} = kiinteä HF – osuus

$CaO_{osuus\%}$ = CaO:n osuus Ca(OH)₂:sta (n. 75 %)

$CaO_{puhtaus\%}$ = kalsiumoksidin puhtaus (95 %)

CaO_{ylim} = CaO yliannostelukerroin (n. 1,6 – 2,0)

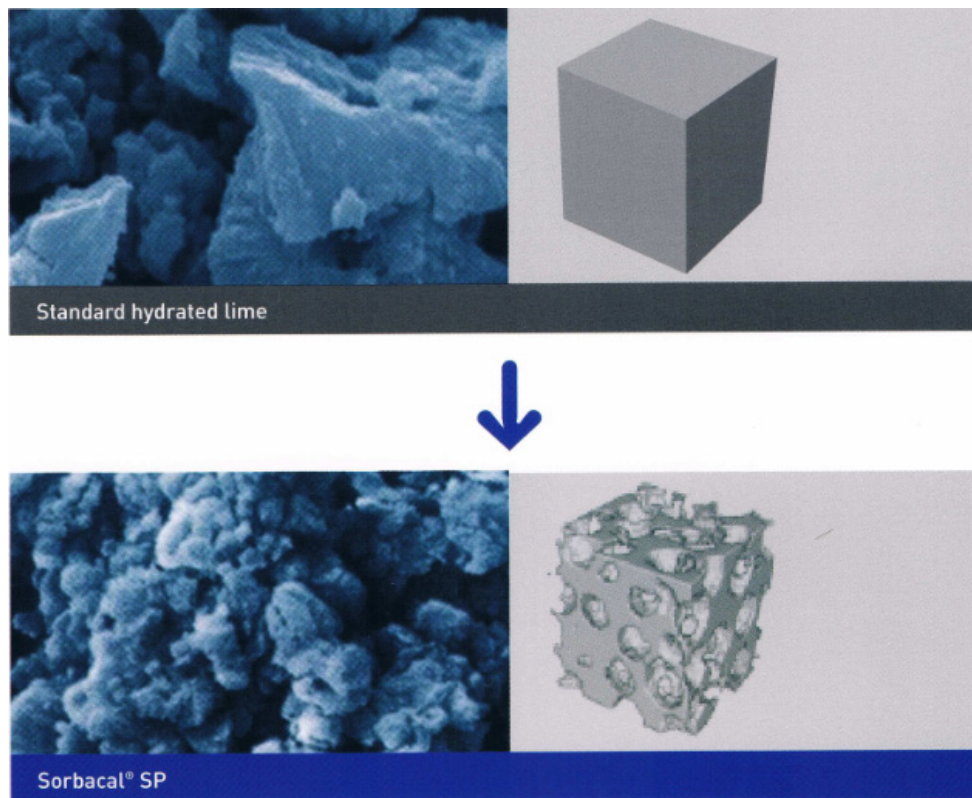
6.10 Vaihtoehtoinen kalkkilaatu

Prosessiin annosteltavaa poltettua kalkki voidaan pitää hyvänä vaihtoehtona savukaasujen puhdistamiseen. Säättöjen optimoimisen yhteydessä on tarkasteltu mahdollista kemikaalin vaihtoa. Lhoist Oy:ltä löytyy tuotevalikoimastaan kauppanimikkeellä Sorbacal SP tunnettu kalkki. Sorbacal SP on valmiiksi sammutettua kalkkia, jonka rakenteen koostumus on innovatiivinen.

6.10.1 Sorbacal SP:n rakenne ja sen reagoiminen päästökomponentteihin

Sorbacal SP on innovatiivinen uusi tuote, jonka ansiosta voidaan alentaa savukaasujen päästöjä savupiipussa. Sen uusi raerakenne auttaa saavuttamaan asetetut päästörajat helpommin. Sorbacal SP on rakenteeltaan reikäjuustomainen, eli sen pinta ei ole tasainen. Uudenlaisen pinnan muotoilun ansiosta saadaan lisää reagoivaa pinta-alaa sekä saadaan leikattua ylijäämäkalkin muodostumista. Reagoiva pinta-ala on Sorbacal SP:ssä noin kaksinkertainen, kun sitä verrataan nykyisin käytössä olevaan kalkkiin. Myös koko rae hyödynnetään tehokkaammin, koska se pystyy reagoimaan syvemmälle rakenteeseensa kuin normaali kalkki. Vanhassa kalkkilaadussa rakeen sisälle jää käyttämätöntä kalkki palloksi, koska sen rakeen pinta on tasainen. Myös aikaa tunkeutua tasaisen pinnan läpi kuluu enemmän. Tämä käyttämättä jäänyt kalkki näkyy lopputuotteessa ja sen määrässä. Reagoivan sorbentin rakeen pinta-alan kasvaessa prosessiin annosteltavan kalkin määrä vähenee. Kuvassa 12 on normaalin kalkkirakeen koostumus ja Sorbacal SP:n koostumus. (10)

Kuva 12. Käytössä olevan kalkin rakenne ja Sorbacal SP:n rakenne (10)



6.10.2 Sorbacal SP:n soveltuvuus NID-prosessiin

Koska Sorbacal SP on valmiiksi sammutettua kalkkia, se ei vaadi suuria muutoksia kalkinannostelulinjaan. Sitä voidaan annostella prosessiin samasta siilosta ja samoja kuljettimia pitkin sammuttimelle. Sammuttimelle ei tarvita enää vettä, ja venttiili käännetään kiinni-asentoon estämään se, sillä sammutustapahtumaa ei enää tarvita. Sammuttimelta se kulkeutuu ylivirtausperiaatteella sekoittimeen ja sieltä savukaasujen ja kiertopölyn sekaan. Jos päästöt eivät pysy rajojen sisäpuolella, voidaan Sorbacal SP:tä annostella savukaasujen sekaan jo ennen reaktoria. Uusia linjamuutoksia joudutaan tekemään, jos halutaan toimia edellä mainitusti.

7 YHTEENVETO

Opinnäytetyöni pääpaino oli prosessiin annosteltavan kalkin määrän vähentämisessä. Tutkimuksessa on tarkasteltu teoreettisia annostelumääriä ja sovellettu niitä käytännön prosessiin. Lopputuotteen kalkkiyli jäämän määrittäminen oli tärkeä lähtökohta tutkimukselle, jotta saataisiin tietoon, onko mahdollista

vähentää kalkinannostelun määrää. Määrittämisestä kävi selville, että kalsiumhydroksidin määrä lopputuotteessa on vastaavanlaisten prosessien kanssa samalla alueella. Lopputuote sisälsi 11 % kalsiumhydroksidia, ja vastaavanlaisissa prosesseissa oli mahdollista päästä noin 6,5 %:iin. Lopputuotteen koostumuksen määrittämisen jälkeen oli selkeää, että kalkinannostelua olisi mahdollista vähentää. Noin 7 - 8 % prosenttia olisi hyvä määrä: sillä saataisiin vielä sopiva puskuri säilymään prosessissa.

Seuraavaksi laskettiin teoreettisella tasolla, kuinka paljon kalkkia prosessi vaatii. Teoreettisten laskelmien perusteella päästöille määrätty raja- arvot tulisivat ylittymään, jos kalkkia annosteltaisiin niiden perusteella. Koska työ on tehty kunnioittaen ja noudattaen ympäristölupaa, järjestettiin testijakso. Testijakson tarkoituksena oli määrittää, kuinka vähän kalkkia voitaisiin syöttää prosessiin kuitenkin rikkomatta ympäristöluvan määrittelemiä päiväkohtaisia raja-arvoja. Kalkinannostelua vähennettiin portaittain 70 kg:sta /h:ssa ja saavutettiin noin 60 kg/h lukema päästöjen raja- arvojen pysyessä vielä hyvin sallitulla alueella. Alennettaessa annostelua noin 50 kg/h tasolle, alkoivat päästöjen arvot nousta rajoilleen. Testien perusteella voitaisiin siis annostella kalkkia 60 kg/h, ja prosessissa säilyisi sopiva puskuri, joka neutraloi syntyvät päästöt. SR-kertoimia säätämällä nostettiin hieman annosteltavan kalkin määrää.

Kalkinannostelun säätöön tutustuminen oli työn seuraava vaihe, koska se oli ollut manuaalisella säädöllä, ja kalkkia kuluisi mahdollisesti turhaan, jos raakakaasun päästöarvot olisivat alhaiset pidempiä jaksoja. Kalkinannostelu oli ollut aikaisemmin kaskadisäädöllä, joka perustuu laskentaan, mutta sen toimintavarmuutta oli alettu epäillä ja annostelua oli siis ohjattu manuaalisesti. Kaskadisäätöön tutustuessani löytyi syy annostelun äkilliseen karkailmiseen (luku 6.8), joka johtui lukitussäädöstä. Myös laskentaparametrit vaativat muutoksia. Suurin yksittäinen syy liialliseen kalkinannosteluun on ollut vääristä savukaasumääristä laskeminen. Kosteista savukaasuista laskeminen on johtanut liialliseen annostelumäärään, joten se muutettiin laskemaan kuivista savukaasumääristä, koska laskennassa käytettävät mitattavat pitoisuudetkin oli ilmoitettu kuivissa olosuhteissa. Liitteessä 3 on esi-

merkkikuva Honeywell-automaatiojärjestelmän kalkinannostelun rakenteesta.

Kaiken tutkimisen ja testaamisen jälkeen kalkinannostelu on nyt kaskadiohjauksella ja toimii hyvin ympäristöluvan ehtoja rikkomatta. Kalkinannostelu oli siis 70 kg/h, kun aloitin työn, ja se näyttäisi muutosten jälkeen keskiarvollisesti asettuvan noin 60 kg/h läheisyyteen. Jos verrataan vuoden 2010 annostelun määrään, joka oli noin 80 kg/h, voidaan huomata suuri prosentuaalinen putoaminen kalkinmäärässä, joka on noin 25 %. Liitteessä 4 voidaan havaita kalkinannostelun optimoinnin onnistuminen ja kalkin kulutuksen tasaantuminen noin 60 kg:aan/h.

Lopputuotteen määrän voidaan olettaa vähentävän yhden kilogramman aina, kun kalkkia vähenee kilogramma, perustuen vuoden 2010 kalkinannostelun määrän vähenemiseen ja lopputuotteen määrän vähenemisen yhteyteen.

Lopputuotteen väheneminen aiheuttaa kustannuksien pienentymistä ja saavutetaan lisäsäästöä. Lopputuotteesta aiheutuvat kustannukset jakaantuvat jäteyhtiöiden ja Hyötyvoimalaitoksen kesken. Hyötyvoimalaitoksen osuus kustannuksista on noin 7 % ja jäteyhtiöiden noin 93 %. Laskettaessa voimalan vuoden käyttötuntien (8 000 h) mukaan, voidaan arvioida lopputuotteen määrän vähenevän noin 160 t.

Sorbacal SP:n osalta on todettu, että sen käyttö ei ole taloudellisesti kannattavaa. Sorbacal SP soveltuu parhaiten voimalaitoksiin, joissa on suuremmat raakakaasun pitoisuusarvot. Nykyisin käytössä olevalla kalkilla saadaan neutraloitua savukaasun päästöt ympäristöluvan ehtojen mukaisesti. Sorbacal SP vähentää lopputuotteen määrän syntymistä, mutta sen myyntihinta on sen verran korkeampi kuin nykyisen kalkin, joten kalkkityypin vaihtaminen ei ole Hyötyvoimalaitokselle kannattavaa.

Opinnäytetyön tavoitteet saavutettiin, ja ympäristöluvan mukaisia päästöjen raja- arvoja ei ole rikottu. Liitteessä 5 olevien käyrien avulla voidaan havaita pientä nousua päästöissä, mutta noudatetaan selkeästi ympäristöluvan ehtoja. Arvot on redusoitu 11 %:n happipitoisuuteen, ja ne ovat 95 %:n luotamusvälillä, joten ne ovat todellisia arvoja, jotka lähetetään viranomaisille. Jätettä on poltettu ja höyryä on tuotettu vuonna 2011 enemmän kuin vuonna

2010. Osittain päästöjen arvojen nousemista siis selittää enemmän poltetun jätteen synnyttämät suuremmat päästöt (liite 6).

Opinnäytetyöni suurin säästöpotentiaali löytyy kalkinannostelun optimoimisessa. Kaiken opinnäytetyössä läpikäytyjen testien sekä parametrien säätämisen jälkeen, voidaan arvioida käytettävän kalkin määrän vähenevän vuodessa noin 160 t, laskettaessa vuotuisten (8 000 h) käyttötuntien perusteella.

Opinnäytetyö tulee olemaan Hyötyvoimalaitokselle hyödyllinen. Työn ansiosta on saatu tietoa ja varmuutta kalkinannosteluun. Kyseisestä aiheesta ei ole lukuisia tutkimuksia, joten Kotkan Energia Oy tulee saamaan etulyöntiaseman kilpailijoihin nähden, koska heillä on nyt kyseiseen asiaan liittyvää osaamista. Lisäksi opinnäytetyöstä johtuvan vuotuisen säästön voidaan laskea olevan *useita kymmeniä tuhansia euroja* Hyötyvoimalaitokselle ja jäteyhtiöille kun huomioidaan vähenevä kalkin ja lopputuotteen määrä. Arviot perustuvat vuoden 2010 tietoihin sekä opinnäytetyön laskelmiin.

LÄHTEET

1. Kotkan Energia Oy:n esittelykalvot 9 - 10.
2. Kotkan Energian kuva-arkisto
3. Keppel Seghers-diat
4. Kotkan Energialle myönnetty ympäristölupa. 1, 3, 7 .
5. NID for waste, käyttö- ja huolto-ohjeet. 2009. 2.
6. Alstom, Käyttö- ja huolto-ohjeet. 6 - 7, 10, 12.
7. Lhoist, poltetun kalkin käyttöturvallisuustiedote. 1 - 3.
8. Koudal Maul T, sähköpostikeskustelu 7.4.2011.
9. Perttilä J, sähköpostikeskustelu 7.4.2011.
10. Lhoist. Sorbacal SP-esittelylehti.

No	PID	Block	Block	Kuvaus	No	PID	Block	Block	Kuvaus
K001	10HTA20D0901	SRHCLC/CALC	73.0	ZnCl atomipaino	K075	10HTF10D0S001	RECI/RC	11520 l/h/gpr	Käetopdyln sulksuydyn kapasiteettikerroin
K002	10HTA20D0901	SRHCLC/CALC	64.0	SO ₂ atomipaino	K076	10HTF10D0S001	RECI/RC	15 mm/50Hz	Käetopdyln sulksuydyt. pyromitagneus 50 Hz
K003	10HTA20D0901	SRHCLC/CALC	56.0	CaO atomipaino	K106	10HTA20D0T001	TEMP/CALC	10.0 %-til	Savukaasun kosteus, alueen minimiarvo
K004	10HTA20D0901	GASCALC	1.1	SO ₂ emission, maksimikerroin	K107	10HTA20D0T001	TEMP/CALC	25.0 %-til	Savukaasun kosteus, alueen maksimiarvo
K005	10HTA20D0901	GASCALC	1.2	HCl emission, maksimikerroin	K108	10HTA20D0T001	WATER	5.00 °C	Lampotilan lasku lektusodatimessa
K007	10HTA20D0901	SRHCLC/CALC	0.000001	Skaalauskerroin	K112	10HTJ10D0S001	SLAKER	0.00	Kalkin sammutin, kuumakerroin
K008	10HTA10C7901		2900 Nm ³ /h	Kokonaiss fluidisointi- lmanalaatä, sama kuin LSP	K113	10HTJ10D0S001	SLAKER	0.00000	Kalkin sammutin, lampot. max.korjaus/100
K009	10HTA20D0901	SRHCLC/CALC	0.95 %CaO	Kalkin puhtaus	K125	10HTA20D0T001	TEMP/CALC	6.00 %RH	Suhteellinen kosteus, sallittu maksimi
K010	10HTA20D0901	PL_SO_2	75.0	SO ₂ säätö, uostulon skaalauskerroin	K126	10HTA20D0T001	TEMP/CALC	6.50 %RH	Suhteellinen kosteus, maksimi kiyattu arvo
K011	10HTA20D0901	PL_HCl	65.0	HCl säätö, uostulon skaalauskerroin	K127	10HTA20D0T001	WATER	0.00051 °C	Savukaasun enthalpiakerroin
K032	10HTA10C7901		120 Nm ³ /h	Lektusodatim, puhdistuslmanalaatä	K128	10HTF10D0S001	RECI/RC		Sekoitimen normaali käyntivirta
K034	10HTA10C7901	FFBALC/CALC	8.00 mbar	Lektusodatim, paine-ero	K130	10HTA20D0T001	WATER	2100 l/h	Sekoitimen normaali käyntivirta
K035	10HTA10C7901	FFBALC/CALC	65000 Am ³ /h	Lektusodatim, min.paine-eron kaasumäärä	K132	10HTA20D0T001	WATER	1 A	Sekoitimen normaali käyntivirta
K036	10HTA10C7901	FFBALC/CALC	130000 Am ³ /h	Lektus. paine-eron asetusarvon kaasumäärä	K155	10HTJ10D0S001	SLAKER	8.35 kg/h/Hz	Kalkkin amosin, kapasiteettikerroin
K039	10HTF10D0S001	RECI/RC	0.0	Käetopdyln amosisteli, off-set kerroin	K156	10HTJ10D0S001	SLAKER	45.0 kg/h	Kalkkin amosin, minimi amosistelumäärä
K040	10HTF10D0S001	RECI/RC	0.0	Käetopdyln amosisteli, parallel-kerroin	K157	10HTJ10D0S001	SLAKER	65.0 kg/h	Kalkkin amosin, maksimi amosistelumäärä
K041	10HTF10D0S001	RECI/RC		Käetopdyln amosisteli, X-tekijä	K158	10HTJ10D0S001	SLAKER	90.0 s	Kalkkin kuljettimen täyttöaika
K042	10HTF10D0S001	RECI/RC	0.0	Käetopdyln amosisteli, X ² -tekijä	SP01	10HTA20D0901	GASCALC	20.0 mg/h/m ³	SO ₂ pitoisuus pipussa
K043	10HTF10D0S001	RECI/RC	0.0	Käetopdyln amosisteli, X ³ -tekijä	SP03	10HTA20D0901	GASCALC	10.0 mg/h/m ³	HCl pitoisuus pipussa
K046	10HTF10D0S001	RECI/RC	15.0 Hz	Käetopdyln sulksuydyttn, min.kierrosnopeus	SP06	10HTA20D0901	GASCALC	2.8 Mol/Mol	SR-kerroin SO ₂
K047	10HTF10D0S001	RECI/RC	0.0	Sekoit. virta, käetopdylnäätän korjauskerroin	SP09	10HTE10C7901	FFBALC/CALC	8.8 mbar	Lektusodatimien paine-ero
K048	10HTF10D0S001	RECI/RC	0.0	Sekoit. virta, vakio	SP11	10HTA20D0T001	TEMP/CALC	5.6 %RH	Savukaasun suhteellisen kosteus
K049	10HTF10D0S001	RECI/RC	0.0	Sekoit. virtakorjauksen maksimivaikutus	SP12	10HTA20D0T001	TEMP/CALC	132 °C	Savukaasun lampot., minimi asetusarvo
K060	10DEB70D0T001		1.0	Sekoit. virtakorjauksen minimivaikutus	SP13	10HTF10D0S001	RECI/RC	1.1 paine-%	Kosteuden lisäys sekoitimessa
K061	10DEB70D0T001			Fluidisointi-lina, maksimilampotila	SP14	10HTF10D0S001	RECI/RC	1000.0 kg/m ³	Käetopdyln tiheys
K063	10HTK20D0S001		0.108 kg/h/Hz	Fluidisointi-lina, lampotilan asetusarvo	SP16	10HTA20D0P001		-0.6 Pa	Savukaasun paineen asetusarvo
K064	10HTK20D0S001		0.000060 kg/l	Aktiivihilen amosiston kapasiteettikerroin	SP17	10HTJ10D0S001	SLAKER	0.40	Water/lime ratio (kgH ₂ O/kgCaO)
K065	10HTA20D0T001	TEMP/CALC	5.00 °C	Aktiivihilen pitoisuus savukaasussa	K105	10HTA20D0T001	TEMP/CALC	142.00 °C	Savukaasun lampotilan asetusarvo
K067	10HTK20D0S001		2.70 kg/h	Lampotilan nosto ruuhoutuen aikana					
K074	10HTJ10D0S001		0.003 kg/h/m ³	Aktiivihilen minimimäärä					

21-Apr-11 12:35:50 Vesi-Höyry 10L CN60C0001 YLÄRAJALÄHTYYS H 00 TEHTAAN LAUHTTEEN S102

21-Apr-11 17:38:32

17:38:32

Alueen

Suhteen

00Tonnissa

Sinifis

Onar

Kotka Energia

