

Petri Parviainen

Hiilen kulutuksen määrittäminen jatkuva- toimisella savukaasun CO₂-mittauksella

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Energia- ja ympäristötekniikka

Insinöörityö

23.4.2012

<p>Tekijä Otsikko</p> <p>Sivumäärä Aika</p>	<p>Petri Parviainen Hiilen kulutuksen määrittäminen jatkuvatoimisella savukaasun CO₂-mittauksella.</p> <p>37 sivua + 5 liitettä 23.4.2012</p>
<p>Tutkinto</p>	<p>Insinööri (AMK)</p>
<p>Koulutusohjelma</p>	<p>Kone- ja tuotantotekniikka</p>
<p>Suuntautumisvaihtoehto</p>	<p>Energia- ja ympäristötekniikka</p>
<p>Ohjaaja</p>	<p>Yliopettaja Markku Jantunen Käyttöinsinööri Marko Lommi</p>
<p>Tämän insinööriyön tavoitteena on määrittää kuinka laskea Vantaan Energian Martinlaakson voimalaitoksen hiilikattilassa poltettavan hiilen määrä takaperin savupiipusta otetun hiilidioksidipäästömittauksen perusteella. Tarve tälle insinööriyölle tulee 21.6.2012 julkaistusta EU:n komission asetuksista N:o 600/2012 ja 601/2012, joiden myötä mittaukseen perustuvat menetelmät asetetaan tasavertaisempaan asemaan laskentaan perustuvien menetelmien kanssa.</p> <p>Perinteinen määrämittaukseen ja laboratorioanalyysiin perustuva menetelmä aiheuttaa epätarkkuutta, kun hiilen ominaisuudet muuttuvat kentällä seistessä. Hiilen kosteuspitoisuus kasvaa, jolloin laboratorioanalyysit eivät enää pidä paikkaansa päästökertoimen ja lämpöarvon osalta. Tästä aiheutuu ylimääräisiä kustannuksia energiaverossa sekä ongelmia kirjanpidossa.</p> <p>Saatujen tulosten perusteella takaperin laskennalla saatava hiilimäärä on noin 5 % pienempi kuin punnitsemalla saatu. Tulokset ovat yksityiskohtaisemmin esillä sivulla 28.</p> <p>Työssä tarkastellaan yleisesti kivihiiltä, hiilikattilalaitoksen toimintaa, CO₂-päästöjen tarkkailua ja energiaverotusta.</p>	
<p>Avainsanat</p>	<p>hiilidioksidi, päästömittaus, hiili, energiaverot</p>

Author Title	Petri Parviainen Determination of Carbon Flow by Measuring Carbon Dioxide Emissions
Number of Pages Date	37 pages + 5 appendices 23 April 2013
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Mechanical Engineering
Specialisation option	Energy and Environmental Engineering
Instructor	Markku Jantunen Principal Lecturer Marko Lommi Production Engineer
<p>The aim of this Bachelor's thesis is to determine how to calculate the amount of coal burned by measuring carbon dioxide emissions at Vantaa Energy Martinlaakso Power plant. The Need for this thesis comes from EU commission regulations No 600/2012 and 601/2012, which set measurement methods more equal with calculation based methods.</p> <p>The traditional method, which is based on weighing and laboratory analysis, causes inaccuracy when coal properties change while the coal is stationary in the field. The moisture content of the coal increases, which causes laboratory analyses to be inexact regarding the emission factor and the calorific value of the coal. This causes additional costs in energy taxes and problems in bookkeeping.</p> <p>Based on the results obtained in backward calculation, it was discovered that the amount of coal burned is about 5 % less than the amount obtained with weighing. To sum up, Coal, coal-fired boiler plant operation, CO₂-emissions monitoring and energy taxation are examined in the thesis.</p> <p>To sum up, Coal, coal-fired boiler plant operation, CO₂-emissions monitoring and energy taxation are examined in the thesis.</p>	
Keywords	carbon dioxide, emission monitoring, coal, energy tax

Sisällysluettelo

1	Johdanto	1
2	Kivihiili	3
2.1	Kivihiilen käyttötekniset ominaisuudet	3
2.1.1	Kosteus	3
2.1.2	Tuhka	4
2.1.3	Haihtuvat aineet/kiinteä hiili	4
2.1.4	Lämpöarvo	4
2.1.5	Päästökerroin	5
2.1.6	Alkuainekoostumus	5
2.1.7	Jauhautuvuus	5
2.1.8	Rikkipitoisuus	5
2.1.9	Tuhkan kuonaantumiskäyttäytyminen	6
2.2	Kivihiilen palaminen	6
2.2.1	Lämpeneminen ja kuivuminen	6
2.2.2	Syttyminen	6
2.2.3	Pyrolyysi	7
2.2.4	Jäännöshiilen palaminen ja kaasutus	7
2.3	Hapettumaton polttoaine	8
2.3.1	Hiilimonoksidi	8
2.3.2	Pohjatuhka	8
2.3.3	Lentotuhka	9
2.3.4	Lopputuote	9
3	Hiilikattilalaitoksen pääkomponentit ja toiminta	10
3.1	Hiilen pölypoltto	10
3.1.1	Hiilen varastointi ja kuljetus	11
3.1.2	Hiilenjakajat	12
3.1.3	Hiilimylyt	12
3.1.4	Polttimet	13
3.1.5	Tulipesä	13
3.1.6	Luvo	14
3.1.7	Sähkösuodatin	14
3.1.8	Rikinpoistolaitos	14

3.2	Vesi-höyrypiiri	15
3.2.1	Luonnonkiertokattilan toimintaperiaate	15
3.2.2	Kattila	16
3.2.3	Lieriö	17
3.2.4	Tulistimet	17
3.2.5	Ekonomaiseri	18
4	CO2-päästöt	19
4.1	Päästökauppa	19
4.2	Hiilidioksidi	19
4.3	Päästöjen tarkkailu	19
4.4	Perinteinen menetelmä	20
4.5	Jatkuvatoiminen päästömittaus	21
4.5.1	Mittalaitajärjestelyt	21
4.5.2	GM-35-kaasuanalysaattori	22
4.5.3	FLAWSIC-100M-virtausmittari	23
4.6	Metso DNA	26
5	Energiaverotus	27
5.1	Sähkön verotus	27
5.2	Kivihiilen verotus	27
5.3	Yhdistetyn tuotannon verotus	28
5.4	Verottomuuden toteuttaminen ja verottomat varastot	29
5.5	Verollisten polttoaineiden laskenta	30
6	Takaperin laskenta	31
6.1	Kaavat	31
6.2	Tulokset	32
6.3	Takaperin laskennan vaikutus hiilimäärään	33
6.4	Takaperin laskennan vaikutus energiaverotukseen	33
7	Yhteenveto	35
	Lähteet	37

Liitteet

Liite 1. Voimalaitoksen hiili, palamisilma ja savukaasut, PI-kaavio

Liite 2. Laboratorioanalyysi hiilestä

Liite 3. Lentotuhka-analyysi

Liite 4. Takaperin laskenta

Liite 5. Energiaveron laskenta

1 Johdanto

Tämä insinööri työ tehtiin Vantaan Energia Oy:lle Martinlaakson voimalaitoksella 15.9.2012 ja 23.4.2013 välisenä aikana. Työn aiheena oli määrittää kuinka laskea Martinlaakson voimalaitoksella poltettavan hiilen määrä savupiipusta otetun hiilidioksidimittauksen perusteella. Uusi mittauslaitteisto asennettiin vuoden 2013 alussa ja mittaustuloksia tähän työhön saatiin kolmen kuukauden ajanjaksolta.

Vantaan Energia on yksi Suomen suurimmista kaupunkienergiayhtiöistä. Yhtiön omistavat Vantaan (60 %) ja Helsingin (40 %) kaupungit. Vantaan Energia tuottaa ja myy sähköä ja kaukolämpöä. Lisäksi se tarjoaa maakaasua teollisuuden tarpeisiin. Merkittävä osa sähköstä syntyy tehokkaasti sähkön ja lämmön yhteistuotantona Martinlaakson voimalaitoksessa, jossa pääpolttoaineina ovat maakaasu ja kivihiili. Tarvittaessa enemmän kaukolämpötehoa saadaan 7 kiinteästä ja yhdestä siirrettävästä lämpökeskuksesta. Vantaan energia omistaa osuuksia myös muissa yhtiöissä. Näitä ovat Suomen Energia-urakointi Oy (25,9 %), Energia säästöpalvelu Enespa Oy (24,8), Suomen hyötytuuli Oy, EPV Energia Oy, Pohjolan voima Oy, Voimaosakeyhtiö SF sekä Svartisen Holding A/S Norjassa. [1.]

Vuonna 2012 Vantaan Energia konsernin liikevaihto oli 434,3 milj. €, josta liikevoittoa kertyi 34,7 milj. €. Emoyhtiö Vantaan Energia Oy:n liikevaihto oli 393,8 milj. €. Sähkön myynnin osuus liikevaihdosta oli 283,9 milj. € ja lämmön myynnin osuus 103,8 milj. €. Vantaan Energian oma ja osakkuussähköntuotanto oli yhteensä 1177 GWh, josta Martinlaakson voimalaitos tuotti 601 GWh sähköä ja 1483 GWh kaukolämpöä. Tuotetun sähkön määrä oli historiallisen alhainen, johtuen matalasta sähkön markkinahintatasosta. Henkilöstöä Vantaan Energian palveluksessa oli tilikauden aikana keskimäärin 352 henkilöä, joiden palkat ja palkkiot olivat yhteensä 19,3 milj. euroa. [1.]

Martinlaakson voimalaitos muodostuu kolmesta erillisestä voimalaitosyksiköstä. Martinlaakso 1:ssä on Tampellan valmistama luonnonkiertohöyrykattila, jossa on pääpolttoaineena maakaasu ja varapolttoaineena öljy. Sähköntuotantoa varten on kaksipesäinen vastapaineturbiini ja vetyjäähdytteinen generaattori. Martinlaakso 2:ssa on luonnonkiertohöyrykattila jossa on pääpolttoaineena kivihiili. Sähköä tuotetaan yksipesäisellä vastapaineturbiinilla ja ilmajäähdytteisellä generaattorilla. Martinlaakso

4:ssa on kaasuturbiini ja lämmöntalteenottokattila. Kaasuturbiini polttaa maakaasua, ja pyörittää alennusvaihteiston välityksellä generaattoria. Palamiskaasujen lämpöenergia otetaan talteen lämmöntalteenottokattilassa. Yksiköitä voidaan tarpeen mukaan ajaa ristiin, koska laitokset on mitoitettu lähes samoille höyrynarvoille. [1.]

Vantaan Energia rakentaa Vantaan Långmossenbergeniin jätevoimalaa, jossa tuotetaan sekä sähköä että lämpöä. Siellä tullaan tuottamaan vuosittain noin 920GWh lämpöä ja 600GWh sähköä. Polttoaineena tullaan käyttämään HSY:n ja Rosk`n Roll Oy:n sinne toimittamaa syntypaikkalajiteltua sekajätettä. Jätteet poltetaan arinapolttotekniikalla, minkä lisäksi polttoaineena käytetään maakaasua. Alustavan aikataulun mukaan jätevoimala on valmis 2014. Jätevoimalan lämmöntuotanto vastaa noin puolta Vantaan vuotuisesta lämmöntarpeesta. Jätevoimalan myötä hiilen käyttö sähkön ja lämmön tuotannossa vähenee noin 30 %, ja kokonaispäästöt vähenevät noin 20 %:lla nykyisestä. [1.]

2 Kivihiili

Kivihiili on syntynyt satojen miljoonien vuosien kuluessa maakerrosten väliin jääneistä kasveista. Kivihiili on maailman eniten käytetty polttoaine sähköntuotannossa. Suomessa kivihiilen käyttö on keskittynyt isoihin lauhde- ja kaukolämpölaitoksiin. Hiilen käyttökustannukset ovat kohonneet päästökaupan alettua ja verotuksen hiilidioksidisuuden kasvettua. Kivihiilen etuna on hyvä saatavuus ja kohtuullinen hankintahinta. Vuonna 2011 Martinlaakson voimalaitoksella poltettiin 186 504 tonnia kivihiiltä, jolla tuotettiin 409 378 MWh sähköä sekä 940 320 MWh lämpöä.

Kivihiiltä poltettaessa syntyy merkittäviä määriä rikkidioksidi- (SO_2), typen oksidi- (NO_x) ja hiukkaspäästöjä sekä hiilidioksidia. [2, s. 118 – 120]

2.1 Kivihiilen käyttötekniset ominaisuudet

Kivihiilen käyttötekniisiä ominaisuuksia kuvataan usealla eri arvolla. Käyttötekniset ominaisuudet riippuvat polttoaineen sisältämien alkuaineiden määristä. Kivihiilen ominaisuuksia kuvaavia arvoja ovat kosteus, tuhkapitoisuus, haihtuvat aineet, lämpöarvo, päästökerroin, rikkipitoisuus, alkuainekoostumus, jauhautuvuus ja tuhkan kuonaantumiskäyttäytyminen. [2, s. 121]

2.1.1 Kosteus

Kosteus on yksi merkittävimmistä kiinteille polttoaineille määritellyistä ominaisuuksista. Kosteus vaikuttaa suoraan polttoaineen teholliseen lämpöarvoon eli poltossa vapautuvaan lämpöenergiaan polttoaineen massayksikköä kohden. Yleisin kosteuden määritysmenetelmä on hiilinäytteen kuivaaminen lämpökaapissa ja kuivauksen aikana tapahtuvan lämmönmuutoksen määrittäminen punnitsemalla. [2, s. 121 - 122]

2.1.2 Tuhka

Tuhkalla tarkoitetaan sitä epäorgaanisen aineen massaa, joka jää jäljelle poltettaessa polttoainenäyte täydellisesti hapettavassa kaasukehässä. Tuhka ilmoitetaan painoprosentteina kuivan aineen painosta. Tuhka ei suoraan vastaa polttoaineessa olevan epäorgaanisen aineen määrää, sillä jotkut mineraalit voivat hajota tai hapettua polton aikana. Tuhkapitoisuuden määrittämisessä käytetään tavallisesti 1g:n näytemäärää ja kivihiilelle 815 ± 10 °C tuhkauslämpötilaa. [2, s. 122]

2.1.3 Haihtuvat aineet/kiinteä hiili

Haihtuvilla aineilla tarkoitetaan sitä polttoaineen osaa, joka kaasuuntuu kun polttoainenäyte kuumennetaan nopeasti korkeaan lämpötilaan ilmalta suojattuna. Haihtuvien aineiden määrä vaikuttaa palaessa muodostuvan liekin käyttäytymiseen. Kiinteällä hiilellä tarkoitetaan haihtuvien aineiden määrityksessä jäljelle jäävää hiiltojäännöstä, josta on poistettu tuhkan osuus. Haihtuvien aineiden määrittäminen tehdään tavallisesti 1g:n näytteelle. Näyte laitetaan suljettuun upokkaaseen, jossa se on määrätyn ajan määrityksessä lämpötilassa. Haihtuvien aineiden määrä lasketaan painonmuutoksesta ja ilmoitetaan painoprosentteina. [2, s. 122]

2.1.4 Lämpöarvo

Lämpöarvolla ilmoitetaan täydellisessä palamisessa vapautuva lämpöenergia. Lämpöarvo on energian tuotannon kannalta tärkein polttoaineominaisuus. Lämpöarvo ilmoitetaan energiana massayksikköä kohden. Yleisimmin käytettävä yksikkö on MJ/kg. Lämpöarvo voidaan ilmoittaa ylempänä lämpöarvona, jolloin polttoaineen sisältämä vesi oletetaan palamisen jälkeen nesteeksi, tai alempana lämpöarvona, jolloin kaikki vesi oletetaan höyrystyneeksi. Alemmasta lämpöarvosta käytetään myös nimitystä tehollinen lämpöarvo. Suomessa käytetään yleensä alemmaa lämpöarvoa. Lämpöarvo määritetään polttamalla tunnettu määrä polttoainetta puhtaassa hapessa ja mittaamalla vapautuva energiamäärä. [2, s. 122 - 124]

2.1.5 Päästökerroin

Päästökertoimella tarkoitetaan poltettaessa syntyvän hiilidioksidin määrää. Päästökerroin ilmoitetaan päästömääränä lämpöenergiaa kohden. Yleisesti käytetään yksikköä tCO_2/TJ . Päästökerroin määritetään polttoaineen hiilisisällön mukaan. Hiilisisältö selvitetään polttoaineen alkuainekoostumuksessa. Päästökertoimen laskemiseksi tarvitaan kokonaiskosteus, tehollinen lämpöarvo ja kokonaishiilipitoisuus. [3.]

2.1.6 Alkuainekoostumus

Kivihiilen koostumus voidaan jakaa karkeasti kolmeen osaan: palava aines, tuhkaa muodostava aines ja vesi. Tuhka ja vesi heikentävät molemmat polttoaineen laatua. Polton kannalta tärkeimmän ainesosan eli palavan aineksen pääkomponentit ovat hiili (C), vety (H), typpi (N), rikki (S) ja happi (O). Näistä lämpöarvon kannalta tärkeimpiä ovat hiili ja vety, kun taas typpi ja rikki ovat haitallisten palamistuotteiden lähtöalkuaineita. Vedyllä on korkea lämpöarvo, mutta sillä on myös lämpöarvoa pienentävä vaikutus, sillä se muodostaa palaessaan vettä. Happi voidaan polttoteknisesti rinnastaa palamattomaan ainekseen. Alhainen rikkipitoisuus on päästöjen kannalta toivottavaa, mutta rikinpoistolaitos vaatii toimiakseen tarpeeksi rikkiä savukaasuissa. Eu edellyttää BATin (Best Available Technology) käyttöä, joten rikinpoistolaitosta on pakko käyttää, vaikka päästönormeihin päästäisiin polttoainevalinnoilla. [2, s. 124 - 125]

2.1.7 Jauhautuvuus

Hardgrove indexillä kuvataan kivihiilen kovuutta jauhatuksessa. Tämä on merkityksellinen arvo kivihiilen pölypoltossa. Jauhautuvuus määritetään standardoidulla kuulamylyllä, jossa näytettä jauhetaan tietty kierrosmäärä ja jauhautuvuusaste määritetään seulalla. Tulosta verrataan standardihiilinäytteeseen. [2, s. 127]

2.1.8 Rikkipitoisuus

Rikin oksidit ovat haitallisia sekä ihmisten terveydelle että ympäristölle. Rikin oksidit vaurioittavat myös materiaaleja lisäämällä metallien korroosiota. Kivishiili sisältää rikkiä

0,2 - 5 paino-%. Rikkipitoisuus on polton kannalta tärkeä seurattava arvo. Polttoaineen rikkipitoisuuden tulee olla riittävän pieni, jotta saavutetaan säädetyt päästöraja-arvot. [2, s.128]

2.1.9 Tuhkan kuonaantumiskäyttäytyminen

Joidenkin polttoainelaatujen muodostama tuhka on huomattavasti kuonaavampaa kuin toisten. Tätä on perinteisesti pyritty arvioimaan tuhkan sulamislämpötilojen ja koostumusanalyysien perusteella, mutta kyseisen käyttäytymisen ennustettavuus on hankalaa. Myös kattilan rakenne vaikuttaa tuhkan kuonaantumiskäyttäytymiseen. [2, s. 128]

2.2 Kivihiilen palaminen

Polttoaineen palaminen jakautuu eri vaiheisiin. Ensin polttoainepartikkeli lämpenee kuivumislämpötilaan. Kuivumisesta seuraa pyrolyysi, ja sen jälkeen jäännöshiili palaa. Isommille partikkeleille nämä vaiheet voivat olla osittain päällekkäisiä. Palamisen ylläpysyminen vaatii kolmea asiaa: happea, lämpötilaa ja polttoainetta. Yleensä palamista säädellään säätämällä polttoainevirtaa. Palamisprosessia optimoidaan säätämällä palamislämpötilaa, hapen tuontia sekä hiilen partikkelikokoja. Hiilen partikkelikoon muuttaminen muuttaa palamisaikoja sekä palamislämpötilaa. [2, s. 186]

2.2.1 Lämpeneminen ja kuivuminen

Kun polttoainepartikkeli on lämmennyt kuivumislämpötilaan, sen sisältämä vesi alkaa höyrystyä. Palamisolosuhteissa kaasun lämpötila on korkea, jolloin vesi höyrystyy lähellä kiehumispistettä. Ainesirtoa nopeuttaa paine-ero, kun veden tilavuus laajenee höyrystyessä. Höyrystynyt vesi jatkaa matkaansa savukaasujen mukana tulipesässä. [2, s. 189 - 192]

2.2.2 Syttyminen

Polttoaine voi syttyä apuenergian avulla, jolloin läheisyydessä on joko liekki tai muu hiukkasen sytyttävä energianlähde tai hiukkanen voi syttyä lämmettyään tarpeeksi kuumaksi. Syttyminen edellyttää happea ympäröivässä kaasussa. Kun lämmönkehitys

ylittää lämpöhäviöt, hiukkasen lämpötila nousee nopeasti uuteen tasapainotilaan. Syttymisaikaan vaikuttavia tekijöitä ovat hiukkaskoko, lämpötila, happipitoisuus ja polttoaineen ominaisuudet. Suuri haihtuvien ainesosien määrä johtaa yleensä matalampaan syttymislämpötilaan. [2, s. 192]

2.2.3 Pyrolyysi

Pyrolyysilla tarkoitetaan kiinteän aineen muuntumista lämmötuonnin vuoksi kaasu- tai tervamaiseen muotoon. Pyrolyysissa syntyviä kaasuja kutsutaan haihtuviksi aineiksi, ja jäljelle jäänyttä osaa jäännöshiileksi. Jäännöshiilen palamista edeltää aina pyrolyysivaihe. Hiilillä noin 10 - 40% massasta vapautuu pyrolyysissä. Pyrolyysi on nopea prosessi verrattuna jäännöshiilen palamiseen. Pyrolyysi aiheutuu lämmötuonnista, joten pyrolyysituotteita vapautuu myös kun happea ei ole saatavilla, jos ympäristön lämpötila on riittävän korkea. [2, s. 192 - 198]

2.2.4 Jäännöshiilen palaminen ja kaasutus

Kun haihtuvat ainesosat ovat pyrolysoituneet, jäljelle jäänyt hiili palaa. Palamisreaktioita kutsutaan yleensä eksotermisiksi ja kaasutusreaktioita endotermisiksi reaktioiksi. Palavan hiukkasen atmosfäärinä on tavallisesti ilma tai ilman ja savukaasun seos. Kiinteän aineen ja kaasun väliset reaktiot ovat seuraavat:

Palamisreaktiot

- $C+O_2=CO_2$ $\Delta h=-32,8$ MJ/kg
- $C+1/2O_2=CO$ $\Delta h=-9,258$ MJ/kg

Kaasutusreaktiot

- $C+CO_2=2CO$ $\Delta h =14,3$ MJ/kg
- $C+H_2O=CO+H_2$ $\Delta h =10,9$ MJ/kg
- $C+2H_2=CH_4$ $\Delta h =-6,24$ MJ/kg

Reaktioentalpiat ovat lämpötilassa 298.15 K, negatiivinen etumerkki liittyy eksotermiseen reaktioon. Hapen rajoitettu diffuusionopeus polttoainepartikkelin pintaan asettaa ylärajan palamisnopeudelle. [2, s. 202 - 207]

2.3 Hapettumaton polttoaine

Kaikki polttoaine ei hapetu hiilidioksidiksi tulepesässä, vaan osa polttoaineen hiilisisällöstä jää hapettumatta. Puutteellinen hapettuminen johtuu epätäydellisestä palamisesta. Palamisen säädössä palamattomien osuus pyritään pitämään pienenä, kuitenkin käyttämättä turhan suurta ilmakerrointa. Suuremman ilmakertoimen käyttö huonontaa kattilan hyötysuhdetta Päästölaskennassa hapettumattomien osuus otetaan huomioon hapettumiskertoimella. Kivihiiltä poltettaessa oletetaan, että 99 % hapettuu hiilidioksidiksi. Maakaasun hapettumiskerroin on 0.995. Hapettumatta jäänyt hiilisisältö palaa joko hiilimonoksidiksi tai sitoutuu tuhkaan. Tuhkan hyötykäytettävyyden kannalta hiilijäännöspitoisuutena pyritään pitämään alle 5 %. [3.]

2.3.1 Hiilimonoksidi

Hiilimonoksidi eli häkä on hiilen ja hapen yhdiste, jota syntyy epätäydellisessä palamisessa, kun ympäristössä on liian vähän happea tai kun palaminen tapahtuu hyvin korkeassa lämpötilassa. Hiilimonoksidi palaa sinisellä liekillä, kun happea on saatavilla. Hiilen hapettuessa hiilimonoksidiksi syntyy vähemmän energiaa, kuin jos hiili hapettuisi suoraan hiilidioksidiksi. Polton kannalta on edullista pitää hiilimonoksidipitoisuus mahdollisimman alhaalla, kuitenkin mahdollisimman pienellä ilmakertoimella. Hiilimonoksidin kertyminen kattilaan aiheuttaa myös korroosioriskin.[4, s. 78]

2.3.2 Pohjatuhka

Tulipesän pohjalle kerääntyvää tuhkaa kutsutaan pohjatuhkaksi. Pohjatuhkan osuus syntyvästä tuhkamäärästä on hiilen pölypoltossa alle 10 %. Pohjatuhka jäähdytetään kattilan pohjalla sijaitsevassa vesialtaassa, jonka pohjalta tuhkakuljetin siirtää jäähtyneen tuhkan lavoille tuhkaneräykseen. Pohjatuhkasta otetaan näytteitä, jotka tutkitaan ja selvitetään onko tuhka kaatopaikkakelpoista. Pohjatuhkan TOC-pitoisuus eli orgaaninen kokonaishiilimäärä on 5 % luokkaa. [4, s. 130 – 131]

2.3.3 Lentotuhka

Savukaasujen mukana kulkeutuvaa tuhkaa kutsutaan lentotuhkaksi. Lentotuhka poistetaan savukaasuvirrasta sähkösuodattimella ja johdetaan siitä tuhkasiilon. Tuhkasiilosta lentotuhka sekoitetaan lopputuotteeseen loppusijoitusta varten. Lentotuhkan TOC-pitoisuus on 3 %:in luokkaa. Lentotuhkan laboratorioanalyysi on liitteessä 3. [4, s. 130 - 131]

2.3.4 Lopputuote

Lopputuote kerätään rikinpoistoreaktorin pohjalta, sekä letkusuodattimesta. Lopputuote kuljetetaan rikinpoistolaitokselta lentotuhkasiilon viereen. Siilojen välisessä tilassa on sekoitusasema, jossa lopputuote ja lentotuhka sekoitetaan keskenään suhteessa 35/65 %. Lopputuote koostuu suurimmaksi osaksi kalkin reaktiotuotteista. Lentotuhkaa lopputuotteesta on 1-2 %. Nykyään lentotuhkaa ja lopputuotetta ajetaan vuorokuormin kaivosten täyttöaineeksi suhteella 50/50 %. [3.]

3 Hiilikattilalaitoksen pääkomponentit ja toiminta

Hiilikattilalaitoksen voi karkeasti jakaa kahteen ainevirtaan. Kattilaan tuodaan energiaa kuljettamalla ja käsittelemällä kivihiiltä. Kivihiili kuljetetaan hiilikentältä hinnakuljettimella siiloihin, josta se syötetään hiilenjakajilla hiilimyllyihin, joissa hiili jauhaantuu ja kuivuu kuuman kantoilman siirtäessä sen kattilaan polttoon. Palaessaan ilman kanssa hiili muodostaa savukaasuja ja tuhkaa, jotka kulkevat tulistimien, syöttöveden esilämmittimen, palamisilman esilämmittimen, sähkösuodattimen ja rikinpoistolaitoksen kautta savupiippuun. Martinlaakson 2-kattilan hiili, palamisilma ja savukaasukanaviston PI-kaavio on esitelty liitteessä 1.

Kattilaan tuotu energia hyödynnetään Vesi-höyrypirissä. Lämpö siirtyy veteen kattilan keittopinnoilta, ja vesi osittain höyrystyy. Vesi erotetaan höyrystä lieriössä, josta höyry matkaa tulistimien kautta höyryturbiiniin. Höyryturbiinin jälkeen höyry lauhdutetaan kaukolämmönvaihtimessa ja tuodaan syöttövesipumpulla esilämmittimien kautta takaisin lieriöön.

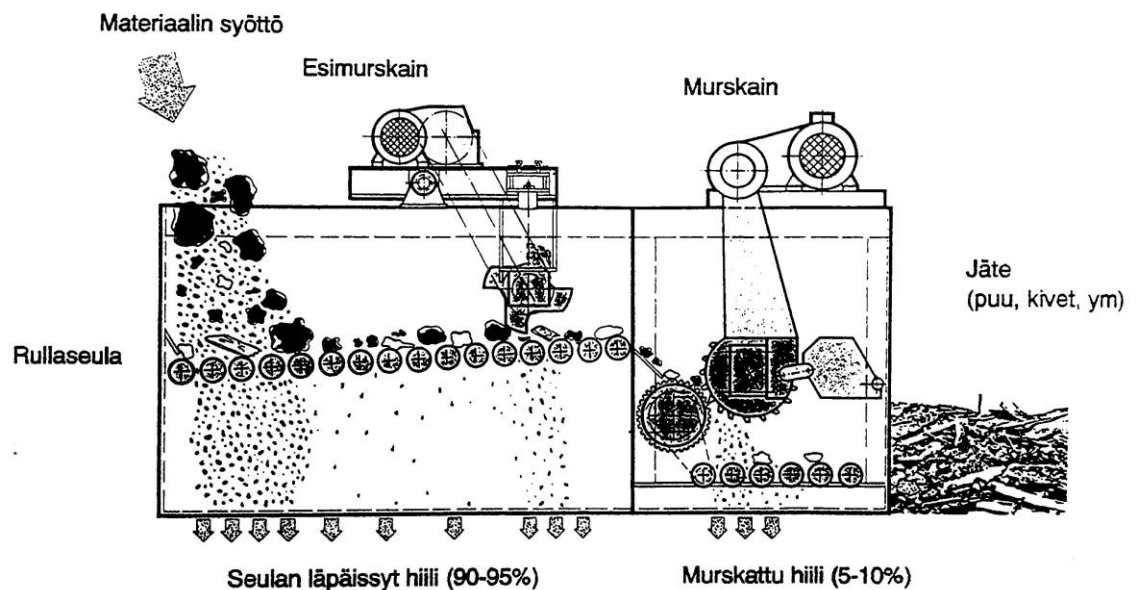
3.1 Hiilen pölypoltto

Pölypoltossa polttoaine jauhetan hienoksi ennen sen syöttämistä tulipesään. Jauhaminen mahdollistaa nopean palamisen, ja siten suurten lämpötehojen tuomisen kattilaan. Pölypoltto soveltuu kaikenkokoisille kattiloille, mutta tarvittavien oheislaitteiden suuren määrän vuoksi se on yleensä kannattavaa vasta suurilla kattilatehoilla. Suomessa pääsääntöisesti kaikki isommat kivihiiltä ja jyrsinturvetta polttavat kattilat ovat pölypolttoisia. [4, s. 127]

3.1.1 Hiilen varastointi ja kuljetus

Hiiltä maahantuovien energiayhtiöiden on velvoitevarastolain nojalla pidettävä hiiltä varmuusvarastossa 3 kuukauden keskimääräistä tuontia vastaava määrä. Vantaan Energialla on hiillelle 3 varastopaikkaa. Hiili tuodaan laivoilla joko Inkoossa tai Kantvikissa sijaitseviin varastoihin, josta se tarpeen mukaan kuljetetaan Martinlaaksossa sijaitsevalle hiilikentälle. Hiilikentälle tuotava hiili punnitaan portilla sijaitsevalla autovaa’alla.

Kentältä hiili siirretään pyöräkuormaajalla hiilikuljettimelle. Kuljettimella hiili kulkee ensin murskaamoon, jossa se seulotaan rullaseulalla. Kuvassa 1 on esitetty hiilen esimurskausmenettelyt. Seulan läpäisemättä jäänyt tai muuten paakkuuntunut hiili murskataan valssimurskaimella. Tämän jälkeen hiilen joukosta poistetaan metalliesineet magneettierottimella. Ei-magneettisten metallien havaitsemiseksi käytetään hälyttävää metallinilmaisinta. Magneettierottimen jälkeen hiili punnitaan hihna vaa’alla ja kuljetetaan siiloihin. [4, s. 50 - 51]

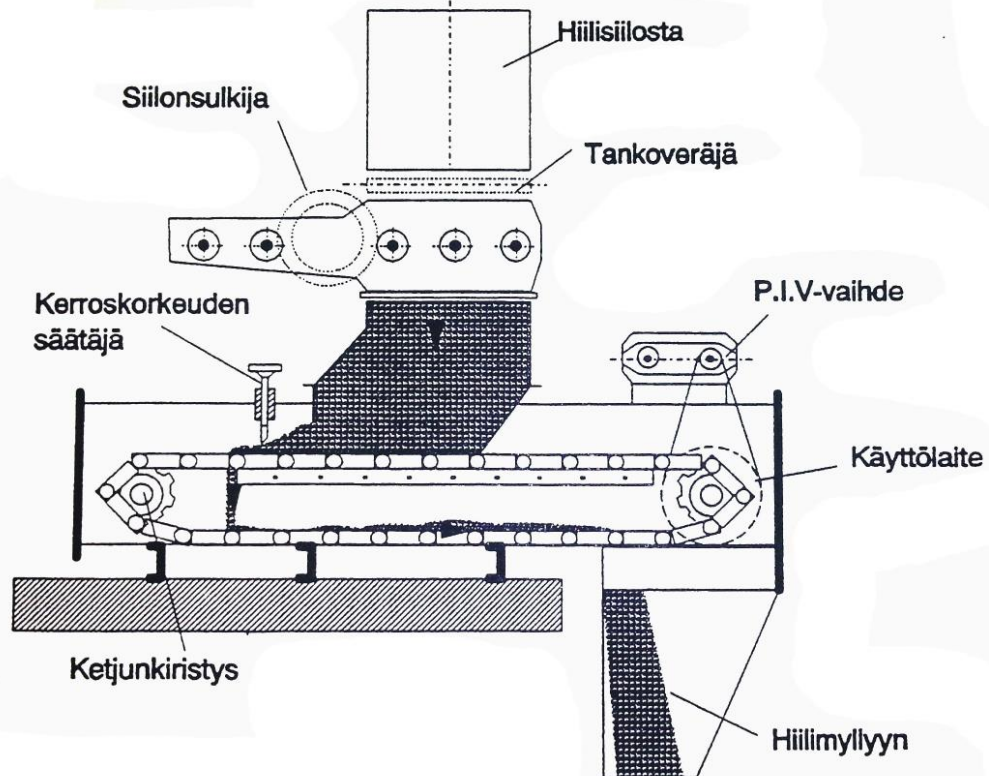


Kuva 1. Hiilen esimurskaus ennen hihnakuuljetinta [4, s.52]

Martinlaakson voimalaitoksella on 3 hiilisiiloa, jotka sijaitsevat rinnakkain kattilahallin yläkerroksessa. Kunkin siilon tilavuus on alun perin mitoitettu vastaamaan noin vuorokauden kulutusta. Siilot korjattiin vuonna 2012, jolloin niiden tilavuus pienentyi, ja ne vastaavat nykyään noin kahden vuorokauden kulutusta. Jokaisessa siilossa on oma pinnankorkeusmittaus, jota käytetään hiilen kokonaiskulutuksen seurannassa. [3.]

3.1.2 Hiilenjakajat

Suoraan siilojen alapuolella sijaitsevat hiilenjakajat, joiden tehtävä on syöttää hiili siilosta hiilimyllyyn sekä säätää hiilimäärää. Hiili siirtyy ketjussa kiinniolevien kolien avulla. Hiilimäärää voidaan siirtää kerroskorkeutta säätämällä tai muuttamalla kuljettimen nopeutta. Hiilenjakajan toiminta on esitelty kuvassa 2. [4, s.54]



Kuva 2. Hiilenjakaja [4, s.54]

3.1.3 Hiilimyllyt

Hiilenjakajien alla on kolme Claudius Peters EM 59-585-kuulamyllyä. Myllyt on tarkoitettu hiilen jauhamiseen hiilipölyksi. Kukin mylly pystyy jauhaamaan hiiltä 4,15 kg/s. Hiilen lisäksi myllyyn tulee kantoilma, joka kuljettaa hiilipölyn kattilan polttimille. Kantoilmaa tulee 6,3 m³/s, sen lämpötila tullessa on 300 °C ja 100 °C myllyn jälkeen. Jauhettava hiili johdetaan raaka-ainetorven kautta alempaan jauhatusrataan, josta se joutuu kuulien alle. Jauhinkuulat ovat onttoja paksuseinäisiä kuulia, ja pyörivät jauhirenkaiden välissä kuin aksiaalikuulalaakerissa. Tarvittava jauhatuspaine eli jauhirenkaiden välinen voima säädetään puristusjousilla, jotka kiristetään hydraulisella kiristyslaitteella. Myllyilma tulee alemman jauhirenkaan kehällä olevan suutinrenkaan

läpi jauhatustilaan, josta jauhettu aine seuraa ilman mukana keskipakoiserottimeen. Hieno pöly jatkaa matkaansa polttimille ja karkeudet virtaavat takaisin jauhatustilaan.

Jokaisesta hiilimylystä lähtee 4 kpl hiilipölyputkia, jotka johtavat hiilipölyn kattilan nurkissa sijaitseviin hiilipölypolttimiin. Hiilipölyputkien koko on mitoitettu siten, että hiilipölyn virtausnopeus on 28,8 m/s. Lämpötila pölyputkissa on säädetty vakioksi 100 °C. [5.]

3.1.4 Polttimet

Polttimet ovat sijoitettu kattilaan nurkkiin korkeussuunnassa alhaalta ylöspäin seuraavasti:

- Alin hiilipölypoltin on alimman öljypolttimen yläpuolella
- Toinen hiilipölypoltin on toisen öljypolttimen yläpuolella
- Kolmas hiilipölypoltin on kolmannen öljypolttimen yläpuolella

Jokaiseen polttimeen kuuluu öljy- ja kaasutoimisten sytytys- ja tukipolttimien lisäksi ristikkoilmasuutin ja yläilmasuutin. Jokaisessa polttimessa on siis 2 kpl ilmasuuttimia, joilla palamisilma ohjataan tulipesään. Polttimen tehtävänä on sekoittaa polttoaine palamiseen tarvittavaan sekundääri-ilmaan. Polttoaine syttyy palamaan tulipesän lämmön vaikutuksesta ja palaa tulipesään muodostuvassa kaasuvirtauksessa. Tulipesän yläosassa syötetään tertiääri-ilma loppuun palamisen saattamiseksi. Polttimella pyritään saavuttamaan mahdollisimman täydellinen palaminen, jotta päästöt ja ilmaylimäärä jäävät vähäisiksi. [5.]

3.1.5 Tulipesä

Hiilipöly palaa tulipesässä muodostaen tuhkaa, savukaasuja ja lämpöä. Osa tuhkasta putoaa kattilan pohjalle, jossa olevassa vesi-altaassa se jäähtyy ja se siirretään kolakuljettimella lavoille odottamaan poiskuljetusta. Loppu syntyvä tuhka on lentotuhkaa, joka kulkeutuu savukaasujen mukana tulistimien, syöttöveden esilämmittimen ja palamisilman esilämmittimen läpi sähkösuodattimeen. [5.]

3.1.6 Luvo

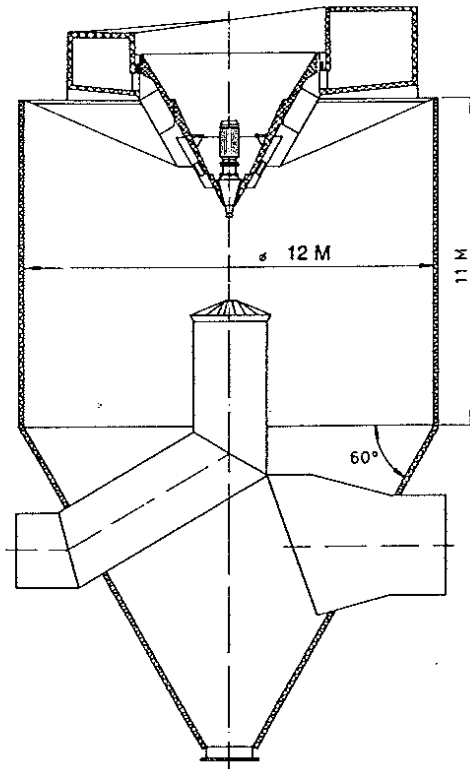
Luvo eli ilmanesilämmitin hyödyntää savukaasujen sisältämää lämpöenergiaa palamisilman esilämmitykseen. Palamisilman esilämmitys on erityisen tärkeää kivihiilen pölypoltossa. Esilämmitetyllä palamisilmalla kuivataan polttoainetta ja siten tehostetaan polttoaineen syttymistä ja palamista. Luvo on kattilan viimeinen lämmönsiirrin. Luvon jälkeinen savukaasujen lämpötila määrytyy happokastepisteen mukaan. Martinlaaksossa on regeneratiivinen ns. Ljungström luvo, jossa lämpöpintana olevat levykennot pyörivät akselinsa ympäri ja savukaasu- ja ilmakehät pysyvät paikoillaan. Savukaasujen lämpöenergiaa varastoituu kennostoon ja vastaavasti kennosto luovuttaa lämpöenergiaa palamisilmaan. [3, s. 180 – 182]

3.1.7 Sähkösuodatin

Sähkösuodattimen tehtävä on erottaa kiinteitä epäpuhtauksia kuten hiukkasia ja lentotuhkaa savukaasuista. Sähkösuodattimessa varataan kaasuvirrasta erotettavat hiukkaset negatiivisesti, kun ne kulkevat ionisoituneen vyöhykkeen läpi. Sähkösuodatin koostuu kahdesta elektrodista: emissioelektrodista ja erotuselektrodista. Näiden välillä on suuri jännite, joka aiheuttaa voimakkaan sähkökentän. Negatiivisesti varatut pölyhiukkaset kulkeutuvat kohti erotuselektrodia, johon ne kiinnittyvät. Kiinnittynyt lentotuhka poistetaan ja sijoitetaan lentotuhkasiiloon. Lentotuhkapitoisuus sähkösuodattimen jälkeen on mitoitettu arvoon 150 mg/Nm³. Sähkösuodattimen jälkeen savukaasut saapuvat rikinpoistolaitokselle.[3, s. 233 - 234]

3.1.8 Rikinpoistolaitos

Martinlaakson voimalaitoksella käytettävä rikinpoistoprosessi on niin kutsuttu puolikuiva rikinpoistomenetelmä. Rikinpoistolaitoksella esipuhdistetut savukaasut tuodaan rikinpoistoreaktoriin lämpötilassa n. 130 °C kattilan ollessa täydessä kuormassa. Reaktorissa savukaasuihin sumutetaan reagoiva kalkkiliete pieninä pisaroina. Keskimääräinen pisarakoko on 30 - 40 µm, tällöin 1 litra lietettä muodostaa noin 200 m² absorptiopinta-alaa rikkidioksidin kanssa. Reaktorin virtausolosuhteet on mitoitettu siten, että lietepisararat ehtivät reaktorin läpi kulkiessaan kuivua jolloin muodostuu pölymäistä helpommin käsiteltävää lopputuotetta. Reaktorissa kaikki happamat kaasukomponentit reagoivat kalkin Ca(OH)₂ kanssa. Muodostuneet reaktiotuotteet saadaan kuivana pölynä talteen osittain reaktorin pohjalta, mutta suurin osa kulkeutuu letkusuodattimille. Kuvassa 3 on esitelty rikinpoistoreaktori. [6.]



Kuva 3. Rikinpoistoreaktori [6.]

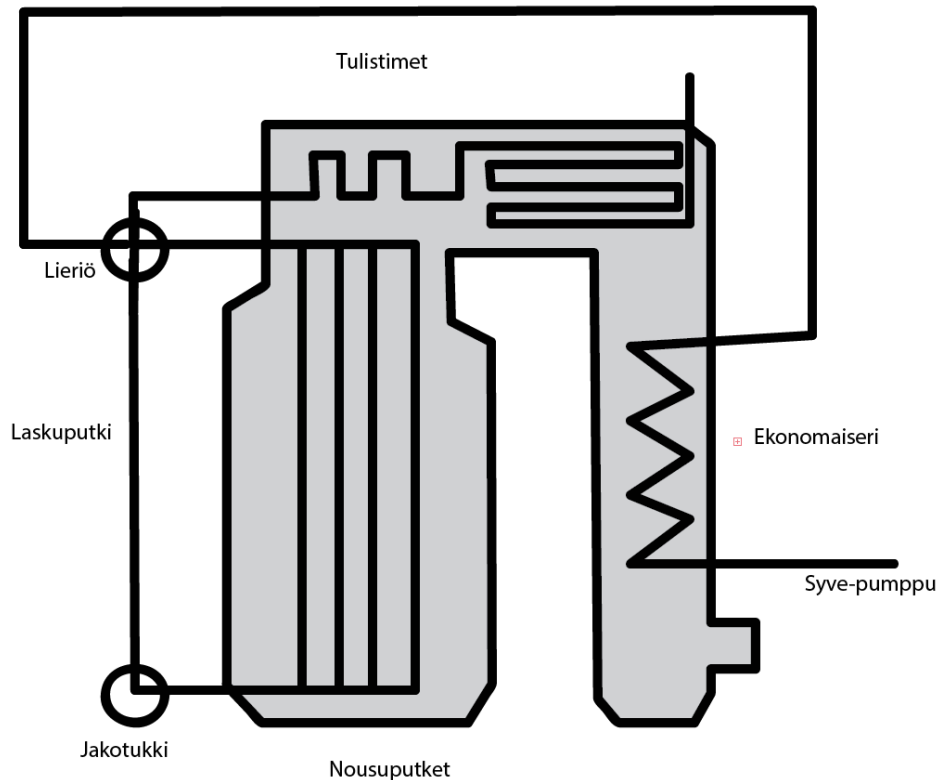
Martinlaakson voimalaitoksen letkusuodatin koostuu kuudesta eri kammiosta. Letkusuodattimessa tapahtuu savukaasujen puhdistus kiintoaineesta. Lisäksi suodatinkankaan pinnalle jäänyt kalkki reagoi lopun savukaasun sisältämän rikin kanssa parantaen laitoksen kokonaiserotuskykyä. Pölypitoisuus letkusuodattimen jälkeen on luokkaa 5 - 20 mg/Nm³. Letkusuodattimen jälkeen savukaasut kulkeutuvat savupiipun kautta ulkoilmaan. [6.]

3.2 Vesi-höyrypiiri

3.2.1 Luonnonkiertokattilan toimintaperiaate

Martinlaakson 2-kattila on veden luonnonkierrolla toimiva vesiputkikattila. Luonnonkiertokattilassa veden kierto perustuu veden tiheyden pienenemiseen sen lämmitessä. Keittopintoina toimivilla tulipesän seinillä lämpö siirtyy kattilaveteen, joka osittain höyrystyy. Vesi-höyryseoksen tiheys on pienempi kuin lieriöstä laskuputkien kautta virtaava kattilavesi. Tällöin vesi kiertää tiheyserojen vaikutuksesta.

Syöttövesi johdetaan syöttövesipumpusta lieriöön syöttövesiputkiston ja esilämmittimien kautta. Lieriöstä kattilavesi siirtyy laskuputkia pitkin seinäpintaputkien jakokammioihin kattilan alaosaan, josta vesi nousee seinäputkia pitkin takaisin lieriöön. Lieriössä höyry erottuu vedestä ja se johdetaan höyrynerottimien läpi putkia pitkin tulistimeen. Tulistettu höyry virtaa turbiiniin tai reduktioasemalle. Luonnonkiertokattilan vesi-höyrypiiri esitetään kuvassa 4. [5.]



Kuva 4. Luonnonkiertokattilan vesi-höyrypiiri

3.2.2 Kattila

Martinlaakso 2 hiilikattila on Ahlströmin valmistama, ja se on valmistunut vuonna 1982. Kattila on mitoitettu 80 kg/s tuorehöyryvirralle ja sen teho on ollut alun perin 196 MW. Kattilaa on vuosien aikana modernisoitu, jolloin höyryvirtaus on saatu nostettu 92 kg/s ja polttoaine teho noin 260 MWiin Kattila tuottaa täydellä kuormalla 535 °C lämpöistä höyryä 117 barin paineella. Kattilan tulipesä on 18 m korkea, tilavuudeltaan 1375 m³ ja lämpöpintaa on 804,4 m². [3 ; 5]

3.2.3 Lieriö

Höyrylieriössä tapahtuu kattilan keittopinnoilla höyrystyneen vesihöyryn erottaminen kattilavedestä. Lieriö toimii myös vesivarastona, ja tasaa kuormitusvaihteluiden aiheuttamia äkillisiä muutoksia. Höyrylieriö on sijoitettu kattilan yläosaan etuseinän ulkopuolelle. Kylläinen höyry kuivatetaan CE-sykloneissa ja höyrykuivausdemisterissä, joiden jälkeen höyry kulkeutuu tulistimille. Syöttövesipumpun pumppaama syöttövesi ja muu lauhtunut vesi kulkeutuu lieriöstä laskuputkia pitkin jakotukkiin, jossa vesi jaetaan jälleen kattilan höyrystinputkiin. Lieriöstä poistetaan kattilaveden epäpuhtauden jatkuvalla ulospuhalluksella. Lieriön tilavuus on 16 m³. Se on suunniteltu 139 barin paineelle ja 337 °C lämpötilalle. [5.]

3.2.4 Tulistimet

Tulistin on höyrykattilakomponentti, jolla höyrystetty vesihöyry lämmitetään höyrystyslämpötilaa korkeampaan lämpötilaan. Mitä kuumempaa höyry on tullessaan turbiinille, sitä enemmän siitä saadaan liike-energiaa. Materiaalitekniikan rajoitusten vuoksi tulistustilalämpötilat ovat korkeimmillaan n. 550 °C.

Tulistimet sijoitetaan tulipesän yläosaan. Tulipesän yläosassa lämpötila on vielä riittävän korkea tulistustilalämpötilan saavuttamiseksi. Lämpötilan säätö voidaan toteuttaa ruiskuttamalla vettä tulistetun höyryn joukkoon, mikäli höyryn lämpötila pyrkii nousemaan liian korkeaksi. Tulistimet voidaan sijoitustapansa mukaan jakaa säteilytulistimiin, verhotulistimiin, konvektiotulistimiin ja yhdistelmätulistimiin.

Martinlaakson voimalaitoksen hiilikattilassa on kolmiosainen tulistin. Se koostuu kattilan yläosaan sijoitetuista I-tulistimesta, II-tulistimesta ja III-tulistimesta. Höyryn virtaussuunnassa tulistimet ovat järjestyksessä I-, II-, III-tulistin. Savukaasujen virtaussuunnassa tulistimet ovat järjestyksessä II-, III-, ja I-tulistin. II-tulistin on säteilytulistin ja muut konvektiotulistimia. [5.]

3.2.5 Ekonomaiseri

Ekonomaiserin, eli syöttöveden esilämmittimen tehtävä on lämmittää syöttövettä ennen keittoputkistoa. Kattilassa tulistimien jälkeiset savukaasut ovat vielä varsin korkeassa 600 - 800 °C lämpötilassa. Kattilan hyötysuhde olisi huono, ellei savukaasuja jäädytettäisi enempää. Sijoittamalla syöttöveden esilämmitys savukanavaan saadaan savukaasut jäähtymään lähelle syöttöveden tulolämpötilaa. Syöttövettä lämmitetään turbiinin väliottohöyryllä ennen kuin se tulee savukaasulämmitteeseen ekonomaiseriin. Ekonomaiseriin tulevan veden lämpötila on 100 - 250 °C, jolloin ekonomaiserin jälkeinen savukaasun lämpötila on 250 - 450 °C. Martinlaakson 2-kattilan ekonomaiseri muodostuu yhdestä teräspuutkipaketista, joka on ripustettu kattilan takavetoon. Martinlaaksossa ekonomaiseriin tulevan veden lämpötila on 230 °C ja lähtevän veden lämpötila 272 °C. [5.]

4 CO₂-päästöt

4.1 Päästökauppa

EU:n sisäinen päästökauppa alkoi vuoden 2005 alussa. Kolmas EU:n päästökauppa-kausi alkoi vuoden 2013 alussa ja jatkuu vuoteen 2020 saakka. Päästökauppalakia sovelletaan yli 20 MW:in laitoksille. Suomessa päästökauppa koskee noin 600 laitosta. Päästökaupan piiriin kuuluva laitos tarvitsee päästöluvan. Lupia myöntää energiamarkkinavirasto. Päästölupahakemuksessa tulee esittää tarkkailusuunnitelma, josta ilmenee hiilidioksidipäästöjen tarkkailumenetelmät. Päästöluvan lisäksi tarvitaan päästöoikeudet, jotka määrittelevät laitokselle myönnetty päästömäärät vuosittain. Päästöoikeushakemukset käsittelee työ- ja elinkeinoministeriö ja päästöoikeudet myöntää valtioneuvosto. Edelliselle päästökauppa-kaudelle Vantaan Energia sai ilmaisia päästöoikeuksia 3 758 537 tonnia. Päästöoikeuksien hinta päästökaupan alkaessa oli noin 30 €/tonni hiilidioksiditonnilta, mutta talouslaman myötä hinta on romahtanut ja on enää 7 € tonnilta. [7.]

4.2 Hiilidioksidi

Hiilidioksidi on hilestä ja hapesta koostuva yhdiste. Normaaliolosuhteissa hiilidioksidi on hajuton, myrkytön ja huonosti reagoiva kaasu. Sitä on ilmakehässä keskimäärin 0,028 %. Hiilidioksidia syntyy hiilipitoisten aineiden palamistuotteena, kuten palaessa ja soluhengityksessä. Hiilidioksidi on merkittävä ilmastoa lämmittävä kasvihuonekaasu, sillä se päästää näkyvän valon lävitseen, mutta absorboi voimakkaasti lämpösäteilyä. Suurin osa kivihiilen palamistuotteista on hiilidioksidia. [4, s. 85]

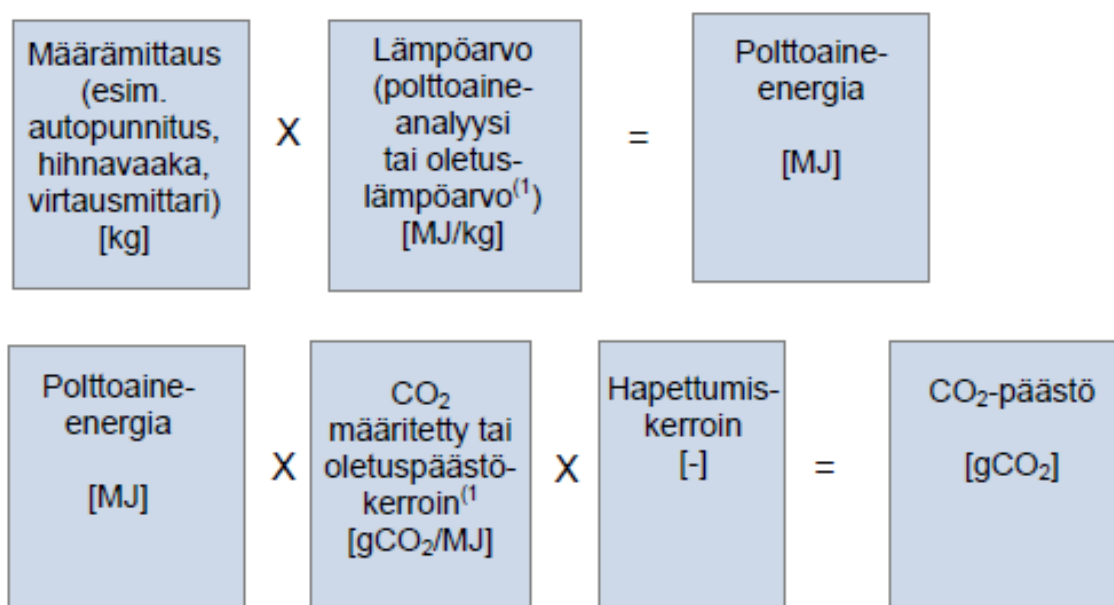
4.3 Päästöjen tarkkailu

Laitoksen päästöjen tarkkailua varten on päätettävä, sovelletaanko laskentaan perustuvia menetelmiä vai mittaukseen perustuvia menetelmiä. Laskentaan perustuvassa menetelmässä on määritettävä lähdevirroista peräisin olevat päästöt pohjautuen mittausjärjestelmien avulla saataviin toimintotietoihin ja muihin muuttujiin, jotka pohjautuvat laboratorioanalyysiin tai oletusarvoihin. Laskentaan perustuva menetelmä voidaan toteuttaa joko vakiolaskentamenetelmällä tai massatasemenetelmällä. Mittaukseen perustuvassa menetelmässä päästöt

määritetään mittaamalla jatkuvatoimisesti kasvihuonekaasujen pitoisuutta savukaasussa ja savukaasuvirtausta. [8.]

4.4 Perinteinen menetelmä

Edellisessä päästökauppajaksossa 2008-2012 Martinlaakson hiilidioksidipäästöt on laskettu perinteisellä määrämittaukseen ja laboratorioanalyysiin perustuvalla menetelmällä. Perinteisessä menetelmässä mitataan polttoainevirta, joka kertomalla polttoaineen lämpöarvolla saadaan polttoaineen sisältämä energia. Kertomalla polttoaine-energia päästökertoimella ja hapettumiskertoimella saadaan tulokseksi CO₂-päästö. Laskentamenettely esitetään kuvassa 5. [9.]



Kuva 5. Perinteinen tapa CO₂-päästön määrittämiselle [9.]

Martinlaaksossa 2-kattilassa käytettävät pääpolttoaineet ovat kivihiili ja maakaasu. Maakaasun laboratorioanalyysit tulevat Gasumilta, ja maakaasulinjassa on oma virtausmittaus hiilikattilalle.

Kivihieille prosessi on monimutkaisempi. Siiloihin tuotu kivihieilmäärä mitataan hihnavaa'alla. Hiilisiiloissa on pinnankorkeuden mittaus ja kuukauden aikana käytetty hieilmäärä saadaan vertaamalla kuun alussa ollutta pinnankorkeutta kuun lopussa olevaan ja vähentämällä/lisäämällä tämä erotus vaa'an lukemaan. Kivihieilestä otetaan laboratorioanalyysi satamassa laivan purun yhteydessä. Jokaista 10 000 t erää kohden

tehdään koontinäytteestä oma analyysi. Esimerkki kivihiilen laboratorioanalyysistä on liitteessä numero 2. Näytteet ottaa FinnCarbon Oy ja analysoi Helen Power Plant Chemistry. [3 ; 9]

4.5 Jatkuvatoinen päästömittaus

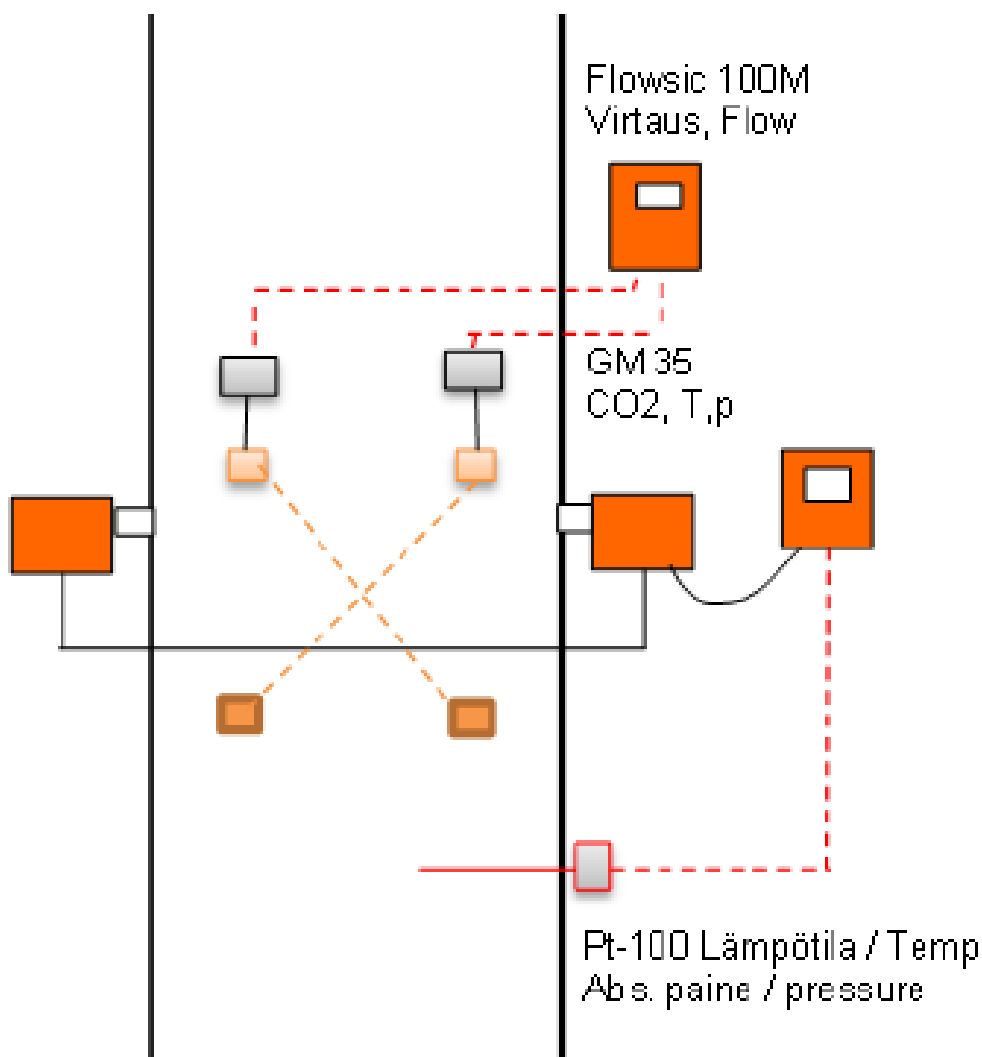
4.5.1 Mittalaittejärjestelyt

Euroopan komission määritelmän mukaan jatkuvatoimisella päästönmittauksella tarkoitetaan

”toimia, joiden tavoitteena on määritellä suureen arvo jatkuvasti toistuvilla mittauksilla soveltaen joko mittauksia poistoputkesta tai ekstraktiivisia menetelmiä, joissa mittauslaite sijoitetaan poistoputken lähelle; niihin eivät sisälly mittausmenetelmät, jotka perustuvat yksittäisten näytteiden keräämiseen poistoputkesta;” [8.]

Martinlaaksossa jatkuvatoiminen päästönmittaus toteutetaan ns. in-situ menetelmällä, jossa kaasujen CO₂-pitoisuus ja kaasun virtaus mitataan suoraan savukanavasta kaasun siinä olotilassa kuin se kanavassa on. Näin vältetään kompensointitekijät, ja mittausten vasteajat pysyvät samana. Menetelmä mahdollistaa pitoisuus- ja virtausmittausten kertomisen keskenään siten, että edellytetty epävarmuus on pienempi kuin 2,5% standardin EN13005 mukaisesti. Laitteistolla mitataan CO₂-päästön lisäksi paine ja lämpötila savukanavassa. Vastaavanlaisia laitteistoja on Suomessa yli 15 kappaletta päästömittauksarkoituksessa. Mittalaitteiston asennus savukanavaan on kuvattu kuvassa 6.

Mittalaittehäiriön aikaiset kokonaispäästöt korvataan ottamalla aritmeettinen keskiarvo kokonaispäästöistä vuoden alusta ja lisäämällä siihen keskihajonta kerrottuna kahdella. [10.]



Kuva 6. Mittalaittejärjestelyt savukanavassa [10]

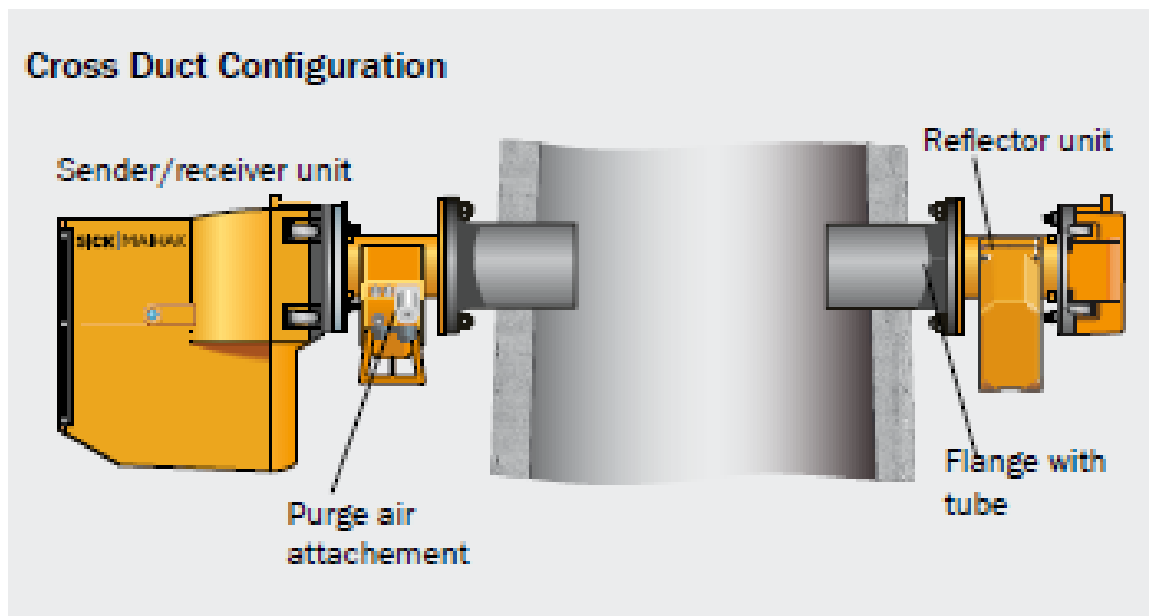
4.5.2 GM-35-kaasuanalysointilaite

SICKin valmistama GM-35-kaasuanalysointilaite perustuu NDIR-absorptioon (Nondispersive Infrared). NDIR-absorptiossa mitattava kaasu absorboi osan infrapunasäteilyä tietyllä aallonpituudella. Absorboidun säteilyn määrästä sensori laskee kaasun CO₂-pitoisuuden. Martinlaaksoon on asennettu GM-35:stä savukanavan halki mittaava versio. Tällä saavutetaan nopeat vasteajat, ja tarkat analyysitulokset. Mittalaitteen asennus savukanavaan on esitelty kuvassa 7. Mallilla pystyy mittaamaan CO₂-pitoisuuden välillä 0 - 100 % ja se kestää hyvin savukanavassa vallitsevat olosuhteet. Laitteella on TÜV-hyväksyntä standardin EN15267-3 mukaisesti ja sen oma laaduntarkkailu toteuttaa standardin EN14181 mukaista proseduuria QAL 3.

Johtuen päästökaupassa vaaditusta 2,5 % kokonaisepävarmuudesta myös laitteiston kalibrointi tulee pystyä tekemään vastaavalla tarkkuustasolla. Hiilidioksidin mittaukselle standardoitua menetelmää ei kuitenkaan ole olemassa. Hiilidioksidimittauksen kalibrointitavaksi on ehdotettu kalibrointia massataseen avulla. Jos kalibrointijakson aikana kattilassa poltetaan pelkkää maakaasua, piipussa virtaava hiilidioksidi saadaan määriteltävä tarkasti mittaamalla kattilaan syötetty maakaasumäärä ja sen hiilipitoisuus. [11.] Hiilidioksidipitoisuus saadaan määritettyä kaavasta:

$$C_{CO2} = \frac{F_{maakaasu} \left[\frac{Nm^3}{s} \right] \times k_{maakaasu} \left[\frac{tCO2}{Nm^3} \right]}{F_{savukaasu} \left[\frac{Nm^3}{s} \right]} \quad (1)$$

jossa $F_{maakaasu}$ maakaasun tilavuusvirta
 $k_{maakaasu}$ Gasumin laboratoriossa määritetty hiilipäästökerroin
 $F_{savukaasu}$ savukaasun tilavuusvirta



Kuva 7. GM-35 asennus savukanavaan [11.]

4.5.3 FLOWSIC-100M-virtausmittari

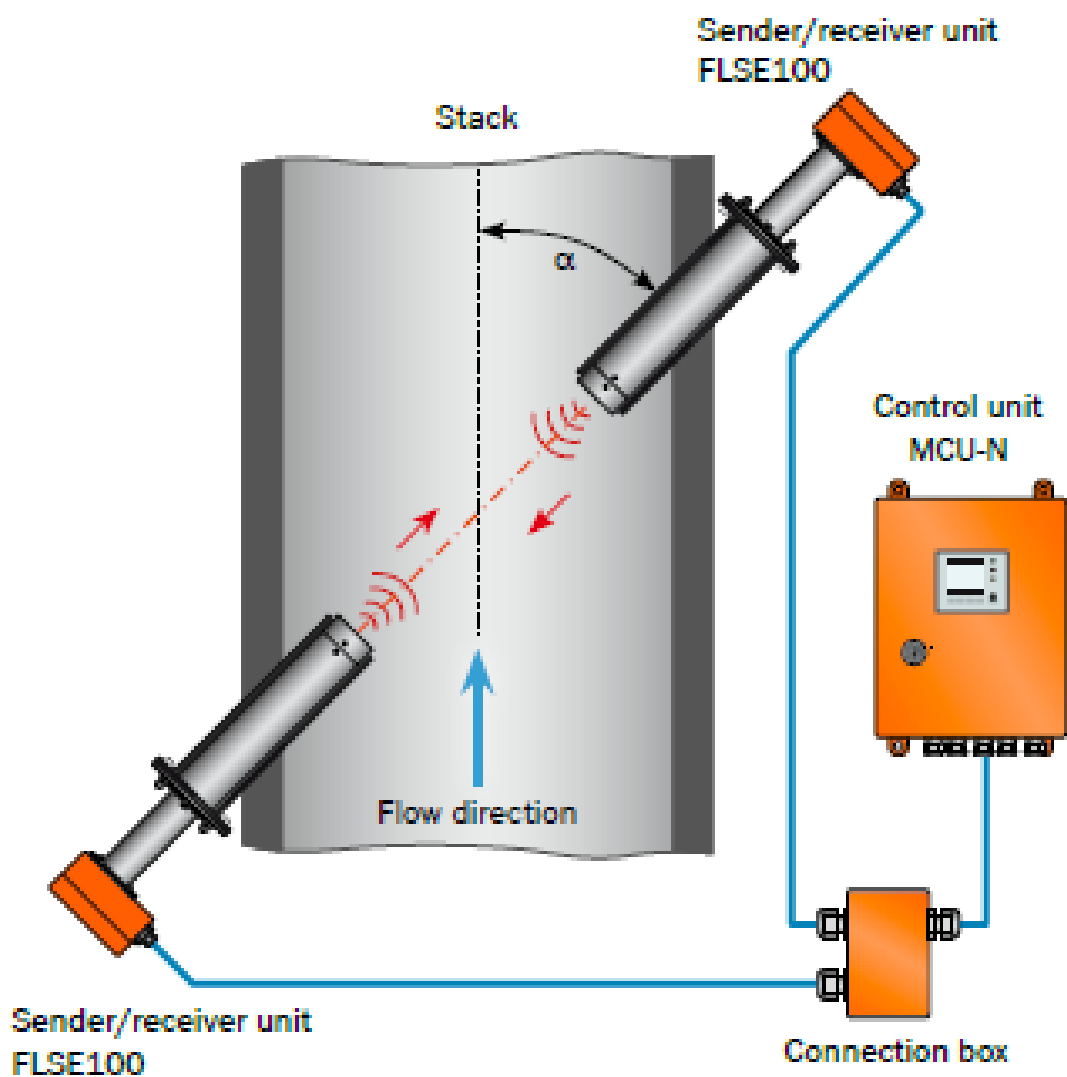
FLOWSIC-100M on ultraäänen kulkuaikaan perustuva virtausmittari. FLOWSIC-100M koostuu kahdesta lähettäjä/vastaanottaja yksiköstä, jotka on asennettu tunnettuun kulmaan savukaasun virtaukseen nähden. Mittausyksiköt tarkkailevat ultraäänipulssien

kulkuaikaa myötä- ja vastavirtaan savukanavassa. Mittalaitteen asennustapa savukanavaan näkyy kuvasta 8. [12.]

Virtausnopeus saadaan yhtälöstä

$$v = \frac{L}{2\sin(\alpha)} * \frac{t_{up} + t_{down}}{t_{up} * t_{down}} \quad (2)$$

v	keskinopeus savukanavassa
L	lähetin/vastaanotin yksiköiden välinen etäisyys
α	asennuskulma virtaussuuntaan nähden
t_{up}	ultraäänen kulkuaika virtaussuuntaan
t_{down}	ultraäänen kulkuaika virtaussuuntaa vastaan



Kuva 8. Virtausmittarin asennus [12.]

Virtausmittaus kalibroidaan standardin BS 5857-2.4 mukaisella radioaktiivisen merkkiaineen kulkuaikaan perustuvalla menetelmällä, jossa mitattavan virtaukseen syötetään radioaktiivista merkkiainetta lyhyt pulssi, jonka kulkuaika määritetään putken ulkopuolelle sijoitettujen säteilynilmaisimien avulla. Tilavuusvirtaus saadaan mitatun keskimääräisen virtausnopeuden ja putken sisäpoikkipinnan tulona. Tätä referenssiarvoa verrataan virtausmittarin näyttämään.

Kalibrointi suoritettiin virtausmittarille 5.2.2013 Indmeas Oy:n toimesta. Kalibroinnin aikana laitoksen tehotasoa laskettiin asteittain niin, että päivän aikana saatiin mitattua virtausmäärät neljällä eri tehotasolla maksimikuormasta minimikuormaan saakka. Kunkin mittauksen aikana tehotaso pidettiin tasaisena noin tunnin pituisen jakson ajan. Virtausmittauksessa todettiin tilavuusvirta-arvoissa keskimäärin +3,2 %:n virhe. Virhe

oli pienin maksimikuormalla ollen 2,4 % ja suurimmillaan 3,8 % 80 % kuormalla. Virtausmittauksen virhe korjataan automaatiojärjestelmässä korjauskertoimella 0,971 keskivirheen mukaan painottaen hieman maksimikuorman virhettä sen ollessa yleisin ajotapa laitoksella. [13.]

4.6 Metso DNA

Itse päästölaskenta tehdään Metso DNA-informaatiojärjestelmässä DNA CO2 Emission Monitoring -sovelluksella. Sovellus sisältää hiilidioksidipäästöjen pitoisuus- ja kokonaispäästölaskennan. Laskenta sisältää myös mittalaitteiden laadunvarmennusstandardin EN14181 QAL2 mukaisten mitattujen pitoisuusarvojen korjauksen kalibroitifunktiolla sekä kalibroitifunktion voimassaolon valvonnan standardin vaatimusten mukaisesti. [14.]

Kokonaispäästöt lasketaan samantilaisten päästömittausten ja savukaasuvirtauksen avulla kaavalla

$$X_{i_tot} = \frac{c \cdot V \cdot t}{10^6} \quad (3)$$

jossa	X_{i_tot}	absoluuttinen päästö [kg]
	c	Päästön pitoisuus [g/m^3]
	V	savukaasun virtaus [m^3/s]
	t	laskentasyklin pituus [60s]

Hiilen kulutustarkkailua takaperin laskemalla ei saada tarkasti toteutettua jatkuvatoimisena johtuen muuttuvista päästökertoimista ja lämpöarvoista, mutta tarvittaessa Metso DNA:han voi lisätä jatkuvatoimisen hiilen kulutustarkkailun informatiivisena tietona käyttäen päästökertoimesta ja lämpöarvosta pitkän aikavälin keskiarvoa tai tilastokeskuksen kiinteää arvoa. Lähtöarvona käytettävästä päästömäärästä tulee ensin poistaa muiden lähdevirtojen osuus.

5 Energiaverotus

Valmisteveroa maksetaan nestemäisistä polttoaineista, sähköstä ja lämmöntuotantoon käytetyistä polttoaineista kuten kivihiilestä, maakaasusta, polttoturpeesta ja mäntyöljystä. Sähköveroa maksavat sähköntuottajat. Kivihiilen valmisteveroa maksavat valtuutettu varastonpitäjä ja verot määräytyvät niiden määrien perusteella, jotka varastonpitäjän kirjanpidon mukaan on verokauden aikana kulutettu. [15.]

5.1 Sähkön verotus

Sähköntuottajat ja verkonhaltijat ovat sähköverovelvollisia. Sähkövero on porrastettu kahteen veroluokkaan. Teollisuudessa käytetystä sähköstä suoritetaan alemman (II) veroluokan mukainen vero. Ylemmän veroluokan veroa (I) suoritetaan yksityistaloudessa, rakentamisessa ja palvelutoiminnoista käytettävästä sähköstä. Veroluokan II sähkö on aina mitattava erikseen. Sähköveroilmoitus on tehtävä kuukausittain ja sähkövero maksetaan siitä määrästä, jonka sähköntuottaja tuottaa. Vantaan Energia Sähköverkot hoitaa verkonhaltijana Vantaan alueen sähköverot ja perii ne kuluttajilta. Vantaan Energia maksaa veroluokan I mukaisesti sähköveroa ruokalan ja parkkipaikan lämmitystolppien sähköstä. Voimalaitoksen omakäyttölaitteissa kulutettu sähkö on valmisteverotonta. Taulukossa 1 on eritelty voimassaoleva sähkövero. [15.]

Taulukko 1

Tuote	Tuoteryhmä	Energiavero	Huolto- varmuus- maksu	Yhteensä
Sähkö snt/kWh				
– veroluokka I	1	1,69	0,013	1,703
– veroluokka II	2	0,69	0,013	0,703

5.2 Kivihiilen verotus

Kivihiilen valmistevero ja huoltovarmuusmaksu määrätään valtuutetulle varastonpitäjälle niiden määrien perusteella, jotka varastonpitäjän kirjanpidon mukaan on verokauden aikana luovutettu verolliseen kulutukseen sekä varastonpitäjän omaan

kulutukseen otettujen määrien perusteella. Sähköntuotannossa ja sähköntuotannon ylösajossa, alasajossa tai tuotantovalmiuden ylläpitämisessä käytetty kivihiili on valmisteverotonta ja huoltovarmuusmaksutonta. Kivihiilen valmisteverot tulee maksaa siis lämmöntuotantoon käytetystä hiilestä. Taulukossa 2 on eritelty kivihiiilestä maksettavat valmisteverot. [15.]

Taulukko 2

Tuote	Tuoteryhmä	Energiasisältövero	Hiilidioksidivero	Huoltovarmuusmaksu	Yhteensä
Kivihiili, kivihiilibriketit, kivihiilestä valmistetut kiinteät polttoaineet euroa/t	I	47,10	84,43	1,18	132,71

5.3 Yhdistetyn tuotannon verotus

Kivihiilen käytöstä sähkön ja lämmön yhteistuotannossa tulee maksaa energiaveroa lämmöntuotannon osalta. Energiaverolainsäädännön mukaan sähkön tuotannossa käytetyt polttoaineet ovat verottomia ja lämmön tuotannossa kulutetut polttoaineet verollisia. Sähkön ja lämmön yhteistuotantoa varten on säädetty laskentaohje siitä, kuinka polttoaineiden katsotaan kuluneen lämmöntuotannossa ja sähköntuotannossa. Yhteistuotannossa käytetyllä kivihiiilellä ja muilla polttoaineilla hiilidioksidivero on puolet säädetystä.

Lämmöntuotannon polttoaineet määritellään kulutukseen luovutetun lämmön perusteella käyttäen tehollisia lämpöarvoja. Kulutukseen luovutetulla lämmöllä tarkoitetaan voimalaitokselta kaukolämpö- ja prosessihöyryverkkoihin sekä vastaavaan hyötykäyttöön luovutettua lämpömäärää.

Yhdistetyn tuotannon lämmön polttoaineiden verot määrätään sen lämpömäärän perusteella, joka saadaan kertomalla kulutukseen luovutettu hyötylämpömäärä kertoimella 0,9. Saatu lämpömäärä jaetaan kullekin käytetylle polttoaineelle siinä suhteessa, jossa polttoainetta on kulutettu.

Voimalaitoksen tuottama hyötylämpö eli ”verollinen” lämpö on määritettävä viimeistään kaukolämpöverkkoon luovuttaessa ja prosessihöyryn välittömässä läheisyydessä olevilla kulutuskohteilla. Verollista lämpöä on siis vain hyötykäyttöön luovutettu lämpö. Polttoaineiden määrää määrittäessä on aina käytettävä tehollista lämpöarvoa

Tullin mukaan verotuksellisesti ratkaisevaa on se, mitä voimalaitos verokauden aikana tuottaa, ei se minkä tyyppisenä voimalaitosta teknisessä mielessä pidetään. Voikin tulla tilanne jossa sama voimalaitos toimii kalenterivuoden aikana eri verokausilla niin yhdistettynä voimalaitoksena, lauhdevoimalaitoksena kuin lämpökeskuksenakin. [15.]

5.4 Verottomuuden toteuttaminen ja verottomat varastot

Valmisteveron alaisten tuotteiden valmistajan tulee aina toimia valtuutettuna varastonpitäjänä. Valtuutettu varastonpitäjä voi valmistaa, jalostaa, pitää hallussaan tai lähettää valmisteveron alaisia tuotteita väliaikaisen verottomuuden järjestelmässä. Tällöin toiminta tapahtuu verottomassa varastossa, ja verot maksetaan vasta kun tavara tuodaan varastosta kulutukseen. Sähköntuottaja ilmoittaa veroilmoituksella lämmöntuotantoon kulutetun polttoaineen määrän verollisena ja sähköntuotantoon kulutetun määrän verottomana.

Tässä tapauksessa verottomia varastoja ovat Kantvikin ja Inkoon satamat, sekä Martinlaakson hiilikenttä mukaan lukien hiilenkuljetin ja hiilisiilot. Kivihiilen verot on maksettava siitä hiilimäärästä, joka kulkeutuu polttoon.

Valtuutetun varastonpitäjän on pidettävä verotusta varten sellaista kirjanpitoa, josta käy selville verottomassa varastossa olevan kivihiilen määrä, sinne hankitun hiilen määrä sekä kulutukseen käytetty määrä. Varasto on inventoitava säännöllisesti. [15]

Energiaverotusohjeessa ei ole erikseen säädetty, miten käytetty kivihiilen määrä pitäisi todentaa. Piippumittauksella mitattava hiilidioksidipäästö on tarkempi kuin perinteisellä menetelmällä laskettu, johtuen hiileen verottomissa varastoista sitoutuvasta kosteudesta. Tällöin myös takaperin laskettu polttoon menevän kivihiilen määrä on tarkempi kuin hiilivaa'alla punnittu, jolloin myös valtuutetun varastonpitäjän kirjanpitovelvollisuus kentillä olevan kivihiilen määrästä pystyttäisiin toteuttamaan tarkemmin.

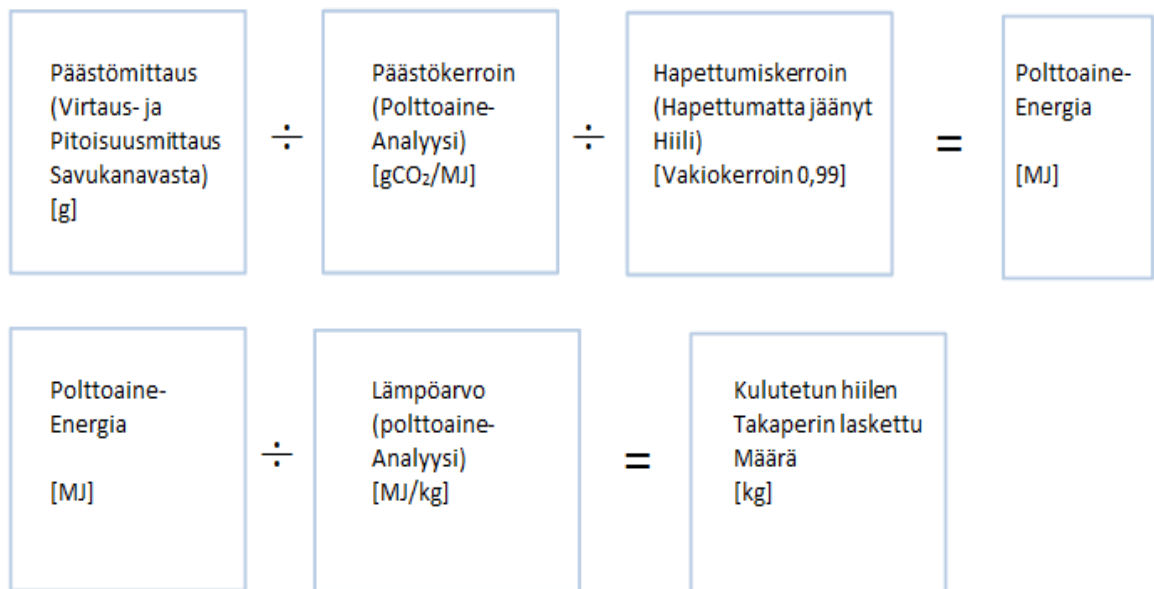
5.5 Verollisten polttoaineiden laskenta

Lasketaan esimerkiksi yhden talvikuukauden polttoaineverot vuodelta 2011. Kattilassa on poltettu myös maakaasua. Hiiltä on kulutettu 22761 tonnia ja sen keskimääräinen lämpöarvo on ollut 25,9 MJ/kg. Maakaasua on poltettu 533 600 Nm³ ja sen lämpöarvo on ollut 36,1 MJ/Nm³. Kattilassa poltetun polttoaineen energiasisältö on siis 169 104 MWh. Kaukolämpöä ja prosessihöyryä on tuotettu 127566 MWh. Verollista lämpöä on siis 127566 MWh * verotuksessa käytettävä kerroin 0,9 eli 114,809 MWh. Verotettava polttoainemäärä saadaan, kun jaetaan verollinen lämpömäärä polttoaineen energiasisällöllä ja kerrotaan käytetyn polttoaineen määrällä. Tässä tapauksessa kertoimeksi tulee 0,68, jolla saadaan lämmöntuotantoon käytetyn hiilen osuudeksi 15 453 tonnia ja maakaasun osuudeksi 362274 Nm³. Kivihiilestä maksetaan veroja 90,495 € tonnilta ja maakaasusta 8 €/MWh. Näin ollen kivihiilestä tulee valmisteveroa noin 1,4 miljoonaa € ja maakaasusta noin 29 000 €.

6 Takaperin laskenta

Insinööriyön varsinainen aihe on selvittää, kuinka laskea kattilassa poltettava hiilimäärä hiilidioksidimittauksen perusteella. Laskutoimitus on itsessään yksinkertainen. Käytettävät kaavat ovat samoja kuin perinteisesti hiilidioksidipäästöjen laskentaan käytettävät, laskenta on vain käännetty päinvastaiseen järjestykseen. Selvitettävä arvo on päästöjen sijaan poltettu hiili, ja polttoon syötetyn hiilen sijasta tunnetaan kattilan päästöt. Takaperin laskentaan käytettävät kaavat esitetään kuvassa yhdeksän ja kaavassa 4.

6.1 Kaavat



Kuva 9. Hiilimäärä päästömittauksen perusteella

$$Hiilimäärä = \frac{CO_2(Mitattu)}{Päästökerroin * hapettumiskerroin} \cdot \frac{Polttoaine-Energia}{Lämpöarvo} \quad (4)$$

Laskennassa on huomioitava muiden lähdevirtojen kuin kivihiilen tuomat hiilidioksidipäästöt. Muita mahdollisia lähdevirtoja ovat maakaasu ja polttoöljy. Yleisesti maakaasua käytetään tukipolttoaineena, sekä kattilan ylös- ja alasajossa. Polttoöljy

toimii varapolttoaineena. Täydellä kuormalla tukitulia ei tarvita, jolloin kaikki CO₂-päästöt ovat peräisin kivihielestä. [3.]

Itse laskenta on selkeä tehdä Excelillä. Tarkempaa laskentaa varten tulee tarkkailla kattilassa poltettavien eri polttoainelaatujen menekkiä, ja laskea niistä kuukausitasolla painotetut keskiarvot lämpöarvolle ja päästökertoimelle. Sopiva laskentaväli on yksi kuukausi, jota on aikaisemminkin käytetty kulutuksen tarkkailuun.

Perinteiseen määrittäykseen perustuvaan menetelmään verrattuna takaperin laskennalla on etuna se, että saadaan kivihieleen hiilikentällä sitoutuva kosteus eliminoitua laskennasta. Tällöin saadaan tarkemmin seurattua hiilen kulutusta, kun kulutustarkkailu vastaa samaa hiilen olomuotoa kuin satama-analyysi ja päästään samalla eroon lisääntyneen kosteuden tuomasta ylimääräisestä energiaverosta. Myös kirjanpito on tällöin todenmukaisempaa.

Takaperin laskenta on uudenlainen menettely, eikä siitä ole vielä käytännön kokemusta hiilen kulutuksen tarkkailussa. Laskenta perustuu suurelta osin samoihin suureisiin kuin perinteinen menetelmä, mutta lähtöarvona oleva päästömäärä tulee uudesta mittalaitteistosta. Mittalaitteiston häiriötilanteita varten hihnavaaka kannattaa pitää varmistusmenetelmänä. Menetelmä aiheuttaa jonkin verran lisätyötä. Epävarmaa on myös hyväksyykö tulli menettelytavan.

6.2 Tulokset

Hiilidioksidin mittauslaitteisto asennettiin Martinlaakson voimalaitokselle vuoden 2012 lopussa, ja mittaustietoja on saatu tammikuun 2013 alusta. Tässä laskennassa käytetään tammikuun ja helmikuun päästömittauksen arvoja ja verrataan niitä perinteisellä menetelmällä saatuihin päästöarvoihin. Lisäksi verrataan hiilivaa'alla punnittua hiilen kulutusta takaperin laskettuun kulutukseen. Hiilidioksidipitoisuusmittaria ei ole vielä kalibroitu, joten se aiheuttaa epävarmuutta tuloksiin. Virtausmittari kalibroitiin helmikuussa. Ennen kalibrointia tammikuun ero hiilimäärässä oli 602 tonnia, ja sen jälkeen 1350 tonnia. Saadut tulokset ovat kuitenkin johdonmukaisia, joten voidaan olettaa että hiilidioksidimittaus on lähellä todellista. Mitattu hiilidioksidipäästömäärä on ollut keskimäärin noin 5 % pienempi kuin laskettu.

6.3 Takaperin laskennan vaikutus hiilimäärään

Tammikuun aikana hiilivaa'alla polttoon menneen hiilen määrä oli 26137,1 tonnia. Tämän hiilimäärän painotettu keskiarvo päästökertoimelle on 92,79 ja lämpöarvolle 25,04. Lisäksi maakaasua poltettiin 307 500 Nm³ päästökertoimella 55,19. Näillä arvoilla saadaan hiilidioksidipäästön määräksi tammikuulta 60740,08 tonnia. Vastaavasti hiilidioksidimittauksella mitattuja päästöjä oli 57632,54 tonnia, josta hiilen osuus on 57019,88 tonnia. Tällä päästö määrällä saadaan takaperin laskemalla käytetyksi hiilimääräksi 24786,27 tonnia. Takaperin laskennalla saadaan tulokseksi siis 1350,83 tonnia vähemmän hiiltä kuukaudessa, eli n. 5,17 % vähemmän kuin punnitsemalla. Hiilidioksidipäästöillä on eroa 3107,54 tonnia.

Helmikuun aikana poltettiin perinteisellä menetelmällä mitattuna 25238,7 tonnia hiiltä. Painotettu keskiarvo päästökertoimelle on 92,8 ja lämpöarvolle 25,15. Helmikuun aikana kattilaan ei syötetty muita polttoaineita kuin kivihiiltä, joten muita huomioon otettavia päästölähteitä ei ole. Laskemalla saadaan hiilidioksidipäästöjen määräksi 58315,36 tonnia. Mittalaitteistolla saatu päästö määrä on 55947,82 tonnia, eli eroa menetelmille tulee 696,6 tonnia. Takaperin laskemalla saadaan käytetyksi hiilimääräksi 24214,03 tonnia, joten eroa punnittuun on 1024,67 tonnia eli 4,06 % vähemmän kuin punnitsemalla. Hiilidioksidipäästöillä on eroa 2367,54 tonnia.

Takaperin laskemalla saatu hiilimäärä on suhteessa saman määrän pienempi, kuin hiilidioksidimittauksen ero laskettuun päästö määrään. Kahden kuukauden tarkasteluaikana ero on ollut keskimäärin noin 4,5 % pienempi. Tammikuussa ero on ollut 1 %:n verran suurempi kuin helmikuussa. Taulukko laskuista on liitteessä 4.

6.4 Takaperin laskennan vaikutus energiaverotukseen

Takaperin laskenta vaikuttaa energiaverotukseen monin tavoin. Pienempi hiilimäärä pienentää hiilen veromäärää. Tuotetun hyötylämmön määrä pysyy kuitenkin samana, sillä se mitataan kaukolämpöverkkoon luovutetusta lämpö määrästä. Kun poltettujen polttoaineiden kokonaisenergiamäärä pienenee pienemmän mitatun hiilen kulutuksen johdosta, niin lämmöntuotantoon käytettyjen polttoaineiden suhteellinen osuus kasvaa. Kun hiilen määrä pienenee, niin siitä maksetaan suuremmassa suhteessa lämmöntuotannon veroja. Samalla maakaasusta maksettavat verot nousevat samassa suhteessa. Kokonaisuutena hiilimäärän pieneminen kuitenkin laskee

kokonaisveromäärää. Eniten energiaveron määrässä vaikuttaa tuotetun hyötylämmön määrä.

Tammikuussa polttoaineveroilmoitukseen ilmoitettiin Martinlaakson voimalaitoksella käytetyn hiilen määräksi 26 137 tonnia ja käytetyn maakaasun määräksi 147 281 MWh. Näiden polttoaineiden yhteenlaskettu energiasisältö on 332 332 MWh. Kaukolämpöverkkoon tuotettiin lämpöä yhteensä 203 866 MWh, josta verollisen lämmön määrä on 184 479 MWh. Verollisen lämmön ja kokonaisenergiasisällön suhde on 0,55 jonka mukaan määritetään verolliset polttoainekäytöt. Verollista hiiltä on 14 430 tonnia ja maakaasua 81 314 MWh. Verottomaksi hiiltä jää 11 707 tonnia ja maakaasua 65 967 MWh. Yhteensä veroja tulee 1 956 273 €, josta hiilen osuus on 1 305 842 €.

Takaperin laskennalla saadaan tammikuussa käytetyn hiilen määräksi 24 786 tonnia. Maakaasun määrä pysyy samana, jolloin polttoaineiden energiasisältö on 322 768 MWh. Myöskään kaukolämpöverkkoon tuotetun lämmön määrä ei muutu. Tällöin verollisen ja kokonaisenergiasisällön suhde on 0,57, jolloin verollisen hiilen määrä on 14 090 tonnia ja maakaasun 83 723 MWh. Verottomaksi hiiltä jää 10 696 tonnia ja maakaasua 63 558 MWh. Yhteensä veroja tulee 1 994 765 €, josta hiilen osuus on 1 275 065€. Kokonaisuutena veroja tulee maksettavaksi 11 508 € vähemmän, vaikka maakaasun verollinen osuus kasvaa noin 2400 MWh ja verottomien polttoaineiden määrät jäävät reilusti pienemmiksi.

Helmikuussa takaperin laskennan ja määramittauksen ero oli pienempi kuin tammikuussa, jolloin myös ero energiaverossa on pienempi. Helmikuussa takaperin laskennalla saavutettava säästö on 7950 €. Verollisen energian ja kokonaisenergiasisällön suhde on 0.55. Tarkemmat laskutoimitukset helmikuulta löytyvät liitteestä 5.

Kahden kuukauden otannan perusteella eroa verotuksessa syntyy noin 10 000 € kuukaudessa. 2-kattilaa ajetaan vuodessa 8-10 kuukautta, jolloin vuodessa kertyvä mahdollinen säästö on 100 000 € suuruusluokkaa.

7 Yhteenveto

Ennen tämän työn aloitusta oli tiedossa, että kivihiilen polttotekniset ominaisuudet eivät vastaa laiva-analyysia, kun hiili on seissyt kentällä ja päässyt imemään itseensä kosteutta. Työn tavoitteena oli selvittää, onko mahdollista laskea kulutettavan hiilen määrä savupiippuun asennettavan hiilidioksidimittauksen ja laiva-analyysitietojen avulla, sekä selvittää kuinka se toimii käytännössä. Lähtökohtaisesti arvioitiin, että raportoidut päästöt ja siten todellinen kulutetun hiilen määrä olisi noin 5 - 10 % korkeampi kuin todellisuudessa.

Itse laskutoimitus on lyhyt ja yksinkertainen. Hiilen kulutustarkkailussa tarvitaan mahdollisella uudella laskutavalla samoja menettelyitä hiilen päästökertoimen ja lämpöarvon selvittämiseen kuin ennen päästöjen todentamisessa. Laskennan lähtöarvona on päästömittarilta saatu hiilidioksidimäärä. Lisätyötä aiheuttavat mahdolliset muut kattilaan tulevat lähdevirrat, joita ovat maakaasu, polttoöljy sekä nestekaasu. Muiden lähdevirtojen tuomien päästöjen laskemiseen on jo olemassa tarvittavat mittalaitteet

Saatujen tulosten perusteella takaperin laskenta olisi kannattavaa. Tammikuussa takaperin laskemalla kivihiilen kulutus oli n. 5,17 % pienempi kuin punnitsemalla ja helmikuussa 4,06 % pienempi. Ero on jo prosentteina suuri, mutta kyseessä on vielä niin suuret volyymit, että määrästä tulee todella merkittävä. Tammi- ja helmikuun aikana eroa mittausmenettelyillä tuli keskimäärin 40 tonnia päivässä. Aikaa myöten kirjanpitoon tulee suuria vaiheluita.

Energiaveron osalta takaperin laskennalla ei pystytä vaikuttamaan sähköntuotannon veroihin, sillä ne verotetaan kulutukseen luovutetun sähkömäärän perusteella. Jos Tulli hyväksyisi takaperin laskennan sähköntuotantoon käytetyn kivihiilimäärän tarkkailuun, voitaisiin menettelyllä saavuttaa säästöjä hiilen lämmöntuotannon veroissa. Pienempi raportoitu hiilen kulutus johtaa kuitenkin verojen laskennassa käytettävien verollisten polttoaineiden suhteen nousuun, jolloin maakaasusta maksettavat verot nousevat. Hiilen veroissa saavutettavat säästöt ovat kuitenkin suuremmat kuin maakaasuun tulevat korotukset, joten kokonaisuutena takaperin laskennan käyttö olisi verojen kannalta kannattavaa.

Päästömittauslaitteistosta on Martinlaakson voimalaitokselle suuri hyöty jo ilman takaperin laskentaa. Kattilan päästötiedot saadaan jatkuvatoimisesti, ja tiedetään

reaaliajassa savukaasun hiilidioksidipitoisuus. Myös mitatut päästöt ovat olleet 2 kuukauden aikana selkeästi pienemmät kuin lasketut. Vaikka päästöoikeuksien hinta on tällä hetkellä todella alhainen, niin mittalaitteisto maksaa itsensä takaisin nopeasti. Jo tammi- ja helmikuussa mittalaitteistolla todennettiin noin 5 500 tonnia vähemmän hiilidioksidipäästöjä, mikä vastaa 7 € päästöoikeushinnalla 38 500 € vähemmän maksettuja päästöoikeuksia.

Saatujen tulosten suhteen on syytä olla vielä hieman skeptinen. Hiilidioksidipitoisuusmittaria ei ole vielä kalibroitu, joten vielä ei tiedetä, onko sen näyttämä todellinen, negatiivinen vai positiivinen. Myös kahden kuukauden otanta on melko lyhyt. Nyt hiiltä on ajettu melko suoraan laivalta siiloihin eikä se ole ehtinyt seisoa kentällä. On myös ollut kylmä talvi ja taivaalta satanut kosteus on ollut lähinnä lunta ja jäätä. Tämä on osaltaan voinut vaikuttaa hiilen kosteuspitoisuuden kasvuun. Kosteampina vuodenaikoina ero hiilimäärän mittaumenettelyillä voikin olla suurempi.

Vastaavanlaisesta hiilenkulutuksen laskentamenettelystä ei ole aikaisempaa kokemusta, eikä tiedossa ole, onko samantyylistä muualla käytössä. Jo päästöjen todentaminen mittaamalla on Suomessa harvinaisuus. Siksi ei olekaan tiedossa hyväksyisikö tullin takaperin laskennan kulutukseen käytetyn hiilen kirjanpitoimenetelmäksi. Teoriassa ja käytännössä menetelmä on kuitenkin tarkempi, ja jos mittalaitteiston kalibroinnin ja lumien sulamisen jälkeen saadut tulokset ovat samansuuntaisia kuin tammikuussa ja helmikuussa niin kannattaa ehdottomasti kysyä tullin mielipidettä kyseisestä laskumenettelystä.

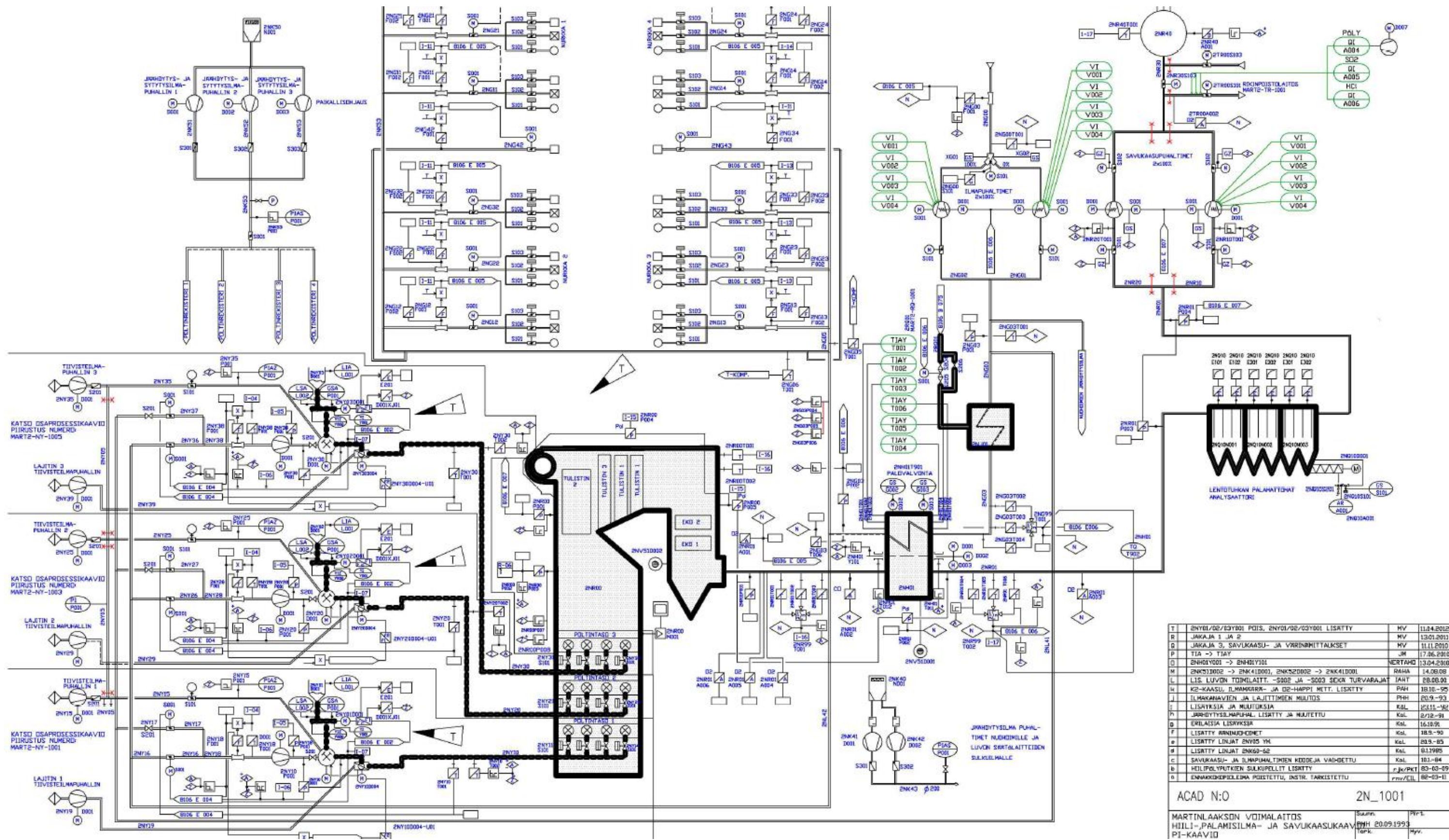
Eniten takaperin laskennassa työllistää sama kirjanpito päästökerrointen ja lämpöarvojen suhteen mitä on käytetty päästöjen todentamisessa. Käytettävät hiililaadut tulee joka tapauksessa analysoida polton säätämisen kannalta, sekä niiden menekkiä tarkkailla.

Kun hiilidioksidipitoisuusmittari kalibroidaan, saadaan tietoon kuinka paljon laskentamenettelyillä todellisuudessa on eroa. Kalibrointi suoritetaan, kun säät sallivat hiilenpolton lopettamisen ja kalibroinnin pelkillä maakaasutulilla. Jos saadut tulokset ovat samansuuntaisia kuin tammi- ja helmikuussa on luultavaa, että takaperin laskenta otetaan käyttöön hiilen kulutuksen tarkkailuun, mikäli se on tullin mielestä hyväksyttävä mittaumenettely.

Lähteet

- [1] Vantaan Energia. Tietoa Konsernista. . 2013 Verkkodokumentti. <www.vantaanenergia.fi> Luettu 21.1.2013.
- [2] International Flame Research Foundation – Suomen kansallinen osasto. Poltto ja palaminen. 2002 Gummerus Kirjapaino Oy, Jyväskylä
- [3] Marko Lommi, käyttöinsinööri, Vantaan Energia Oy. Suulliset kommentit 1.9.2012 - 8.4.2013.
- [4] Huhtinen, Markku ym. 1994. Höyrykattilatekniikka. Helsinki. Edita, Opetushallitus.
- [5] Ahlström Oy. Kattilan käyttö- ja hoito-ohjeet. 1982. Varkaus.
- [6] Vantaan Energia Oy. Rikinpoistolaitoksen käyttö- ja hoito-ohjeet. 1993.
- [7] Energiamarkkinavirasto. 2013 Päästökauppa. <http://www.energiamarkkinavirasto.fi> Luettu 25.2.2013
- [8] Euroopan unioni. Euroopan unionin virallinen lehti 181. Suomi. 12.7.2012.
- [9] Pöyry Energy Oy. Polttoaine-energian määrittäminen taselaskennan avulla päästökaupassa. 2007.
- [10] Sick Oy, Ratkaisu kasvihuonepäästöjen mittaamiseksi. 2012.
- [11] Sick Oy. 2012. GM35 product information. Verkkodokumentti. < www.sick.com/fi>. Luettu 20.11.2012
- [12] Sick Oy. 2012. FLOWSIC100 product information. Verkkodokumentti. < www.sick.com/fi>. Luettu 20.11.2012
- [13] Ind.Meas.Oy. Savukaasun virtausmittauksen kalibrointi. 2013. Raportti.
- [14] Metso Automation Oy. Metso DNA CO² emission monitoring. 2012. Raportti.
- [15] Tulli. 2013. Energiaverotusohje. Verkkodokumentti. <www.tulli.fi> Luettu 30.1.2013.

Voimalaitoksen hiili, palamisilma ja savukaasut PI-kaavio



T	2NY1/02/03Y01 POIS, 2NY1/02/03Y01 LISÄTTY	MV	11.04.2012
R	JÄRKAJA 1 JA 2	MV	13.01.2011
B	JÄRKAJA 3, SAVUKAASU- JA VÄRINNIITTÄLKSET	MV	11.11.2010
P	TIA → TJAY	JM	17.06.2010
D	2NH1Y001 → 2NH1Y101	MERTAMO	13.04.2010
M	2NK51002 → 2NK41003, 2NK52002 → 2NK41001	RAHA	14.08.08
L	LIS. LUVON TOIMILAITT. -S002 JA -S003 SEKA TURVARAJAT	TAHT	28.08.08
J	K2-KAASU, ILMAKOKKRI- JA O2-HAPPI METT. LISÄTTY	PAH	18.10.-95
W	ILMAKOKKRIEN JA LAJITTIMEN MUUTOS	PHH	20.9.-93
I	LISÄYKSIÄ JA MUUTOKSIA	K&L	25.11.-92
H	JÄRHITYSILMAPUHALTIMET LISÄTTY JA MUUTETTU	Kal	2/12.-91
D	ERILAISIA LISÄYKSIÄ	Kal	16.10.90
F	LISÄTTY ANNIHOJONET	Kal	18.9.-90
e	LISÄTTY LINJAT 2NY35 YH	Kal	20.9.-85
d	LISÄTTY LINJAT 2NK50-62	Kal	01.1985
C	SAVUKAASU- JA ILMAPUHALTIMEN KODDEJA VAIHDETTU	Kal	10.1.-84
b	HILIPOLYPUTKIEN SUKUPELLIT LISÄTTY	r.jk/PK1	03-02-69
n	2NHAKKOKOOLEMA POISTETTU, INSTR. TARKISTETTU	rny/EEL	02-03-11

ACAD N:0 2N_1001
 MARTINLAAKSON VOIMALAITOS
 HIILI-PALAMISILMA- JA SAVUKAASUKAAVA
 PI-KAAVIO
 Summ. 20.09.1993
 lopp. myy.

Laboratorioanalyysi hiilestä



Power Plant Chemistry

Certificate no

8.11.2011

2011-01089

SUBSCRIBER Vantaan Energia Oy

PL 95

01301 Vantaa

SAMPLE	Sampling place	Multibrava Sub-Lot 2	Sampling date	24.10.2011
	Quality	Kazakhstan steam coal	Sample arrived	28.10.2011
	Quantity (t)	5151,3005	Analysis started	27.10.2011

RESULTS

Total moisture		14.7	w-%			ISO 589*
Gross calorific value	As received	24.944	MJ/kg	5958	kcal/kg	ISO 1928*
	Dry basis	29.254	MJ/kg	6987	kcal/kg	
Net calorific value	As received	23.666	MJ/kg	5652	kcal/kg	ISO 1928*
	Dry basis	28.176	MJ/kg	6730	kcal/kg	
Volatile matter	As received	33.9	w-%			ASTM-D5142*
	Dry basis	39.7	w-%			
	Dry ash free basis	43.4	w-%			
Ash	As received	7.2	w-%			ASTM-D5142*
	Dry basis	8.4	w-%			
Sulfur	As received	0.70	w-%			ASTM-D4239*
	Dry basis	0.82	w-%			
Carbon	As received	60.7	w-%			ASTM-D5373*
	Dry basis	71.2	w-%			
Nitrogen	As received	1.9	w-%			ASTM-D5373
	Dry basis	2.2	w-%			
Chloride	As received	0.08	w-%	Fluoride	As received	0.004 w-%
	Dry basis	0.07	w-%		Dry basis	0.005 w-%
Emission factor	As received	94.04	tCO ₂ /TJ			TTL 022T*
	Dry basis	92.63	tCO ₂ /TJ			TTL 022T*

Results are calculated to different bases according to ISO 1170

* Accredited method

Chloride and fluoride are analysed by an accredited laboratory Ramboll Analytics, report 82137470/6.

Group Manager

This certificate in part or in whole can be published only with the permission of Helsingin Energia

Helsingin Energia
 FIN-00090 Helen
 Tel: (09)6171 Fax +358 0 617 2360



Lentotuhka analyysi

Vantaan Energia Oy

PL95

01301 VANTAA

Tutkimuksen nimi:	Vantaan Energia, lentotuhka 2011, kokonaiset	Näytteenottopvm:	
Asiakkaan viite:	112849	Näyte saapui:	29.12.2011
Näytteenottopiste:	VE, Lentotuhka 2011 kokooma	Analysointi aloitettu:	29.12.2011
Näytteenottaja:			

Tuhkat

Määrittely	11YA00596	Yksikkö	Menetelmä
Analyysikosteus	0,12	m-%	DIN 51718
pH	12,5		RA1017
Orgaaninen hiili, vedetön TOC	2,9	m-%	ISO 10694/SFS-EN 13137
Haponneutralointikapasiteetti (ANC)	ok		prCEN/TS 15364
ANC, pH 4 +	1,4	mol H+/kg	prCEN/TS 15364
ANC, pH 5 +	1,3	mol H+/kg	prCEN/TS 15364
ANC, pH 6 +	1,2	mol H+/kg	prCEN/TS 15364
ANC, pH 7 +	0,87	mol H+/kg	prCEN/TS 15364
ANC, pH 8 +	0,64	mol H+/kg	prCEN/TS 15364
ANC, pH 9 +	0,56	mol H+/kg	prCEN/TS 15364
ANC, pH 10 +	0,49	mol H+/kg	prCEN/TS 15364
ANC, pH 11 +	0,42	mol H+/kg	prCEN/TS 15364
ANC, pH 12 +	0,16	mol H+/kg	prCEN/TS 15364
Esikäsitteily, mikroaaltohajotus, kuningasvesi	ok		RA3007
Metallit 2	ok		
Antimoni (Sb)	4,5	mg/kg ka	RA3000
Arseeni (As)	97	mg/kg ka	RA3000
Barium (Ba)	1200	mg/kg ka	RA3000
Elohopea (Hg)	0,40	mg/kg ka	RA3000
Kadmium (Cd)	0,35	mg/kg ka	RA3000
Kromi (Cr)	36	mg/kg ka	RA3000
Kupari (Cu)	37	mg/kg ka	RA3000
Lyijy (Pb)	17	mg/kg ka	RA3000
Molybdeeni (Mo)	19	mg/kg ka	RA3000
Nikkeli (Ni)	43	mg/kg ka	RA3000
Seleen (Se)	2,1	mg/kg ka	RA3000
Sinkki (Zn)	83	mg/kg ka	RA3000
Vanadiini (V)	97	mg/kg ka	RA3000
Polyaromaattiset hiilivedyt yht.	<0,2	mg/kg ka	RA4053
Antraseeni	<0,01	mg/kg ka	RA4053
Asenafteneeni	<0,01	mg/kg ka	RA4053
Asenaftyyleeni	<0,01	mg/kg ka	RA4053
Bentso(a)antraseeni	<0,01	mg/kg ka	RA4053
Bentso(a)pyreeni	<0,01	mg/kg ka	RA4053
Bentso(b)fluoranteeni	<0,01	mg/kg ka	RA4053
Bentso(g,h,i)perylenei	<0,01	mg/kg ka	RA4053
Bentso(k)fluoranteeni	<0,01	mg/kg ka	RA4053
Dibentso(a,h)antraseeni	<0,01	mg/kg ka	RA4053

Tutkimustodistuksen osittainen julkaiseminen on sallittu vain laboratorion kirjallisella luvalla. Testaustulokset koskevat vain tutkittua näytettä.

Ramboll Analytics

Niemenkatu 73 C, 15140 Lahti
Kiliterinkuja 2, 01600 VantaaPuh 020 755 7800
Fax 020 755 7911www.ramboll-analytics.fi
Y-tunnus 0101197-5, Kotipaikka Espoo

Takaperin laskenta

Erä	1.1-14.1	1.1-31.1	1.2-28.2
CO ₂ -Mitattu (tonnia)	27 090,18	57 019,88	55 947,82
CO ₂ -Laskettu (tonnia)	28 210,70	60 127,42	58 315,36
Hiilimäärä takaperin (tonnia)	11 777,46	24 786,27	24 214,03
Hiilimäärä punnittu (tonnia)	12 264,60	26 137,10	25 238,70
Päästökerroin (tCO ₂ /Tj)	92,86	92,79	92,80
Lämpöarvo (MJ/kg)	25,02	25,04	25,15
Hapettumiskerroin (Vakio 0,99)	0,99	0,99	0,99
Maakaasun CO ₂ -päästöt (tonnia)	168,48	612,66	0,00
Hiilimäärän laskennan ja punnitsemisen ero (tonnia)	487,14	1 350,83	1 024,67
CO ₂ -laskennan ja mittauksen ero (tonnia)	1 120,51	3 107,54	2 367,54
% ero hiilen laskennalla ja punnitsemisellä	3,97	5,17	4,06
% ero CO ₂ -laskennalla ja mittauksella	3,97	5,17	4,06

Energiaveron laskenta

SÄHKÖN JA LÄMMÖN YHTEISTUOTANNON POLTTOAINEYEROLASKELMA, VUOSI 2013						
	tammikuu	helmikuu	Verot kun hiili on laskettu takaperin	tammikuu	helmikuu	
MARTINLAAKSO						
Kulutetut polttoaineet:						
Hiili / t	26 137,10	25 238,70		24 786	24 214	
Maakaasu / MWh	147 281,37	127 187,34		147 281	127 187	
Raskas polttoöljy / t	0,00	0,00				
Kevyt polttoöljy / m ³	0,00	0,00				
Hiili / MWh	185 051	178 690		175 487	171 435	
Maakaasu / MWh	147 281,37	127 187,34		147 281	127 187	
Raskas polttoöljy / MWh	0	0				
Kevyt polttoöljy / MWh	0	0				
Yhteensä / MWh	332 332	305 877		322 768	298 623	
Lämpöarvot:						
Hiili / MWh/t	7,08	7,08				
Maakaasu / MJ/m ³ n (ei käytetty)	36,100					
Raskas öljy / MWh/t	11,42	11,42				
Kevyt öljy / MWh/m ³	9,95	9,95				
			Martinlaaksossa tuotettu lämpö NS600 ja NS700 linjat yhteensä.	203 866	182 434	
Tuotettu lämpö / MWh	203 866	182 434	Tuotetun lämmön ja verollisen lämmön suhde	0,57	0,55	
Verolliset polttoainekäytöt:						
Hiili / t (veroilmoitukseen)	14 430	13 548		14090	13314	
Maakaasu, voimalaitos / MWt	81 314	68 272		83723	69931	
Raskas polttoöljy / t	0	0				
Kevyt polttoöljy / m ³	0	0				
Verottomat polttoainekäytöt:						
Hiili / t	11 707	11 691		10696	10901	
Maakaasu, voimalaitos / MWt	65 967	58 915		63 558	57 256	
Raskas öljy / t (veronpalautus)	0	0				
Kevyt öljy / m ³ (veronpalautus)	0	0				
Verot-huoltovarmuusmaksut, a-hinnat						
hiili energiasäiltövero euro/t	47,10	47,10				
hiili hiilidioksidivero euro/t	42,215	42,215				
hiili hvm euro/t	1,18	1,18				
kaasu energiasäiltövero euro/MWh	4,450	4,450				
kaasu hiilidioksidivero euro/MWh	3,465	3,465				
kaasu hvm euro/MWh	0,084	0,084				
POR energiasäiltövero euro/kg	0,0759	0,0759				
POR hiilidioksidivero euro/kg	0,0057	0,0057				
POR hvm euro/kg	0,0028	0,0028				
POK energiasäiltövero euro/l	0,1035	0,1035				
POK hiilidioksidivero euro/l	0,0467	0,0400				
POK hvm euro/l	0,0035	0,0035				
Verojen määrät / euroa						
hiili energiasäiltövero	679 653,00	638 110,80		663 634	627 066	
hiili hiilidioksidivero	609 162,45	571 928,82		594 805	562 030	
hiili huoltovarmuusmaksu	17 027,40	15 986,64		16 626	15 710	
hiili yhteensä	1 305 842,85	1 226 026,26		1 275 065	1 204 806	
kaasu energiasäiltövero	361 847,30	303 810,40		372 567	311 193	
kaasu hiilidioksidivero	281 753,01	236 562,48		290 100	242 311	
kaasu huoltovarmuusmaksu	6 830,38	5 734,85		7 033	5 874	
kaasu yhteensä	650 430,69	546 107,73		669 700	559 378	
POR energiasäiltövero	0,00	0,00				
POR hiilidioksidivero	0,00	0,00				
POR huoltovarmuusmaksu	0,00	0,00				
POR yhteensä	0,00	0,00				
POK energiasäiltövero	0,00	0,00				
POK hiilidioksidivero	0,00	0,00				
POK huoltovarmuusmaksu	0,00	0,00				
POK yhteensä	0,00	0,00				
YHTEENSÄ vero+hvm	1956 273,54	1772 133,99		1944 765	1764 184	
			Säästö	11 508,65	7 950,18	

