

Tiia Kunelius

# Kalkin annostelun optimointimahdollisuuden selvittäminen jätevoimalaitoksella

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Energia- ja ympäristötekniikka

Insinöörityö

9.3.2018

Tekijä(t) Otsikko  Sivumäärä Aika	Tiia Kunelius Kalkin annostelun optimointimahdollisuuden selvittäminen jätevoimalaitoksella  45 sivua + 3 liitettä 9.3.2018
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	Energia- ja ympäristötekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	-
Ohjaaja(t)	Vuoropäällikkö Kari Pulkkinen Lehtori Esa Toukoniitty
<p>Opinnäytetyön tarkoituksena oli tutkia, voiko jätevoimalaitoksen prosessiin annostellun kalsiumhydroksidin määrää optimoida. Työssä tuli myös selvittää, kuinka tämä optimointi voidaan toteuttaa. Työn toimeksiantajana toimi Vantaan Energia Oy.</p> <p>Työssä tutustuttiin jätevoimalaitoksen savukaasunpuhdistusjärjestelmään. Osana opinnäytetyötä järjestettiin näytteenottojakso, jonka avulla selvitettiin, onko kalkin annostelua tarpeen vähentää. Näyte otettiin voimalaitoksen kiertopölystä ja siitä analysoitiin aktiivisen kalkin määrä. Näytteenottotulosten perusteella kiertopölyn sisältämä aktiivisen kalkin määrä on tämän kaltaiselle prosessille hyvällä tasolla.</p> <p>Laitoksen kalkin annostelun säätöön tutustuttiin, jotta saatiin selville, kuinka prosessiin annosteltavan kalkin määrän säätö toimii. Tämän lisäksi laskettiin prosessin teoreettisesti tarvitsema kalsiumhydroksidin määrä. Prosessiin annosteltavan kalkin säätö todettiin toimivan oikealla tavalla.</p> <p>Voimalaitoksen kalkin annostelu toimii oikealla tavalla, joten prosessin kalkin annostelun säätöön ei tarvitse tehdä muutoksia. Työn johtopäätösten perusteella tulevaisuudessa prosessiin annosteltavan kalkin määrää pyritään hallitusti vähentämään, sen verran, kuin päästörajojen puitteissa on mahdollista.</p>	
Avainsanat	Jätevoimala, savukaasujen puhdistus, kalsiumhydroksidi

Author(s) Title	Tiia Kunelius Determining the potential of optimizing lime injection in a waste-to-energy power plant
Number of Pages Date	45 pages + 3 appendices 9 March 2018
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Energy and Environmental Engineering
Specialisation option	-
Instructor(s)	Kari Pulkkinen, Shift Manager Esa Toukoniitty, Senior Lecturer
<p>The aim of this Bachelor's thesis was to examine the potential of optimizing the amount of lime injected to the flue gas cleaning process. In addition, the methods for optimizing needed to be determined. This thesis was made for Vantaa Energy Oy's waste-to-energy (WtE) power plant.</p> <p>The thesis studied the flue gas cleaning process of the WtE power plant. As a part of this thesis, a sampling period was organized. This sampling aimed to determine if there was a need to reduce the amount of lime injected to the process. Samples were taken from the contaminated ash recirculation system. The sampling results indicated the amount of active calcium hydroxide in the contaminated ash. The amount of active calcium hydroxide was found to be at a sufficient level for WtE flue gas cleaning process.</p> <p>The next step was to examine how the lime feeding control system functions. Afterwards, the required theoretical amount for calcium hydroxide in the system was calculated. The control of lime feeding into the process was found to function at an appropriate level.</p> <p>The results of the thesis showed, that the power plant's lime feeding control works as intended. Therefore, there is no need to make changes to the control system. The amount of lime injected to the system will be decreased in the future. This is done based on the results of this thesis and conducted in a controlled way within the emission limits.</p>	
Keywords	Waste-to-energy power plant, flue gas cleaning, calcium hydroxide

## Sisällys

### Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Yleistä	2
2.1	Vantaan Energia Oy	2
2.2	Jätteiden energiahyödyntäminen Suomessa	3
2.3	Jätevoimala	5
2.4	Polttoaine ja sen vaikutus päästöihin	8
3	Savukaasut	9
3.1	Raakakaasu	10
3.2	Puhdaskaasu	10
3.3	Savukaasujen puhdistus Vantaan Energian Jätevoimalassa	11
3.3.1	Sähkösuodatin	12
3.3.2	Kiertokaasu	13
3.3.3	Jäähdytystorni	13
3.3.4	LAB-LOOP	15
3.3.5	Letkusuodattimet	15
3.3.6	Kiertopöly	17
3.3.7	Lopputuote	17
3.4	Savukaasupäästöjen mittaus	17
4	Kalkki	18
4.1	Poltettu kalkki	18
4.2	Sammutettu kalkki	18
4.3	Kalkin sammuttaminen	19
4.4	Kalkin annostelun säätö	20
4.5	Kalkin reaktiokaavat savukaasukomponenttien kanssa	22
4.6	Ainemäärän ja aineiden suhteen tarkastelu	23
4.7	Kalsiumhydroksidin teoreettinen tarve	24
4.8	Kuivan savukaasun puhdistusprosessin tehostaminen	25
4.8.1	Suhteellisen kosteuden vaikutus	26
4.8.2	Absorboivan aineen vaikutus	26

4.8.3	Rikkidioksidin ja vetykloridin välisen suhteen vaikutus	27
4.8.4	Happipitoisuuden vaikutus	28
4.8.5	NO <sub>x</sub> :n vaikutus absorptioon	28
5	Työn toteutus	29
5.1	Tiedonhankinta	29
5.2	Näytteenotto ja analysointi	29
5.3	Näytteenottosuunnitelma	31
6	Tulokset	32
6.1	Näytteenoton tulokset	32
6.2	Näytteenottotulosten käsittely ja analysointi	33
6.3	Kiertöpöly ja sen säätömahdollisuus	34
6.4	Lopputuotteen määrän vähentäminen	37
6.5	Kalkin aktiivisuuden määrittäminen tulevaisuudessa	37
7	Yhteenveto	40
	Lähteet	42
	Liitteet	
	Liite 1. Näytteenotto-ohje	
	Liite 2. Prosessin tiedot näytteenottojakson aikana (vuorokausikeskiarvoina)	
	Liite 3. K3-kertoimen muutoksen vaikutus kalkin annosteluun	

## Lyhenteet

BAT Best Available Techniques. Paras saatavilla oleva tekniikka.

HSY Helsingin seudun ympäristöpalvelut.

SR-kerroin Kalkin säädössä käytetty ainekohtainen ylijäämäkerroin.

## 1 Johdanto

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on selvittää, onko savukaasujen puhdistuksessa käytetyn kalkin määrää mahdollista optimoida. Selvitetään myös, miten kalkin syötön optimoiminen voitaisiin toteuttaa. Työn tilaaja on Vantaan Energia Oy, ja tämä työ tehdään yrityksen jätevoimalaitoksella.

Työssä tutustutaan Vantaan Energian Jätevoimalaitoksen (jatkossa Jätevoimalaitos) savukaasunpuhdistusprosessin toimintaan sekä kalkin ominaisuuksiin. Työn aikana selvitetään myös, kuinka polttoaine vaikuttaa muodostuviin päästöihin sekä mitkä kaikki tekijät vaikuttavat kalkin ja savukaasukomponenttien välisiin reaktioihin.

Tarkoituksena on selvittää laitoksella käytettävän kiertopölyn reaktiivisuus ja tämän avulla todeta, onko prosessiin syötettävän kalkin määrää mahdollista optimoida. Työn aikana selvitetään analysointimenetelmä, jolla kiertopölystä voidaan analysoida aktiivisen kalkin määrä. Osana tätä insinööriä järjestetään näytteenottoajanjakso, jotta saadaan kiertopölyn aktiivisuus analysoitua. Näytteenottojakson ajalta kerätään tietoja prosessin tilasta, jotta päästään vertaamaan näytteenottotuloksia prosessin sen hetkiseen tilanteeseen.

Työssä selvitetään myös, onko kalkin määrän optimoinnilla mahdollista tuottaa kustannussäästöjä. Laitokselle tuodaan poltettua kalkkia ja yritys joutuu maksamaan lopputuotteen kuljettamisesta kaatopaikalle. Jos lopputuote sisältää paljon reaktiivista kalkkia, ei tätä kannata kuljettaa kaatopaikalle, sillä sitä voitaisiin vielä käyttää prosessissa vähentämään päästöjä.

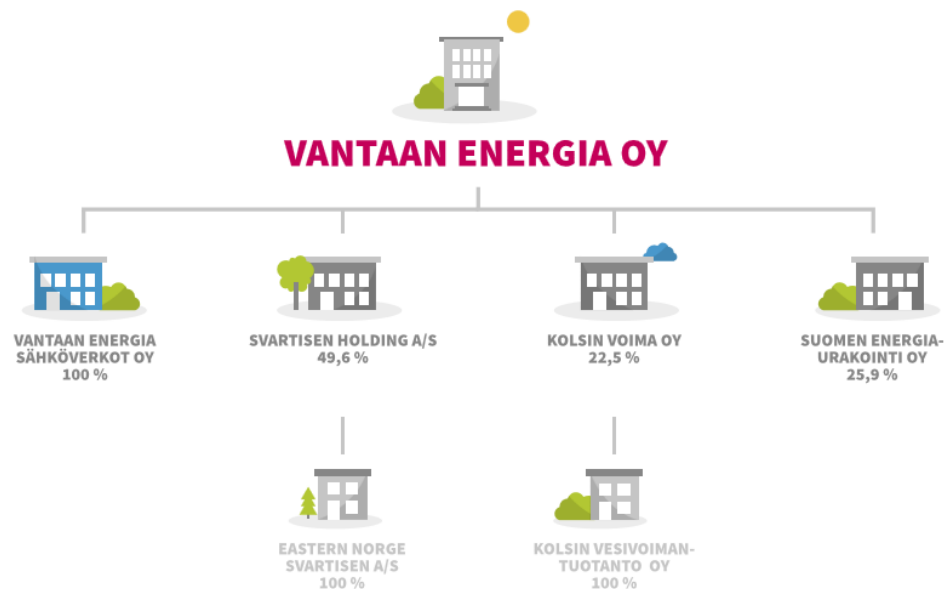
## 2 Yleistä

### 2.1 Vantaan Energia Oy

Vantaan Energia on Suomen neljänneksi suurin kaupunkienergiayhtiö, joka tuottaa ja myy sähköä sekä kaukolämpöä. Teollisuudelle yhtiö tarjoaa maakaasua. Yhtiöstä 60 % omistaa Vantaan kaupunki ja 40 % Helsingin kaupunki. [1.]

Vantaan Energia Sähköverkot Oy on Vantaan Energian tytäryhtiö ja yhtiöt muodostavat yhdessä Vantaan Energia -konsernin. Vantaan Energia Sähköverkot Oy vastaa Vantaan sähköverkon toiminnasta. [1.]

Vuonna 2016 Vantaan Energia Oy:llä oli osakkuusyhtiöinä: Svartisen Holding A/S, Suomen Energia-Urakointi Oy ja Kolsin Voima Oy. Osakkuusyhtiö Svartisen Holding A/S omistaa tytäryhtiö Eastern Norge Svartisen A/S:n. Kolsin Voima Oy:llä on puolestaan tytäryhtiö Kolsin Vesivoimantuotanto Oy. Kuvassa 1 on esitetty Vantaan Energian omistusosuudet. [1.]



OSUUKSIA MUISSA ENERGIAN TUOTANTOYHTIÖISSÄ:

EPV Energia Oy, Pohjolan Voima Oy, Suomen Hyötytuuli Oy, Innopower Oy, Voimaosakeyhtiö SF

Kuva 1. Vantaan Energia Oy:n omistusosuudet [1].

Vantaan Energiolla on kaksi voimalaitosta: Martinlaakson voimalaitos sekä Jätevoimalaitos. Martinlaakson voimalaitos käyttää polttoaineenaan kivihiiltä ja maakaasua. Yhtiön päämääränä on luopua kivihiilen käytöstä 2020-luvun aikana. Käynnissä on projekti yhden Martinlaakson voimalaitoksen kattilan muuttamisesta käyttämään biopolttoaineita. [2.]

Yhtiöllä on viisi lämpökeskusta, joilla tuotetaan kaukolämpöä. Lämpökeskukset sijaitsevat Varistossa, Helsinki-Vantaan lentokentällä, Koivukylässä, Maarinkunnaksella ja Hakunilassa. Niissä käytetään polttoaineena maakaasua ja kevyttä polttoöljyä. [3.]

Jätevoimala otettiin käyttöön vuonna 2014. Samoihin aikoihin Martinlaakson voimalaitoksella maakaasua käyttävä höyrykattila vuodelta 1974 tuli käyttöikänsä päähän. Vantaan Energian Jätevoimala vähensi fossiilisten tuontipolttoaineiden käyttöä noin 40 % ja hiilidioksidipäästöjä 20 %. Jätevoimala tuottaa kaukolämpöä 920 GWh, joka on puolet koko Vantaan kaupungin lämmöntarpeesta ja 640 GWh sähköä, joka on yksi kolmasosa Vantaan kaupungin sähkön tarpeesta. [4.]

## 2.2 Jätteiden energiahyödyntäminen Suomessa

Vuoden 2016 alussa astui voimaan asetus (362/2003), jonka 28. §:n mukaan kaatopaikalle ei saa viedä yli 10 % orgaanista eli palavaa materiaalia sisältävää jätettä [5]. Helsingin seudun ympäristöpalveluiden (HSY) vuonna 2015 tehdyn seka- ja biojätteen koostumustutkimuksen mukaan sekajäte sisältää lähes 90 % palavaa materiaalia. Tämä tarkoittaa, että sekajätettä ei saa enää viedä kaatopaikoille. HSY:n tutkimuksessa käsiteltiin sekajätettä kiinteistökohtaisesti. Kiinteistöt jaoteltiin tutkimuksessa huoneistojen lukumäärän mukaan 1, 2–4, 5–9, 10–19 ja yli 20 huoneistoa sisältäviin kiinteistöihin. Sekajätteen koostumus vaihteli huoneistojen määrän mukaan, mutta se sisälsi kaikissa tapauksissa yli 70 % polttokelpoista jätettä. [6.]

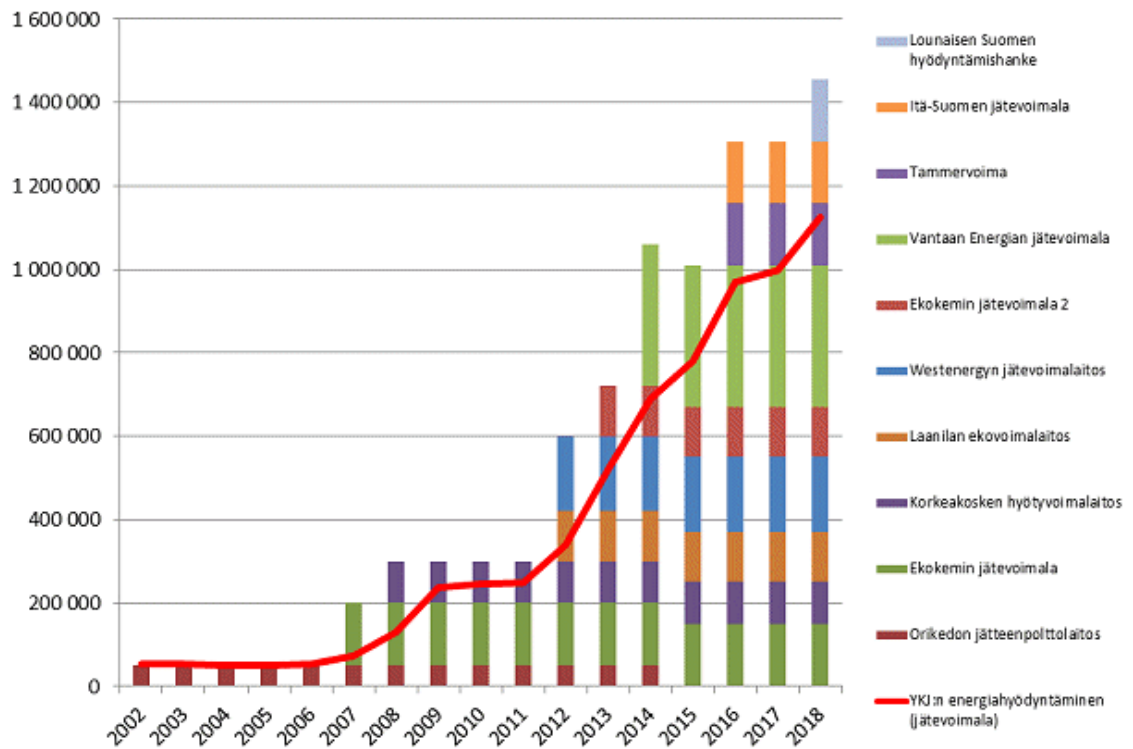
Suomessa on toiminnassa yhdeksän jätevoimalaitosta ja Vantaalla sijaitsee niistä suurin. Lahdessa sijaitseva Kymijärvi II -voimalaitos on kaasutusvoimalaitos, jossa jätteestä valmistetaan ensin kaasua, jota käytetään voimalaitoksen polttoaineena. Taulukossa 1 on lueteltu Suomen jätevoimalat ja niiden kapasiteetit. [7.]

Taulukko 1. Jätevoimalaitokset Suomessa [7].

Sijainti	Tila	Kapasiteetti (t/a)
Kotka	Käynnissä	100 000
Lahti	Käynnissä	250 000
Leppävirta	Käynnissä	145 000
Mustasaari	Käynnissä	180 000
Oulu	Käynnissä	120 000
Riihimäki	Käynnissä	150 000
Riihimäki	Käynnissä	120 000
Salo	Suunnitteilla	110 000
Tampere	Käynnissä	160 000
Vantaa	Käynnissä	320 000

Taulukossa 2 on kuvattu jätevoimalaitosten kokonaiskapasiteetin kasvu vuosittain. Punainen viiva kuvastaa yhdyskuntasekajätteen kapasiteettia. Loppuosa jätevoimalaitosten kapasiteetista on tuotantotoiminnan ja rakentamisen jätteille. [7.]

Taulukko 2. Jätevoimalaitosten kokonaiskapasiteetti vuosittain [7].



## 2.3 Jätevoimala

Vantaan Energian Jätevoimalaitos vihittiin virallisesti käyttöön syyskuussa vuonna 2014. Voimala oli suunniteltu käyttämään 320 000 tonnia sekajätettä vuodessa. Jätevoimalan polttoaine kerätään pääkaupunkiseudulta sekä Itä- ja Länsi-Uudeltamaalta (Kuva 2). Voimala tuottaa kaukolämpöä Vantaan kaukolämpöverkkoon ja sähköä valtakunnan verkkoon. Sekajätteen kuljetuksesta Jätevoimalalle vastaa HSY ja Rosk'n Roll. Suurin osa laitokselle tulevasta sekajätteestä kuljetetaan pakkaavilla jäteautoilla suoraan sekajätteen keräyspisteistä. Kauempaa tuleva jäte kuljetetaan laitokselle perävaunullisilla rekka-autoilla. [4.]



Kuva 2. Jätevoimalan polttoaine kerätään pääkaupunkiseudulta ja Itä- sekä Länsi-Uudeltamaalta [8].

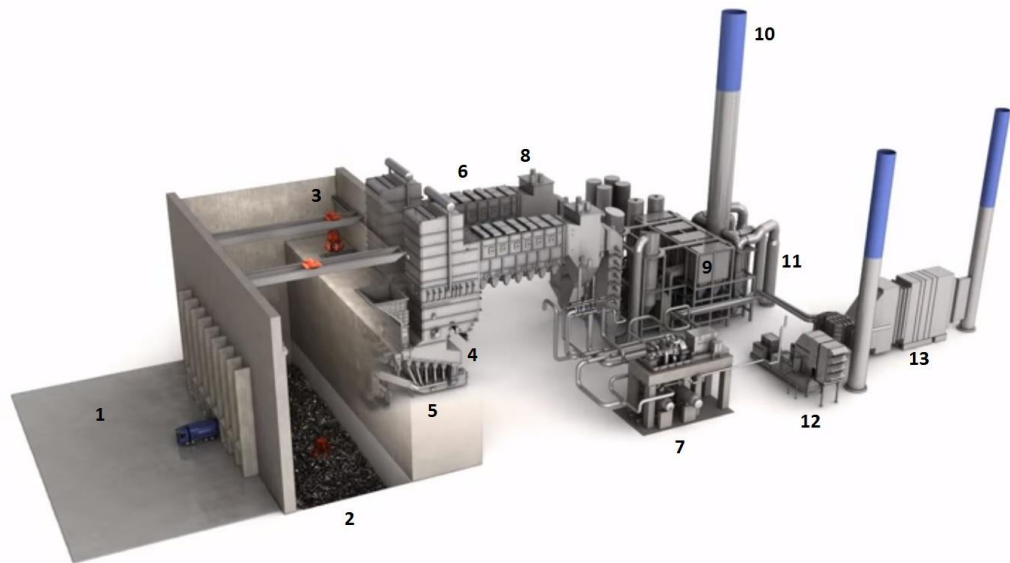
Jokainen jäteauto tunnistetaan RF-sirun avulla ja punnitaan vaa'alla ennen kuin auto pääsee tyhjentämään jätteen voimalaitoksen bunkkeriin. Näin saadaan tieto, kuinka paljon sekajätettä on otettu vastaan voimalaitokselle. Jätevoimala tuottaa energiaa sekajätteestä, mutta toimii myös jätteenkäsittelylaitoksena. [9.]

Voimalaitoksella on kaksi identtistä polttolinjaa, polttolinjat ovat erilliset savupiipun päähän asti. Jätteen vastaanotto ja jätebunkkeri ovat yhteisiä molemmille polttolinjoille. Jäte syötetään jätebunkkerista kahmareiden avulla syöttösiilon kautta jätekattilaan poltettavaksi. [10.]

Valtioneuvoston asetuksessa (362/2003) jätteen poltosta määritetään, että sekajätettä ei saa polttaa alle 850 °C:n lämpötilassa. Kattilan ylösajossa käytetään maakaasua, jolla saadaan nostettua lämpötila kattilassa yli 850 °C:n. Maakaasua käytetään myös kattilan alasajossa, että saadaan lämpötila hallitusti laskemaan 850 °C:sta alaspäin. [5.]

Sekajäte poltetaan 1 000 °C:ssa Hitachi Zosen Inovan toimittamissa 58 MW:n mekaanisissa arinakattiloissa. Jätteen palamista voidaan säätää palamisilman ja jätteen syöttönopeuden avulla. Primääripalamisilma johdetaan jätebunkkerista polttoon, mikä aiheuttaa pienen alipaineen jätebunkkeriin ja estää hajujen pääsyn ulos. [10.]

Kattilat tuottavat höyryä, joka tulistetaan 400 °C:n lämpötilaan. Tämä höyry johdetaan joko suoraan höyryturbiinille, jonka sähköteho on 49,5 MW, tai sen lämpötilaa voidaan nostaa lämmöntalteenottokattilassa. Voimalaitoksella olevan kaasuturbiinin polttoaineteho on 95 MW ja sähköteho on 31 MW. Kaasuturbiinin savukaasut johdetaan lämmöntalteenottokattilaan, jossa niiden lämmöllä nostetaan jätekattiloilta tulevan höyryn lämpötilaa 535 °C:seen. Voimalaitoksen hyötysuhde täydessä toiminnassa on 95 %. Kuvassa 3 näkyy Jätevoimalan layout. [4.]



Kuva 3. Jätevoimalan layout [11].

1. Vastaanottohalli
2. Jätebunkkeri
3. Kahmari
4. Arina ja tulipesä
5. Pohjakuonan keräyslaitteisto
6. Tulistimet ja lämmönvaihtimet
7. Höyryturbiini ja kaukolämmönvaihtimet
8. Sähkösuodatin
9. Letkusuodattimet
10. Piippu
11. Savukaasulauhdutin
12. Kaasuturbiini
13. Lämmön talteenotto kattila

## 2.4 Polttoaine ja sen vaikutus päästöihin

Jätevoimalan polttoaineena on syntypaikkalajiteltu sekajäte. Seuraavassa taulukossa 3 on kuvattu sekajätteen koostumus, jonka mukaan Jätevoimala on suunniteltu toimivan.

Taulukko 3. Syntypaikkalajitellun yhdyskuntajätteen tyypillisiä ominaisuuksia [12].

<b>Syntypaikkalajitellun yhdyskuntajätteen tyypillisiä ominaisuuksia</b>	
Biojäte	38 %
Muovit, vaipat, vaatteet, puu	31 %
Paperi, kartonki, pahvi	20 %
Lasi	4 %
Metallit	4 %
Vaikeasti hyödynnettävät materiaalit	2 %
Sähkö- ja elektroniikkaromu	1 %
Ongelmajätteet	0,20 %
Tehollinen lämpöarvo	11 MJ/kg
Kosteuspitoisuus	30 %
Tuhkapitoisuus (kuiva-aineesta)	25 %
Klooripitoisuus (massasta)	1 %
Rikki-pitoisuus (massasta)	0,25 %

Voimalalle tulee myös sortti-asevilla kerätty palava materiaali, kuten vanhat huonekalut tai rakennusjäte. Voimalaitoksella sekajätettä ei esikäsitellä millään tavalla. Suuret esineet murskataan, ennen kuin ne nostetaan kattilaan polttoon.

Jätebunkkerissa olevaa jätemassaa sekä polttoon nostettavia kuormia tarkkaillaan silmä määräisesti. Tämä on tärkeää, sillä jätteen seassa voi olla isoja kappaleita, jotka eivät pala. Nämä esineet siirretään sivuun, jotta ne eivät pääse tukkimaan laitoksen osia.

Laitokselle tulee sekajätteen mukana PVC-muovia, joka sisältää klooria. PVC:n täydellisen palamisen tuotteena syntyy vetykloridia sisältäviä savukaasuja. Jos palaminen on epätäydellistä, syntyy vetykloridin lisäksi dioksiineja PCDD ja furaaneja PCDF. [13.]

Sekajätteelle on asetettu CO<sub>2</sub>-kerroin, joka huomioi polttoaineesta vain fossiilisen hiilen osuuden. Joka vuosi sekajätteestä arvioidaan orgaanisen aineen osuus, mikä vaikuttaa jatkossa asetettaviin CO<sub>2</sub>-kertoimen oletusarvoihin. Vuoden 2016 polttoaineluokituksen mukaan sekajätteestä bio-osuudeksi luokitellaan 50 %. Näitä ovat esimerkiksi puupohjaiset materiaalit. [14.]

### 3 Savukaasut

Polttoprosessissa syntyy savukaasuja. Hiilidioksidi  $\text{CO}_2$  ja vesihöyry  $\text{H}_2\text{O}$  (g) ovat puhtaan palamisen tuotteita. Käytettävä polttoaine vaikuttaa savukaasujen koostumukseen ja haitallisuuteen. Päästöihin vaikuttaa polttoaineen lisäksi palamistapahtuman ominaisuudet, kuten lämpötila ja saatavilla olevan hapen määrä. [15.]

Teollisuudelle on määritetty monia velvoitteita, joiden avulla pyritään minimoimaan ja estämään ilmakehään, maaperään ja veteen kohdistuvia päästöjä. Nämä velvoitteet on määritelty teollisuuspäästädirektiivissä. Tässä direktiivissä on määritetty EU:n laajuiset päästöraja-arvot. [16.] Päästöarvot ja muut lupaehdot perustuvat BAT-tekniikkoihin (Best Available Techniques) eli parhaisiin käytettävissä oleviin tekniikkoihin [17].

Teollisuudelle säädettyjen päästöraja-arvojen takia teollisuudessa ja energiantuotannossa savukaasuja joudutaan puhdistamaan usealla eri vaiheella. Savukaasun haitallisten yhdisteiden muodostumista ehkäistään jo palamisprosessissa, jonka jälkeen savukaasuvirrasta poistetaan kiintoainehiukkaset ja vielä tämän jälkeen poistetaan kemiallisesti savukaasuissa olevia yhdisteitä. [17.]

Polttoprosessissa syntyvät kaasut vaikuttavat ilmastonmuutokseen joko suoraan tai epäsuoraan. Suoraan ilmastonmuutosta edistävät kasvihuonekaasut, jotka pidättävät osan auringon lämmöstä ilmakehässä. Epäsuorasti ilmastonmuutokseen vaikuttavia kaasuja ovat typen oksidit  $\text{NO}_x$ , hiilimonoksidi CO, rikkidioksidi  $\text{SO}_2$  ja haihtuvat orgaaniset yhdisteet VOC. [18.]

Esimerkkinä rikkidioksidin vaikutuksista ilmastoon. Rikkidioksidi reagoi herkästi veden kanssa muodostaen rikkihapoketta, joka muuttuu edelleen rikkihapoksi ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ). Rikkihappo liukenee pilven sisältämiin vesipisaroihin, joiden mukana se sataa maahan ja happamoittaa vesistöjä sekä syövyttää rakennusmateriaaleja. [19.]

### 3.1 Raakakaasu

Jätevoimalassa raakakaasulla tarkoitetaan savukaasuja ennen kemiallista puhdistusprosessia sekä jäähdytystornia. Raakakaasuista mitataan jatkuvatoimisilla analysaattoreilla rikkidioksidi-, vetykloridipitoisuudet, hiukkasten määrää ja savukaasujen kosteutta. Savukaasuista on jo tässä vaiheessa erotettu suurin osa hiukkasista sähkösuodattimien avulla. Raakakaasuanalysointilaitteiden mittaustulosten perusteella säädetään prosessiin syötettävän kalkin määrää. [20.]

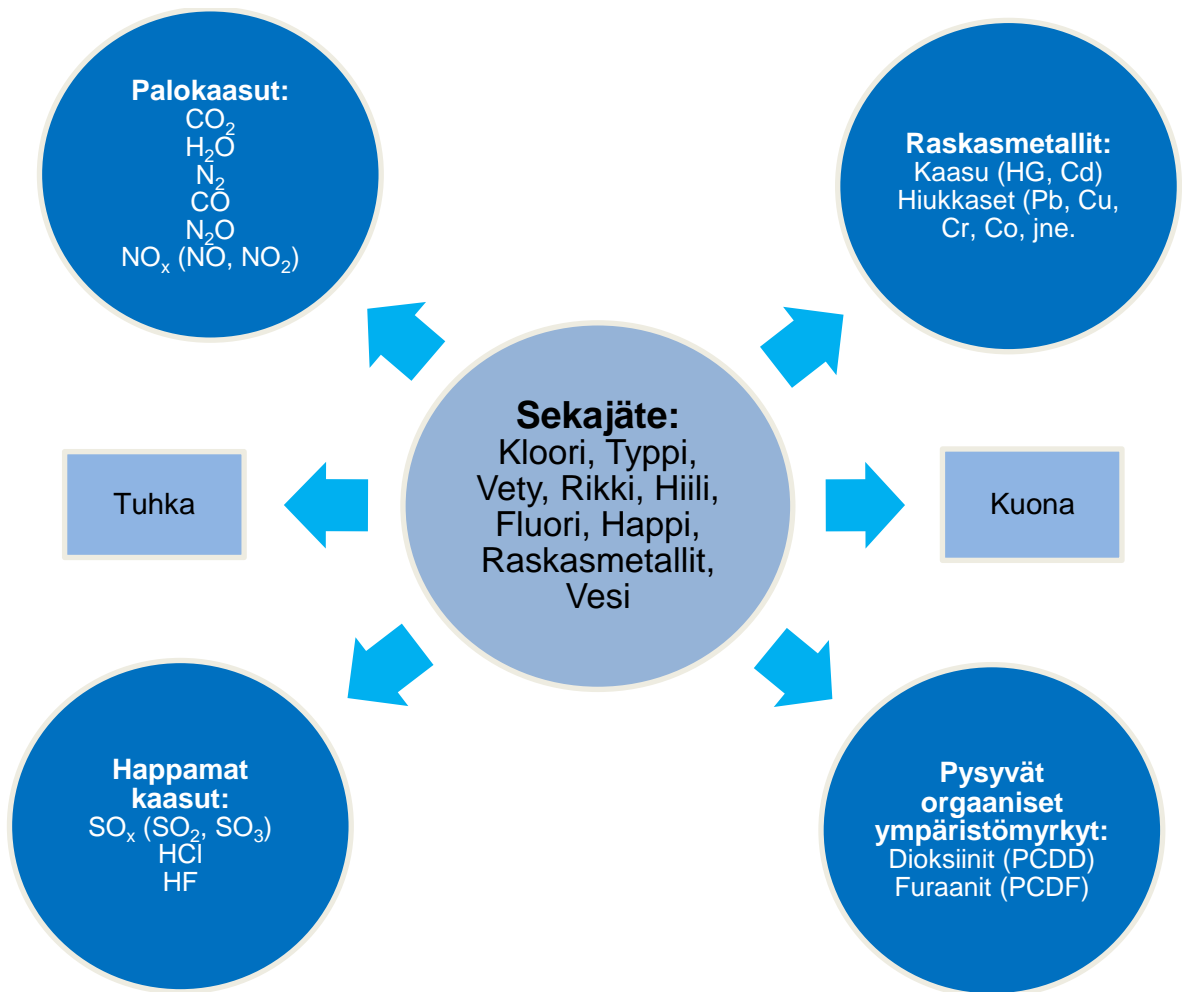
### 3.2 Puhdaskaasu

Jätevoimalalla puhdaskaasu nimitystä käytetään savukaasuista letkusuodattimen jälkeen. Jatkuvatoimiset puhdaskaasuanalysointilaitteet mittaavat savukaasuista rikkidioksidi-, vetykloridipitoisuudet, hiukkasten määrää ja savukaasujen kosteutta. Nämä mittaustulokset eivät ole vielä lopullisia päästöjä, vaan puhdaskaasu johdetaan savupiippuun savukaasulauhduttimen kautta. [20.]

Puhdaskaasupitoisuudet vaikuttavat myös prosessiin annosteltavan kalkin määrään, jos pitoisuudet nousevat yli määriteltyjen arvojen. Tällöin raakakaasuanalysointilaitteiden mittaustulosten perusteella laskettuun kalkin määrään lisätään puhdaskaasupitoisuuksien perusteella laskettu kerroin.

### 3.3 Savukaasujen puhdistus Vantaan Energian Jätevoimalassa

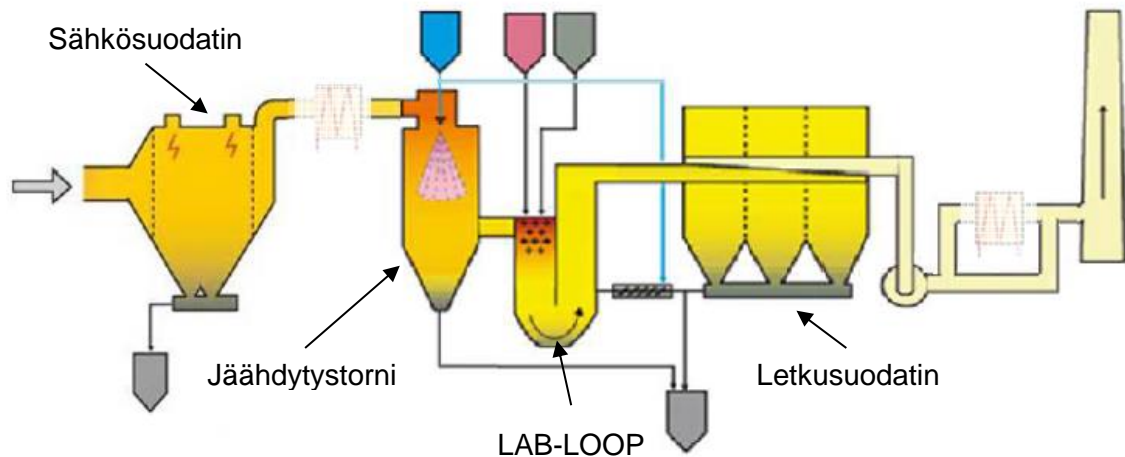
Sekajätettä poltettaessa syntyy haitallisia yhdisteitä. Näitä ovat esimerkiksi rikkidioksidi ( $\text{SO}_2$ ), typen oksidit ( $\text{NO}_x$ ), vetykloridi ( $\text{HCl}$ ), vetyfluoridi ( $\text{HF}$ ), raskasmetallit, dioksiinit (PCDD) ja furaanit (PCDF), kiintoainehiukkaset ja orgaaninen kokonaishiili (TOC) (Kuva 4). Näitä ehkäistään jo itse palamisprosessissa sekä puhdistamalla savukaasuja. [21.]



Kuva 4. Kotitalousjätteen poltosta syntyvät sivutuotteet [21].

Jätevoimalassa savukaasujen puhdistuksessa on monta vaihetta. Sekajätteen poltossa muodostuviin päästöihin pyritään vaikuttamaan jo palamisvaiheessa säätämällä kattilaan johdettavaa ilmamäärää ja jätteensyötön nopeutta säätämällä. Poltossa muodostuneista savukaasuista poistetaan ensin kiintoainehiukkaset, jonka jälkeen on kemiallinen puhdistus.

Kemiallisessa puhdistuksessa savukaasuihin lisätään reagensseja kalkkia ja aktiivihiiltä, jotka reagoivat savukaasussa olevien päästökomponenttien kanssa. Reagenssien reaktioyhtälöt savukaasukomponenttien kanssa on esitetty luvussa 4.4. Reagenssien annostelun jälkeen on letkusuodattimet, jonka pinnalle reagenssit ja loput hiukkaset takertuvat. Kuvassa 5 näkyy voimalaitoksen savukaasunpuhdistuksen komponentit.



Kuva 5. Savukaasujen puhdistusprosessi Jätevoimalassa [21].

### 3.3.1 Sähkösuodatin

Sähkösuodattimen tehtävänä on poistaa savukaasuvirrasta hiukkasia. Se siirtää hiukkaset keräyspinnoille sähkövoimien avulla. Menetelmä on tehokas suurille hiukkasille, sillä niihin kiinnittyy enemmän ionisoituja kaasuhiukkasia, jotka muodostavat hiukkaseen suuremman varauksen. Sähkösuodatin vähentää myöhemmin pussisuodattimiin jäävän kiintoaineksen määrää. Sähkösuodattimen jälkeen osa savukaasusta kierrätetään takaisin kattilaan. [22.]

Sähkösuodattimessa on emissio- ja keräyselektrodeja. Näitä on yhteensä 16 kappaletta, 8 kumpaakin. Keräyselektrodien pinta-ala on yhteensä 1 350 m<sup>2</sup>. [21.] Varautuneet emissioelektrodit purkautuvat koronapurkauksessa, jolloin purkautuu negatiivisesti varautuneita elektroneja. Elektronit saavat hiukkasiin aikaiseksi negatiivisen varauksen. Negatiivisesti varautuneet hiukkaset kerääntyvät positiivisesti varautuneeseen keräyselektrodin pinnalle. [23.]

Sähkösuodattimessa on emissioelektrodeille sekä keräyselektrodeille mekaaninen ravistusjärjestelmä. Keräyselektrodin seinämään kerääntyneet hiukkaset saadaan pudotettua tämän mekaanisen ravistusjärjestelmän avulla. Sähkösuodattimen alla on mekaaninen ruuvikuljetin, jonka avulla hiukkaset kuljetetaan Hitachin pneumaattiseen tuhkanpoistojärjestelmään. Tuhkanpoistojärjestelmä kuljettaa tuhkan keräyssiiloon. [21.] Siiloon kerääntynyt tuhka kuljetetaan Espooseen Ämmäsuolle, jonne se loppusijoitetaan. Sähkösuodattimien avulla poistettuja hiukkasia ja lentotuhkaa syntyy laitoksella keskimäärin 9 000 tonnia vuodessa. [4.]

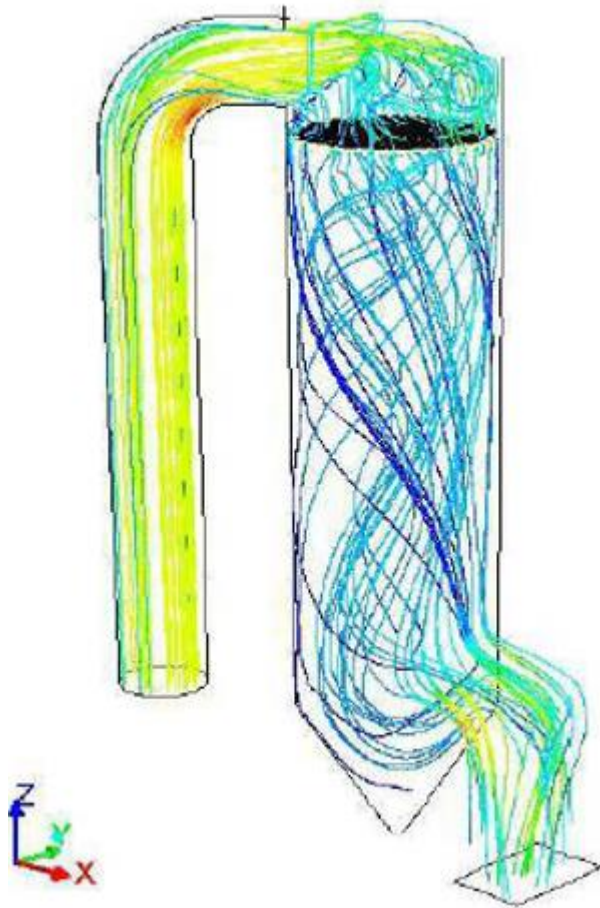
### 3.3.2 Kiertokaasu

Sähkösuodattimen jälkeen osa savukaasuista kierrätetään takaisin kattilaan. Näistä savukaasuista käytetään nimitystä kiertokaasu. Kiertokaasu johdetaan kattilaan yhdessä sekundääri-ilman kanssa. Näin voidaan säädellä palamistapahtumaa kattilassa. Kiertokaasun puhaltaminen kattilaan rajoittaa palamista, sillä se vähentää kattilassa palamiseen kuluvan hapen määrää. Se myös tehostaa palokaasujen sekoittumista, joka parantaa palamistulosta. Kun palamislämpötila pysyy matalana, estetään termisen  $\text{NO}_x$ :n muodostuminen. [24.]

### 3.3.3 Jäähdytystorni

Jäähdytystornissa savukaasuihin suihkutetaan vettä. Veden höyrystymiseen tarvitaan energiaa, joka siirtyy savukaasuista. Vesisumutuksen avulla savukaasut jäähtyvät noin  $140\text{ }^\circ\text{C}$  asteeseen, sillä liian korkea lämpötila vahingoittaa jäähdytystornin jälkeen sijaitsevia letkusuodattimia. Vesisuihkutus lisää myös savukaasujen kosteutta, joka tehostaa jäähdytystornin jälkeen syötettävien reagenssien (kalkin ja aktiivihillen) reaktioita savukaasukomponenttien kanssa. [20; 21.]

Vesi suihkutetaan kaksoissuuttimilla. Suuttimissa käytetään paineilmaa tuottamaan erittäin hienojakeisia ( $<150 \mu\text{m}$ ) vesipisaroita [20]. Suuttimet sijaitsevat rei'itetyn levyn alapuolella. Levyn tarkoitus on optimoida savukaasun jakautuminen jäähdytystorniin (Kuva 6). Vesipisarat höyrystyvät, ennen kuin savukaasut poistuvat tornista. Savukaasujen viipymäaika jäähdytystornissa on 4–7 sekuntia. Jäähdytystornin pohjalle kertyvä lentotuuhka kerätään pusseihin kaksoisläppäventtiilin avulla. [21.]



Kuva 6. Savukaasujen virtaus jäähdytystornissa [21].

Vesi pumpataan jäähdytystorneille yhteisestä vesisäiliöstä. Molemmilla savukaasulinjoilla on oma pumppu, jolla vesi pumpataan jäähdytystorneille. Varalla on kolmas pumppu, jolla voidaan pumpata vettä tarpeen mukaan kummallekin jäähdytystornille, esimerkiksi toisen linjan pumpun rikkoutuessa. [20.]

Vesisumutuksen virtausmäärää säädetään puhdaskaasuanalysaattorin lämpötilamittauksen avulla. Puhdaskaasuanalysaattori sijaitsee letkusuodattimien jälkeen ja ennen savukaasulauhduttimia. Tällöin otetaan huomioon myös lämpötila, jonka savukaasut jäähtyvät LAB-LOOPissa. [20.]

### 3.3.4 LAB-LOOP

Jäähdytystornilta savukaasut johdetaan LAB-LOOPiin, jossa savukaasuvirtaan lisätään kalkkia ja aktiivihiltä. Prosessiin syötettävä kalkki on kalsiumhydroksidia ( $\text{Ca(OH)}_2$ ) eli sammutettua kalkkia [20]. Molemmilla linjoilla on kaksi ruiskutuslaitetta. Nimelliskuormitukseen asti vain yksi suuttimista on toiminnassa, mutta nimellis- ja maksimikuormituksen välissä molemmat ruiskutuslaitteet ovat käytössä. [21.]

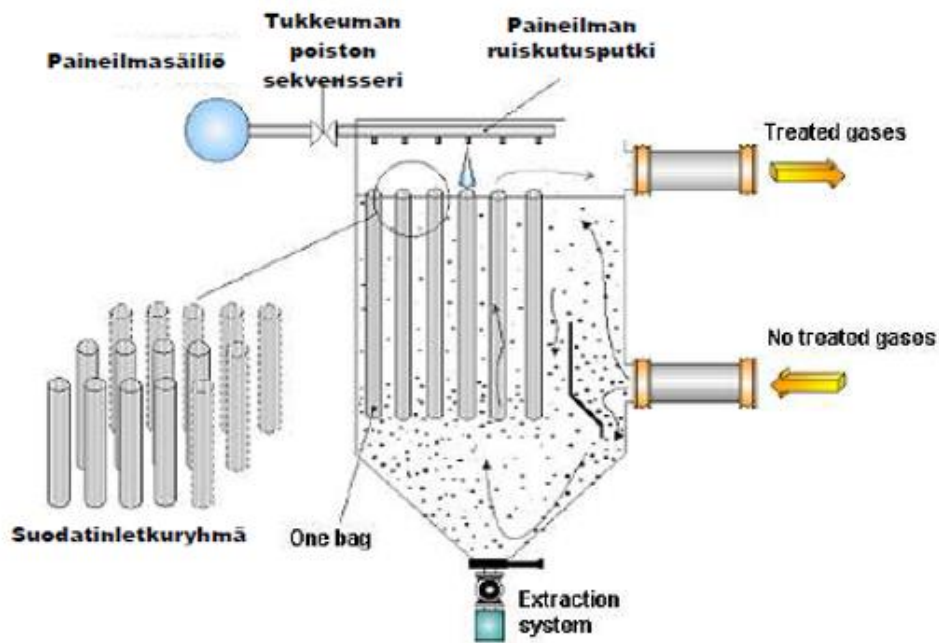
Laitoksella hyödynnetään kiertopölyä, eli letkusuodattimiin kerääntynyt pöly kierrätetään takaisin savukaasujen joukkoon, jotta uutta kalkkia ja aktiivihiltä tarvitsee syöttää prosessiin vähemmän. Kiertopölyssä on jäljellä aktiivista kalkkia, joka kannattaa hyötykäyttää. Kiertopölyä käyttämällä saadaan vähennettyä jäännöskalkin määrää laitokselta pois kuljetettavassa lopputuotteessa. [21.]

LAB-LOOP on rakenteeltaan U:n muotoinen. Tällä muotoilulla pyritään saamaan aikaiseksi mahdollisimman turbulenttinen savukaasuvirtaus. Virtauksen ollessa turbulenttinen reagenssit sekoittuvat paremmin savukaasujen kanssa. Kanava on suunniteltu niin, että reagenssien ja savukaasukomponenttien välillä on tarpeeksi kontaktiaikaa. Tämän takia LAB-LOOPin savukaasuvirtauksen toiminta-alueeksi on määritelty 70 250–131 889  $\text{Nm}^3/\text{h}$  ja todellinen maksimi virtausnopeus on 145 055  $\text{Nm}^3/\text{h}$ . Savukaasujen lämpötila LAB-LOOPissa tulee olla 140 °C. [21.]

Savukaasujen joukkoon syötettävän kalkin määrää kontrolloidaan raakakaasu ja puhdaskaasuanalysaattoreiden avulla. Kalkki reagoi happamien yhdisteiden, kuten vetykloridin ( $\text{HCl}$ ) ja rikkidioksidin ( $\text{SO}_2$ ) kanssa. Syötettävän aktiivihillen määrään vaikuttaa savukaasujen virtausnopeus. Aktiivihilli puolestaan absorboi dioksiineja, furaaneja ja raskasmetalleja. [21; 25.]

### 3.3.5 Letkusuodattimet

LAB-LOOPin jälkeen savukaasut kulkevat letkusuodattimien läpi (Kuva 7). Letkusuodattimet koostuvat neljästä solusta, joissa jokaisessa on 360 letkusuodatinyksikköä. Suodatin pinta-alaa on yhteensä 3 529  $\text{m}^2$ . [26.] Letkusuodattimen pussin hajotessa voidaan eristää solu, jossa hajonnut pussi sijaitsee. Tällöin laitoksen toimintaa voidaan jatkaa ja korjata vikaantunut pussi, jotta suodattimen eristetty solu voidaan ottaa takaisin käyttöön. [21.]



Kuva 7. Letkusuodatin toimintaperiaate [21].

Letkusuodattimet päästävät kaasun läpi, mutta savukaasuissa olevat hiukkaset eivät pääse suodattimen läpi vaan jäävät suodattimen pinnalle. Hiukkasten lisäksi suodattimen pinnalle jää reagenssit ja niihin sitoutuneet epäpuhtaudet. Nämä muodostavat letkusuodattimien pinnalle kerroksen, jota kutsutaan kakuksi. Savukaasujen virratessa letkusuodattimen pinnalla olevan kerroksen läpi tapahtuu vielä merkittävä määrä happamien kaasujen neutralointia, raskasmetallien absorbointia, hiukkasten suodatusta sekä dioksiinien ja furaanien neutralointia. Tämä on tärkeä vaihe epäpuhtauksien poiston tehokkuuden kannalta. [21; 26.]

Letkusuodattimen pinnalla oleva kerros ei saa olla liian paksu eikä liian ohut. Liian ohueen kerrokseen epäpuhtaudet eivät reagoi tarpeeksi tehokkaasti, kun taas liian paksu kerros voi aiheuttaa letkusuodattimeen liian ison paine-eron. Kun paine-ero kasvaa liian suureksi, paineilma-venttiili aukeaa ja antaa paineiskun suodattimeen paineilman avulla. Letkusuodattimet koostuvat 20 suodatinrivistä. Paineisku voidaan antaa koko riville samanaikaisesti, sillä jokaista suodatinriviä kohden on oma paineilma-venttiili. [26.]

### 3.3.6 Kiertopöly

Letkusuodattimien pinnalta paineiskulla poistettua hiukkasia, reagensseja ja niihin sitoutuneita epäpuhtauksia sisältävää pölymaista ainetta kutsutaan kiertopölyksi. Kiertopölyä käytetään, jotta prosessiin ei tarvitse syöttää niin paljon uusia reagensseja. Kiertopöly sisältää aktiivista kalkkia, jonka avulla voidaan vielä poistaa päästökomponentteja. Tällä kierrätyksellä saadaan myös minimoitua pois kuljetettavan lopputuotteen sisältämä aktiivisen kalkin määrää. [26]

Kiertopöly putoaa letkusuodattimien alla oleviin suppiloihin, joista se kuljetetaan kierrätyspuskurisäiliöön mekaanisen ruuvikuljettimen avulla. Puskurisäiliöstä kiertopöly pudotetaan lähetyssiiloon, joka toimii paineilman avulla. Lähetyssiilosta kiertopöly johdetaan joko pois prosessista lopputuotesiiloon tai kierrätetään takaisin prosessiin. Prosessiin takaisin syötettävä kiertopöly reaktivoidaan kostutusruuvissa höyryn avulla. Reaktivoitu kiertopöly syötetään takaisin LAB-LOOPiin ruiskutusruuvilla. [21.]

### 3.3.7 Lopputuote

Lopputuotteeksi kutsutaan kemiallisen savukaasunpuhdistuksen yhteydessä syntynyttä jätettä. Se sisältää prosessiin syötettyä kalkkia ja aktiivihiltä sekä niiden sitomia happamia yhdisteitä ja raskasmetalleja. Lopputuotetta syntyy laitoksella vuosittain 16 000 tonnia. Se kuljetetaan Fortumin eli entisen Ekokemin kaatopaikoille Poriin ja Keltakankaalle. [4.]

## 3.4 Savukaasupäästöjen mittaus

Jätevoimalaitoksella on kahdet jatkuvatoimiset mittalaitteet päästökomponentille molempien polttolinjojen savupiipussa. Mittalaitteita on kahdet, jotta toisten ollessa epäkunnossa voidaan päästöjä analysoida ja tarkkailla koko ajan. [4.]

Päästöille on asetettu raja-arvot, joita ei saa ylittää. Jos päästörajat ylittyvät jommallakummalla polttolinjalla, joudutaan se ajamaan alas ja raportoimaan päästörajanylitys viranomaisille. Taulukossa 4 on lueteltu jätevoimalalle asetetut päästöraja-arvot.

Taulukko 4. Jätevoimalan päästöraja-arvot [12].

**Jätekatiloiden jatkuvien mittausten päästöraja-arvot:**

Epäpuhtaus	24h keskiarvo mg/m <sup>3</sup> (n)	30 min keskiarvo mg/m <sup>3</sup> (n)
Hiukkaset	10	30
TOC	10	20
HCl	10	60
HF	1	4
SO <sub>2</sub>	50	200
NO <sub>x</sub>	200	400
CO	50	100

**Kaasuturbiinin jatkuvien mittausten päästöraja-arvot:**

Epäpuhtaus	24h keskiarvo mg/m <sup>3</sup> (n)
NO <sub>x</sub>	50
CO	100

Raskasmetalleja, dioksiineja ja furaaneja tarkkaillaan kertonäytteenotoilla. Kertonäytteenottoja tulee suorittaa vähintään kaksi kertaa vuodessa. [12.]

## 4 Kalkki

### 4.1 Poltettu kalkki

Jätevoimalalle toimitetaan poltettua kalkkia eli kalsiumoksidia, jonka kemiallinen kaava on CaO. Kalsiumoksidin tiheys on 900 kg/m<sup>3</sup> ja sille tarkoitetun varastosiiilon tilavuus on 130 m<sup>3</sup>, joten siiloon mahtuu 117 000 kg kalsiumoksidia. Siilon purkukapasiteetti on 2 500 kg/h. [21.]

### 4.2 Sammutettu kalkki

Savukaasujen puhdistukseen käytetään sammutettua kalkkia eli kalsiumhydroksidia, jonka kemiallinen kaava on Ca(OH)<sub>2</sub>. Poltettu kalkki sammutetaan Jätevoimalalla kalkin-sammuttimella. Sammutettu kalkki varastoidaan siiloon, jonka tilavuus on sama, kuin poltetun kalkin siilon 130 m<sup>3</sup>. Sammutettua kalkkia annostellaan siilosta tarvittava määrä savukaasuvirtaan. Sammutetun kalkin tiheys on 450 kg/m<sup>3</sup>, joten siiloon mahtuu 58 500 kg sammutettua kalkkia. [21.]

### 4.3 Kalkin sammuttaminen

Kalkin sammutusreaktio voidaan esittää seuraavasti yhtälön 1 avulla:



Reaktioyhtälön tasapaino voidaan tarkastaa seuraavalla yhtälöllä 2 moolimassojen ja ainemäärien avulla.



$$[(40,08 + 16,00) + (2 * 1,008 + 16,00)] \frac{\text{g}}{\text{mol}} \rightarrow [40,08 + 2 * (16,00 + 1,008)] \frac{\text{g}}{\text{mol}}$$

$$(56,08 + 18,016) \frac{\text{g}}{\text{mol}} \rightarrow 74,096 \frac{\text{g}}{\text{mol}}$$

$$74,096 \frac{\text{g}}{\text{mol}} \rightarrow 74,096 \frac{\text{g}}{\text{mol}}$$

$$M[\text{Ca}] = 40,08 \frac{\text{g}}{\text{mol}}$$

$$M[\text{O}] = 16,00 \frac{\text{g}}{\text{mol}}$$

$$M[\text{H}] = 1,008 \frac{\text{g}}{\text{mol}}$$

Reaktioyhtälö on nyt tasapainotettu, eli reaktion alussa on yhtä paljon ainetta, kuin reaktiotuotteessa.

Kalkin sammutus on yksinkertainen prosessi. Ruuvikuljetin annostelee kalkin sammuttimelle. Kalkinsammuttimessa on kaksi ruuvikuljetinta ja vesi suihkutetaan sammuttimeen ruuvien yläpuolelta. Kalkin sammutusprosessi vapauttaa lämpöä, jota hyödynnetään sammuttimelle syötettävän veden esilämmitykseen. Lämpötilan tulee pysyä tarpeeksi korkeana, jotta kalkin koostumus pysyy pölymäisenä. Kalkinsammuttimelta sammutettu kalkki puhalletaan sammutetun kalkin siiloon. [27.]

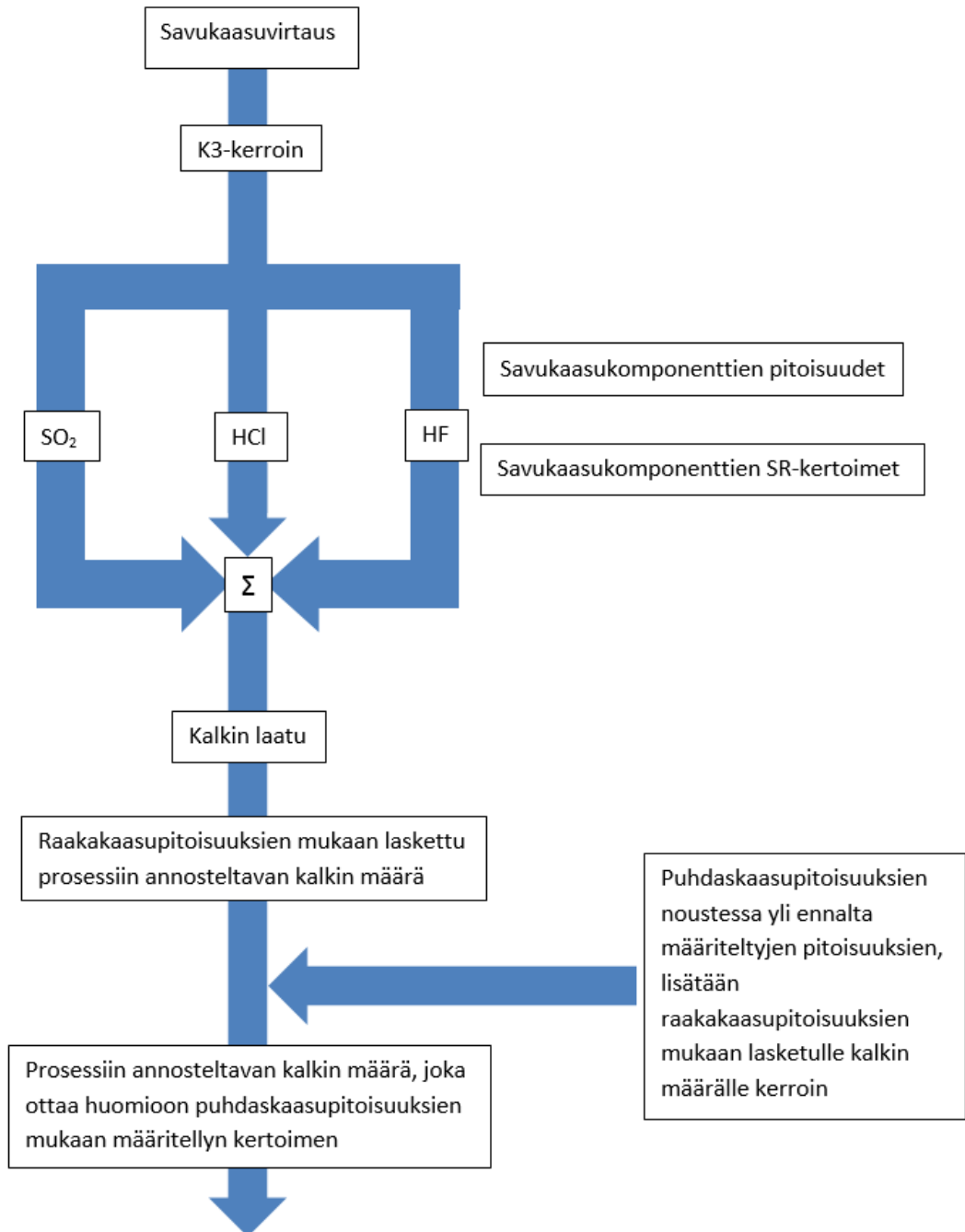
Sammutuksessa käytetty vesi tulee olla puhdistettua, eikä se saa sisältää orgaanisia tai epäorgaanisia epäpuhtauksia. Lämpötila vaikuttaa kemiallisen reaktion nopeuteen. Kalkin sammutuksessa käytetyn veden esilämmitys nopeuttaa kalkin sammumisreaktiota. Sekoitus hajottaa CaO-partikkeleita, jolloin se edesauttaa veden ja kalkin kosketusta eli nopeuttaa reaktiota. [28, s.16–17.]

#### 4.4 Kalkin annostelun säätö

Sammutetun kalkin siilosta kalkki johdetaan yhdessä aktiivihillen kanssa ruuvikuljettimelle, josta sitä säännöstellään puhallinlinjalle. Puhaltimet toimivat vakiolla siirtoilman virtauksella, riippumatta syötettävän kalkin määrästä.

Syötettävän kalkin määrään vaikuttaa savukaasuvirta ja raakakaasuanalysaattorin mitaamat savukaasupitoisuudet. Rikkidioksidille, vetykloridille ja fluorivedylle on määritetty kertoimet, joiden mukaan lasketaan prosessiin syötettävän kalkin määrä. Kalkin laatu huomioidaan myös säädössä.

Puhdaskaasuanalysaattorien mitaamat savukaasupitoisuudet vaikuttavat myös syötettävän kalkin määrään silloin, kun pitoisuudet nousevat yli määritetyn rajan. Tällöin prosessiin annosteltavan kalkin määrään vaikuttaa sekä raakakaasun että puhdaskaasun laskentakaaviot. Eli prosessiin annosteltavan kalkin määrä kasvaa. [21.] Kuvassa 8 on kuvattu kalkin annostelun säätö.



Kuva 8. Prosessiin annosteltavan kalkin säätö

Operaattori voi vaikuttaa säädön laskemaan syötettävän kalkin määrään muuttamalla säätökaaviossa olevia k-kertoimia. K-kertoimia säädössä on kolme, joista yksi k3-kerroin vaikuttaa raakakaasupitoisuuksista laskettuun annosteltavan kalkin määrään. Loput

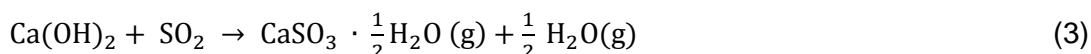
kaksi kerrointa vaikuttavat puhdaskaasupitoisuuksista laskettuun kalkin määrään. Ker-toimia nostetaan yleensä silloin, kun savukaasujen rikkidioksidi- tai vetykloridipitoisuudet nousevat, jotta prosessiin annosteltavan kalkin määrä kasvaa. [29.]

Näiden kolmen kertoimen lisäksi operaattori voi ohittaa säädön laskennan tuloksen ja määrittää itse prosessiin annosteltavan kalkin määrän tai puhdaskaasusäädön puolelta tulevan kertoimen suuruuden.

#### 4.5 Kalkin reaktiokaavat savukaasukomponenttien kanssa

Kalsiumhydroksidi eli sammutettu kalkki reagoi savukaasuissa olevien rikkidioksidi-, rik-kitrioksidi-, vetykloridi- ja fluorivetykomponenttien kanssa. [30.]

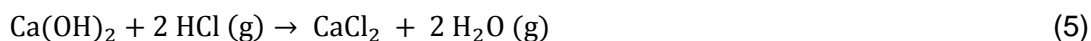
Alla kaava 3, josta nähdään kalsiumhydroksidin ja rikkidioksidin välinen kemiallinen reaktio ja sen reaktiotuotteet.



Alla kaava 4, josta nähdään kalsiumhydroksidin ja rikkitrioksidin välinen kemiallinen reaktio ja sen reaktiotuotteet.



Alla kaava 5, josta nähdään kalsiumhydroksidin ja vetykloridin välinen kemiallinen reaktio ja sen reaktiotuotteet.



Alla kaava 6, josta nähdään kalsiumhydroksidin ja fluorivedyn välinen kemiallinen reaktio ja sen reaktiotuotteet.



#### 4.6 Ainemäärän ja aineiden suhteen tarkastelu

Ainemäärän laskukaavan (Kaava 7) avulla saadaan selville, kuinka paljon tietty moolimäärä sisältää ainetta grammoina [31]. Seuraavassa esimerkissä lasketaan, mikä on atomimassa yhdellä moolilla vetykloridia.

$$n = \frac{m}{M} \quad (7)$$

$n$  on ainemäärä [mol]

$m$  on massa [g]

$M$  on moolimassa [g/mol]

$$m = n \times M$$

$$m = 1 \text{ mol} \times (1,008 + 35,45) \frac{\text{g}}{\text{mol}}$$

$$m = 36,458 \text{ g}$$

Esimerkistä selviää, että yksi mooli vetykloridia painaa 36,458 grammaa. Tällä kaavalla voidaan laskea myös muiden aineiden massoja.

Ainemäärien riippuvuuksia voidaan laskea moolimassojen suhteella. Tätä suhdelukua tarvitaan, kun selvitetään savukaasuissa reagoivan aineen määrän suhdetta savukaasujen raakakaasupäästöjen määrään. Esimerkkinä lasketaan kalsiumhydroksidin ja rikkidioksidin moolimassojen suhde kaavalla 8. [32, s.32–33.]

$$SR_{M_{\text{SO}_2}} = \frac{M_{\text{Ca(OH)}_2}}{M_{\text{SO}_2}} = \frac{74,096 \text{ g/mol}}{64,06 \text{ g/mol}} = 1,157 \quad (8)$$

$SR_{M_{\text{SO}_2}}$  on  $\text{SO}_2$  ja  $\text{Ca(OH)}_2$  massojen välinen suhdeluku

$M_{\text{Ca(OH)}_2}$  on sammutetun kalkin moolimassa [g/mol]

$M_{\text{SO}_2}$  on rikkidioksidin moolimassa [g/mol]

Kalsiumhydroksidin ja rikkidioksidin moolimassojen suhdeluvuksi saatiin 1,157, joka tarkoittaa, että 1,157 kg:lla kalsiumhydroksidia saadaan neutraloitua 1 kg rikkipäästöjä. Kun sama laskutoimitus suoritetaan vetykloridille ja fluorivedylle, tulee huomioida näiden ainemääräsuhde. Vetykloridin ja kalsiumhydroksidin suhdeluvuksi saadaan 1,016 ja fluorivedyn ja kalsiumhydroksidin suhdeluvuksi saadaan 1,85.

#### 4.7 Kalsiumhydroksidin teoreettinen tarve

Kalsiumhydroksidin eli sammutetun kalkin teoreettinen tarve voidaan laskea, jos tiedetään raakakaasujen pitoisuudet, savukaasun kosteus ja savukaasun virtaus. Esimerkkitapauksessa tarkastellaan kalsiumhydroksidin tarvetta, kun prosessissa raakakaasujen pitoisuudet  $\text{SO}_2 = 300\text{mg/Nm}^3$ ,  $\text{HCl} = 800\text{ mg/Nm}^3$ , savukaasujen kosteus on 18 % ja savukaasun virtaus on  $130\,000\text{ Nm}^3/\text{h}$ . Laskussa oletetaan  $\text{HF} = 1,8\text{ mg/Nm}^3$ .

Savukaasun virtauksen muuntaminen kuivaksi savukaasuksi lasketaan kaavalla 9.

$$SK_{\text{kuiva}} = SK_{\text{kostea}} * \left( \frac{100 - SK_{\text{kosteus}}}{100} \right) \quad (9)$$

$SK_{\text{kuiva}}$  on kuiva savukaasun määrä [ $\text{Nm}^3/\text{h}$ ]

$SK_{\text{kostea}}$  on kostean savukaasun määrä [ $\text{Nm}^3/\text{h}$ ]

$SK_{\text{kosteus}}$  on savukaasun kosteus [%]

Seuraavaksi savukaasuista mitattujen päästökomponenttien määrä muutetaan kilogrammoiksi. Tämä lasketaan kaavalla 10.

$$m [\text{HCl}] = \frac{\text{HCl}_{\text{mitattu}}}{10^6} * SK_{\text{kuiva}} \quad (10)$$

$m [\text{HCl}]$  on kloorivedyn määrä [ $\text{kg/h}$ ]

$\text{HCl}_{\text{mitattu}}$  on mitattu kloorivedyn määrä [ $\text{mg/Nm}^3$ ]

$SK_{\text{kuiva}}$  on kuiva savukaasun määrä [ $\text{Nm}^3/\text{h}$ ]

Teoreettinen kalsiumhydroksidin määrä lasketaan kaavalla 11.

$$m [\text{Ca}(\text{OH})_2] = \left( m [\text{SO}_2] \times SR_{M_{\text{SO}_2}} + m [\text{HCl}] \times SR_{M_{\text{HCl}}} + m [\text{HF}] \times SR_{M_{\text{HF}}} \right) \times X_{\text{Ca}(\text{OH})_2} \quad (11)$$

$m [\text{Ca}(\text{OH})_2]$  on teoreettinen kalsiumhydroksidin tarve [kg/h]

$m [\text{SO}_2]$  on rikkidioksidin määrä [kg/h]

$SR_{M_{\text{SO}_2}}$  on  $\text{SO}_2$  ja  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  massojen välinen suhdeluku

$m [\text{HCl}]$  on kloorivedyn määrä [kg/h]

$SR_{M_{\text{HCl}}}$  on  $\text{HCl}$  ja  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  massojen välinen suhdeluku

$m [\text{HF}]$  on fluorivedyn määrä [kg/h]

$SR_{M_{\text{HF}}}$  on  $\text{HF}$  ja  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  massojen välinen suhdeluku

$X_{\text{Ca}(\text{OH})_2}$  on kalkin puhtaus [%]

Edellä mainittujen laskukaavojen mukaan saadaan esimerkkitapauksessa kalsiumhydroksidin teoreettiseksi tarpeeksi 138 kg/h.

Tämä teoreettinen kalsiumhydroksidin määrä tarvitsee ideaaliolosuhteet toteutuakseen, eikä tähän käytännössä päästä ikinä. Prosessin olosuhteet, kuten lämpötila ja kosteus vaihtuvat jatkuvasti. Poltettavan jätteen koostumus vaihtelee, mikä puolestaan vaikuttaa savukaasujen päästökomenttien pitoisuuksiin.

Jätteenpolttolaitoksella savukaasujen käsittelyssä käytettävässä kiertöpölyssä tulee olla aktiivisuutta. Tätä tarvittavaa aktiivisuutta kutsutaan puskurikyvyksi, joka pystyy ottamaan polttoaineen muuttuvan koostumuksen huomioon. [37.] Tämän takia kalsiumhydroksidin teoreettiseen tarpeeseen tulee lisätä kerroin 1,6–2,3, jotta syötetyn kalkin määrä on käytännössä riittävä [32, s. 35].

#### 4.8 Kuivan savukaasun puhdistusprosessin tehostaminen

Savukaasupäästöjä koskevat lait ja direktiivit ovat tiukentuneet, joten koko ajan on tärkeämpää optimoida savukaasun puhdistusprosesseja. Prosessiolosuhteet vaikuttavat savukaasujen puhdistusprosessiin. Päästöjä voidaan ehkäistä oikeilla prosessiolosuhteilla ja tehokkaalla absorbentilla. [33, s.18.]

#### 4.8.1 Suhteellisen kosteuden vaikutus

Suhteellinen kosteus on tärkeä tekijä prosessin tehokkuudelle. Mitä matalampi on savukaasujen lämpötila, sitä suuremman suhteellisen kosteuden arvo voidaan saavuttaa. Suhteellinen kosteus on prosentuaalinen arvo, joka kuvaa savukaasuissa olevan veden maksimimäärää ennen kondensoitumista. [33, s. 18.]

Suhteellisen kosteuden määrään vaikuttaa savukaasujen vesipitoisuus, lämpötila ja paine. Kun savukaasujen sisältämä vesipitoisuuden määrä pysyy vakiona, nousee suhteellinen kosteus, kun savukaasujen lämpötila laskee. Teoriassa, mitä suurempi suhteellinen kosteus on, sitä tehokkaammin kalkki reagoi. Suuri suhteellinen kosteus voi aiheuttaa korroosiota prosessissa lämmönsiirrinpinnoilla. Suhteellinen kosteus voidaan laskea kaavalla 12. [33, s. 19.]

$$\text{Suht. kosteus} = \frac{x_{\text{H}_2\text{O}} \times p_{\text{H}_2\text{O}}}{p'_{\text{H}_2\text{O}}} \times 100 \% \quad (12)$$

$x_{\text{H}_2\text{O}}$  on savukaasujen kosteuspitoisuus [%]

$p_{\text{H}_2\text{O}}$  on vesihöyryn osapaine [bar]

$p'_{\text{H}_2\text{O}}$  on kyllästetyn höyryn paine [bar]

#### 4.8.2 Absorboivan aineen vaikutus

Absorboivan aineen tehokkuus riippuu sen ominaispinta-alasta ja huokostilavuudesta. Mitä suurempi reagoiva pinta-ala ja huokoisempi rakenne absorboivalla aineella on, sitä tehokkaammin se neutralisoi savukaasupäästöjä. Myös savukaasuvirtauksessa olevien hiukkasten määrä lisää puhdistuskapasiteettia letkusuodattimissa.

Mitä pienempi kalkin partikkelikoko on, sitä tehokkaammin se sekoittuu savukaasuvirtaan. Myös kalkin syöttökohtien määrällä on vaikutusta siihen, kuinka helposti kalkki sekoittuu savukaasuvirtaan. Kun kalkki saadaan sekoittumaan savukaasuvirtaan, muodostaa se letkusuodattimen pinnalle tasaisen kerroksen. Mitä paksumpi letkusuodattimien pinnalle kerääntynyt absorboiva kerros on, sitä pidempi on savukaasujen reagointiaika absorboivien aineiden kanssa. [33, s. 20.]

#### 4.8.3 Rikkidioksidin ja vetykloridin välisen suhteen vaikutus

Chrisholm ja Rochelle tekivät vuonna 1999 tutkimuksen, jossa simuloitiin rikkidioksidin ja vetykloridin reaktio-olosuhteita happamien kaasujen ja kalsiumhydroksidin välillä yhdyskuntajätteen polttolaitoksen kangassuotimessa. Tutkimuksessa havaittiin, että kun  $\text{CaSO}_3 \cdot \frac{1}{2} \text{H}_2\text{O}$  altistetaan vetykloridia sisältävälle kaasulle, muodostuu rikkidioksidia ja  $\text{CaCl}_2 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$  -yhdistettä. Kun taas  $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  altistetaan rikkidioksidia sisältävälle kaasulle, muodostuu vetykloridia sekä  $\text{CaSO}_3 \cdot \frac{1}{2} \text{H}_2\text{O}$  -yhdistettä. Tämä on siis tasapainoreaktio. [30.]

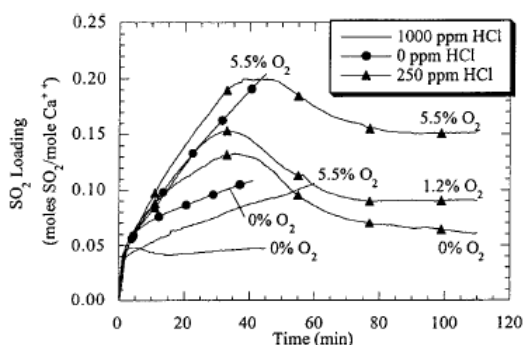


Mitä pienempi vetykloridin pitoisuus on, sitä paremmin rikkidioksidi absorboituu. Kuitenkaan rikkidioksidin pitoisuudella on vain vähän vaikutusta vetykloridin reaktiivisuuteen. [33, s. 24.]

#### 4.8.4 Happipitoisuuden vaikutus

Savukaasujen happipitoisuus parantaa rikkidioksidin poistoa savukaasuista. Kun happipitoisuus kasvaa, kasvaa myös kiintoaineisiin sitoutuneen rikin määrä. Vuonna 1998 Chun ja Rochellen tekemän kokeen mukaan 5,5 %:n happipitoisuudella rikkidioksidin reaktiivisuus kasvaa hieman, vaikka prosessissa on mukana vetykloridia. Kun savukaasujen emäksisyys vähenee, vetykloridi reagoi  $\text{CaSO}_3 \cdot \frac{1}{2} \text{H}_2\text{O}$ :n kanssa aiheuttaen rikkidioksidi yhdisteiden muodostumista. [30.]

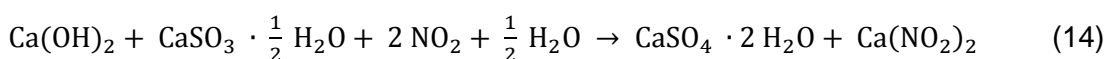
Tutkimuksen mukaan 250 ppm HCl-pitoisuudella ja 1 000 ppm  $\text{SO}_2$ -pitoisuudella rikkidioksidin ei tarvitse kilpailla vetykloridin kanssa kalkista. Kun HCl-pitoisuus nousee 1 000 ppm:ään, vetykloridin nopea absorboituminen vähentää  $\text{SO}_2$ :n reagoivuutta kalkin kanssa. Suurilla HCl-pitoisuuksilla  $\text{SO}_2$  joutuu kilpailemaan HCl:n kanssa emäksisyydestä. Tämä kilpailu aiheuttaa  $\text{SO}_2$ :n reaktiivisuuden laskun, vaikka prosessissa olisi paljon happea (Kuva 9). [30.]



Kuva 9. O<sub>2</sub>:n ja HCl:n vaikutus SO<sub>2</sub>:n määrään. Tutkimus on tehty 19 %:n suhteellisella kosteudella, 1 000 ppm SO<sub>2</sub> pitoisuudella ja 120 °C. [30.]

#### 4.8.5 NO<sub>x</sub>:n vaikutus absorptioon

Noin 90 % muodostuneista NO<sub>x</sub>-päästöistä on typpidioksidgeja ja loput 10 % on typenoksideja. Nellin ja Rochellen tutkimuksessa vuonna 1998 todettiin, että suurempi typpidioksidien määrä lisää rikkidioksidin reaktiivisuutta. Tutkimusprosessi suoritettiin kuitenkin ilman vetykloridia. [30.]



Myös rikkidioksidin ja vetykloridin suuri määrä vaikuttaa typpidioksidien absorboitumiseen [33, s. 26].

## 5 Työn toteutus

### 5.1 Tiedonhankinta

Jätevoimalaitoksen prosessi oli yleisellä tasolla tuttu jo ennen tämän insinööriyön aloittamista. Työ aloitettiin tutustumalla voimalaitoksen toimintaan työskentelemällä valvomossa. Tämän lisäksi käytiin läpi Jätevoimalan laitteistojen toimittajien materiaaleja, kuten toimintakuvauksia ja käyttöohjeita. Savukaasun käsittelylaitteistot on toimittanut laitokselle LAB SA.

Työtä varten keskusteltiin asiantuntijoiden kanssa savukaasujen puhdistuksesta. Osana insinööriyötä oli näytteenottoajanjakson suunnittelu ja toteutus. Fortum analysoi näytteet. Näytteenottotuloksien käsittelyn tukena käytettiin kirjallisuusaineistoa, jonka perusteella saatiin selville kalkin reagointiin vaikuttavia tekijöitä. Prosessin olosuhteista kerättiin näytteenottojakson ajalta dataa, johon näytteenottotuloksia vertailtiin.

### 5.2 Näytteenotto ja analysointi

Näytteenottoa suunniteltaessa tuli ensin selvittää, mistä näyte otetaan, jotta saadaan haluttu tieto selville. Tultiin tulokseen, että näyte olisi hyvä ottaa ennen kiertopölyn kostutusta ja tämän jälkeen. Tästä nähtäisiin, kuinka paljon kiertopölyn aktiivisuus on ennen kostutusta sekä kuinka paljon kostutus nostaa kalkin aktiivisuutta. [34.]

Mahdollisia näytteenottoaikoja etsittäessä tultiin tulokseen, että näytteenottoyhteen rakentaminen kostutusruuvien jälkeen on miltei mahdotonta linjan sijainnin ja erittäin suuren alipaineen takia. Tämän takia näytteenottoyhte päädyttiin rakentamaan ennen kiertopölyn kostutusruuvia Jätevoimalan vuosihuollon aikana syyskuussa 2017 (Kuva 10). [35.]



Kuva 10. Näytteenottoyhde kiertöpölyn näytteenottoa varten

Ekokem on analysoinut Jätevoimalan lopputuotteessa olevan aktiivisen kalkin määrää vuonna 2014, kun laitos otettiin käyttöön. Ekokem, nykyinen Fortum toimitti työohjeen, josta nähdään, mitä välineitä ja kemikaaleja analysointiin tarvitaan. Jätevoimalalla on vain vesilaboratorio, jossa ei mielellään käsitellä kiertöpölynäytteitä. Laboratoriossa ei myöskään ole ylimääräistä tilaa, johon tarvittava keittokolvi saataisiin mahtumaan. Kun keittokolvi sijoitettaisiin vetokaappiin, ei sinne jäisi tilaa muuhun työskentelyyn. [34.]

### 5.3 Näytteenottosuunnitelma

Ekokem on vastannut Jätevoimalaitoksen lopputuotteen analysoinnista voimalan käyttöönoton aikana sekä toimittanut työohjeen vapaan kalkin määrittämisestä Vantaan Energialle. Ekokemin laboratorion käyttö näytteiden analysointiin on luontevaa aiemman yhteistyön ja näytteenottomenetelmän toimivuuden vuoksi

Näytteenottojakso:

1 viikko (arkipäivät) 2 kertaa päivässä → 10 näytettä

Kun näytteitä otetaan, seurataan raakakaasu- ja puhdaskaasuanalysaattorien mittaus tuloksia. Näin saadaan vertailtua, kuinka paljon savukaasussa olevat pitoisuudet vaikuttavat kiertopölyssä kalkin aktiivisuuden määrään. Myös prosessiin syötettävän uuden kalkin määrää tarkkaillaan, niin tiedetään, kuinka paljon uutta kalkkia on prosessiin syötetty.

Näytteenoton yhteydessä tuli arvioida, kuinka kauan kiertopölyllä kestää kiertää prosessissa. Tähän vastaukseksi oletetaan puoli tuntia, jonka mukaan katsotaan savukaasuvirran pitoisuuksia puoli tuntia ennen näytteen ottamista. [35.]

Näytteenoton tarkoituksena oli selvittää ylipäänsä kiertopölyn sisältämän kalkin aktiivisuus. Kiertopölyn ominaisuuksista ei ollut aiempaa tietoa, muuta kuin vuodelta 2014, jolloin laitos otettiin käyttöön. Tämän jälkeen kiertopölyssä/lopputuotteessa olleen aktiivisen kalkin määrää ei ole määritetty. Toisena tarkoituksena oli saada selville, onko prosessiin annostellun kalkin määrää tarpeen vähentää vai onko aktiivisen kalkin määrä kiertopölyssä jo saman kaltaisille prosesseille tyypillisellä tasolla.

## 6 Tulokset

### 6.1 Näytteenoton tulokset

Näytteenottotulokset saatiin nopeasti ja näin ollen päästiin aloittamaan tulosten käsittely. Näytteenoton tulokset olivat vaihtelevia. Kuvasta 11 näkyy, että näytteistä analysoitu kalkin aktiivisuuden määrä kiertopölyssä oli korkeimmillaan yli 19 % ja matalimmillaan alle 4 %. Eroa kalkin aktiivisuuden määrässä oli näytteiden välillä jopa yli 15 prosenttiyksikköä.



Kuva 11. Näytteistä analysoitu kiertopölyn kalkin aktiivisuuden määrä

Kun näytteenottotulokset oli saatu, pyrittiin löytämään syy kalkin suurelle aktiivisuuden vaihtelulle. Tämän selvitykseen tarvittiin dataa prosessin tilasta kyseiseltä ajalta. Jätevoimaloiden lopputuotteen aktiivisuus on tyypillisesti 5–8 %:n välillä [35]. Tällöin prosessissa on vielä tarpeeksi puskurikykyä ottaa vastaan savukaasujen muuttuvat pitoisuudet [37]. Pääasiassa näytteenottotulokset pysyivät tällä välillä.

Tämän lisäksi tutkittiin myös, onko päästöillä tai prosessiin annostellun kalkin määrällä suoraa vaikutusta kiertopölyssä olevan kalkin aktiivisuuteen.

## 6.2 Näytteenottotulosten käsittely ja analysointi

Näytteenottotulosten käsittelyä varten täytyi kerätä suuri määrä tietoa prosessista, jotta saatiin verrattua prosessin tilan vaikutusta näytteissä olleen aktiivisuuden määrään. Analysoinnissa käytettiin raakakaasu-, puhdaskaasu- ja piipussa olevien analysaattorien mitattamia pitoisuuksia sekä prosessiin syötetyn kalkin määrää.

Prosessista kerättiin seuraavat tiedot analysointia varten:

- raakakaasun SO<sub>2</sub>-, HCl- ja kosteuspitoisuus
- puhdaskaasun SO<sub>2</sub>-, HCl- ja kosteuspitoisuus
- savupiipun SO<sub>2</sub>-, HCl-, O<sub>2</sub>- ja kosteuspitoisuus
- prosessiin syötetyn kalkin määrä
- savukaasujen virtaus.

Prosessista kerätyt tiedot olivat taulukkomuodossa. Jotta tuloksia pystyttiin analysoimaan helpommin, muodostettiin taulukon tiedoista diagrammeja (Liite 2). Näin prosessin tietojen käsittely oli helpompaa ja prosessissa tapahtuneet muutokset oli helpompi havaita.

Näytteenottotuloksissa olleen aktiivisuuden määrää verrattiin prosessin tilaan. Pyrittiin selvittämään, mistä näytteenottotuloksien vaihtelevuus johtuu. Tutkittiin, onko savukaasukomponenttien pitoisuuksilla, savukaasujen kosteudella, savukaasuvirtauksella tai prosessiin syötetyn kalkin määrällä yhteyttä näytteessä olleeseen kalkin aktiivisuuden määrään.

Jätevoimalan lopputuotteen aktiivisuus vaihtelee normaalisti 5–8 %:n välillä [35]. Näytteenottotuloksissa olleen aktiivisuuden määrä oli pääosin tällä välillä. Voidaan todeta, että Jätevoimalan savukaasujen puhdistusprosessin toiminta on näin ollen hyvä.

Selkeää syytä kiertopölyn kalkin aktiivisuuden muutoksiin ei löydetty tässä työssä tarkasteltujen tietojen pohjalta. Näytteenottotulosten analysoinnin perusteella löydettiin yksi

epävarmuustekijä, joka voi vaikuttaa näytteissä olleen aktiivisuuden määrään. Tämä on sammutetun kalkin koostumus. Jos laitoksella oleva kalkinsammutin ei ole sammuttanut kalkkia kokonaan, prosessiin annosteltu kalkki on voinut olla osittain poltettua kalkkia. Tällöin poltetu kalkki on ensin sammunut savukaasuvirrassa eikä näin ollen ole kerennyt reagoimaan happamien yhdisteiden kanssa yhtä tehokkaasti kuin sammutettu kalkki.

Jotta saadaan selvitettyä kiertopölyn aktiivisuuden muutoksiin vaikuttavat tekijät, täytyy järjestää uusi näytteenottojakso. Tämä rajataan kuitenkin opinnäytetyön ulkopuolelle. Näytteenottojakson aikana olisi hyvä tarkastella kalkinsammuttimen toimintaa, jotta saadaan tietää, kuinka hyvin prosessiin annosteltu kalkki on sammunut.

### 6.3 Kiertopöly ja sen säätömahdollisuus

Tässä työssä on laskettu sammutetun kalkin tarpeen teoreettinen määrä. Prosessin todellinen kalkin tarve saadaan kertomalla teoreettinen kalkin tarve varmuuskertoimella. Prosessiin syötetyn sammutetun kalkin suhde teoreettisen kalkin tarpeen määrään pysyi välillä 1,8–2,0. Tästä voidaan todeta, että jätevoimalan kalsiumhydroksidin eli sammutetun kalkin säätö toimii oikealla tavalla.

Tilanteessa, jolloin puhdaskaasun rikkidioksidi- tai vetykloridipitoisuudet nousevat yli määriteltyjen arvojen, prosessiin annostellun kalsiumhydroksidin määrä kasvaa, jotta pysytään laitokselle määritettyjen päästöraja-arvojen alapuolella. Päästörajoja tulee kunnioittaa, ja näissä tilanteissa päästörajoissa pysyminen on tärkeämpää kuin kalkin syötön optimoiminen.

Säätöä esittävä kaaviokuva automaatiojärjestelmässä saadaan avattua kalkinsyötön näyttökuvasta. Säätöpiirissä on k3-kerroin, jota operaattori voi muuttaa tarvittaessa. Kerrointa ei kuitenkaan ole muutettu kovin usein ja se on ollut 0,9 jo pidemmän aikaa. Tämä k3-kerroin vaikuttaa raakakaasupitoisuuksien perusteella laskettuun prosessiin annosteltavaan kalkin määrään.

Säätöpiirin kaaviokuva avataan yleensä vasta silloin, kun savukaasujen rikkidioksidin tai vetykloridin pitoisuus kasvaa ja kalkin syöttöä pitää lisätä. Savukaasupitoisuuksien nous-

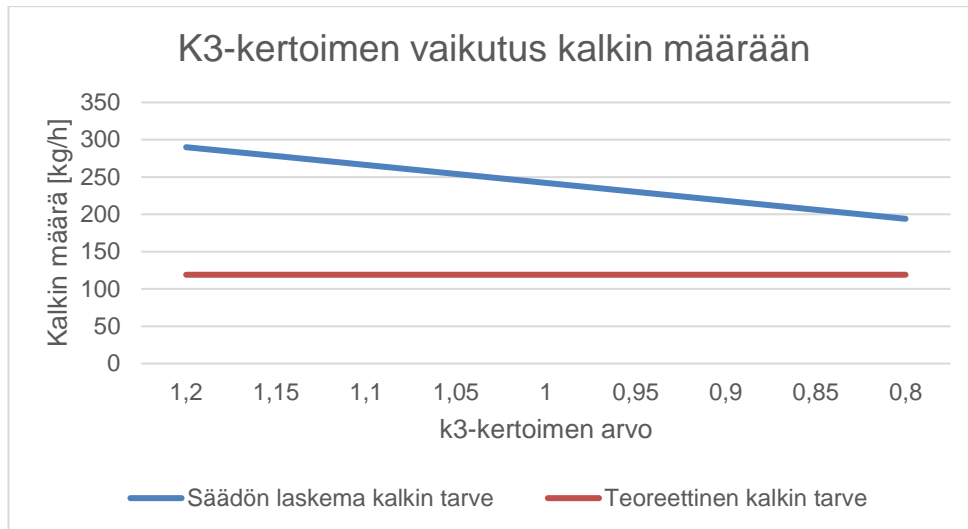
nessa operaattori nostaa k3-kerrointa, jotta prosessiin syötettävän kalkin määrä lisääntyy. Joskus tämä kerroin voi jäädä suureksi päästöpiikin jälkeen, jolloin prosessiin syötettävän kalkin määrä on suurempi kuin prosessin vaatima kalkin määrä.

Jotta välttyttäisiin kertoimen jäämisestä suureksi, voisi kertoimen kuvakkeen lisätä kalkinsyötön näyttökuvaan. Tällöin kerroin olisi aina operaattorien nähtävissä ja näin ollen se palautettaisiin todennäköisemmin takaisin pienempään arvoon. Toinen tapa olisi lisätä säädön kaaviokuvan linkki myös toiseen näyttökuvaan esimerkiksi pussisuodatinnäyttöön.

Itse näytteenoton analysointiin kuluu aikaa neljä tuntia. Analysointiin kuluvan neljän tunnin aikana prosessin molemmille polttolinjoille on keretty syöttää 80–100 tonnia jätettä. Koska jätettä on sekoitettu bunkkerissa, ei näin ollen voida tietää, mistä polttoon syötetty jäte on peräisin (kotitalousjäte, rakennusjäte, sorttiasemajäte). Tämän takia jätteen koostumuksen vaihtelua ei tiedetä.

Jos näyte toimitetaan ulkopuoliseen laboratorioon analysoitavaksi, voidaan karkeasti arvioida näytteenottotuloksen saamisen kestävän vähintään 6 tuntia. Jos näytteen analysoinnin suorittaa oma henkilökunta, kuluu oman henkilökunnan työaikaa näytteenotosta analyysituloksen saamiseen noin 5 tuntia.

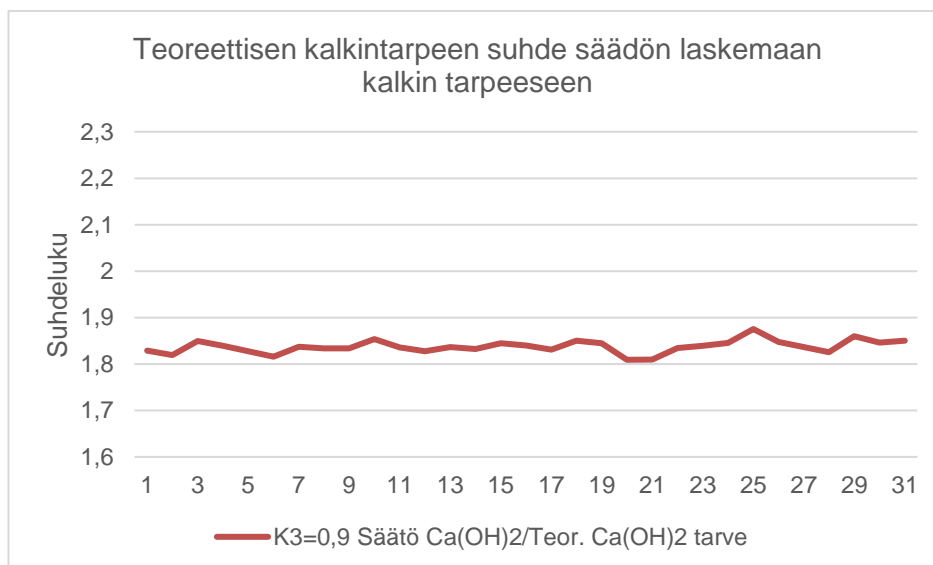
Koska näytteenottotuloksen saamiseen kuluu aikaa 5–6 tuntia, ei syötettävän kalkin määrää voida säätää tai optimoida tarkasti näytteenoton perusteella. Jos prosessiin annostellun kalkin määrää halutaan säätää, tulee se tehdä kalkin annostelun ohjauksen kautta. Koska kalkin annostelun säädön on todettu toimivan oikealla tavalla, voidaan kokeilla vähentää prosessiin annosteltavan kalkin määrää muuttamalla säädössä olevaa k3-kerrointa. Kuvasta 12 näkyy k3-kertoimen muuttamisen vaikutus säädön laskemaan kalkin tarpeeseen.



Kuva 12. K3-kertoimen vaikutus säädön laskeman kalkin määrään

Yllä olevasta kuvasta voidaan päätellä, että k3-kerrointa muuttamalla saadaan teoreettisen kalkin tarpeen ja säädön laskeman kalkin määrän suhdelukua pienennettyä. K3-kertoimen arvolle on määritetty seuraavat rajat: 0,8 alaraja ja 1,2 yläraja. Nämä rajat kertoimelle on määritetty teoreettisen kalkin tarpeen suhdelukuvälin 1,6–2,4 mukaan.

Näytteenottojakson ajan kalkin annostelun säädön k3-kertoimen arvo oli 0,9. Tällä k3-kertoimella teoreettisen kalkin tarpeen ja prosessin säädön laskeman kalkintarpeen suhdeluku on 1,85 (Kuva 13).



Kuva 13. Teoreettisen kalkin tarpeen ja prosessin säädön laskeman kalkin tarpeen suhdeluku

#### 6.4 Lopputuotteen määrän vähentäminen

Jätevoimalaitoksen polttoaineen vaihtelevuus vaikuttaa savukaasuihin muuttamalla niiden koostumusta jatkuvasti. Tämän vuoksi prosessissa käytetyssä kiertopölyssä tulee olla puskurikykyä, joka pystyy reagoimaan jatkuvasti muuttuviin savukaasupitoisuuksiin.

K3-kertoimen muuttaminen pienemmäksi tulee tehdä hallitusti, jotta varmistetaan päästörajoissa pysyminen. Jos k3-kerroin saadaan pudotettua 0,8, prosessiin annosteltavan kalkin määrää saadaan vähennettyä keskimäärin 25 kg/h. Vaikka k3-kerrointa muuttaisi vain 0,02 pykälää alemmas, saataisiin prosessiin annostellun kalkin määrää vähennettyä 4–8 kg/h. Jos k3-kerroin saadaan pudotettua molemmilla polttolinjoilla arvoon 0,8, vuodessa prosessiin annosteltavan kalkin määrä vähenisi jopa 400 000 kg, kun voimalaitoksen polttolinjojen käyttötunnit ovat 8 000 tuntia vuodessa. Voidaan todeta, että prosessiin annostellun kalkin määrän pieneneminen, vähentää myös laitoksella muodostuvan lopputuotteen määrä saman verran.

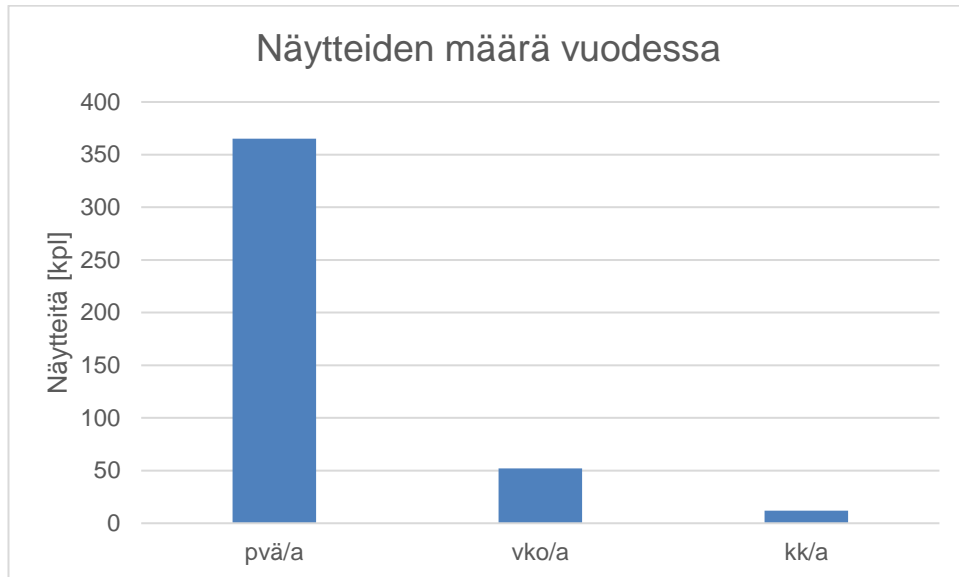
Tällä tavalla säästetään kustannuksista kahdesta eri rahavirrasta. Laitokselle tuotava kalkin määrä vähenee sekä laitokselta pois vietävän lopputuotteen määrä vähenee. Näin ollen myös kaatopaikalle loppusijoitettavan lopputuotteen määrä vähenee. Osana työtä on laskettu k3-kertoimen pudottamisella saavutetut kustannussäästöt yritykselle. Jos k3-kertoimen arvo saadaan muutettua 0,02 pykälää pienemmäksi, tulee vuodessa säästetyistä kustannuksista varteenotettava määrä.

#### 6.5 Kalkin aktiivisuuden määrittäminen tulevaisuudessa

Jos kalkin aktiivisuuden muutoksiin vaikuttavia tekijöitä halutaan selvittää tarkemmin, tulisi järjestää uusi näytteenottojakso. Tämän uuden näytteenottojakson aikana olisi hyvä ottaa enemmän näytteitä, jotta saataisiin enemmän käsiteltävää aineistoa. Uuden näytteenottojakson aikana tulee myös varmistua prosessiin syötettävän kalkin koostumuksesta. Näytteitä olisi hyvä ottaa tiheämmin, jolloin nähdään, kuinka nopeasti kalkin aktiivisuus muuttuu prosessin olosuhteiden muuttuessa.

Opinnäytetyössä suoritettuna näytteenottojakson perusteella kiertopölyn sisältämän kalkin aktiivisuuden määrä oli pääasiassa 5–8 %, mikä on hyvä taso verrattuna samankaltaisiin voimalaitosprosesseihin.

Kuvassa 14 on esitetty, kuinka paljon näytteitä tulee vuodessa, kun näyte otetaan joka päivä, joka viikko tai joka kuukausi. Näitä tietoja käytettiin, kun määritettiin, kuinka paljon näytteiden analysointi tulee maksamaan.



Kuva 14. Kalkin aktiivisuuden määrittämisen näytteiden määrä vuodessa

Näytteenottoon kuluu aikaa puoli tuntia. Jos näytteet analysoidaan ulkopuolisessa laboratorioissa, näytteen analysoinnista maksetaan kiinteä hinta. Tämän lisäksi näytteiden kuljetus ulkopuoliseen laboratorioon tulee järjestää. Jos näytteitä analysoidaan voimalaitoksella oma henkilökunta, tulee näytteenottokustannuksiin ottaa huomioon työntekijän tuntipalkka.

Näytteiden analysoiminen tulee halvemmaksi, jos analyysin tekee voimalaitoksen oma henkilökunta. Kuitenkin analysointiin tarvittavien välineiden hankkiminen maksaa jonkin verran. Jos näytteitä otetaan joka päivä, on kannattavampaa analysoida näytteet voimalaitoksella. Tällöin täytyisi kuitenkin palkata uusi työntekijä, joka vastaisi joka päivä näytteiden analysoinnista. Jos näytteitä otetaan kerran viikossa tai harvemmin, kannattaa suosia näytteiden analysointia ulkopuolisessa laboratorioissa.

Kiertopölyn sisältämän vapaan kalkin määrä voidaan analysoida kaksi kertaa viikossa, jos prosessiin annosteltavan kalkin määrää saadaan vähennettyä 5 kg/h. Tämä saadaan toteutettua muuttamalla k3-kertoimen arvoa 0,02 pykälää alemmaksi. Näytteitä voidaan analysoida joka päivä sillä kustannussäästöllä, joka saadaan pienentämällä kalkin annostelua 15 kg/h.

Yksi tapa olisi ottaa näyte lopputuotekuormasta. Jätevoimalaitoksen lopputuote kuljetaan säiliöautoilla pois laitokselta. Jokaisesta lopputuotekuormasta otetaan näyte, josta Ekokem analysoi kaatopaikkakelpaavuuden. Kaatopaikkakelpaavuus tulee arvioida aina erikseen, sillä ongelmajätteet eivät kaatopaikkaluokituksen mukaan kelpaa kaatopaikoille sellaisenaan. [38.]

Koska jokaisesta lopputuotekuormasta täytyy ottaa näyte, josta määritetään kaatopaikkakelpaavuus, voisi lopputuotteessa olevan vapaan kalkin määrän analysoida tästä samasta näytteestä. Jos kalkin aktiivisuuden määrittämiseen tarvittava näyte otetaan lopputuotekuormasta, ei tarvitse järjestää erillistä näytteenottoa. Näytteitä ei myöskään tarvitsisi toimittaa erikseen laboratorioon, jos ne voidaan analysoida samassa laboratoriossa. Tällä tavalla saataisiin kuitenkin vain yleinen tieto lopputuotteen sisältämästä aktiivisen kalkin tasosta.

## 7 Yhteenveto

Opinnäytetyössä oli tarkoitus tutkia, onko prosessiin annostellun kalsiumhydroksidin määrää mahdollista optimoida. Lisäksi haluttiin selvittää, kuinka tämä kalsiumhydroksidin annostelun vähentäminen voidaan toteuttaa. Ensin tuli selvittää, kuinka paljon voimalaitoksen kiertopöly/lopputuote sisältää aktiivista kalkkia. Näin saatiin tieto, onko kalkin annostelua tarpeen vähentää. Prosessissa ei ollut valmiina näytteenottokohtaa, josta kiertopölystä olisi voitu ottaa näyte, joten näytteenottoa varten rakennettiin näytteenottoyhde.

Osana opinnäytetyötä järjestettiin näytteenottojakso. Näytteet lähetettiin ulkopuoliseen laboratorioon analysoitavaksi. Kiertopölyssä olevan kalkin aktiivisuudessa oli hyvin paljon vaihtelua näytteiden välillä. Enimmillään kiertopöly sisälsi n. 19 % aktiivista kalkkia ja vähimmillään n. 3 %. Keskimäärin kalkin aktiivisuus oli kuitenkin 5–8 %. Jätteenpolttolaitoksille tämä on hyvä taso, sillä prosessissa tulee säilyttää puskuri, joka reagoi jatkuvasti muuttuviin savukaasupäästöihin.

Kalkin aktiivisuuden määrittämiseen kuluu 5–6 tuntia, joka on liian pitkä aika siihen, että näytteitä ottamalla voitaisiin säätää tarkasti prosessiin annosteltavan kalkin määrää. Polttolinjoille on syötetty yhteensä noin 80–100 tonnia jätettä, joka vastaa 26 jäteautollista. Jätteen koostumus on ehtinyt muuttua moneen kertaan tänä aikana. Voimalaitoksen polttoaineen mukana on eri määrä klooria sisältäviä muovi- ja biojätteitä sekä rikkiä sisältävää rakennusjätettä. Näin ollen poltossa syntyneiden savukaasujen koostumus on voinut vaihdella merkittävästi kalkin aktiivisuuden analysointiin kuluvana aikana.

Työssä laskettiin prosessin tarvitsema teoreettinen kalkin määrä. Tämän tuloksen perusteella ei kuitenkaan voida annostella kalkkia prosessiin, sillä prosessin olosuhteet eivät ole täydelliset, vaan ne muuttuvat jatkuvasti. Joten prosessiin tulee annostella kalkkia enemmän, kuin teoreettinen kalkin tarve on.

Voimalaitoksen kalkin annostelun säätöön tuli tutustua, jotta saatiin selville, miten säätö toimii. Kalkin annostelun säätöön vaikuttaa raakakaasun ja puhdaskaasun pitoisuudet. Säätö ottaa huomioon normaalisti vain raakakaasupitoisuudet. Kun puhdaskaasulle määritellyt pitoisuuksien raja-arvot ylittyvät, kalkin annosteluun lisätään puhdaskaasupitoisuuksien perusteella määritetty kerroin, jonka avulla prosessiin annosteltavan kalkin määrä kasvaa.

Kalkin annostelun säätö toimii laitoksella hyvin. Säätö laskee prosessin tarvitseman kalkin määrän oikealla tavalla. Opinnäytetyön aikana säädön laskeman kalkin tarpeen suhde teoreettiseen kalkin tarpeeseen oli 1,9.

Jos prosessiin annostellun kalkin määrää halutaan vielä vähentää, tulee tämä tehdä kalkin annostelun säädössä käytettävää k3-kerrointa pienentämällä. Kiertopölystä analysoitu kalkin aktiivisuuden määrä on jo jätevoimalaitoksille hyvällä tasolla. Voimalaitoksen savukaasupäästöt ovat kuitenkin pysyneet hyvin alle asetettujen päästörajojen.

Työssä on selvitetty, kuinka paljon k3-kertoimen muutokset vaikuttavat prosessiin annosteltavan kalkin määrään sekä laskettu yritykselle tästä syntyvät kustannussäästöt. Kalkin annostelun säätö todettiin toimivan laitoksella oikealla tavalla. Tästä huolimatta yrityksen työntekijät kiinnostuivat kalkin säädön toiminnasta ja tulevaisuudessa testataan k3-kertoimen arvon pienentämistä, jolla saadaan prosessiin annostellun kalkin määrää vähennettyä. Kertoimen pienentäminen tulee kuitenkin tehdä hallitusti, jotta varmistetaan päästörajoissa pysyminen.

## Lähteet

1. Vantaan Energia lyhyesti. 2016. Verkkoaineisto. Vantaan Energia Oy. <<https://www.vantaanenergia.fi/ykv/ykv-2016/vantaan-energia-lyhyesti/>>. Luettu 17.7.2017.
2. Martinlaakson biokattila on seuraava kehitysaskel. 2016. Verkkoaineisto. Vantaan Energia Oy. <<https://www.vantaanenergia.fi/ykv/ykv-2016/luovumme-kivihiilen-kaytosta-2020-luvulla/>>. Luettu 23.11.2017.
3. Lotta Juusti. 2015. Lämpökeskukset. Sisäinen tietokanta. Vantaan Energia. Luettu 24.11.2017
4. Esittelymateriaali. 2015. Jätevoimalakerrokset. Luettu 17.7.2017.
5. Valtioneuvoston asetus jätteen polttamisesta. 2003. 362/2003.
6. Pääkaupunkiseudun seka- ja biojätteen koostumus. 2015. Verkkoaineisto. HSY. <[https://www.hsy.fi/sites/Esitteet/EsitteetKatalogi/Raportit/Paakauseudun\\_seka-ja\\_biojätteen\\_koostumus\\_vuonna\\_2015.pdf](https://www.hsy.fi/sites/Esitteet/EsitteetKatalogi/Raportit/Paakauseudun_seka-ja_biojätteen_koostumus_vuonna_2015.pdf)>. Luettu 24.11.2017.
7. JLY. Energiahyödyntäminen Suomessa. Verkkoaineisto. <<http://vanha.jly.fi/energia5.php?treeviewid=tree3&nodeid=5>>. Luettu 17.7.2017.
8. Vantaan Energian jätevoimala antaa roskalle uuden elämän. 2017. Verkkoaineisto. Vantaan Energia Oy. <[https://www.youtube.com/watch?v=hDnl14K\\_G4k](https://www.youtube.com/watch?v=hDnl14K_G4k)>. Luettu 10.10.2017.
9. AVI. 2014. Päätös. Verkkoaineisto. <[https://www.avi.fi/documents/10191/1001691/esavi\\_paatos\\_14\\_2014\\_1-2014-01-28.pdf/9bce7cc9-5164-459e-8654-8d81aef944ea](https://www.avi.fi/documents/10191/1001691/esavi_paatos_14_2014_1-2014-01-28.pdf/9bce7cc9-5164-459e-8654-8d81aef944ea)>. Luettu 17.7.2017.
10. JV pelastussuunnitelma. 2015. Sisäinen tietokanta. Vantaan Energia Oy. Luettu 23.11.2017.
11. Jätevoimalan toiminta. 2015. Verkkoaineisto. Vantaan Energia. <<https://www.youtube.com/watch?v=7kHPUJnHUL8>>. Luettu 23.11.2017.

12. Ympäristölupapäätös. 2009. Uudenmaan ympäristökeskus. Helsinki.  
<<https://www.sll.fi/uusimaa/kannanotot/ymparistolupa-vantaa-polttolaitos>>. Luettu 10.10.2017.
13. PVC Tekniset tiedot. Verkkoaineisto. VINK. <[http://www.tuotteet.vink.fi/media/tuotteet/pvc/vink\\_pvc\\_esite\\_a4\\_web.pdf](http://www.tuotteet.vink.fi/media/tuotteet/pvc/vink_pvc_esite_a4_web.pdf)>. Luettu 3.12.2017.
14. Polttoaineluokitus. 2016. Tilastokeskus. Excel-taulukko. Luettu 28.1.2018.
15. Valkila, Jesse. 2011. Lisäaineiden syöttö savukaasukanavaan - Uuden syöttötavan tutkiminen. Insinööriyö. Tampereen ammattikorkeakoulu. Theseus-tietokanta.
16. Teollisuus. 2016. Euroopan Ympäristökeskus. Verkkoaineisto.  
<<https://www.eea.europa.eu/fi/themes/industry/intro>>. Luettu 27.1.2018.
17. The Industrial Emissions Directive. 2016. European Commission. Verkkoaineisto. <<http://ec.europa.eu/environment/industry/stationary/ied/legislation.htm>>. Luettu 27.1.2018.
18. Ilmasto. Kasvihuoneilmiö ja ilmastonmuutos. <<http://ilmasto.org/ilmastonmuutos/kasvihuoneilmio-ja-ilmastonmuutos/epasuorasti-vaikuttavat-kaasut>>. Luettu 22.11.2017.
19. Rikkidioksidi. Verkkoaineisto. Ilmatieteenlaitos. <<http://ilmatieteenlaitos.fi/rikkidioksidi>>. Luettu 22.11.2017.
20. LAB SA & Vantaan Energia Oy. 2013. A Operating manual Part 3 - Analyser, cooling tower and LAB Loop. Sisäinen tietokanta.
21. LAB SA & Vantaan Energia Oy. 2013. JV1, FGT - Training manual. Sisäinen tietokanta.
22. LAB SA & Vantaan Energia Oy. 2013. ESP toiminnan kuvaus. Sisäinen tietokanta.
23. LAB SA & Vantaan Energia Oy. 2013. ESP luettelo ominaisuuksista. Sisäinen tietokanta.

24. Anttila, Mikko. Käynnissäpitoinsinööri, Vantaan Energia Oy, Vantaa. Keskustelu 29.1.2018.
25. LAB SA & Vantaan Energia Oy. 2013. A Operating manual Part 6 - Reagents. Sisäinen tietokanta.
26. LAB SA & Vantaan Energia Oy. 2013. A Operating manual Part 4 - Bag filter. Sisäinen tietokanta.
27. LAB SA & Vantaan Energia Oy. 2013. LAB sammuttimen käyttöohje eng. Sisäinen tietokanta.
28. Kekäläinen, Juha. 2012. Partikkelikoon karakterisointimenetelmien keittäminen kalkkimaidosta. Insinööriytyö. Saimaan ammattikorkeakoulu. Theseus-tietokanta.
29. LAB SA ja Vantaan Energia Oy.2014. Reagents functional analysis. Sisäinen tietokanta.
30. Chisholm, Paul N.; Rochelle, Gary T. 1999. Dry absorption of HCl and SO<sub>2</sub> with hydrated lime from humidified flue gas. American Chemical Society, Texas.
31. Karkela, Lea; Kervinen, Martti; Meriläinen, Pekka; Parkkila, Irma; Seppänen, Raimo. 2011. MAOL. Otavan Kirjapaino Oy, Keuruu.
32. Mickos, Tomi. 2011. Kalkin annostelun optimoiminen jätteenpolttolaitoksessa. Insinööriytyö. Kymenlaakson ammattikorkeakoulu. Theseus-tietokanta.
33. Saanilahti, Sanna. 2008. HCl- ja SO<sub>2</sub> päästöjen vähentäminen kuivalla savukaasujen puhdistusprosessilla. Insinööriytyö. Tampereen ammattikorkeakoulu. Theseus-tietokanta.
34. Heiskanen, Iidamaria. Prosessinhoitaja, Vantaan Energia Oy, Vantaa. Keskustelu 16.8.2017.
35. Anttila, Mikko & Laulajainen, Josi. Käynnissäpitoinsinööri & Käyttöinsinööri, Vantaan Energia Oy, Vantaa. Keskustelu 4.9.2017.
36. Anttila, Mikko. Käynnissäpitoinsinööri, Vantaan Energia Oy, Vantaa. Keskustelu 17.10.2017.

37. Laimio, Johanna. Laboratorioinsinööri, Vantaan Energia Oy, Vantaa. Keskustelu 17.1.2018.
38. Wahlström, Margareta; Laine-Ylijoki, Jutta; Vestola, Elina; Vaajasaarim Kati; Joutti, Anneli. 2006. Jätteiden kaatopaikkakelpoisuuden toteaminen. Ympäristöministeriö. <<http://www.ym.fi/download/noname/%7BF83F4787-0B71-4C29-A4BE-8390DEEB036A%7D/37516>>. Luettu 28.1.2018.

## Näytteenotto-ohje

Näyte otetaan arkipäivisin viikolla XX kaksi kertaa päivässä noin klo 8 ja klo 20. Vuoro-henkilökunta ottaa näytteen illalla klo 20.

### Suojavarusteet:

- Pölytiivit suojalasit
- P3-hengityssuojain
- Nitrilikumihanskat



Näyte otetaan 1. linjalta actilabin luota kuvassa näkyvän venttiin avulla. Valuta kiertopölyä ensin ämpäriin 1/3 ämpärillistä, jotta saadaan itse näytepurkkiin tuoretta kierrossa olevaa ainetta. Jos kiertopölyä ei valua ulos, kun avaa venttiin, niin kääntele venttiiliä (kiinni-auki), jolloin kiertopölyä alkaa valua ulos. Kiertopöly voi tulla välillä melko kovalla vauhdilla ulos.

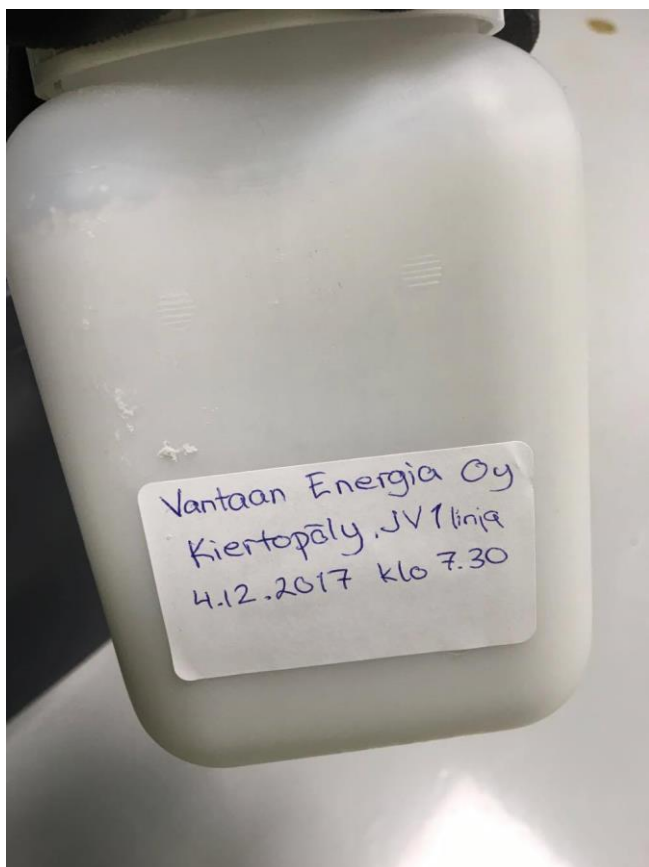
Ota tämän jälkeen toinen ämpäri ja valuta tähän näytettä, joka kaadetaan näytteenotto-purkkiin.

Näyte otetaan 1 litran purkkiin, purkit löytyvät valvomosta. Purkki tulee saada täyteen, jotta näytettä on riittävästi. Ravistele näytteenottopurkkia välillä hieman, että pöly tiivistyy näytteenottopurkissa.

Kun näyte on otettu, tyhjennä ämpärit kipperiin tai käytä LAB:in puolen imuria.

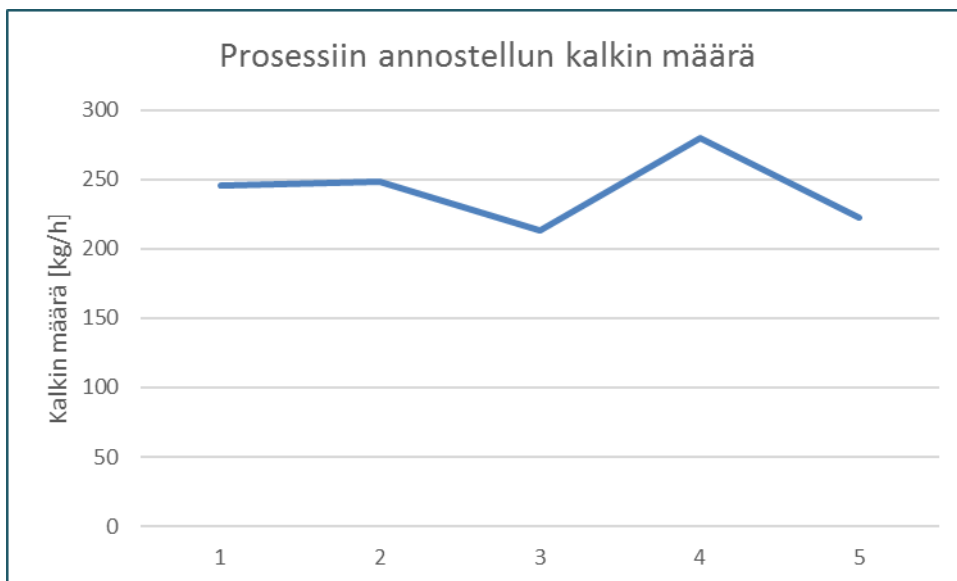
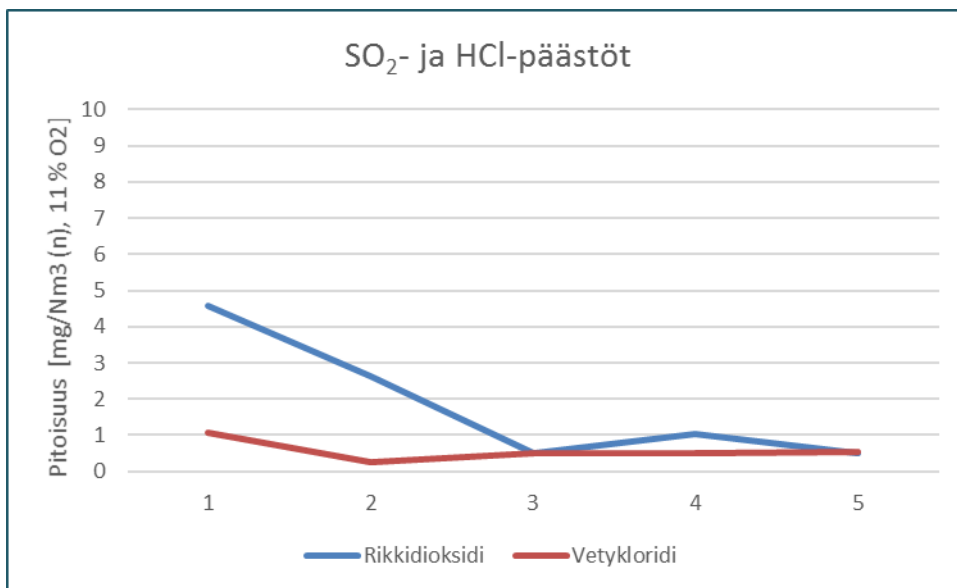
#### **Purkkien merkitseminen:**

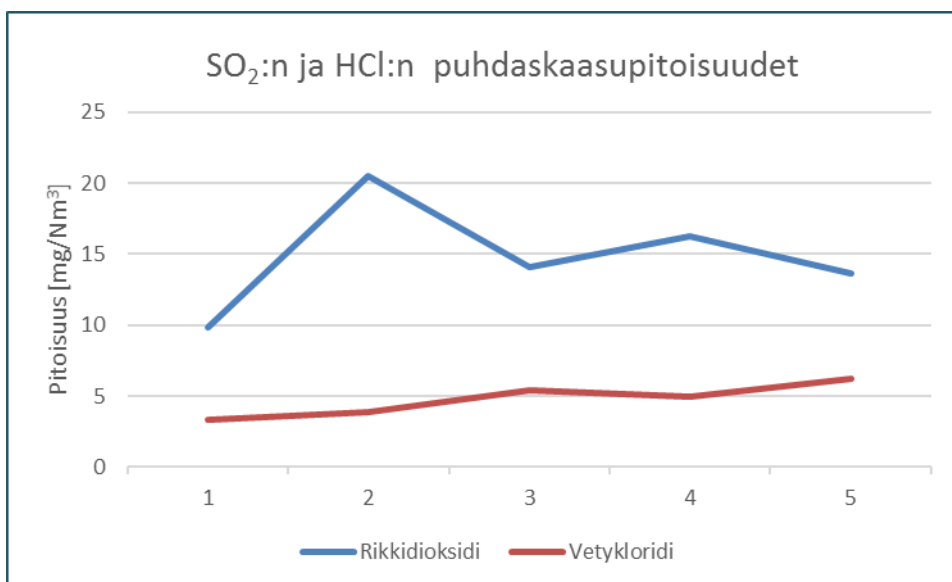
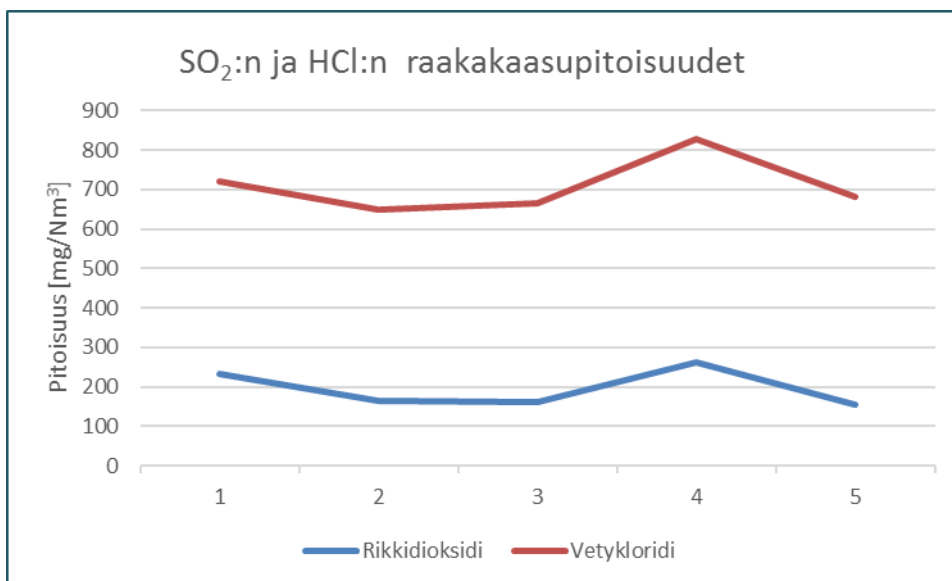
Näytepurkkeihin kirjoitetaan **Vantaan Energia, Kiertöpöly JV 1 linja**, näiden lisäksi merkitään purkkiin **päivä ja kellonaika**, milloin näyte on otettu. Kuten alla olevassa kuvassa näkyy.

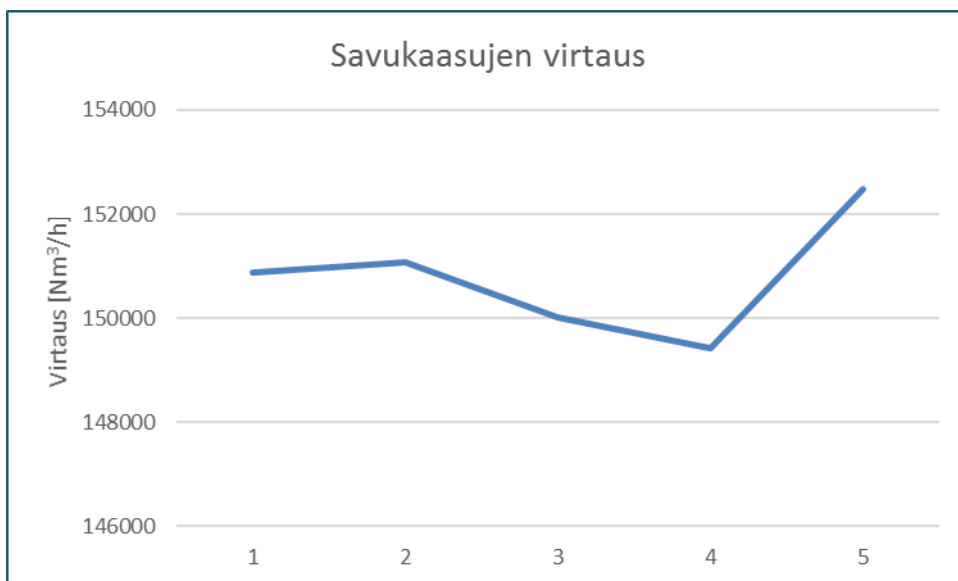


Näytteenottopurkit kerätään laboratorion vetokaapin alapuolella olevaan laatikkoon.



**Prosessin tiedot näytteenottojakson aikana (vuorokausikeskiarvoina)**





## K3-kertoimen muutoksen vaikutus kalkin annosteluun

k3	Säädön laskema kalkin tarve [kg/h]	Teoreettinen kalkin tarve [kg/h]	Suhdeluku
1,2	290	119	2,44
1,19	288	119	2,42
1,18	285	119	2,4
1,17	283	119	2,38
1,16	280	119	2,36
1,15	278	119	2,34
1,14	276	119	2,32
1,13	274	119	2,3
1,12	271	119	2,28
1,11	267	119	2,26
1,1	266	119	2,24
1,09	264	119	2,22
1,08	262	119	2,2
1,07	259	119	2,18
1,06	257	119	2,16
1,05	254	119	2,14
1,04	252	119	2,12
1,03	250	119	2,1
1,02	247	119	2,08
1,01	245	119	2,06
1	242	119	2,04
0,99	240	119	2,02
0,98	238	119	2
0,97	235	119	1,98
0,96	233	119	1,96
0,95	230	119	1,94
0,94	228	119	1,92
0,93	226	119	1,9
0,92	223	119	1,88
0,91	221	119	1,86
0,9	218	119	1,84
0,89	216	119	1,82
0,88	214	119	1,8
0,87	211	119	1,78
0,86	209	119	1,76
0,85	206	119	1,74
0,84	204	119	1,72
0,83	202	119	1,7
0,82	199	119	1,68
0,81	197	119	1,66
0,8	194	119	1,64

