

SAVONIA

ammattikorkeakoulu

OPINNÄYTETYÖ - AMMATTIKORKEAKOULUTUTKINTO
TEKNIIKAN JA LIIKENTEEN ALA

FTIR-MITTALAITTEISTON ESIVAL- MISTELU SELLUTEHTAAN PÄÄSTÖ- MITTAUKSIIN

TEKIJÄ Markus Kettunen

Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala	
Tutkinto-ohjelma Energiatekniikan tutkinto-ohjelma	
Työn tekijä(t) Markus Kettunen	
Työn nimi FTIR-mittalaitteiston esivalmistelu sellutehtaan päästömittauksiin	
Päiväys 25.4.2022	Sivumäärä/Liitteet 35/1
Toimeksiantaja/Yhteistyökumppani(t) Savonia-ammattikorkeakoulu, Andritz	
Tiivistelmä <p>Opinnäytetyössä tehtiin FTIR-mittauslaitteiston huollon esisuunnittelua mittausjaksolle. Toimeksiantajalla oli tarve NOx-mittaukselle ja FTIR-mittauksen todettiin olevan kustannustehokkain vaihtoehto. Mittausjakson aikana laitteistoa joudutaan huoltamaan.</p> <p>Aluksi työssä perehdyttiin FTIR-mittalaitteiston toimintaan sekä laitteiston kokoonpanoon. Laitteiston vaatimiin huoltotoimenpiteisiin tutustuttiin Savonian energiatekniikan laboratoriossa. Työssä pohdittiin myös, mitkä mittauspaikan tekijät voivat vaikuttaa laitteiston huollontarpeeseen ja tulosten epävarmuuteen.</p> <p>Työn tuloksena saatiin alustava suunnitelma laitteiston huollosta. Alkuperäinen suunnitelma oli tuoda laitteisto kerran viikossa Savonialle huollettavaksi. Mittausjakso ajoittuu kesäkuukausille, minkä takia ei ole varmaa, onko Savonialla henkilöstöä suorittamassa huoltoa. Viikoittaiset huoltotoimenpiteet on mahdollista tehdä myös mittauspaikalla, joten järkeväksi vaihtoehdoksi todettiin huoltaa laitteisto mittauspaikalla. Viikoittaisia huoltoja varten laadittiin huoltotoimenpiteistä tarkastuslista, jonka avulla viikoittaiset huoltotoimenpiteet sekä huomiot voidaan kirjata ylös ja ne ovat myöhemmin jäljitettävissä.</p>	
Avainsanat FTIR, päästömittaus, NOx	

Field of Study Technology, Communication and Transport	
Degree Programme Degree Programme in Energy Engineering	
Author(s) Markus Kettunen	
Title of Thesis Preparation of FTIR Measuring Equipment for Emission Measurement at a Pulp Mill	
Date 25 April 2022	Pages/Appendices 35/1
Client Organisation /Partners Savonia UAS, Andritz	
Abstract <p>The aim of the thesis was to do pre-planning for the maintenance of FTIR-emission measuring equipment for a measuring period. The client needed NOx emission measuring and found the FTIR to be the most cost-effective alternative. The measuring equipment will need maintenance during the measuring period.</p> <p>The first thing was to get familiar with the operation and devices of the measuring equipment. The maintenance of the measuring devices was studied at the laboratory of energy technology at Savonia UAS. Possible factors causing maintenance needs and uncertainties caused by the measuring spot were also considered in the thesis.</p> <p>As a result of the thesis a preliminary maintenance plan for the equipment was made. The original plan was to bring the equipment to Savonia for the maintenance once a week, but the measuring period was placed during summer months and the availability of maintenance staff during summer months could not be ensured. It was possible to carry out weekly maintenance also at the measuring location, so it was decided to perform it there. A check list containing the maintenance procedures was made and it can be used for documentation and tracking as well.</p>	
Keywords FTIR, emission measurement, NOx	

SISÄLTÖ

1	JOHDANTO	7
1.1	Työn taustat	7
1.2	Savukaasuanalyysit	7
1.3	Tavoitteet ja tarkoitus	7
2	SOODAKATTILA	8
2.1	Soodakattila osana selluntuotantoa	8
2.2	Soodakattilan rakenne	9
3	TYYPPIREAKTIOT SOODAKATTILASSA	11
3.1	Typpi tulipesässä	11
3.2	Typpi sulassa	12
4	NOX PÄÄSTÖVÄHENNYSMENETELMÄT	13
4.1	Primääriset	13
4.1.1	Matala yli-ilman syöttö	13
4.1.2	Ilman vaiheistus	13
4.1.3	Savukaasujen kierrätys	13
4.1.4	Ilman esilämmityksen vähentäminen	14
4.1.5	Low-NOx öljypolttimet	14
4.1.6	Polttoaineen vaiheistus	15
4.2	Sekundääriset	16
4.2.1	Selective catalytic reduction (SCR): Katalyyttinen menetelmä	16
4.2.2	Selective non-catalytic reduction (SNCR): Katalyytiton menetelmä	17
4.2.3	NOx-pesurit (Scrubber)	17
5	FTIR-PÄÄSTÖMITTAUSLAITTEISTO	18
5.1	IR-tekniikka	18
5.1.1	FTIR (Fourier Transform Infrared Spectroscopy) analysaattori	18
5.2	Laitteisto	18
5.2.1	Gasmet DX4000	19
5.2.2	Gasmet kannettava näytteenottojärjestelmä	19
5.2.3	Calcmnet-ohjelmisto	19
5.2.4	Näytteenottosondi	20
5.2.5	Suodatin	20

5.2.6	Näytteenottolinja	22
5.2.7	Pumppu	22
5.2.8	Happianturi	22
5.2.9	Laitteiston etäkäyttö	23
5.3	Huoltoa ja epävarmuutta aiheuttavia tekijöitä	24
5.3.1	Ympäristön likaisuus	24
5.3.2	Ympäristön lämpötila	25
5.3.3	Ympäristön värinä	25
5.3.4	Savukaasun lämpötila	25
5.3.5	Sähköt	25
5.3.6	Mittaustaso ja mittauskohta	26
5.4	Kunnossapito ja huolto	26
5.4.1	Päivittäiset kunnossapitotoimet.....	29
5.4.2	Viikoittaiset huoltotoimenpiteet.....	30
6	YHTEENVETO.....	31
	LÄHTEET	32
	LIITTEET	34

1 JOHDANTO

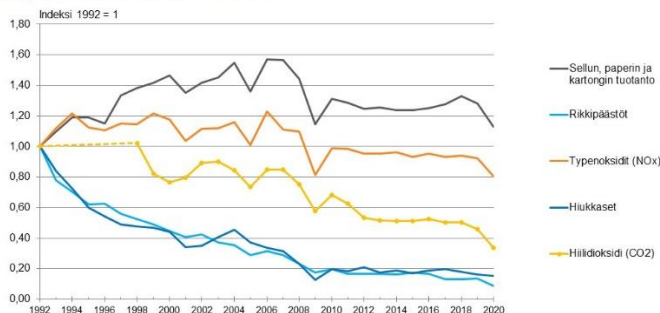
Työssä tehdään FTIR-laitteistolle huoltosuunnitelmaa toimeksiantajan tilaamalle mittausjaksolle. Mittausjaksolla laitteistolla mitataan NO_x-päästöjä. Työssä tarkastellaan NO_x-päästöjen syntymistä soodakattilassa ja NO_x-päästövähennysmenetelmiä sekä tutustutaan mittauksissa käytettävään FTIR-laitteistoon.

1.1 Työn taustat

Ilmaan suuntautuvia päästöjä sellutehtailla on pyritty vähentämään viime vuosikymmeninä. Esimerkiksi hiukkas- ja rikkipäästöjä on onnistuttu vähentämään huomattavasti. Kuvassa 1 nähdään, että typen oksidit (NO_x) eivät ole vähentyneet samalla tahtia muiden ilmaan suuntautuvien päästöjen kanssa. Suuri syy tähän on viime vuosina ollut sellutehtaiden energiatehokkuuden kasvattaminen. (Metsäteollisuus 2020.)

Massa- ja paperiteollisuuden päästöt ilmaan ovat vähentyneet huomattavasti vuodesta 1992

Massa- ja paperiteollisuuden päästöt ilmaan



Metsäteollisuus LÄHDE: Metsäteollisuus

1.7.2021

*CO₂ indeksi 1990=1

1

KUVA 1: Paperiteollisuuden päästöt (Metsäteollisuus OY 2021)

Nykyisten päästörajojen saavuttamiseksi perinteiset päästörajoitusmenetelmät ovat riittäviä. Kuitenkin tulevaisuudessa päästörajoitusten tiukentuessa eivät perinteiset menetelmät enää riitä ja päästöjen kurissa pitämiseksi vaaditaan uusia innovaatioita.

1.2 Savukaasuanalyysit

Savonia-ammattikorkeakoulu tekee asiakkaiden toiveiden mukaisia savukaasuanalyyskejä sekä poistokaasujen lämpötila- ja virtausmittauksia voima- ja polttolaitoksilla. Mittaukset suoritetaan Gasmeter Dx-4000 FTIR savukaasuanalyysattorilla. Mittauksissa noudatetaan kaasumaisten päästöjen määrittästä koskevia standardeja (SFS-EN 15259, 14789 ja 14790). (Savonia-ammattikorkeakoulu 2016.)

1.3 Tavoitteet ja tarkoitus

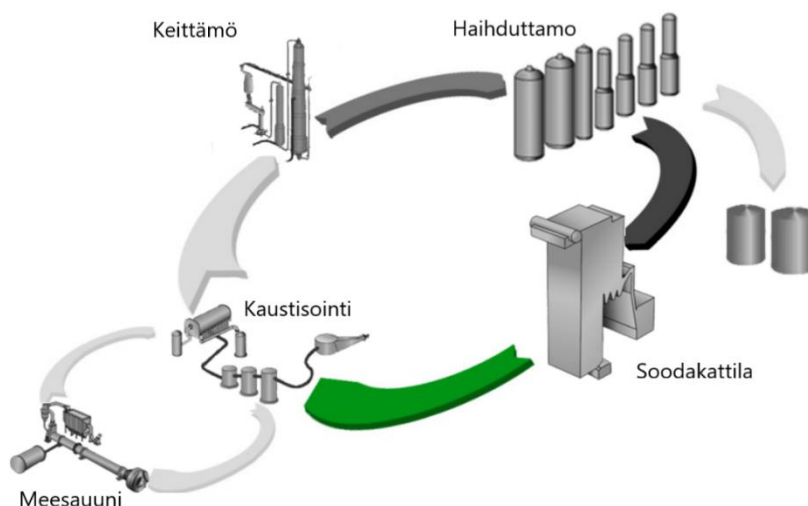
Tavoite on tehdä esisuunnittelua laitteistojen huoltojen osalta mittausjakson ajalle. Tarkoitus on karvoittaa, millaista huoltoa laitteisto tarvitsee mittausjakson aikana. Tämän pohjalta tehdään tarkastuslista tai lomake, minkä avulla voidaan seurata laitteiston vaatimia huoltotoimenpiteitä mittausjakson aikana.

2 SOODAKATTILA

Suomessa valmistettavan paperin raaka-aineena käytettävä sellu tuotetaan lähes kokonaan sulfaattisellumenetelmällä. Sulfaattisellun keitossa syntyy mustalipeää. Polttamalla mustalipeä saadaan siihen sitoutunut energia käytettyä hyödyksi sekä sen sisältämät keittokemikaalit talteen ja regeneroitua ne uudelleen käyttöön. Tähän tarkoitukseen suunniteltua kattilaa kutsutaan soodakattilaksi. (Huhtinen, Korhonen, Pimiä & Urpalainen 2008, s. 65–69.)

2.1 Soodakattila osana selluntuotantoa

Ennen nykyaikaista kemikaalien kierrätysjärjestelmää keittokemikaalit sisältävä lipeä laskettiin vesistöön sellaisenaan ja keittoneste valmistettiin aina uusista kemikaaleista. 1930- ja -40 luvuilla otettiin laajalti käyttöön lipeän regenerointimenetelmä, jolla keittokemikaalit saadaan kerättyä talteen ja uudelleen käyttöön. (Vakkilainen 2005, s. 1-1; Huhtinen, Korhonen, Pimiä & Urpalainen 2008, s. 67.) Kemikaalikierron tavoitteet ovat muuttaa keittokemikaalit takaisin käyttökelpoiseen muotoon, käyttää liunneen puuaineksen energiasisältö hyödyksi ja pienentää ympäristön saasteita (Huhtinen, Korhonen, Pimiä & Urpalainen 2008, s. 69). Kuvassa 2 on esitetty soodakattilan nitoutuminen sellunvalmistusprosessiin.



KUVA 2: Sellutehtaan kemikaalikierto (Knowpulp Julkaisuaika tuntematon)

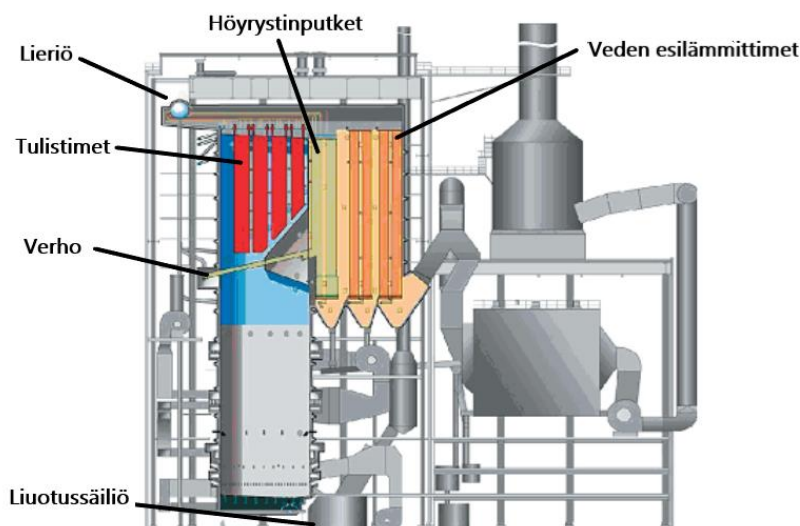
Soodakattilassa poltetaan sellunvalmistusprosessissa saatavaa mustalipeää. Mustalipeää syntyy sellun keitossa, missä puun kuidut erotetaan liuottamalla niiden sidosaine ligniini. Liuennut ligniini sekoittuu keittokemikaaleja sisältävään keittonesteeseen muodostaen mustalipeää. (Huhtinen, Korhonen, Pimiä & Urpalainen 2008, s. 67–70.)

Ennen polttoa lipeän kuiva-ainepitoisuus nostetaan haihdutuksessa 60–80 %:iin ja saadaan ns. vahvalipeää. Polttamalla lipeä soodakattilassa saadaan sen sisältämät orgaaninen, palava ja epäorgaaninen, keittokemikaalit sisältävä aines erotettua toisistaan. Orgaaninen osa palaa pois ja kemikaalit sisältävä palamaton osa jää tuhkaan. Orgaanisen aineen poltosta saatava energia käytetään hyväksi höyryn ja sähkön tuotannossa. Kemikaalit sisältävä tuhka poistuu kattilan pohjalta sulana. (Huhtinen, Korhonen, Pimiä & Urpalainen 2008 s. 67–70.)

Soodakattilan pohjalta saatava sula johdetaan liuotussäiliöön, missä siihen sekoitetaan heikkoa valkolipeää ja vettä. Näin saadaan viherlipeää. Kaustisoinnissa viherlipeään lisätään kalkkia, jolloin saadaan valkolipeää sekä meesaksi kutsuttua kalsiumkarbonaattia. Meesasta saadaan valkolipeän valmistukseen vaadittavaa kalkkia pelkistämällä se meesauunissa. Syntynyt valkolipeä sisältää sellunkeiton vaatimat kemikaalit ja voidaan täten käyttää hyväksi. (Huhtinen, Korhonen, Pimiä & Urpalainen 2008 s. 69–72.)

2.2 Soodakattilan rakenne

Soodakattilan päätehtävät ovat tuottaa korkeapainehöyryä polttamalla lipeän orgaaninen osa, kierättää mustalipeään sisältämät keittokemikaalit ja minimoida jätevirtoja ympäristöystävällisellä tavalla (Vakkilainen 2005 s. 2-1). Soodakattilat ovat luonnonkiertokattiloita. Luonnonkiertokattilassa virtaus syntyy kylläisen veden ja vesi- höyryseoksen tiheyserosta. Tuotetun höyrymäärän sijaan tärkeempi mitoituslähtökohta soodakattilalle on kattilan käsittelemän mustalipeän määrä vuorokaudessa. (Huhtinen, Korhonen, Pimiä & Urpalainen 2008 s. 38–74)



KUVA 3: Soodakattilan rakenne, mukaillen: (Vakkilainen 2005, s. 2-6)

Kuvassa 3 on esitetty modernin yksilieriöisen soodakattilan rakenne. Vaikka monet nykypäivänä käytössä olevista kattiloista ovat kaksilieriöisiä, on niitä alettu muuttaa yksilieriöisiksi. Yksilieriöiset kattilat voidaan suunnitella suuremmille paineille ja kapasiteetille. Ne ovat myös turvallisempia lieriön siirryessä savukaasukanavasta kattilan ulkopuolelle. (Vakkilainen 2005, s. 1-6 - 2-6.)

Veden esilämmittimessä eli ekonomaiserissa syöttyvesi lämmitetään ennen, kun se syötetään lieriöön (Huhtinen, Korhonen, Pimiä & Urpalainen 2008, s. 38). Veden esilämmittimet ovat soodakattilassa pystyputkiset. Ennen putket olivat vaaka-asentoiset, mutta niiden likaantumisen vuoksi siirryttiin pystyputkisiin lämmittimiin. (Vakkilainen 2005, s. 1-7.)

Höyrykattilan pääasialliset höyrystipinnat sijaitsevat tulipesän ympärillä, mutta soodakattiloissa usein osa höyrystiputkista on sijoitettu tulistimien jälkeen. Tällä estetään höyryn lämpötilan liiallinen lasku tulistusta ajatellen. (Huhtinen, Korhonen, Pimiä & Urpalainen 2008, s. 38–74.)

Soodakattilaan voidaan asentaa verho suojaamaan tulistimia. Verho toimii osana kattilan höyryputkistoa. Verho pidentää tulistimien ikää suojaamalla niitä korroosiolta ja tulipesästä tulevalta liialta

lämpösäteilyltä. Verho voi kuitenkin laskea tulistimien tehoa, sillä se sitoo itseensä lämpösäteilyä. On myös ollut tapauksia, missä verho on revennyt lian ja tuhkan vuoksi aiheuttaen sulavesiräjähdyksen. (Vakkilainen 2005, s. 2–3.)

Lieriössä vedestä erotettu kylläinen höyry johdetaan tulistimille tulistettavaksi ennen kuin se ohjataan turbiinille (Huhtinen, Korhonen, Pimiä & Urpalainen 2008, s. 38–40). Modernissa soodakattilassa tulistimien väliä on kasvatettu 300–400 mm. Tällä pystytään estämään tulistimien likaantumista sekä korroosiota. (Vakkilainen 2005, s. 2–6 - 2–7.)

Ilman esilämmitys soodakattilassa hoidetaan savukaasulämmitteisten ilman esilämmittimien sijaan höyrylämmitteisillä esilämmittimillä (Huhtinen, Korhonen, Pimiä & Urpalainen 2008, s. 74).

Kattilan pohjalla oleva kemikaalisula valutetaan sulakouruja pitkin liuotussäiliöön. Säiliössä sulaan sekoitetaan vettä ja heikkoa valkolipeää liuotussäiliössä, jolloin saadaan viherlipeää. (Huhtinen, Korhonen, Pimiä & Urpalainen 2008, s. 69–72.)

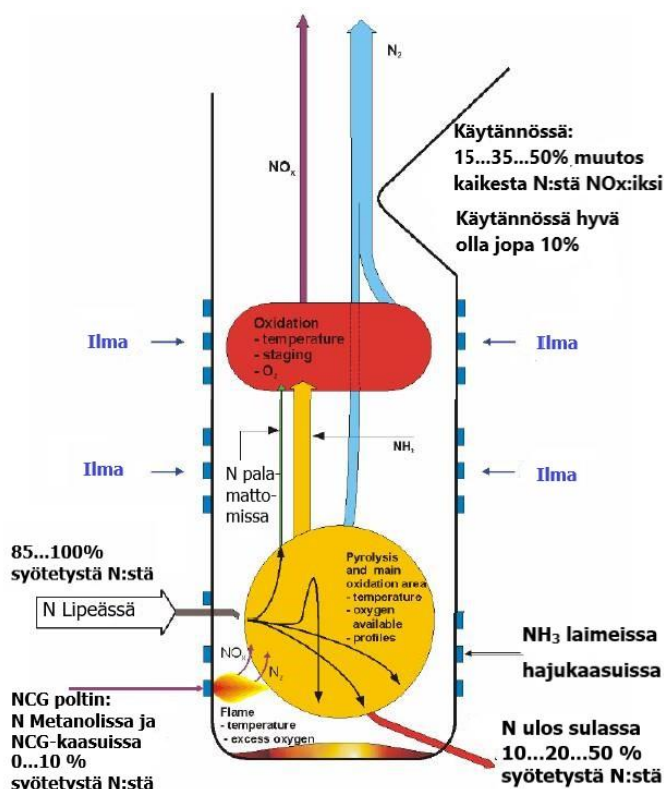
3 TYPPIREAKTIOT SOODAKATTILASSA

Puu sisältää perinteisesti noin 0,05–0,15 p-% typpeä, josta suurin osa siirtyy mustalipeään sellunkeiton aikana (Vakkilainen 2005, s. 9–12). Yli 80 % tyypestä liukenee lipeään jo keiton alkuvaiheessa ja kaikkiaan yli 95 % tyypestä liukenee lipeään. Osa tyypestä siirtyy ilman kemiallisia muutoksia, mutta 8–14 % tyypestä muodostuu ammoniakiksi. Ammoniakkia saapuu myös keitossa käytettävässä valkolipeässä. (Niemelä ym. 2003, s. 163.)

Haihduuttamalla iso osa lipeän sisältämästä ammoniakista vapautuu muiden haihtuvien aineiden mukana päätyen metanoliksi tai hajukaasuiksi. Haihtumista voidaan edistää lipeän lämpökäsittelyllä. (Vakkilainen 2005, s. 9–12.)

3.1 Typpi tulipesässä

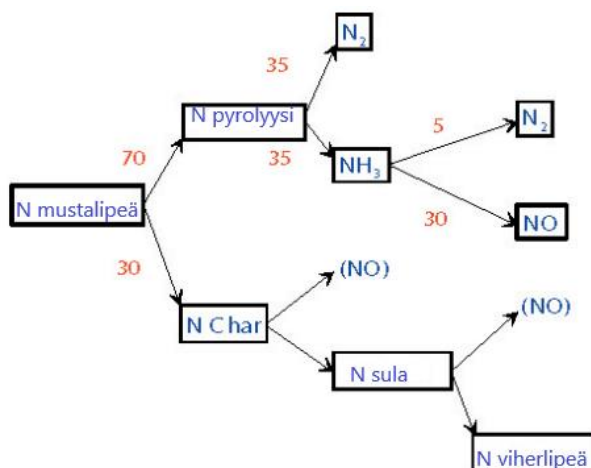
Kuvassa 4 on esitetty typen väylät soodakattilassa. Suurin osa tulipesään päätyvästä tyypestä on peräisin polttoaineesta (Niemelä ym. 2003, s. 121). Soodakattilassa saatetaan polttaa myös muita typpeä sisältäviä yhdisteitä, kuten hajua- ja haihdutuskaasuja, metanolia sekä biolietettä, mitkä vaikuttavat kattilassa tapahtuviin typpireaktioihin ja nostavat NO_x-päästöjä (Niemelä ym. 2003, s. 163; Vakkilainen 2005, s. 11–6).



KUVA 4: Typen väylät soodakattilassa, mukaillen: (Niemelä ym. 2003, s. 121)

Mustalipeän sisältämällä tyvellä on kolme eri reittiä soodakattilassa. Se vapautuu joko typpiakaasuna (N₂), oksidoituu typen oksideiksi (NO_x) tai jää tuhkaan päätyen sulaan. (Niemelä ym. 2003, s. 163.)

Kuvassa 5 on esitetty mustalipeän sisältämän typen väylät soodakattilassa.



KUVA 5: Mustalipeän typen reaktiot, mukailten: (Vakkilainen 2005, s. 9–13)

Suurin osa soodakattilassa syntyvistä typen oksideista on peräisin polttoaineen sisältämästä tpestä. Polttoaineesta peräisin oleva NO_x syntyy pääosin pyrolyysissä. Alhaisen palamislämpötilan (alle 1400 °C) vuoksi termistä NO_x:ia syntyy varsin vähän. Termisen NO_x:in muodostama tyyppi tulee palamisilman mukana. Soodakattilassa syntyvistä typen oksideista valtaosa on typpimonoksidia (NO) joka pyrkii hapettumaan typpidioksidiksi (NO₂) ilmakehässä. Tyypillisesti soodakattilan tuottamat NO_x-päästöt ovat 70–120 ppm (3 % O₂) (Vakkilainen 2005, s. 9–13, 9–14, 11–3).

3.2 Typpi sulassa

Pyrolyysivaiheessa reagoimatta jäänyt typpi jää tuhkaan. Tuhkaan jäävän typen määrä voi olla suhteellisen korkea, mutta se riippuu mustalipeän typpipitoisuudesta. Sopivissa olosuhteissa tuhkan sisältämä orgaaninen typpi muuttuu epäorgaaniseksi OCN:ksi. Reagoimattomissa olosuhteissa OCN hajoaa typpikaasuksi (N₂), mikä korostuu korkeammassa lämpötiloissa. OCN jää tuhkaan hiilidioksidipitoisissa (CO₂) olosuhteissa ja happipitoisissa olosuhteissa se muodostaa typpimonoksidia (NO). (Niemelä, ym., 2003, s. 111-112) Tuhkaan jäänyt OCN poistuu kattilasta sulan mukana, missä se muuttuu ammoniakiksi viher- ja valkolipeän käsittelyn aikana. Osa ammoniakista haihtuu prosesseissa ja loppu päättyy keittämiin. (Niemelä ym. 2003, s. 163–164).

4 NOX PÄÄSTÖVÄHENNYSMENETELMÄT

Typpioksidipäästöjen vähennysmenetelmät jaetaan primäärisiin ja sekundäärisiin tekniikoihin. Primääriset tekniikat pyrkivät vähentämään typpioksidipäästöjen muodostumista tulipesässä ja sekundääriset tekniikat pyrkivät vähentämään syntyneitä päästöjä savukaasuissa. (2010/75/EU 2017, s. 108; Huhtinen, Kettunen, Nurminen & Pakkanen 2004, s. 93)

4.1 Primääriset

Primääriset tekniikan vähennysmenetelmät pyrkivät vaikuttamaan polttolaitoksen toiminnallisiin ja suunnitelmallisiin parametreihin siten, että typen oksidien määrä pienenee tai että jo syntyneet typen oksidit muutetaan vähemmän haitallisiksi jo tulipesässä. (2010/75/EU 2017, s. 109)

4.1.1 Matala yli-ilman syöttö

Yli-ilman vähentäminen on yksinkertainen ja helposti toteutettava keino typen oksidien vähentämiseen. Kun happimäärä tulipesässä pienennetään täydellisen palamisen vaatimaan minimiin, laskee sekä termisen että polttoaineesta peräisin olevan NO_x:in määrä. Tekniikka perustuu kattilan ilma- vuotojen minimisointiin, tarkkaan palamisilman säätöön ja kattilan palotilan muokkaamiseen. Päästövähenemä on noin 10–44 %. (2010/75/EU 2017, s. 190)

Hapen määrän vähentäminen voi johtaa lisääntyneeseen hiilen määrään tuhkassa sekä hiilidioksidin määrän nousuun, minkä seurauksena hyötysuhde voi laskea ja korroosio lisääntyä. (2010/75/EU 2017, s. 191)

4.1.2 Ilman vaiheistus

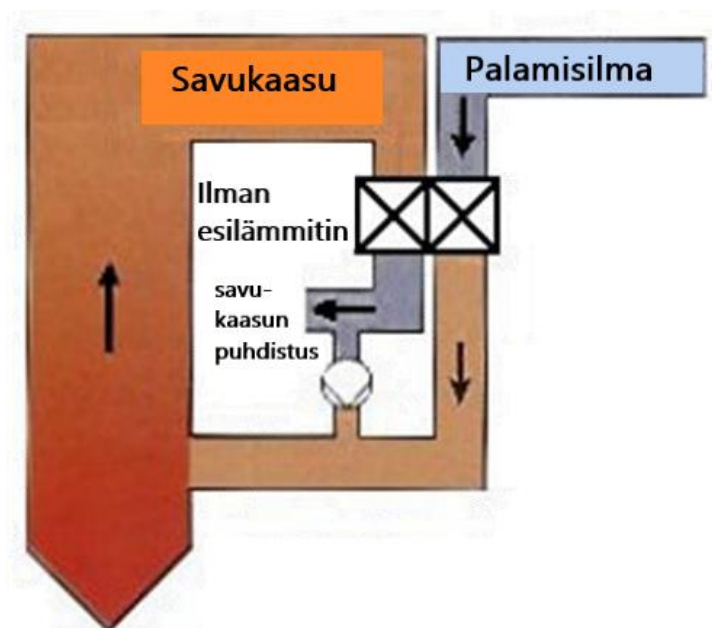
Ilman vaiheistus perustuu ainakin kahden eri palamisvyöhykkeen luomiseen. Vaiheistamalla ilman syöttöä primääripalamisvyöhykkeessä saatavilla olevan hapen määrä vähenee. Primääri-ilman määrä biomassaa polttavassa kattilassa on noin 40–60 %. Vyöhykkeen substoikiometriset olosuhteet tuhkahduttavat polttoaineen sisältämän typen muodostumisen NO_x:ksi. Myös termisen NO_x:in muodostuminen vähenee lämpötilahuippujen laskiessa. Sekundäärivyöhykkeessä ilma syötetään palamisvyöhykkeen yläpuolelle luoden vahvemman liekin missä palaminen viimeistellään. Sekundääri-vyöhykkeen suhteellisen matala palamislämpötila rajoittaa termisen NO_x:in syntymistä. (2010/75/EU 2017, s. 191.)

Ilman vaiheistuksella saavutetaan 10–70 % päästövähennemä. Jälkiasennuskohteissa ilman vaiheistus voi johtaa epätäydelliseen palamiseen, mikä aiheuttaa CO:n sekä palamattoman hiilen määrän kasvuun ja voi lisätä korroosiota kattilassa. (2010/75/EU 2017, s. 194.)

4.1.3 Savukaasujen kierrätys

NO_x- päästöjä voidaan vähentää kierrättämällä savukaasua korvaamaan osa tulipesään syötettävästä palamisilmasta. Tämä laskee lämpötilaa tulipesässä ja O₂- määrää typen oksidoitumiseen, vähentäen NO_x- päästöjen syntymistä. (2010/75/EU 2017, s. 195.) Savukaasun kierrätys säätää myös tulistusta siirtämällä lämmönsiirron painopisteen konvektiolämmönsiirtimiin lämpötilan laskiessa tulipesässä (Huhtinen, Kettunen, Nurminen & Pakkanen 2004, s. 93). Tämä voi johtaa savukaasun lämpötilan nousuun ja lievään hyötysuhteen laskemiseen (2010/75/EU 2017, s. 197; Huhtinen,

Kettunen, Nurminen & Pakkanen 2004, s. 93). Kuvassa 6 on esitetty savukaasun kierrätyksen havainnekuva.



KUVA 6: Savukaasujen kierrätys, mukaillen: (2010/75/EU 2017, s. 196)

Savukaasujen kierrätys laskee NO_x- päästöjä 20–60 % ja soveltuu kaikille polttoaineille, mutta sen toimivuus jälkiasennuskohteissa on riippuvainen monista laitoskohtaisista tekijöistä. Kierrätys voi aiheuttaa korroosiota ilmalinjoissa ja puhaltimissa, sillä savukaasu jäähtyy sekoittuessaan palamisilman kanssa. Taipumus myös lisätä tuhkan hiilipitoisuutta. (2010/75/EU 2017, s. 197.)

4.1.4 Ilman esilämmityksen vähentäminen

Vähentämällä ilman esilämmitystä saadaan pienennettyä liekin palamislämpötilaa, mikä vähentää termisen NO_x:in syntymistä. Suurimman höydyn ilman esilämmityksen vähennys tuo öljy- ja kaasutoimisissa prosesseissa, sillä suurin osa niiden muodostamasta NO_x:ista on termistä NO_x:ia. (2010/75/EU 2017, s. 198.)

Saavutettu päästövähennys on noin 20–30 %. Tekniikka ei kuitenkaan sovi märkää biomassaa tai kaikille hiiltä polttaville kattiloille, sillä ne vaativat korkeita palamislämpötiloja ja täten korkeaa ilman esilämmitystä. Ilman esilämmityksen vähennys lisää myös polttoaineen kulutusta, sillä suurempi osa savukaasun sisältämästä termisestä energiasta jää hyödyntämättä. Tätä voidaan tasapainottaa hyödyntämällä joitain energian talteenottokeinoja, kuten kasvattamalla ekonomaiserin kokoa. (2010/75/EU 2017, s. 198.)

4.1.5 Low-NO_x öljypolttimet

Low-NO_x öljypolttimet muokkaavat ilman ja polttoaineen syöttöä tulipesään myöhäistäten sekoitusta, vähentäen happea palamisessa, mikä laskee liekin korkeimpia lämpötiloja. Eri toimintaperiaatteiden mukaan polttimet jaetaan ilmanvaiheistuspolttimiin, savukaasukierrätyspolttimiin ja polttoaineen vaiheistuspolttimiin. (2010/75/EU 2017, s. 199.)

4.1.5.1 Ilmanvaiheistuspolttimet

Vaiheistetussa poltossa palamisilma tuodaan liekkiin kahdessa tai kolmessa vaiheessa. Kun polttoaine palaa ensimmäisessä vaiheessa ali-ilmalla, jää liekin lämpötila alhaiseksi normaali polttimeen verrattuna, minkä vuoksi termisen NOx:in muodostuminen vähenee. Lisäksi pieni happipitoisuus tukee polttoaineesta syntyvien typen oksidien vähenemistä. Polttimet vähentävät NOx-päästöjä 30–60 % polttoaineesta riippuen. (Huhtinen, Kettunen, Nurminen & Pakkanen 2004, s. 94.)

4.1.5.2 Savukaasukierrätyspolttimet

Kiinteistä ja nestemäisistä polttoaineista, joiden typpipitoisuus on 0,3–0,6 p-%, muodostuvista typen oksideista suurin osa on peräisin polttoaineesta. Täten palamisliekin lämpötilan laskeminen termisen NOx:in vähentämiseksi ei riitä, on myös hapen määrää vähennettävä. Kun vaiheistettuun polttoon palamisvyöhykkeelle tai palamisilman sekaan kierrätetään osa savukaasua, palamisliekin lämpötila sekä happipitoisuudet laskevat, jolloin NOx:in muodostuminen vähenee. Saavutettu päästövähennä on parhaimmillaan 20 %. (2010/75/EU 2017, s. 200–203.)

4.1.5.3 Polttoaineen vaiheistuspolttimet

Polttoaineen vaiheistuspolttimet pyrkivät vähentämään jo muodostunutta NOx:ia syöttämällä osan polttoaineesta toisessa vaiheessa. Polttoaine poltetaan yli-ilmalla suhteellisen matalassa lämpötilassa luoden typen oksideille mahdollisuuden muodostua. Kun primäärialueen palaminen alkaa hiipua, syötetään osa (n. -20–30 %) polttoaineesta luoden toisioliekin, muodostaen olosuhteet jo syntyneiden NOx:ien pelkistymiselle. Vaiheistuspolttimia käytetään pääasiassa kaasusovelluksissa. (2010/75/EU 2017, s. 201.)

4.1.5.4 Uuden sukupolven low-NOx polttimet

Uusimmissa low-NOx polttimissa käytetään ilman ja polttoaineen vaiheistusta sekä savukaasun kierrätystä yhdistettynä. Vanhemmissa low-NOx-polttimissa liekki on noin 30–50 % perinteistä palamisliekkiä suurempi. Uuden sukupolven poltin voi tuoda vastaavia päästövähennyksiä vaikuttamatta suuresti liekin kokoon. Päästövähennykset voivat olla myös suurempia, jos tulipesä on riittävän kokoinen. (2010/75/EU 2017, s. 202.)

4.1.6 Polttoaineen vaiheistus

Polttoaineen vaiheistuksessa tavoite on pelkistää pääpolttimessa syntyneet typen oksidit takaisin typpimolekyyleiksi. Pääpolttoaineen syöttökohdan yläpuolelle syötetään toisiopolttoainetta, joka reagoi savukaasujen kanssa pelkistäen oksidit typpimolekyyleiksi. Toisiopolttoaine poltetaan syöttämällä ylimääräistä palamisilmaa tulipesän yläosaan. Polttoaineena käytetään yleisesti maakaasua. (Huhtinen, Kettunen, Nurminen & Pakkanen, 2004, s. 94; 2010/75/EU 2017, s. 205.)

Vaiheistus tehdään kolmessa vaiheessa. 80–85 % polttoaineesta syötetään primääriseen palamisvyöhykkeeseen. Sekundääri vaiheessa polttoaine syötetään redusoivaan ilmapiiriin muodostaen hiili-

vetyradikaaleja, jotka reagoivat primäärihyöhykkeessä syntyneiden typen oksidoiden kanssa. Kolmannessa palamisvyöhykkeessä palaminen viedään loppuun syöttämällä sinne palamisilmaa. (2010/75/EU 2017, s. 205.)

Saavutettu päästövähennelmä on noin 50–60 %, mutta on riippuvainen monista laitoskohtaisista tekijöistä. Vaiheistusta voidaan käyttää myös yhdessä muiden primääristen vähennyskeinojen kanssa eikä se kasvata suuresti energiankulutusta. Myös reaktioaineena käytettävää polttoainetta on helpposti saatavilla. (2010/75/EU 2017, s. 206.)

4.2 Sekundääriset

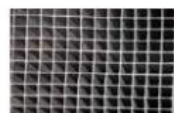
Sekundäärisillä tekniikoilla pyritään vähentämään jo syntyneitä NO_x-päästöjä savukaasuissa. Niitä voidaan käyttää yksinään tai yhdessä joidenkin primääristen tekniikoiden, kuten low-NO_x polttimien kanssa. Nämä tekniikat perustuvat jonkin lisäaineen, kuten urean tai ammoniakkin syöttöön savukaasuihin, mikä pelkistää typen oksidit takaisin typeksi. (2010/75/EU 2017, s. 110.)

4.2.1 Selective catalytic reduction (SCR): Katalyyttinen menetelmä

Katalyyttisessä menetelmässä savukaasuihin syötetään ammoniakkia tai ureaa, mikä pelkistää savukaasujen sisältämät NO_x-päästöt katalyyttielementeistä kootussa reaktorissa vedeksi ja typpimolekyyleiksi (Huhtinen, Kettunen, Nurminen & Pakkanen 2004, s. 260). Katalyytit voivat olla hunajakennon, levyn tai aaltopahvin muotoisia (2010/75/EU 2017, s. 218). Kuvassa 7 on esitetty katalyyttien rakenteita ja koostumuksia.

Katalyyttityypit

- **Hunajakennon katalyytti - Homogeeninen keraaminen :** TiO₂ massa, joka tyypillisesti sisältää katalyyttisesti aktiivista V₂O₅/WO₃ puristettuna yhtenäiseksi hunajakennon muotoiseksi katalyytiksi.
- **Levykatalyytti – Homogeeninen keraaminen TiO₂ massa,** joka tyypillisesti sisältää katalyyttisesti aktiivista V₂O₅/MoO₃ tai V₂O₅/WO₃ tukevalle ruostumattomasta teräksestä tehdylle verkolle rullattuna.
- **Aallotettu katalyytti – Keraaminen TiO₂ massa muodostettuna aaltopahvia muistuttavalle lasikuiturakenteelle.** V₂O₅ ja WO₃ kyllästetty katalyytin pinnalle.



KUVA 7: Katalyyttityypit, mukaillen: (2010/75/EU 2017, s. 220)

Menetelmä soveltuu monille polttoaineille eikä prosessissa synny sekundäärisiä päästöjä. Saavutettu päästövähennelmä on noin 80–95 %. Käytettäessä korkeita ammoniakkimääriä saadaan korkeita NO_x-määriä vähennettyä tehokkaasti, mutta seurauksena reagoimattoman ammoniakkin määrä savukaasuissa lisääntyy. Tämä voi johtaa lämpöpintojen likaantumiseen ja korroosioon. (2010/75/EU 2017, s. 219–226.)

4.2.2 Selective non-catalytic reduction (SNCR): Katalyytiton menetelmä

Katalyytittomassa (SNCR) menetelmässä ammoniakkia tai ureaa syötetään kattilan tulipesään, minkä vaikutuksesta typen oksidit pelkistyvät typpimolekyyleiksi ja vedeksi (Huhtinen, Kettunen, Nurminen & Pakkanen 2004, s. 261; 2010/75/EU 2017, s. 230).

Optimaaliselle reaktiolle lämpötila on 800–1100 °C riippuen käytetystä reaktioaineesta. Liian korkeassa lämpötilassa ammoniakki oksidoituu muodostaen lisää NO_x:ia ja liian alhaisessa lämpötilassa reaktio ei ole tarpeeksi tehokas mikä johtaa ammoniakkipäästöihin. (2010/75/EU s. 230–231.) Saavutettu päästövähennys on noin 30–50 %. Vaarana on reagoimattomat ammoniakkipäästöt savukaasuissa (2010/75/EU 2017, s. 233; Huhtinen, Kettunen, Nurminen & Pakkanen 2004, s. 261). Soodakattiloissa SNCR ei ole käytössä.

4.2.3 NO_x-pesurit (Scrubber)

Savukaasujen sisältämät typen oksidit ovat pääasiassa typpimonoksidia (NO). Syöttämällä savukaasuihin otsonia (O₃) tai klooridioksidia (ClO₂) saadaan typpimonoksidi muutettua liukenevaksi typpidioksidiksi (NO₂) ja dityppipentoksidiksi (N₂O₅), jotka voidaan pestä savukaasuista pesurissa emäksisellä pesunesteellä. (Valmet, 2022.)

Saavutettu NO_x-päästövähennys on yli 70 %. Pesureita voidaan käyttää myös muiden liukenevien päästöjen, kuten rikkidioksidin (SO₂), vetykloridin (HCl) ja ammoniakkin (NH₃) poistossa. Lämmön ja veden talteenotto voidaan myös hyödyntää pesureissa. (Valmet, 2022) Klooridioksidin käyttö oksidatiossa voi johtaa kloorikorroosioon, minkä välttämiseksi on pesureissa käytettävä korroosionkestäviä materiaaleja. (Niemelä ym. 2003, s. 167.)

5 FTIR-PÄÄSTÖMITTAUSLAITTEISTO

Savonia-ammattikorkeakoulu tekee päästömittauksia voima- ja polttolaitoksille. Mittaukset suoritetaan Gasmeter DX4000 FTIR savukaasuanalyysiaattorilla. Mittaukset sekä analyysit suoritetaan kaasumaisten päästöjen määrittämistä koskevien standardien mukaisesti (SFS-EN 15259, 14789 ja 14790). Lopputuotteena toimeksiantaja saa mittauksesta raportin, sekä halutessaan savukaasuanalyysien tulokset Excel taulukkoina. (Savonia-ammattikorkeakoulu 2016.)

Toimeksiantajalla oli tarve NO_x-päästöjen mittaukselle. Tarvittavalle mittausjaksolle toimeksiantaja totesi FTIR mittauksen olevan kustannustehokkain vaihtoehto. Mittauksissa tullaan käyttämään kahta mittauslaitteistoa samanaikaisesti.

5.1 IR-tekniikka

IR-tekniikka eli infrapunaspektrometria perustuu kaasujen kykyyn absorboida infrapunasäteilyä kullekin kaasulle spesifeillä aallonpituuksilla. Analyysiaattorin säteilylähteestä lähtevä infrapunavalo läpäisee analyysiaattorin vertailukennon sekä näytekennon. Vertailukennon sisältää kaasua, joka ei absorboi infrapunavaloa. Valon läpäistessä kennon sen energia ei muutu. Valon läpäistessä näytekennon valo absorboituu näytekaasuun pienentäen läpäisevän valon määrää. Saadusta energiaerosta voidaan määrittää kaasun pitoisuudet. IR- tekniikalla voidaan mitata esim. CO, CO₂, SO₂, NO ja HCl pitoisuudet. Jotkut kaasut absorboivat valoa samoilla aallonpituuksilla kuin mitattavat kaasut, mikä voi aiheuttaa ongelmia mittauksessa. (Ilmansuojeluyhdistys RY & VTT 2007, s. 29.)

IR-tekniikan mittalaitteet jaetaan ei-dispersiivisiin ja dispersiivisiin analyysiaattoreihin. Ei-dispersiiviset analyysiaattorit ovat yleensä ns. yksikomponenttianalyysiaattoreita, joissa aallonpituuskaista valitaan kaasulle sopivaksi optista suodatinta käyttäen. Dispersiivisissä analyysiaattoreissa analysoidaan laajempi aallonpituuskaista. Dispersiivisiä analyysiaattoreita ovat esimerkiksi FTIR-analyysiaattorit. (Ilmansuojeluyhdistys RY & VTT 2007 s. 29.)

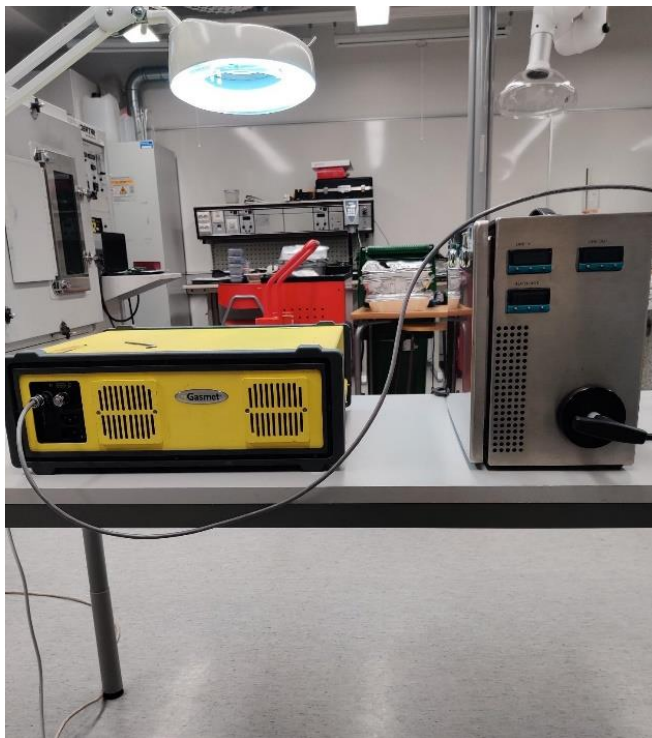
5.1.1 FTIR (Fourier Transform Infrared Spectroscopy) analyysiaattori

FTIR analyysiaattorilla voidaan jatkuvatoimisesti määrittää useita kaasukomponentteja samanaikaisesti. Mittauksen tuloksena saadusta spektristä voidaan kvalitatiivisesti määrittää näytekaasun pitoisuudet. Kvalitatiivinen analyysi perustuu absorptioviivojen voimakkuuteen. (Ilmansuojeluyhdistys RY & VTT 2007, s. 29.)

FTIR tekniikalla mitattaessa useat kertainäytteenottoon perustuvat analyysit (esim. HCl ja NH₃) ovat korvattavissa jatkuvatoimisella analyysillä. FTIR:llä on myös mahdollista mitata erilaisia orgaanisia yhdisteitä perinteisten päästömittauskomponenttien lisäksi. FTIR analyysi tapahtuu kosteista savukaasuista ja vesi on yksi mitattavista pitoisuuksista. Täten näytteen kuivaukseen riittävät riskit poistuvat. (Ilmansuojeluyhdistys RY & VTT 2007, s. 29.)

5.2 Laitteisto

Mittalaitteisto koostuu Gasmeter DX4000 FTIR savukaasuanalyysiaattorista ja Gasmeter näytteenottoyksiköstä. Kuvassa 5 on savukaasuanalyysiaattori sekä näytteenottoyksikkö.



KUVA 8: Analysaattori ja näytteenottoyksikkö (Kettunen 2022)

Näytteenottoyksikkö on varustettu ZrO₂ happianturilla ja PSP-4000H näytteenottosondilla. Laitteisto ohjataan Calcmet STD-ohjelmalla. (Savonia-ammattikorkeakoulu 2015.)

5.2.1 Gaset DX4000

Gaset DX4000 on pienin markkinoilla oleva kannettava FTIR-savukaasuanalysaattori, jolla voidaan mitata savukaasun koostumusta kuumista ja kosteista savukaasuista. Laite kykenee mittaamaan jopa 50 eri kaasukomponenttia samanaikaisesti, mutta tyypillisimmät mitattavat kaasut ovat H₂O, CO₂, CO, NO, NO₂, N₂O, SO₂, NH₃, CH₄, HCl, HF sekä erilaiset haihtuvat aineet. Analysaattori on suunniteltu käytettäväksi yhdessä Gasetin kannettavan näytteenottojärjestelmän rinnalla. (Gaset julkaisuaika tuntematon.)

5.2.2 Gaset kannettava näytteenottojärjestelmä

Näytteenottoyksikkö on suunniteltu DX4000 FTIR analysaattorin rinnalle kannettaviin savukaasumittauksiin. Gaset näytteenottoyksikössä näytepumppu, suodatin ja venttiili ovat sisäänrakennettuna moduulissa. Moduuli lämmitetään 180 °C, mikä mahdollistaa mittauksen kosteista ja syövyttävistä savukaasuista. Järjestelmän toiminta on automaattista, mutta näytepumppua ja venttiiliä voidaan ajaa manuaalisesti. (Gaset julkaisuaika tuntematon.)

5.2.3 Calcmet-ohjelmisto

DX4000-analysaattoria ohjataan Calcmet- tietokoneohjelmalla. Ohjelma pystyy tunnistamaan ja määrittämään jopa 50 eri kaasukomponenttia samanaikaiseksi ja ohjelma tunnistaa myös aiemmin tuntemattomia komponentteja. Tulosten uudelleenanalysointi on helppoa, sillä ne tallentuvat erilliseksi tiedostoksi. Tulokset voidaan raportoida kosteina tai kuivina kokoaikaisen kosteusmittauksen myötä. (Gaset julkaisuaika tuntematon.)

5.2.4 Näytteenottosondi

Vaativuksena näytteenottosondille on, että se kykenee kuljettamaan FTIR-analysaattorille edustavaa savukaasunäytettä. Sondin on oltava riittävän pitkä ja sen on kyettävä vastustamaan savukaasun komponenttien absorbanssia. (CEN/TS 17337:2019.)

Laitteisto on varustettu PSP-4000H-näytteenottosondilla. Sondin toimintalämpötila on 100–180 °C. Sondilla mitattavan näytekaasun pölypitoisuus on oltava alle 2 g/m³ ja paine maksimissaan yksi bar. (Savonia-ammattikorkeakoulu 2015.)

5.2.5 Suodatin

Näytekaasun sisältämät hiukkaset eivät saa päätyä savukaasuanalysaattoriin, joten ne on poistettava näytekaasusta suodattimilla. Suodatin voi olla osana näytteenottosondia tai se voidaan sijoittaa sondin jälkeen. Suodattimen on oltava reagoimatonta (inertiä) materiaalia. (CEN/TS 17337:2019) Savonian mittauslaitteistoissa suodattimia on kolme kappaletta. Ensimmäinen suodatin on lämmitettävän näytteenottosondin kärjessä oleva keraaminen suodatin (kuva 9).



KUVA 9: Suodatin näytteenottosondin päästä (Kettunen 2022)

Mittauksen aikana suodatin on mittauslinjassa savukaasuvirrassa, joten se likaantuu helposti. Suodattimen hiukkaskoko on 2 µm.

Sondin päässä olevan suodattimen jälkeen Gasmet-järjestelmässä on kaksivaiheinen hiukkassuodatus. Ensimmäinen vaihe on näytteenottosondissa. (Gasmet-julkaisuaika tuntematon.) PSP-4000H-sondissa suodatin on kädensijan suodatinkotelossa. Kuvassa 10 suodatin purettuna suodatinkotelosta. Suodattimen hiukkaskoko on 2 µm.



KUVA 10: Suodatinkotelo ja suodatin (Kettunen 2022)

Toinen suodatin on osana näytteenottoyksikön moduulia. Kuvassa 11 on esitetty suodattimen sijainti näytteenottoyksikössä.

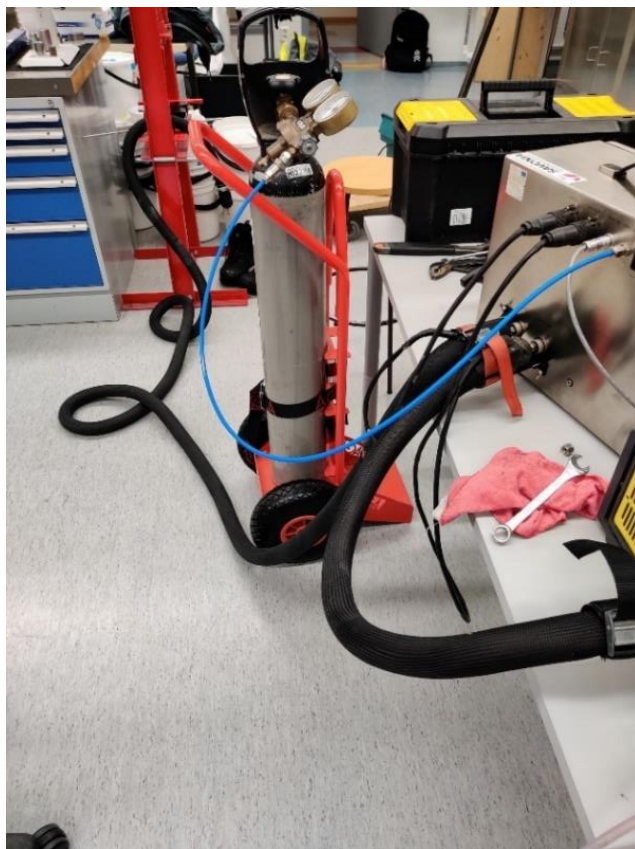


KUVA 11: Näytteenottoyksikkö ja suodatin (Kettunen 2022)

Moduuli on lämmitettävä, joten suodatin lämmitetään 180 °C (Gasmets julkaisuaika tuntematon). Suodattimen hiukkaskoko on 1 µm.

5.2.6 Näytteenottolinja

Näytteenottolinjan on myös oltava reagoimatonta (inertiä) materiaalia, jotta kaasun komponenttien absorbanssilta vältytään. Näytteenottolinjan on oltava mahdollisimman lyhyt. Näytteenottolinja lämmitetään vähintään 180 °C. (CEN/TS 17337:2019)



KUVA 12: Näytteenottolinjat (Kettunen 2022)

Kuvassa 12 on laitteiston näytteenottolinjat. Näytteenottosondin ja näytteenottoyksikön välinen linja on 5 metriä pitkä ja näytteenottoyksikön ja savukaasuanalysaattorin välinen linja yhden metrin. Näytteenottoputki on PTFE-putkea. Putken kestävä maksimilämpötila on 270 °C.

5.2.7 Pumppu

Näytteenottopumpun on toimittava kaikilla näytteenottokyvettin vaatimilla virtauksilla ja paineilla. Pumpun on oltava korroosionkestävä. Jos pumppu on ulkoinen, on sen oltava yhteensopiva käytettävän analysaattorin kanssa. (CEN/TS 17337:2019)

Gasmet näytteenottoyksikössä pumppu on integroitu osaksi yksikköä. Pumppu on osana lämmitettävää moduulia ja lämmitetään 180 °C. Pumpun tuottama virtaus on n. 4 l/min. (Savonia-ammattikorkeakoulu 2015)

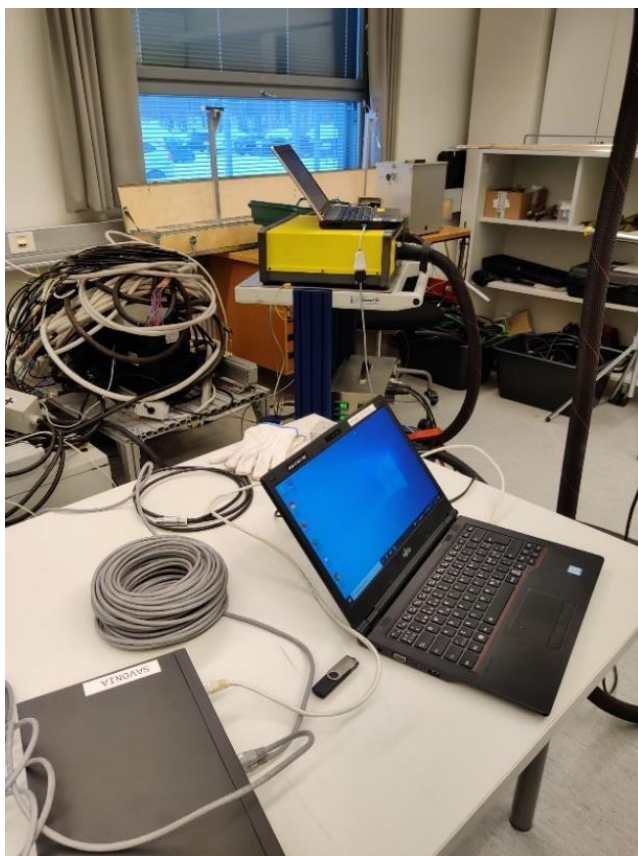
5.2.8 Happianturi

Happianturi on järjestelmässä valinnainen. Happianturi mahdollistaa happimittauksen sekä automaattisen happikorjauksen vertailuolosuhteissa. Happianturin ominaisuuksien sekä käyttötapojen on vastattava EN 14789 standardia. (CEN/TS 17337:2019)

Gasmet näytteenottoyksikkö sisältää integroidun ZrO_2 happianturin. Anturin mittausalue 0,1–25 %. (Savonia-ammattikorkeakoulu 2015)

5.2.9 Laitteiston etäkäyttö

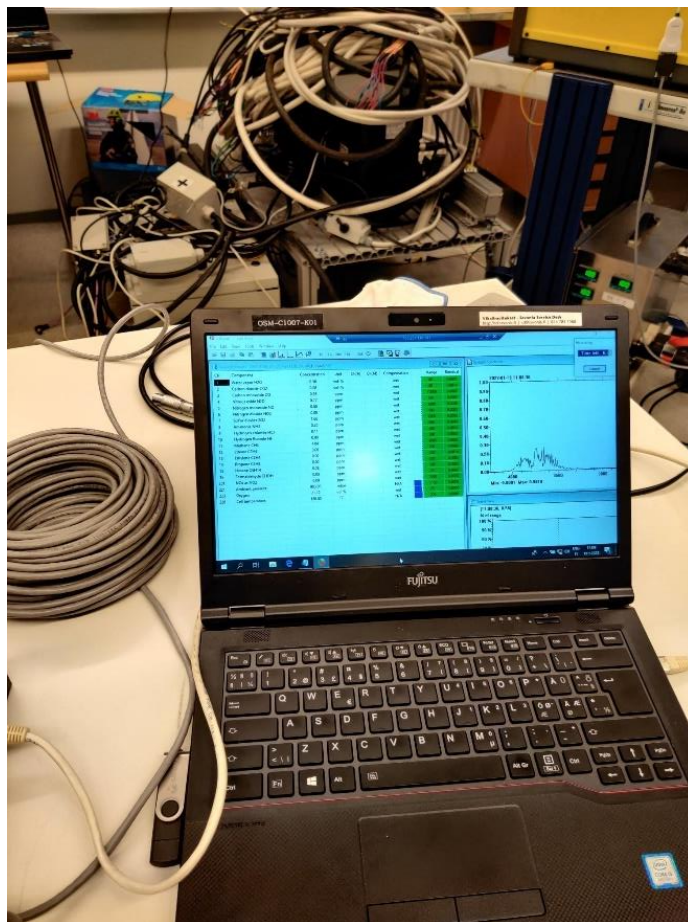
Mittauksen aikana mittauslaitteisto on kokonaisuudessaan mittauspaikalla, mukaan lukien laitteen ohjaukseen käytettävä tietokone. Lyhyiden kaapeleiden vuoksi tietokonetta ei saada vietyä valvomoon mittauksen seuraamiseksi. Mahdollisuus seurata mittauksia ja hallita laitteistoa valvomosta käsin helpottaisi työskentelyä mittausjakson aikana, etenkin kun käytössä on kaksi FTIR-laitteistoa samanaikaisesti eri mittauspaikoissa. Ratkaisuksi keksittiin käyttää etäyhteyttä Remote desktop-sovelluksen avulla, jolloin kentällä olevia tietokoneita voidaan hallita valvomosta käsin.



KUVA 13: Etäkäyttöjärjestelmä (Kettunen 2022)

Kuvassa 13 on esitetty järjestelmä testikäytössä. Järjestelmään otetaan kolmas, valvomoon sijoitettava tietokone. Kentällä olevat tietokoneet yhdistetään valvomossa olevaan koneeseen verkkokaape-

leilla, joten etäyhteyden muodostaminen onnistuu ilman nettiyhteyttä. Kuvassa 14 on esitetty taustalla olevan laitteiston tietokone yhdistettynä toiseen kannettavaan koneeseen järjestelmää testatessa. Sovellus vaatii kirjaututtavan koneen IP-osoitteen yhteyden luomiseksi.



KUVA 14: Calcmet ohjelma etäyhteydellä (Kettunen 2022)

Tämän jälkeen kentällä olevan koneen näkymä aukeaa valvomossa olevalle tietokoneelle ja sitä voidaan operoida etänä. Kuvassa nähdään mittausnäkymä etäyhteydellä.

5.3 Huoltoa ja epävarmuutta aiheuttavia tekijöitä

Mittauspaikat voivat sijaita hyvinkin erilaisissa olosuhteissa. Esimerkiksi ulkona sijaitsevalla mittauspisteellä olosuhteet ovat hyvin erilaiset kuin sisällä sijaitsevalla mittauspisteellä. Täten mittauksissa on otettava huomioon, onko joillakin mittauspaikan tekijöillä laitteiston toimintaan tai mittauksien luotettavuuteen.

5.3.1 Ympäristön likaisuus

Mittausympäristön likaisuus voi lisätä laitteiston huollontarvetta. Likaisessa ja pölyisessä ympäristössä laitteiston tuuletuskanavat ja suodattimet likaantuvat nopeasti, joten likaisissa ympäristöissä suoritettavissa mittauksissa niitä on puhdistettava ja tarvittaessa suodattimia on vaihdettava useammin.

Osana laitteistoa on myös kannettava tietokone, jota ei ole suunniteltu likaisiin voimalaitosympäristöihin. Pöly ja lika pääsevät koneen sisälle sen tuuletusaukoista. Kertynyt lika voi aiheuttaa tietokoneessa toimintahäiriöitä tai rikkoa sen.

Mittausjakson mittaukset tulevat tapahtumaan laitosympäristössä, missä pöly ja lika on yleistä. Täten suodattimia on puhdistettava tietyin väliajoin. Täten suodattimet on hyvä tarkistaa ja puhdistaa viikoittaisen huollon yhteydessä.

5.3.2 Ympäristön lämpötila

Laitteiston toimintaan ja mittauksen epävarmuuteen vaikuttaa ympäristön lämpötila. Laitteiston valmistaja ilmoittaa laitteiston toiminnalle optimilämpötilan.

Gasmetin ilmoittama ympäristön optimaalinen lämpötila pitkäaikaisen mittauksen aikana on 10–25 °C. Myös ympäristön lämpötilavaihtelut voivat vaikuttaa mittauksen tarkkuuteen, joten ympäristön lämpötilan tulisi pysyä mahdollisimman tasaisena. Jos ympäristössä tapahtuu suuria lämpötilavaihteluita, on taustaspektri mitattava muutosten jälkeen uudelleen. (Gasmet 2015, s. 25.)

Sisätiloissa suoritettavissa mittauksissa lämpötilan voidaan olettaa pysyvän suhteellisen tasaisena. Taustaspektri mitataan joka tapauksessa vuorokauden välein ja jos olosuhteissa havaitaan suurempia muutoksia, voidaan se mitata uudelleen. Täten lämpötilan ei pitäisi aiheuttaa suuria epävarmuuksia. Vastaavan tyylisissä laitosympäristössä suoritetuissa mittauksissa ympäristön lämpötila ei ole aiheuttanut ongelmia, joten voidaan olettaa, että mittausjaksollakaan ongelmia ei pitäisi ilmetä.

5.3.3 Ympäristön värinä

Mittauspaikan läheisyydessä ei saisi olla värinää aiheuttavia laitteita. Voimakas värinä voi vaurioittaa laitteistoa. Etenkin analysaattori on altis värinän aiheuttamille vaurioille ja analysaattorin sisäisiä vaurioita saa korjata vain koulutettu teknikko. Täten värinän aiheuttamat vauriot voivat pahimmassa tapauksessa johtaa mittausten keskeytymiseen.

Laitosympäristössä suoritettavassa mittauksessa värinän ei luulisi olevan ongelma. Mittausjaksolla tämä kuitenkin kannattaa ottaa huomioon, jotta mahdollisilta vaurioilta vältytään.

5.3.4 Savukaasun lämpötila

Mitattavan savukaasun lämpötila voi vaikuttaa mittalaitteen toimintaan. Pahimmassa tapauksessa liian kuuma savukaasu voi rikkoa laitteiston, mikä johtaisi mittausten keskeytymiseen.

Laitteistovalmistaja on määritellyt arvot mitattavalle kaasulle luotettavien mittaustulosten saamiseksi ja laitteiston toiminnan takaamiseksi. Näytekaasun lämpötilan tulisi olla lähellä näytekennon lämpötilaa 180 °C. Näytekaasun paine saa olla maksimissaan 2 baria ja virtaus 1–5 dm³/min. (Gasmet 2015, s. 20.)

5.3.5 Sähköt

Mittauspaikan sähköistyksen on oltava riittävä laitteistoa ajatellen. Suotavaa olisi, että saman sulakkeen takana ei olisi muita laitteita. Täten sulakkeen palaessa tiedetään vian olevan mittalaitteistossa eikä jossain muualla. Sähköistyksen on oltava luotettavaa, ettei se aiheuta turhia katkoksia tai toimintahäiriöitä laitteistolle.

Toimeksiantajan mukaan mittausjakson ajalle laitteistoille mittalaitteistolle saadaan omat sähköt siten, ettei samojen sulakkeiden takana ole muita laitteita. Täten sähköjen ei pitäisi tuottaa suuria ongelmia ja jos ongelmia ilmenee, päästään niitä ratkaisemaan helpommin.

5.3.6 Mittaustaso ja mittauskohta

Vaatimuksena mittaustason valinnalle on, että tason kohdalla kaasun virtaus on oltava mahdollisimman häiriötöntä. Mittaustason olisi sijaittava pystysuoralla kanavan osalla, etenkin hiukkasmittauksissa. Häiriötön virtausetäisyys mittaustasolta on oltava vähintään viisi kertaa linjan hydraulinen halkaisija ennen mittaustasoa ja vähintään kaksi kertaa hydraulinen halkaisija mittaustason jälkeen. Lisäksi häiriötön etäisyys ennen piipunpäättä on oltava vähintään viisi kertaa hydraulinen halkaisija. Usein etäisyyksiksi joudutaan valitsemaan vaadittua pidemmät etäisyydet sillä joidenkin laitteiden aiheuttamat häiriöt voivat vaikuttaa vaadittuja matkoja pidemmälle. (Ilmansuojeluyhdistys RY & VTT, 2007, s. 6)

Kaasunmittauksessa mittaustason valinta ei ole niin tarkkaa. Virtaushäiriöillä ei ole niin suurta merkitystä, kunhan kaasuvirtaus mittaustasossa on homogeenistä. Mittauskohta tulee valita siten, että se tuottaa edustavia näytteitä. Kun nämä asiat on otettu suunnittelussa huomioon, ei ongelmia pitäisi ilmetä. (Ilmansuojeluyhdistys RY & VTT 2007, s. 6; CEN/TS 17337:2019)

5.4 Kunnossapito ja huolto

Laitteisto huolletaan aina mittausjaksojen välissä. Pidemmällä mittausjaksolla huoltoa suoritetaan myös mittausjakson aikana. Huolto tehdään Savonia-ammattikorkeakoulun energiatekniikan laboratoriossa Savonian henkilökunnan toimesta. Laitteiden sisäistä huoltoa ja kalibrointia suorittavat tehtävään koulutetut teknikot, joten näitä toimenpiteitä Savonia ei laitteistoille suorita itse.

Ensimmäisenä sondin päässä oleva suodatin puhdistetaan. Suodatin on mittauksen aikana savukaasuvirrassa, joten se kerää likaa. Myös suodattimen pesään tarttunut lika puhdistetaan. Puhdistukseen käytetään vettä ja puhdistusliinoja, pesuaineita ei käytetä.



KUVA 15: Suodatin ultraäänipesurissa (Kettunen 2022)

Jos suodattimeen tarttunut lika on pinttynyt eikä lähde vesipesulla, puhdistetaan suodatin ultraäänipesurissa (kuva 15). Vaurioitunut suodatin vaihdetaan uuteen.

Näytteenottosondi puhdistetaan siihen kertyneestä liasta. Puhdistuksen ajaksi sondi on irrotettava kädensijasta. Sondi likaantuu mittausten aikana sekä pinnalta että sisältä, joten päälle kertyneen lian lisäksi sondi nuohotaan sisältä. Puhdistuksessa käytetään vettä ja harjaa.

Kädensijan suodatinkotelossa oleva suodatin tarkistetaan ja puhdistetaan. Vaurioitunut suodatin on vaihdettava uuteen. Myös suodatinkotelon sisäosat puhdistetaan liasta.

Näytteenottolinjojen kunto tarkistetaan. Näytteenottolinjassa sisällä oleva näyteputki venyy lämmetessään. Venyessään putki alkaa työntyä ulos näytteenottolinjasta. Venynyt linja voi vaurioitua ja painua kasaan vaikeuttaen näytekaasun virtausta. Täten venyneet näytteenottolinjat lyhennetään tarvittaessa. Kuvassa 16 on esitetty oikeanmittainen näyteputki näytelinjassa.



KUVA 16: Näyteputki näytteenottolinjassa (Kettunen 2022)

Vaurioitunut tai liikaa venynyt näyteputki on joko lyhennettävä tai tarvittaessa vaihdetaan uuteen.

Näytteenottoyksikön keräämä lika puhdistetaan. Mittauksia suoritetaan laitosympäristössä, missä laitteisto likaantuu helposti. Kertynyt lika ja pöly pyyhitään pois sekä laitteen sisältä että ulkoa. Puhdistuksessa käytetään mikrokuituliinaa. Myös näytteenottoyksikössä oleva suodatin tarkistetaan ja puhdistetaan tarvittaessa.



KUVA 17: Näytteenottoyksikön suodatin (Kettunen 2022)

Kuvassa 17 uusi puhdas suodatin. Jos suodatin on vaurioitunut mittauksissa, vaihdetaan se uuteen.

Myös savukaasuanalysointilaitteen puhdistetaan liasta. Analysointilaitteen ja näytteenottoyksikkö ovat samassa tilassa, joten analysointilaitteen likaantuu siinä missä näytteenottoyksikkökin. Irtonainen lika ja pöly pyyhkitään mikrokuituliinalla pinnasta pois. Suodattimet puhdistetaan pölystä. Suodattimia analysointilaitteessa on kaksi kappaletta. Myös suodattimen kotelo sekä ritilät puhdistetaan. Kuvassa 18 on analysointilaitteen tuuletusritilä ja suodatin.



KUVA 18: Tuuletusritilä ja suodatin (Kettunen 2022)

Vaurioitunut suodatin vaihdetaan ehjään. Analysointilaitteen kolme tuuletusritilää ovat kaikki samannäköisiä, joten suodattimia ja ritilöitä puhdistettaessa on otettava huomioon, ettei suodatinta vahingossa laiteta ulospuhaltavaan kanavaan. Suodattimen ollessa väärässä paikassa ei tuuletusilman mukana oleva lika ja pöly pääse ulos.

5.4.1 Päivittäiset kunnossapitotoimet

Laitteisto ei vaadi päivittäin varsinaisia huoltotoimenpiteitä, mutta tietyt toimenpiteet laitteistolle on suoritettava joka vuorokausi. Lähinnä toimilla varmistetaan mittaustulosten luotettavuus sekä varmistetaan laitteiston toiminnasta.

5.4.1.1 Taustaspektri

Taustaspektri on mitattava joka päivä. Mittauksen aikana näytekenno täytetään nollakaasulla. Mittauksen aikana näytekennoissa ei saa muita yhdisteitä. Käytettävä nollakaasu ei saa absorboida infrapunavaloa. Käytössä oleva nollakaasu on tyyppiä (N₂), luokka 5. Järjestelmän on oltava stabiilissa tilassa mittauksen aikana. (Gasmeter 2005, s. 40)

Taustaspektri mitataan kerran vuorokaudessa. Lisäksi mittaus on tehtävä uudelleen aina, kun mittauksen olosuhteet muuttuvat.

5.4.1.2 Silmämääräinen tarkastus

Taustaspektrin mittauksen yhteydessä laitteistolle kannattaa laitteistolle suorittaa silmämääräinen tarkastus. Täten mahdollisia ongelmia ja vaurioita voidaan havaita ajoissa ja tarvittaessa ennakoida laitteiston huollon tarvetta.

Tarkastuksen ei tarvitse olla kovin laaja, mutta perusasiat on hyvä tarkistaa. Laitteiston yleinen kunto tarkistetaan. Näyte- ja kaasulinjojen kunto sekä liitännät tarkastetaan. Sekä näytteenottolinjojen että näytekennon lämpötilat on hyvä tarkistaa. Nollakaasun määrä ja virtaus tarkastetaan.

5.4.2 Viikoittaiset huoltotoimenpiteet

Alkuperäisen suunnitelman mukaan laitteisto oli tarkoitus tuoda joka viikko mittausten päätteeksi Savonialle, missä laitteistolle suoritettaisi perushuolto. Laitteisto ei välttämättä vaadi laajamittaista huoltoa joka viikko. Mittausjakson ajoituksessa kesäkuukausille ei ole varmuutta onko paikalla henkilöstöä suorittamaan jokaviikkoista laajamittaista huoltoa.

Viikoittain vaadittavat huoltotoimenpiteet tulevat todennäköisesti olemaan pääosin laitteiston ja suodattimien puhdistusta sekä vaihtoa. Nämä toimenpiteet voidaan suorittaa mittauspaikalla. Ongelmien ilmetessä, tai sopivan tauon sattuessa kohdalle voidaan laitteisto viedä Savonialle laajempia huoltotoimenpiteitä varten.

Viikoittaisia huoltotoimia varten tehtiin tarkastuslista (Liite 1). Lista voidaan kirjata kullakin viikolla vaaditut huoltotoimenpiteet sekä kirjata muistiin asioita, joita tulee ottaa huomioon tulevia huoltoja ajatellen.

6 YHTEENVETO

Opinnäytetyön tarkoituksena oli tehdä esivalmistelua ja suunnittelua FTIR mittalaitteiden huoltoa varten asiakkaan tilaamalle mittausjaksolle. Mittausjaksolla mitataan NO_x-päästöjä.

Alkuperäisenä suunnitelmana oli tuoda laitteistot viikon mittausten päätteeksi Savoniale huoltoon. Laitteistot olisi huollettu viikonloppuna ja viety mittausten alkaessa viikon alussa mittauspaikalle. Laittevalmistajan ohjeiden mukaan laitteisto ei kuitenkaan vaadi viikoittain laajamittaista huoltoa, minkä vuoksi laitteiston jokaviikkoinen purku ja kasaus sekä edestakainen kuljettaminen ei tunnu järkevältä ratkaisulta. Mikäli mittaukset suoritetaan standardin CEN/TS 17337/2019 mukaisesti, on jokaisen mittauksen päätteeksi huoltotoimenpiteet suoritettava laittevalmistajan ohjeista huolimatta. Lisäksi aikataulun muutosten vuoksi mittausjakso venyi kesälle, joten ei ollut varmuutta onko Savonialla henkilöstöä suorittamassa huoltoa.

Viikoittainen huolto todennäköisesti koostuu pääosin laitteiston sekä suodattimien puhdistamisesta ja vaihtamisesta. Nämä huoltotoimenpiteet voidaan suorittaa laitteistolle mittauspaikalla. Jos laitteistossa havaitaan ongelmia tai vaurioita, voidaan laitteisto viedä Savoniale laajempaa huoltoa varten. Päivittäistä kunnossapitoa laitteistolle suoritetaan mittausten lomassa. Taustaspektri on mitattava vähintään kerran vuorokaudessa mittaustulosten luotettavuuden säilyvyyden vuoksi. Samalla laitteistolle kannattaa suorittaa silmämääräinen tarkastus. Täten voidaan havaita mahdollisia vaurioita ja asioita, joita tulevaisuudessa tulisi ottaa huomioon.

Huoltojen kirjausta varten tehtiin tarkistuslista huoltotoimenpiteistä. Merkkaamalla jokaviikkoiset huoltotoimenpiteet ylös pysytään kärryillä siitä, millaista huoltoa laitteistoille on milläkin viikolla tehty. Tarkastuslistasta voidaan myös ylös huomioida asioita, joita tulevaisuudessa tulisi ottaa huomioon.

Aikataulun kanssa oli ongelmia työn edetessä. Alun perin työn oli tarkoitus käsitellä toteutettavaa mittausjaksoa sekä mittausten tuloksia. Projektin aikataulu on kuitenkin venynyt, mistä johtuen työn sisältö ja aihe ovat eläneet projektin mukana.

LÄHTEET

- 2010/75/EU, European Commission. (2017). *2010/75/EU. Best Available Techniques (BAT) Reference Document for Large Combustion Plants*. European Commission. Haettu 20. 2. 2022 osoitteesta <https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC107769>
- CEN/TS 17337:2019. (ei pvm). *CEN/TS 17337:2019- Stationary source emissions*.
- Gasmet. (ei pvm). *Gasmet DX-Series FTIR Gas Analyser Instruction and Operating Manual*.
- Gasmet. (julkaisuaika tuntematon). *DX4000*. Noudettu osoitteesta <https://www.gasmet.com/fi/tuotteet/category/kannettavat-kaasuanalysaattorit/dx4000/>
- Gasmet. (julkaisuaika tuntematon). *Kannettava näytteenottojärjestelmä*. Noudettu osoitteesta <https://www.gasmet.com/fi/tuotteet/category/kannettavat-kaasuanalysaattorit/kannettava-naytteenottojarjestelma/>
- Gasmet. (julkaisuaika tuntematon). *Ohjelmisto*. Noudettu osoitteesta <https://www.gasmet.com/fi/tuotteet/ohjelmisto/>
- Huhtinen, M.;Kettunen, A.;Nurminen, P.;& Pakkanen, H. (2004). *Höyrykattilatekniikka* (6. p.).
- Huhtinen, M.;Korhonen, R.;Pimiä, T.;& Urpalainen, S. (2008). Voimalaitostekniikka. Teoksessa M. Huhtinen;R. Korhonen;T. Pimiä;& S. Urpalainen, *Voimalaitostekniikka*.
- Ilmansuojeluyhdistys RY; VTT. (2007). Päästömittausten käsikirja. Noudettu osoitteesta <https://ilmansuojeluyhdistys.files.wordpress.com/2015/05/osa1.pdf>
- Kettunen, M. (2022). *Calcmnet ohjelma etäyhteydellä*. Varkaus.
- Kettunen, M. (2022). *Gasmet DX-4000 savukaasuanalysaattori ja näytteenottoyksikkö*. Varkaus.
- Kettunen, M. (2022). *Laitteiston etäkäyttöjärjestelmä*. Varkaus.
- Kettunen, M. (2022). *Näyteputki näytteenottolinjassa*. Varkaus.
- Kettunen, M. (2022). *Näytteenottolinjat*. Varkaus.
- Kettunen, M. (2022). *Näytteenottoyksikön suodatin*. Varkaus.
- Kettunen, M. (2022). *Savukaasuanalysaattorin tuuletusritilä ja suodatin*. Varkaus.
- Kettunen, M. (2022). *Suodatin näytteenottosondin päässä*. Varkaus.
- Kettunen, M. (2022). *Suodatin näytteenottoyksikössä*. Varkaus.
- Kettunen, M. (2022). *Suodatin ultraäänipesurissa*. Varkaus.
- Kettunen, M. (2022). *Suodatinkotelo ja suodatin*. Varkaus.
- Knowpulp. (Julkaisuaika tuntematon). Kuva. *Kemikaalikierto*. Knowpulp.com. Haettu 12. 2. 2022
- Metsäteollisuus. (2. 12 2020). *Metsäteollisuus.fi*. Haettu 23. 1. 2022 osoitteesta Ilmapäästöjä vähennetty tehokkaasti: <https://www.metsateollisuus.fi/uutishuone/ilmapaastoja-vahennetty-tehokkaasti>

- Metsäteollisuus OY. (2021). Massa- ja paperiteollisuuden päästöt ilmaan ovat vähentyneet huomattavasti vuodesta 1992. *Massa- ja paperiteollisuuden päästöt ilmaan ovat vähentyneet huomattavasti vuodesta 1992*. Metsäteollisuus OY. Haettu 16. 2. 2022
- Niemelä, K.;Järvinen, R.;Ulmgren, P.;Samuelsson, Å.;Forssén, M.;DeMartini, N.;. . . Ferreira, P. (2003). *Reduction of air emissions at kraft pulp mills*.
- Savonia ammattikorkeakoulu. (31. 8. 2015). *energiatutkimuskeskus.savonia.fi*. Noudettu osoitteesta Energiatekniikan analyysilaboratorion laitteistoluettelo:
https://energiatutkimus.savonia.fi/images/pdf/Laitteistoluettelo_010416_SUOMENKIELINEN.pdf
- Savonia ammattikorkeakoulu. (3. 2016). *energiatutkimuskeskus.savonia.fi*. Noudettu osoitteesta
<https://energiatutkimus.savonia.fi/images/pdf/2016-Savukaasuanalyysit-Palvelukuvaus.pdf>
- Vakkilainen, E. (2005). Kraft recovery boilers- Principles and practise. Teoksessa E. Vakkilainen, *Kraft recovery boilers- Principles and practice*. Suomen soodakattilayhdistys r.y.
- Valmet. (2022). *Valmet.com*. Noudettu osoitteesta NOx Scrubbers: <https://www.valmet.com/energyproduction/air-emission-control/nox-reduction/nox-scrubber/>

LIITTEET

LIITE 1: HUOLTOTEHTÄVIEN TARKASTUSLISTA

**FTIR huolto tarkastuslista**

Nimi : _____

Päivämäärä : _____

Projekti : _____

Silmämääräinen tarkastusKunnossa: Vikoja/puutteita havaittu: Muu huomio:

Lisätietoja:

LämmityskaapelitKunnossa/ei vaadi toimenpiteitä: Vaurioitunut kaapeli korjattu: Muu huomio:

Lisätietoja:

Suodatin sondin päässäKunnossa/ei vaadi toimenpiteitä: Puhdistus/Vaihto: Muu huomio:

Lisätietoja:

NäytteenottosondiKunnossa/ei vaadi toimenpiteitä: Puhdistus: Muu huomio:

Lisätietoja:

Suodatin suodatinkotelossaKunnossa/ei vaadi toimenpiteitä: Suodatin puhdistettu: Suodatin vaihdettu: Muu huomio:

Lisätietoja:

NäytteenottolinjatKunnossa/ei vaadi toimenpiteitä: Venynyt näyteputki lyhennetty: Vioittunut näyteputki vaihdettu: Muu huomio:

Lisätietoja:

NäytteenottoyksikköKunnossa/ei vaadi toimenpiteitä: Pöly ja lika puhdistettu: Suodatin puhdistettu: Vaurioitunut suodatin vaihdettu: Muu huomio:

Lisätietoja:

SavukaasuanalysointoriPöly ja lika puhdistettu: Suodatin puhdistettu: Suodatin vaihdettu: Muu huomio:

Lisätietoja:

Muu huoltotoimenpide

Lisätietoja:

Hardware status:

Time measured: _____ Interferogram Centre: _____

Status: _____ Interferometer Temp: _____

Source Intensity: _____ Sample Cell Temp: _____

Interferogram Height: _____ Software version: _____

(Lähde: Gasmet DX-Series FTIR Gas Analyser Instruction and Operating Manual, s.46)