

Metropolia ammattikorkeakoulu  
Bio- ja elintarviketekniikka

**Emma Laamanen**

**Kenttämittalaitteiden käyttöönotto ja käytön ohjeistus**

Insinööriyö 22.1.2009

Ohjaaja: diplomi-insinööri Minna Kaila  
Ohjaava opettaja: yliopettaja Heikki Ojamo

Tekijä	Emma Laamanen
Otsikko	Kenttämittalaitteiden käyttöönotto ja käytön ohjeistus
Sivumäärä	110 sivua
Koulutusohjelma	bio- ja elintarviketekniikka
Tutkinto	insinööri (AMK)
Ohjaaja	diplomi- insinööri Minna Kaila
Ohjaava opettaja	yliopettaja Heikki Ojamo
<p>Jätteenpolttoprosessissa hyödynnetään jätettä aineena ja energiana, jolloin syntyy päästöjä. Päästömittausten tarkoituksena on valvoa ympäristön tilaa. Päästöt eli ympäristöön häviövirrana poistuvat raaka-aineet ovat muodoltaan muuntuneet toisiksi kemiallisiksi aineiksi tai alkuperäisessä muodossaan.</p> <p>Työssä lähdettiin liikkeelle teoriaosalla, jossa käydään läpi yleisesti savukaasumittaukset, savukaasupäästöt, apusuureet ja mittausten periaatteet. Työssä esitellään lyhyesti myös ympäristöön liittyvää lainsäädäntöä ja yrityksen jätteenpolttoprosessin ympäristönvalvontajärjestelmä.</p> <p>Työn tarkoituksena oli kolmen eri kenttämittalaitteiston ohjeistus ja käyttöönotto. Laitteet olivat TESTO 300M-, PPM 960 IRC- analyysointilaitteet ja MP6KRS- mikromanometri. TESTO 300 -analyysointilaitteella mitataan happi-, hiilidioksidi- ja hiilimonoksidipitoisuutta. PPM 960 IRC -analyysointilaitteella mitataan hiilidioksidi-, hiilimonoksidipitoisuutta, typpimonoksidipitoisuutta, happi- ja orgaanista hiilipitoisuutta. MP6KRS- mikromanometrillä mitataan prosessin virtaus. Työssä luotiin yritykselle analyysiohjeet laitteista ja koulutettiin henkilökuntaa käyttämään laitteita.</p> <p>Työn kokeellinen osa tehtiin Ekokem Oy:ssä Riihimäellä mittaamalla yrityksen savukaasupitoisuuksia ja virtausta jätteenpolttoprosessin piipussa. Mitattavat parametrit olivat happi-, hiilidioksidi-, hiilimonoksidipitoisuus, typpimonoksidipitoisuus ja orgaanisten hiiliyhdisteiden pitoisuudet (ppm tai %) ja virtaus (m/s). Saatua mittaustuloksia verrattiin prosessin jatkuvatoimisiin mittareihin.</p> <p>Tilastolliset tarkastelut osoittavat, että savukaasujen mittalaitteet toimivat kohtalaisesti. Tarkemman ja paremman tilastollisen tarkastelun saamiseksi tulisi suorittaa lisää mittauksia. Kenttämittalaitteiston toimintakunnon varmistamiseksi tämän insinöörityön myötä suositellaan, että laitteita testataan tietyin väliajoin ostetuilla testikaasuilla.</p>	
Hakusanat	päästö, ppm, savukaasumittaus

Author	Emma Laamanen
Title	The instructions for analysis and use of the field measuring equipments
Number of Pages	110 pages
Date	22 January 2009
Degree Programme	Biotechnology and Food Engineering
Degree	Bachelor of Engineering
Instructor	Minna Kaila, Master of Science in Technology
Supervisor	Heikki Ojamo, Principal Lecturer
<p>The process which utilizes waste as energy and material produces emissions. The environmental observation is based on the measuring equipment which measures the emissions. Emissions are the loss stream with in released to the the environment. Usually the raw materials structures are converting to other chemical.</p> <p>This thesis begins with the theoretical part, in which different combustion gases, magnitudes, combustion gas measuring methods and the principles of the methods are generally introduced. At the end of the theoretical part, the environmental legislation and the company's environmental control system are introduced.</p> <p>The purpose of this final year project was to write the instructions for the analysis and use of the field measuring equipment. The equipment was TESTO 300M-, PPM 960 IRC-analyser and MP6KRS- mikromanometer. TESTO 300M -analyser measures the content of oxygen, carbon dioxide and carbon monoxide. PPM 960 IRC- analyser measures the content of oxygen, carbon dioxide, carbon monoxide, nitrogen monoxide and organic compounds. MP6KRS- mikromanometer measures the flow. The employees were instructed to use the equipment.</p> <p>The experimental part of the study was made at Ekokem Oy in Riihimäki. The measurements included the combustion gases and the flow in the process. The measurement contents were of the oxygen, carbon dioxide, carbon monoxide, organic compounds (ppm or %) and the flow (m/s). These were compared to the process equipment.</p> <p>Based on the result, it was concluded that further measurements were needed for the better statistical conclusion. It was also recommended that the equipment are tested by test gases occasionally.</p>	
Keywords	emission, combustion gas, ppm

## Sisälllys

Tiivistelmä	
Abstract	
Lyhenteet, käsitteet ja määritelmät	

## KIRJALLINEN OSUUS

1. Johdanto.....	7
2. Päästöt.....	8
2.1 Kaasut .....	9
2.1.1 CO <sub>2</sub> .....	10
2.1.2 CO .....	10
2.1.3 NO.....	11
2.1.5 TOC .....	12
2.2 Hiukkaset .....	12
2.3 Kaatopaikkojen kaasut.....	12
2.4 Apusuureet .....	13
2.4.1 Virtaus.....	13
2.4.2 Lämpötila .....	14
2.4.3 Kosteus.....	14
2.5 Päästömittaukset.....	15
2.5.1 CO- ja CO <sub>2</sub> -pitoisuuden mittaaminen.....	16
2.5.2 Happipitoisuuden mittaaminen.....	18
2.5.3 Typen oksidien pitoisuuden mittaaminen .....	20
2.5.4 Hiilivetyjen pitoisuuden mittaaminen.....	22
2.5.5 Hiukkasmittaukset .....	23
3. Päästöntarkkailujärjestelmä .....	30
3.1 Polttolinjat.....	32
3.2 Mittausjärjestelmät .....	33
3.2.1 Jatkuvatoiniset mittauslaitteet .....	34
3.2.2 Kenttämittalaitteisto.....	35
4. Lainsäädäntö .....	36
4.1 ISO-sertifikaatti.....	37
4.1.1 Ilmansuojelu.....	38
4.1.2 Jätteenpolttolaki.....	38
4.1.3 Päästörajat .....	39
5. Validointi .....	41
5.1 Tavoite .....	42
5.2 Kriteerit.....	42
5.3 Spesifisyys ja herkkyys.....	43
5.4 Määrittäysraja .....	43
6. MATERIAALIT JA MENETELMÄT .....	45
6.1 Mittausmenetelmät ja laitteistot .....	45
6.2 Mittalaitteisto .....	46
6.3 Koejärjestely .....	46
6.4 TESTO 300M.....	47
6.4.1 Sähkökemiallinen kenno .....	48
6.4.2 Näytteenotto .....	49

6.4.3 Kondensointisäiliö ja savukaasukuivain.....	50
6.4.4 Ohjeistus.....	50
6.5 PPM 960 IRC .....	50
6.5.1 IR -mittaus.....	51
6.5.2 Näytteenotto .....	52
6.5.3 Ohjeistus.....	53
6.6 S-pitot-putki ja MP6KSR -mikromanometri .....	53
6.6.1 Mikromanometri.....	54
6.6.2 S-pitot-putki .....	55
6.6.3 Näytteenotto .....	56
6.6.4 Tiheysarvo.....	56
6.6.5 Ohjeistus.....	57
7. Kalibrointi.....	57
8. Tulosten tarkastelu .....	58
8.1 Vertailu laitoksen jatkuvatoimisten mittalaitteiden kanssa .....	59
8.1.1 O <sub>2</sub> .....	60
8.1.2 CO <sub>2</sub> .....	61
8.1.3 CO.....	62
8.1.4 NO.....	63
8.1.5 TOC .....	63
8.1.6 Lämpötila .....	64
8.1.7 Tiheysarvo.....	65
8.1.8 Tilavuusvirtaus .....	66
9. Yhteenveto.....	68
Lähteet.....	70
Liitteet .....	73
Liite 1: Polttolinja 1.....	73
Liite 2: Polttolinja 2.....	74
Liite 3: Jätevoimalan polttolinja. ....	75
Liite 4: Testo 300M -analysointilaitteen analyysiohje.....	76
Liite 5: TESTO 300M -mittauspöytäkirja. ....	84
Liite 6: TESTO 300M -kalibrointipöytäkirja.....	85
Liite 7: TESTO 300M -huoltokirja. ....	86
Liite 8: IRC 960 PPM -analysointilaitteen virtauskaavio. ....	87
Liite 9: PPM 960 IRC -analysointilaitteen päivitetty analyysiohje. ....	88
Liite 10: PPM 960 IRC -mittauspöytäkirja.....	90
Liite 11: PPM 960 IRC -kalibrointipöytäkirja. ....	91
Liite 12: MP6KSR-mikromanometrin analyysiohje. ....	92
Liite 13: Esimerkki 12.9.2008 jatkuvatoimisten mittalaitteiden raakadatasta.....	96
Liite 14: Happipitoisuuden ANOVA-tilastoanalyysi ja regressiosuorat .....	100
Liite 15: Hiilidioksidipitoisuuden ANOVA-tilastoanalyysi ja regressiosuorat.....	102
Liite 16: NO <sub>2</sub> t-testitilastoanalyysi.....	105
Liite 17: Lämpötilamittaustulokset, ANOVA-tilastoanalyysi ja regressiosuorat.....	106
Liite 18: Tiheysarvon mittaustulokset ja tilastollinen ANOVA-analyysi .....	109
Liite 19: Virtauksen mittaustulokset ja tilastollinen t-testi.....	110

## Lyhenteet, käsitteet ja määritelmät

Pa	pascal
bar	baari
CO	hiilimonoksidi
CO <sub>2</sub>	hiilidioksidi
H <sub>2</sub> O	vesi
NO	typpimonoksidi
NO <sub>2</sub>	typpidioksidi
N <sub>2</sub> O	dityppioksidi
AST	Annual Surveillance Test, vuosittainen tarkistus
BAT	Best Available Techniques, paras käyttökelpoinen tekniikka
til- %	tilavuusprosentti
TOC	Total Organic Carbon, orgaaninen kokonaishiili
AMS	jatkuvatoiminen mittalaite
atm	ilmakehä
°C	celsiusaste
FTIR	Fourier Transform Infrared Spectroscopy, Fourier -infrapunaspektrofotometri
ISO	International Organization for Standardization, kansainvälinen standardisoimisjärjestö
PCDD	Polychlorinated Dibenzodioxins, polyklooratut dioksinit
PCDF	Polychlorinated Dibenzofurans, polyklooratut furaanit
ppm	parts per million, miljoonasosa (mg/kg)
PRTR	Pollutant Release and Transfer Register, kansallinen päästö- ja siirtorekisteri
NTP	Normal Temperature and Pressure
SFS	Suomen Standardisoimisliitto
YSL	ympäristösuojelulaki
VOC	Volatile organic compound, haihtuvat orgaaniset yhdisteet

## 1. Johdanto

Ekokem Oy Ab hoitaa ongelmajätteiden käsittelyä valtakunnallisesti. Toiminta perustuu jätehuollon jätteiden hyödyntämiseen aineina ja energiana. Yritys noudattaa sertifioituja laatu- ja ympäristöjärjestelmiä, kuten ISO 9001-, ISO 14001- ja OHSAS 18001 -standardien vaatimuksia.

Riihimäen tuotantolaitos on erikoistunut ongelmajätteen ja lajitellun yhdyskunta- ja teollisuusjätteen polttamiseen. Tehtaalla on neljä jätteenpolttolinjaa, joista kahdessa on korkeapolttuunit. Polttamisesta syntyy savukaasupäästöjä, joita seurataan laitoksella päästömittausjärjestelmillä. Ekokem Oy Ab:n päästövalvonta koostuu ympäristöluvan mukaisista jatkuvatoimista päästömittausjärjestelmistä, joiden toimintaa tarkkaillaan vertailumittauksilla.

Päästöjä koskevat vaatimukset yrityksille ovat kasvaneet kiristyvän lainsäädännön vuoksi. Lainsäädännössä laitoksille määritellään tarkat päästörajat, joita yrityksen tulee noudattaa toiminnassaan.

Tämä opinnäyte työ tehtiin Ekokem Oy Ab:n Riihimäen tuotantojätelaitoksella. Työn aiheena oli laitoksen laboratorion kenttämittalaitteiston ohjeistus ja käyttöönotto. Tavoitteena oli kenttämittalaitteiston käyttöönotto muiden laboratorion kenttälaitteiden kokonaisuuden lisäksi. Tavoitteeseen pyrittiin tekemällä laitteille kunnostus, kalibrointi, käyttö-ohjeiden laadinta ja tuloksien vertailu laitoksen jatkuvatoimisten mittalaitteistojen kanssa. Lisäksi koulutettiin laboratorion kenttämittaushenkilökuntaa käyttämään laitteistoa.

Työn toimeksiantajana toimi yrityksen laboratorio, jonka käyttötarpeisiin kenttämittalaitteisto valjastettiin. Kenttämittalaitteisto koostui kolmesta analysaattorista, jotka olivat TESTO 300 M, PPM 960 IRC ja MP6KRS -mikromanometri. Analysaattoreilla mitataan prosessista tai piipusta savukaasukomponenttien pitoisuuksia ja virtausta. Laitteiston käyttöönotto lisää laboratorion savukaasu- ja virtausmittaustarjontaa, jonka tarkoituksena on palvella käyttö- ja kehitysosaston mittaustarpeita. Näin yrityksen ei tarvitse ostaa kyseisiä mittaupalveluja ulkopuolelta.

Haluan kiittää Ekokem Oy:stä Minna Kailaa, joka ohjasi ja neuvoi työn etenemisessä. Lisäksi haluan kiittää Ekokemin laboratorion henkilökuntaa ja työni valvojaa yliopettaja Heikki Ojamo.

## 2. Päästöt

Ilmansaaste on yhdiste tai aine, joka on luonnontilaisessa ilmassa suurempana pitoisuutena esiintyvä tai ilmalle vieras muoto. Ilmansaaste on myös haitallinen elolliselle luonnolle, ihmisen terveydelle, viihtyvyydelle ja muulle ympäristölle tai materiaalille. Ilmansaasteet jaotellaan eri ryhmiin fysikaalisen olomuodon, alkuperän ja kemiallisen koostumuksen mukaan. /3./

Päästöt eli ympäristöön häviövirtana poistuvat raaka-aineet ovat muodoltaan muuntuneet toiseksi kemiallisiksi aineiksi tai alkuperäisessä muodossaan. Alkuperän mukaan luokiteltavat epäpuhtaudet jakaantuvat primäärisiin, sekundäärisiin ja tertiäärisiin. /1; 2./

Kemiallisesti samassa muodossa ilmakehässä ja päästöhetkellä esiintyviä yhdisteitä kutsutaan primäärisiksi epäpuhtauksiksi. Sekundäärisiksi epäpuhtauksiksi kutsutaan taas fysikaalisen tai kemiallisen muuntumisen seurauksena syntyneitä yhdisteitä. Sekundääriset epäpuhtaudet ovat yleisiä kuten otsoni sekä rikki- ja typpihappo. Ne ovat ympäristövaikutuksiltaan haitallisempia kuin primääriset epäpuhtaudet. Tertiääripäästöksi sanotaan kuormitusta, joka muodostuu puhdistuksen aikana käytettyjen kemikaalien ja energian muodostamista epäpuhtauksista. /2./

Kemiallisessa jaottelussa epäpuhtaudet jaetaan orgaanisiin ja epäorgaanisiin yhdisteisiin. Epäpuhtaudet jakautuvat myös kahteen pääryhmään olomuotojen mukaan: hiukkasiin ja kaasuihin. Kyseiset epäpuhtaudet ovat peräisin ihmisen aiheuttamista tai luonnon omista prosesseista. /2; 3./

Ilmakehä ei muodostu puhtaasta kaasuseoksesta, vaan siihen on sekoittunut kaasu- ja hiukkasmaisia epäpuhtauksia. Useiden kaasujen seos muodostaa itse ilman. Ilmakehän pääkomponentit ovat typpi (78 til-%), happi (21 til-%), argon (0,9 til-%) ja hiilidioksidi (0,038 til-%). Pieninä määrinä ilmassa esiintyy myös inerttejä kaasuja ja vesihöyryä. Taulukossa 1 on esitetty aineiden keskimääräisiä viipymisaikoja ilmassa ja esiintyviä pitoisuuksia. Pitkä viipymisaika  $\tau$  kertoo, kuinka tasaisesti aine on levinnyt ilmakehään. Lyhennettä ppm eli parts



per million käytetään ilmaisemaan kaasujen pitoisuuksia. Yksi ppm vastaa yhtä milligrammaa ainetta litrassa ilmaa. /3./

Taulukko 1. Ilmassa esiintyvien kaasujen pitoisuuksia ja viipymisaikoja. /2, s.10/

Kaasu	til.	ppm (= $10^{-4}$ %, til.)	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	$\tau$
Happi	20,946			$5 \cdot 10^3$ vuotta
Typpi	78,084			$\sim 10^6$ "
Argon	0,934			
Neon		18,18		
Helium		5,24		$10^7$ "
Krypton		1,14		
Xsenon		$\sim 0,087$		
Hiilidioksidi		$\sim 330$		5-6 "
Metaani		1,5-1,6		4-7 "
Vety		$\sim 0,5$		6-8 "
Typpioksiduuli		0,25-0,35		$\sim 25$ "
Otsoni		$\sim 0,01-0,05$		$\sim 2$ "
Vesi		$(0,4-400) \cdot 10^{-2}$		10 päivää
Hiilimonoksidi		0,05-0,25		0,2-0,5 vuotta
Typpidioksidi		$\sim (0,1-5) \cdot 10^3$	0,2-10	8-10 päivää
Ammoniakki		$\sim (0,1-10) \cdot 10^3$	0,1-10	$\sim 5$ "
Rikkidioksidi		$\sim (0,03-30) \cdot 10^3$	0,1-10	$\sim 2$ "
Rikkivety		$\sim (<0,006-0,6) \cdot 10^{-3}$	$< 0,01-1$	$\sim 0,5$ "
Orgaaniset (VHC)			5-50	2 "

## 2.1 Kaasut

Kaasu on nopeassa liikkeessä erillisistä molekyyleistä koostuva seos. Eri kaasujen molekyylit sekoittuvat helposti keskenään, ja näin syntyy kaasuille helposti puristuva ominaisuus. Kaasut laajenevat ja diffundoituvat jatkuvan nopean liikkeensä ansiosta. Paine ( $p$ ) syntyy kaasujen törmätessä astian seinämiin. Normaalii ilmanpaine määritellään pascal-yksiköissä:

$$1 \text{ atm} = 101,325 \text{ kPa} = 1,01325 \text{ bar} = 760 \text{ torr}$$

Kolmi- tai useampiatomiset kaasumolekyylit ovat yleensä kasvihuonekaasuja. Tällaisia ovat muun muassa hiilen kaasumaiset kloori- ja fluoriyhdisteet, dityppioksidi ( $N_2O$ ), hiilivedyt ja hiilimonoksidi. Taulukossa 2 on esitettyä yleisimpien kaasukomponenttien molekyyli massa, tiheys, sulamispiste, kiehumispiste ja ominaislämpökapasiteetti. /3./

*Taulukko 2. Kaasukomponenttien yleisiä ominaisuuksia /4/.*

Komponentti	M(g/mol)	Tiheys (kg/m <sup>3</sup> ) NTP	Sulamispiste (1,013 bar) C	Kiehumispiste (1,013 bar) C	Ominaislämpökapasiteetti (0 C) kJ/(kg x K)
O <sub>2</sub>	32	1,429	-218,4	-183	0,92
CO	28	1,25	-205	-192	1,04
CO <sub>2</sub>	44	1,97	(sublimoitumispiste)-78,5	-78,5	0,82
N <sub>2</sub>	28	1,25	-209,8	-195,8	1,4
ilma	29	1,293	X	X	1,01

### 2.1.1 CO<sub>2</sub>

Oksidit ovat ilmansaasteita. Suurimpiin saasteisiin luetaan hiilimonoksidi, rikin oksidit, typen oksidit, hiilivedyt, hiukkaset, kasvihuonekaasut ja CFC-aineet. /3, s.118./

Hiilidioksidi (CO<sub>2</sub>) on yksi kasvihuonekaasuista. Sen pitoisuusprosentti ilmassa on 0,038. Suurin päästölähde on fossiilisten polttoaineiden palaminen, jolloin sitoutunut hiili vapautuu hiilidioksidina. Biosfäärin tasapainoon vaikuttavat myös metsien tila ja maankäytön muutokset. Ilmakehään vapautuu tällä hetkellä enemmän hiilidioksidia kuin sitä pystyy sitomaan. /1, s.60./

### 2.1.2 CO

Häkää eli hiilimonoksidia (CO) syntyy, kun polttoaine palaa epätäydellisesti. Häkä on vaarallinen veren hemoglobiiniin sitoutumisen takia. Hiilimonoksidi reagoi hitaasti hapen (O<sub>2</sub>) kanssa muodostaen hiilidioksidia (CO<sub>2</sub>). Muutoin se ei ole reaktiivinen yhdiste. /3, s.118./

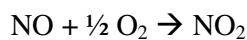
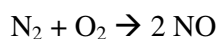
### 2.1.3 NO

Typpi on peräisin polton yhteydessä tapahtuvista palamisilman reaktioista tai poltettavan aineen typpipitoisuudesta. Korkeissa palamislämpötiloissa syntyy hapen (O<sub>2</sub>) ja typen (N<sub>2</sub>) oksideja (NO ja NO<sub>2</sub>). Nimitystä NO<sub>x</sub> käytetään puhuttaessa typpimonoksista (NO) ja typpidioksidista (NO<sub>2</sub>). Typpidioksidia syntyy NO:n hapettuessa. Typen oksidien muodostumiseen vaikuttavat myös polttotapa ja palamisolosuhteet. Polttilanteissa syntyy monia typen oksideja, mutta usein tarkastellaan vain kahta komponenttia: NO:ta ja NO<sub>2</sub>:ta. /1,s. 58; 3,s. 118;16./

Savukaasuissa, jotka muodostuvat polttoprosessin aikana esiintyy lähinnä typpimonoksidia(NO) ja typpidioksidia (NO<sub>2</sub>). Vähemmän muodostuu N<sub>2</sub>O:a, N<sub>2</sub>O<sub>3</sub>:a , N<sub>2</sub>O<sub>4</sub>:a ,N<sub>2</sub>O<sub>5</sub>:a. Muodostusmekanismeista johtuen typpimonoksidin osuus on yli 90 % typpioksidin ollessa alle 10 %. Voimakkain kasvihuonekaasu näistä on di-typpioksidi N<sub>2</sub>O. Typpimonoksidi hapettuu nopeasti typpidioksidiksi. Reaktion lämpötilan ollessa yli 1400 °C typpimolekyylit reagoivat happiatomien kanssa, jolloin syntyy NO<sub>x</sub>-yhdisteitä. Typpioksiduulia (N<sub>2</sub>O) eli ilokaasua saattaa syntyä myös reaktioissa. / 2; 5; 15./

Typen oksidien päästölähteet ovat fossiilisia polttoaineita käyttävät voimalaitokset ja liikenne. Ilmansaasteiksi muodostuu lähinnä typen oksideja (NO<sub>x</sub>). Päästöt koostuvat typen oksideista, typpimonoksidista ja typpioksidista, jotka happamoittavat ympäristöä. Typen oksideista muodostuu veden kanssa typpihapoketta HNO<sub>2</sub> ja typpihappoa HNO<sub>3</sub>, aiheuttaa happamia sateita.

Seuraavien reaktioiden mukaan voidaan laskea syntyvät typpimonoksidi- ja typpidioksidipitoisuudet:



Päästömäärät ilmoitetaan typpidioksidina. Päästörajat typelle ovat nykyään tiukkoja. /1, s.58;5./

Luonnostaan ilmaan kuuluu pieniä määriä NO:ta ja NO<sub>2</sub>:ta, sillä niistä muodostuu typen kiertokulku. Suurina pitoisuuksina NO<sub>2</sub> on myrkyllisempi yhdiste. Happamoitumista ilmenee

NO<sub>2</sub>:a liuetessa veteen, jolloin muodostuu typpihappoa. Typen oksidit osallistuvat myös muihin reaktioihin ilmassa, jotka synnyttävät vaarallisia epäpuhtauksia. /3, s118./

### **2.1.5 TOC**

TOC (total organic carbon) eli kokonaisorgaanisia hiiliyhdisteitä pääsee ilmakehään niitä epätäydellisen palamisen seurauksena ja haihtumalla. Tällaisia yhdisteitä ovat muun muassa alkaanit ja alkeenit. Hiilivedyt luetaan karsinogeenisiksi eli syöpää aiheuttaviksi aineiksi. Hiilivety reagoi ilmassa muodostaen vaarallisia yhdisteitä. /3, s 118- 119;5./

Happiatomi reagoi vesihöyryn kanssa muodostaen hydroksyyli-radikaaleja (OH<sup>-</sup>). Syntyneet radikaalit reagoivat hiilivetyjen kanssa. Ilmakehään syntyy näin vieraita kemiallisia yhdisteitä. Tapahtumaa kutsutaan fotokemialliseksi savu-usvaksi. /3, s 118- 119;5./

### **2.2 Hiukkaset**

Hiukkaset ovat kooltaan 0,02 µm:n ja 500 µm:n välistä. Hiukkaset, jotka ovat alle 20 µm, leviävät helposti kauas poistolähteeltä eli laskeutuvat hyvin hitaasti. Pienet hiukkaset, jotka ovat halkaisijaltaan 0,01- 100 µm, luetaan myös ilmansaasteiksi. Suuret hiukkaset laskeutuvat lähelle päästölähdettä. Hiukkaset laskeutuvat painovoiman vaikutuksesta alaspäin. /3./

Faasimuodoltaan hiukkaset ovat joko kiinteitä tai nestemäisiä ainesosasia. Koostumukseen vaikuttavat kuitenkin lähtöaineet ja syntytapa. Eri aineiden reaktiot tai yhtyminen voi synnyttää hiukkasia. Hiukkasia syntyy myös mekaanisen irtoamisen seurauksena isommista partikkeleista./3./

Hiukkaset ovat karsinogeenisiä aineita ja aiheuttavat terveysvaaraa joutuessaan hengitysteihin. Halkaisijaltaan alle 10 µm kokoiset hiukkaset pääsevät tunkeutumaan hengitysteihin asti. Raskasmetallit kuten myös muut haitalliset aineet kertyvät hiukkasten pinnalle./3./

### **2.3 Kaatopaikkojen kaasut**

Kaatopaikkakaasu koostuu tavallisesti 55 % metaanista (CH<sub>4</sub>) ja 40 % hiilidioksidista (CO<sub>2</sub>). Kaatopaikkakaasu sisältää myös 5 % happea (O<sub>2</sub>), typpeä (N<sub>2</sub>), ammoniakkia(NH<sub>3</sub>), rikkivetyä(H<sub>2</sub>S) ja hiilimonoksidia(CO). Lisäksi kaatopaikkakaasuissa tavataan VOC-yhdisteitä, jotka esiintyvät 140 eri orgaanisessa muodossa. Aineiden yhteispitoisuus voi nousta kaasussa

jopa 0,15 tilavuusprosenttiin. Eri-ikäisien jätetäyttöjen takia yhdisteiden määrät ja esiintymiset vaihtelevat kaatopaikkakaasuissa. Jätteen koostumus vaikuttaa myös yhdisteiden määrään. /6./

Kaatopaikkakaasut jaetaan eri luokkiin: hiilivetyihin, happiyhdisteisiin, rikkiyhdisteisiin, siloksaaneihin ja halogeeniyhdisteisiin. Yhdisteistä kolme viimeisintä ovat haitallisimpia, kun ajatellaan kaatopaikkakaasujen hyödyntämistä. Kaatopaikkakaasuja voidaan hyödyntää esimerkiksi liikennekäyttöön puhdistamalla ne epäpuhtauksista ja nostamalla lämpöarvoa. Terveydelle haitallisimpia ovat aromaattiset yhdisteet ja rikkiyhdisteet. /6./

## 2.4 Apusuureet

Apusuureiden määrittämistä käytetään, kun toisiotilaisia mittaustuloksia lasketaan normaalitilaan ja ilmoitetaan päästömääräysten mukainen tulos. Esimerkiksi laskettaessa pitoisuuksia ( $\text{mg}/\text{m}^3$ ) NTP-olosuhteissa. /7./

### 2.4.1 Virtaus

Epäsuoraa tai suoraa mittausmenetelmää voidaan käyttää tilavuusvirran määrittämiseen. Epäsuorassa menetelmässä tilavuusvirta polttolaitoksessa lasketaan kattilataseesta tai puhallintiedoista. Suoralla menetelmällä suoritetaan virtausmittaus, jolloin saadaan tietää joko virtausnopeus ( $\text{m}/\text{s}$ ) tai tilavuusvirta ( $\text{m}^3/\text{s}$ ). Yleensä määritetään keskimääräinen virtausnopeus virtauskanavan halkaisijan avulla. Virtausta voidaan mitata neljällä eri tekniikalla. Paine-eroon perustuvassa tekniikassa sensorina toimivat pitot- ja annubar-putket. Termisissä menetelmissä sensorina toimivat kuumalanka-anemometrit ja termiset massavirtausmittarit. Ultraäänivirtausmittaustekniikat perustuvat akustisiin menetelmiin. Merkkiainemenetelmissä mitataan merkkiaineen kulku-aikaa tai pitoisuutta. /7; 16 s.57./

Kokonaispäästöjen laskennassa tarvitaan virtausmittaustuloksia. Tietyltä tarkasteluajalta on tunnettava haitta-aineen pitoisuus ja savukaasun tilavuusvirta. Mittaustulos kosteista savukaasuista muunnetaan vastaamaan virtaamaa kuivissa savukaasuissa poistamalla vesihöyryn vaikutus kaavalla 1 /8/:

$$q = \frac{(100 - x_{H_2O}) \cdot q_w}{100} \quad (1)$$

$q$  = kuivan savukaasun virtausmittaustulos [ $m^3/s$ ]

$x_{H_2O}$  = vesihöyrypitoisuus [%]

$q_w$  = kostean savukaasun virtausmittaustulos [ $m^3/s$ ]

### 2.4.2 Lämpötila

Termoelementin avulla voidaan mitata savukaasun lämpötilaa. Mittaus perustuu Boltzmannin jakaumaan, jossa kaasumolekyylien rotaatio- ja vibraatiotilat muuttuvat lämpötilan johdosta. /7./

### 2.4.3 Kosteus

Savukaasuja on ominaisuuksiltaan kahdenlaisia: kuivia ja kosteita. Kosteissa savukaasuissa on vesihöyryä savukaasujen sisällä, kuivissa taas ei. Kosteus voidaan määrittää suorasti tai epäsuorasti. Kosteutta mitataan infrapunaspektroskopiaa hyödyntävin menetelmin kaasumais-ten yhdisteiden yhteydessä. Mittaustulokset redusoidaan tarvittaessa haluttuun happipitoisuu-teen seuraavalla kaavalla 2. Happimuunnos tehdään kuivien kaasujen perusteella, koska raja-arvot määritellään kuivien kaasujen pitoisuuksina määrättyssä happipitoisuudessa. /7; 29./

$$c_{O_2\text{-muunnettu}} = c_{\text{kuiva}} \cdot ((21 - O_{2,\text{red}})/(21 - O_{2,\text{mitattu}})), \text{ missä} \quad (2)$$

$c_{\text{kuiva}}$  = mittaustulos (ppm)

$O_{2,\text{red}}$  = happipitoisuus, johon tulokset halutaan redusoida (esim. 11 %)

$O_{2,\text{mitattu}}$  = mitattu happipitoisuus (%)

## 2.5 Päästömittaukset

Päästömittaukset ovat yksi osa ympäristötekniikkaa. Ympäristötekniikkaa käytetään mm. vastaamaan ja helpottamaan häviövirtojen eli päästöjen käsittelyä. Tekniikan asema ympäristökysymyksissä on vastata kestävä kehityksen haasteisiin pyrkien pienentämään ympäristön kuormitusta. Ympäristötekniikka kattaa päästöjen käsittelyn, ympäristön kunnostustekniikan, melutekniikan, ennaltaehkäisevän turvallisuustekniikan ja ympäristösuojeluun liittyvän mittaustekniikan. /9./

Päästöjen vähentämiseksi niiden laatu ja määrä on selvitettävä. Päästöjen vähentämisen suunnittelu- ja toteutusvaihe edellyttää kehittyntä mittaus- ja analyysitekniikkaa. Kemiallisia tai fyysikaalisia ilmiöitä hyödynnetään kaasupitoisuuksien mittaamiseen. /28./

Päästömittausten hiukkasmittaus vaatii tasaista savukaasun virtausta kanavassa mittauspisteen kohdalla. Mitattaessa on noudatettava sääntöä, että virtausta ei saa häiritä eli mittaus on isokineettinen. Mittaus koostuu useista eri pisteistä, jotta saadaan kokonaiskuva hiukkasten jakaumasta. Pyöreässä savukaasukanavassa näytepisteiden määrä määräytyy mittausalueen pinta-alan mukaan. Kanavan reunasta näyteenottopisteen tulee olla 3 % mittaustilan pituudesta tai yli 5 cm. /10./

Päästömittauksissa savukaasun lämpötila ja paine mitataan, jotta saadaan laskettua todellinen tiheys yksiköissä kg/m<sup>3</sup> kaasun koostumuksen huomioon ottamalla. Tiheysarvo saadaan massan ja tilavuuden osamääränä kaavan 3 mukaisesti.

$$\rho = \frac{pM}{RT} \quad (3)$$

$\rho$  = tiheys

$p$  = paine

$M$  = moolimassa

$T$  = lämpötila

$R$  = moolinen kaasuvakio

Hiukkaspitoisuus voidaan ilmoittaa kuivasta savukaasusta tai suhteessa tiettyyn happipitoisuuden kaavalla 2. Mittauksissa tulee myös suorittaa kosteus ja happipitoisuusmittaukset. Päästön määrän selvittämiseksi on kaasun pitoisuuden mittaamisen lisäksi mitattava tilavuusvirta, jolloin voidaan päästömäärä arvioida. Taulukossa 3 on esitettyä yleisempiä päästökaasujen mittauseriaatteita. /10;16./

*Taulukko 3. Yleisimpiä mittauseriaatteita kaasukomponenteille.*

Komponentti	Mittausmenetelmä
CO	IR, FTIR, sähkökemialliset kennot, puolijohdeanturit, palavan kaasun detektorit
CO <sub>2</sub>	IR, FTIR, lämmönjohtavuusdetektorit
TOC	Liekki-ionisaatioilmaisoin FID
O <sub>2</sub>	Zirkoniumoksidikenno, Paramagnetisiin perustuvat menetelmät, Sähkökemialliset kennot
H <sub>2</sub> O	Kuiva/märkälämpötilojen määrittäminen, IR, FTIR
NO	Kemiluminenssi, IR, FTIR, UV ja sähkökemialliset kennot

### 2.5.1 CO- ja CO<sub>2</sub> -pitoisuuden mittaaminen

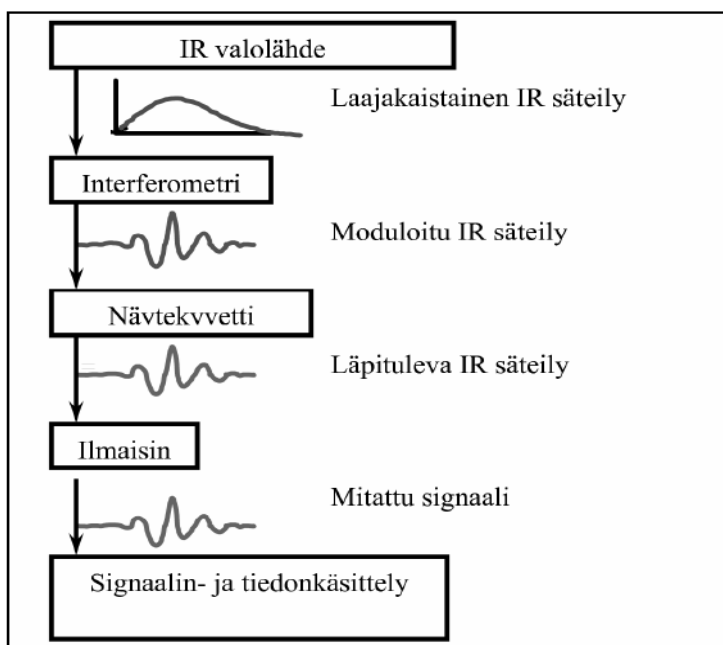
Infrapunavaloon perustuvia mittauslaitteita käytetään hiilimonoksidin ja hiilidioksidin mittaamiseen. Mittauksessa hyödynnetään kaasun ominaista eli karakteristista infrapunavalon aallonpituutta. Kaasu absorboi kyseistä aallonpituutta./ 28, s.89./

Ei -dispersiiviseksi eli nondispersive-infra-red NDIR -laitteiksi kutsutaan analysointilaitteita, jossa mittauksen aallonpituuskaista valitaan optista kaistanpäästösuodatinta käyttäen. Ei -dispersiivinen analysointilaitteisto koostuu optisesta penkistä, valonlähteestä, ilmaisimesta ja mittauselektronikasta. Optiikka sisältää infrapunälähteen, säteen katkojan, näyte- ja referenssikammion sekä ilmaisinosan, jossa on optinen suodatin. Suodatin päästää lävitse aallonpituuskaistan, jolla kaasu absorboi infrapunavaloa./ 28, s.89./

Laajemman aallonpituuskaistan analysoimiseen käytetään dispersiivisiä kaasuanalysointilaitteita, kuten FTIR-analysointilaitteita. Kaasun absorboimaa infrapunäsäteilyä analysoidaan FTIR-spektrofotometrillä. Laitteella mitataan samasta näytteestä useita kaasuja samanaikaisesti ja jatkuvatoimisesti. / 15; 28 s.89./



FTIR-mittauksen toimintaperiaate on esitetty kuvassa 1. Lämmitettyä näyteputkea pitkin virtaa analysoitava kaasu näytekyvetille. Hiukkaset suodatetaan pois ennen kyvettä. Valonlähteeltä infrapunavalonsäde viedään interferometrille säätellemään valoa. Infrapunavalon lähteenä käytetään hehkuvaa volframilankaa tai krominikkelilankaa, jonka lämpötila on 800 °C. Infrapunavalo kulkee kahtena säteenä peilin avulla referenssi- ja näytekammion kautta. Valo päästetään vuorotellen katkojan avulla molempiin kammioihin. Näin kaasua valaistetaan näytekyvetissä, jolloin kaasun komponentit absorboivat infrapunavaloa selektiivisesti ominaisaallonpitoisuuksillaan. Infrapunasäde viedään seuraavaksi ilmaisimelle, jolta saadaan sähköisessä muodossa interferogrammi. Fourier-muunnoksella saadaan absorbanssispektri. Taustaspektrin ja savukaasusta mitatun absorbanssispektrin avulla saadaan erotettua aineiden spektrit toisistaan ja ristikkäiset vaikutukset eliminoitua. FTIR-tekniikalla ei voida havaita samanytimisiä kaksiatomisia kaasuja, esimerkiksi O<sub>2</sub>:ta. /15; 28 s.89./



Kuva 1. FTIR-mittauksen periaate.

Referenssikammiossa ei tapahdu selektiivistä absorptiota. Referenssikaasuina voi toimia ilma tai typpi. Ilmaisimelle tulee vuoronperään infrapunasäde referenssi- ja näytekammioista. Vertaamalla syntyneitä vasteita keskenään saadaan selville näytekaasun selektiivisen absorptionsuuruus. Tiedosta lasketaan kaasupitoisuus. Referenssikammiossa olevan kaasun taustaspektrin ja saadun näytteen spektrin avulla erotetaan eri aineiden spektrit toisistaan ja eliminoidaan ristikkäiset vaikutukset. / 28 s.89./

## 2.5.2 Happipitoisuuden mittaaminen

Happipitoisuutta mitataan prosessin seuraamiseksi ja palamisprosessin päästö määrän laskemiseksi. Jatkuvat oimimissa mittauksissa käytetään yleisesti hapen paramagneettisuuteen perustuva menetelmä tai zirkoniumoksidikennoa. Kennossa eri puolten välille syntyy hapen osapaineiden säätelmä sähköinen jännite. Kenno voidaan sijoittaa suoraan savukaasukanavaan.

Magneettikenttä vetää tai hylkii molekyyliä puoleensa. Aineita, joita magneettikenttä vetää puoleensa, kutsutaan paramagneettisiksi. Paramagneettiset molekyylit sisältävät parittoman määrän elektroneja. Ominaisuutta käytetään hyväksi happipitoisuuden määrittämisessä. Hapen elektronit ovat järjestäytyneet molekyyllisissä siten, että muodostuu kaksi paritonta elektronia eli paramagneettinen aine. /28; 41/.

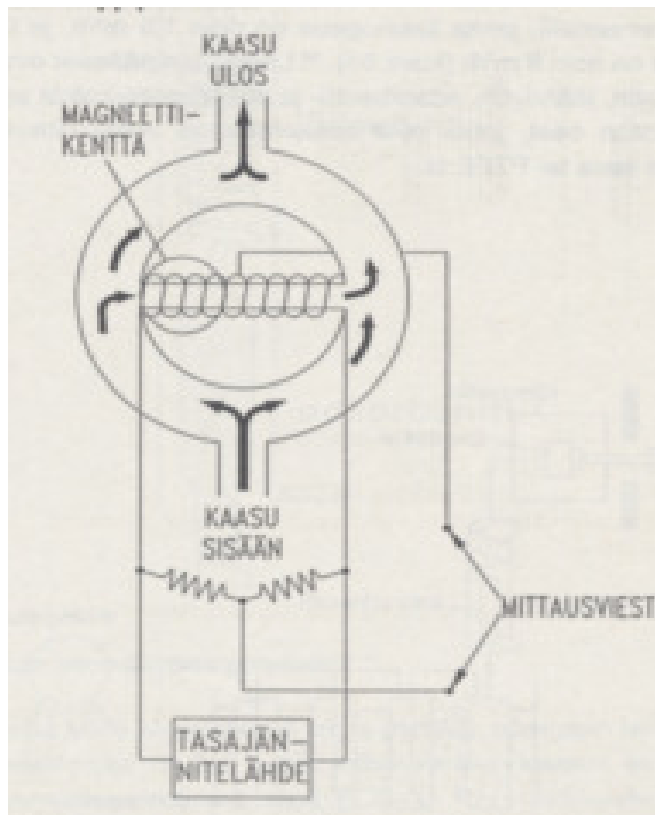
Kaikilla aineilla on atomeissaan elektronirata, joka muodostaa suljetun virtasilmukan ja magneettisen momentin. Elektronit pyörivät akselinsa ympäri aiheuttaen osuuden magneettiseen momenttiin. Neljä eri kvanttilukua kuvaa liikettä ytimen ympäri: n, l, m ja s. Energian määrää magneettisen radadipolimomentin määrää l, orientaation magneettisen arvon määrää m ja spinkvanttiluvun määrää s. Matalimmat energiatilat täytetään Paulin kieltoääntöä noudattaen. Yksi elektroni voi olla kvanttilukujen arvotilassa. Tästä johtuen vain vajailla kuorilla olevat elektronit vaikuttavat magneettiseen dipoli-momenttiin. Muita magneettisia ilmiöitä esiintyy atomeissa, joissa on vajaa elektronikuori valenssielektronien lisäksi. Muita esiintyviä magneettisia ilmiöitä ovat ferromagnetismi ja paramagnetismi. /28 s.92- 93./

Happipitoisuus määritetään mittaamalla lämmittimen ja vastussillan kanssa magneettinen susceptiivisuus. Susceptiivisuus ( $K_v$ ) kuvaa aineen magneettista käyttäytymistä (kaava 4), joka on momentin ( $m_v$ ) suhde magneettikentän voimakkuuteen (H).

$$K_v = m_v / H \quad (4)$$

Mittalaitteet ovat termomagneettisia, joissa käytetään kestopagneetteja. Kaasu virtaa läpi termomagneettisen mittauskennon, jossa on lämmityselementti voimakkaassa magneettikentässä. Magneettikenttä vetää puoleensa kaasussa esiintyvää happea. Kaasua kuumennettaessa se tulee vähemmän magneettiseksi ja syrjäytyy voimakkaammin magneettisemmän kaasun tieltä. Syntyy virtaus, jossa jäähdytyselementtiä jäähdytetään muuttaen samalla sen vastusta. Virtausnopeus riippuu lämpötilasta ja magneettikentän voimakkuudesta. Hapen pitoisuus määritetään siis magneettisen susceptiivisuuden avulla, joka on verrannollinen kaasun happi-

pitoisuuteen. Vakioita ovat lämpötila ja magneettikentän voimakkuus. Vastuksen vaikutus merkitään merkitsemättömäksi. /28 s.94–95./



Kuva 2. Paramagneettisen happianalysaattorin rengaskammio / 28 s. 95/.

Paramagneettisessa mittauksessa näytekaasu johdetaan mittalaitteeseen. Paramagneettisen happianalysaattorin rengaskammiossa näyte virtaa renkaan muotoisen näytekennon sivuja pitkin kuvan 2 mukaisesti. Vaakasuorassa renkaan keskellä on lasiputki, joka yhdistää renkaat. Lasiputken ympärillä on vastuskäämiä, jossa toinen on magneettikentässä. Näytekaasussa oleva happi vedetään magneettikentän avulla yhdysputkeen, jossa se lämpenee. Seurauksena magneettinen susceptiivisuus pienenee lämmön vaikutuksesta ja kylmä kaasu ohjautuu magneettikenttään. Tuloksena syntyy virtaus, jossa yhdysputken toiseen päähän kuljetetaan magneettikentän avulla lämpöä. Vastussiltaan syntyy epätasapaino vastuskäämien lämpötilan ollessa erisuuria. Epätasapainosta saadaan mittaustulos, jota säätelee happipitoisuus. / 28, s. 95./

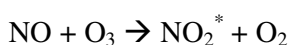
Kaasujen elektronisessa tunnistamisessa mittalaitteet perustuvat kaasun ionisointiin ja siitä syntyviin ioniklustereiden tutkimiseen. Anturin signaalista muodostetaan kaasun sormenjälki, jota verrataan laitteiston muistissa oleviin sormenjälkiin kerran minuutissa. Laitteessa on siis monen kaasun sormenjälki eli niin sanottu kaasukirjasto. / 14, s.30; 28, s.90- 92./

### 2.5.3 Typen oksidien pitoisuuden mittaaminen

Typen oksidien pitoisuuden mittaaminen perustuu kemiluminesenssiin eli valon syntymiseen kemiallisen reaktion tuloksena. Reaktio tapahtuu, kun otsoni ja typpimonoksidi reagoivat keskenään. Muita typen oksidien pitoisuuksia voidaan mitata muuttamalla ensin ne typpimonoksidiksi katalyyttisessä konvertterissa. Menetelmä on melko herkkä. /28, s. 85./

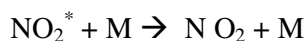
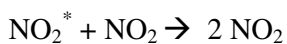
Kemiluminesenssiksi nimitetään ilmiötä, jossa kemiallisissa reaktioissa syntyviä reaktiotuotteita jää virittyneeseen tilaan. Purkautuessaan tuote säteilee valoa. Energia voi myös purkautua törmäyksen tai molekyylien dissosioitumisen kautta. Virittymisen purkautumista valon säteilynä tapahtuu pienissä paineissa, joissa törmäyksiä tapahtuu vähän. Kyseinen reaktio on päinvastainen valon indusoimalle kemialliselle reaktiolle. /28, s. 85./

Typpimonoksidin ja otsonin kemiluminesenssireaktiota kuvataan seuraavasti:

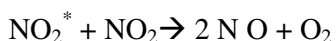


Virittynyttä typpidioksidimolekyyliä kuvaa  $\text{NO}_2^*$ .

Kemiallisen reaktion kautta syntynyt viritys voi purkautua myös sammumalla tai toisella kemiallisella reaktiolla. Sammuminen voi tapahtua molekyylin vaikutuksesta esimerkiksi typpidioksidimolekyylin vaikutuksesta, kuten seuraavissa reaktioyhtälöissä on esitetty /28, s.85/:



Seuraavassa reaktioyhtälössä on esitetty virittymisen purkautuminen kemiallisen reaktion kautta. /28, s.85./

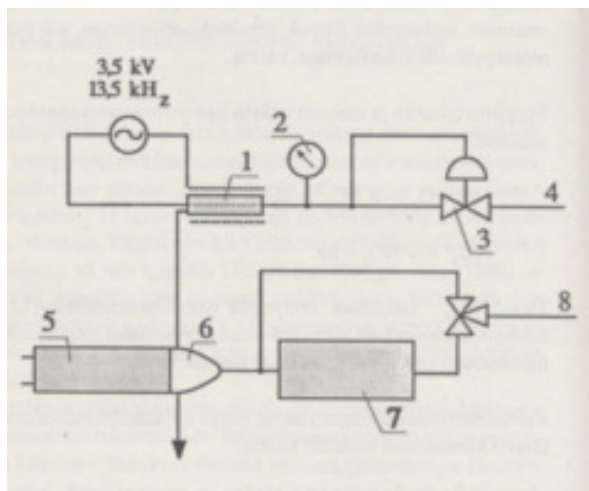


Kuva 3 esittää kemiluminesenssiin perustuvaa mittalaitetta typen oksideille. Mittalaitteen otsoni tuotetaan laitteeseen kuuluvassa otsonigeneraattorissa. Valomonistinputki mittaa optisen suodattimen läpi tulevan kemiluminesenssin säteilyn intensiteetin muuntaen sen virtavies- tiksi. Aktiivisen  $\text{NO}_2^*$  -molekyylin palautuessa normaalitilaan syntyy valoa, jonka aallonpi-

tuus on 500- 3000 nm. Intensiteetti on suurimmillaan 1100 nm:n kohdalla. Typpioksidin mitauksissa kaasunäyte johdetaan laimennusyksikön kautta kemiluminesenssianalysaattoriin. /28, s.86./

Laitteella mitataan pääsääntöisesti typpimonoksidipitoisuutta. Typpioksidin pitoisuuttakin voi mitata, mutta tämä edellyttää typpidioksidin muuttamista typpimonoksidiksi. Muuntaminen typpimonoksidiksi tapahtuu molybdeenikatalysaattorin avulla. /28, s.87./

Laitteessa yleensä johdetaan näytekaasua kahteen linjaan. Toinen linja menee mittauskammioon, josta mitataan typpimonoksidin pitoisuus. Toinen linja kulkee konvertterin kautta, jossa mitataan typpimonoksidin ja typen muiden oksidien yhteinen pitoisuus. Suurin osa muista typen oksideista on typpidioksidia. Kahden kanavan mittaus tuloksista saadaan typpidioksidin pitoisuus selville. /28, s.87./



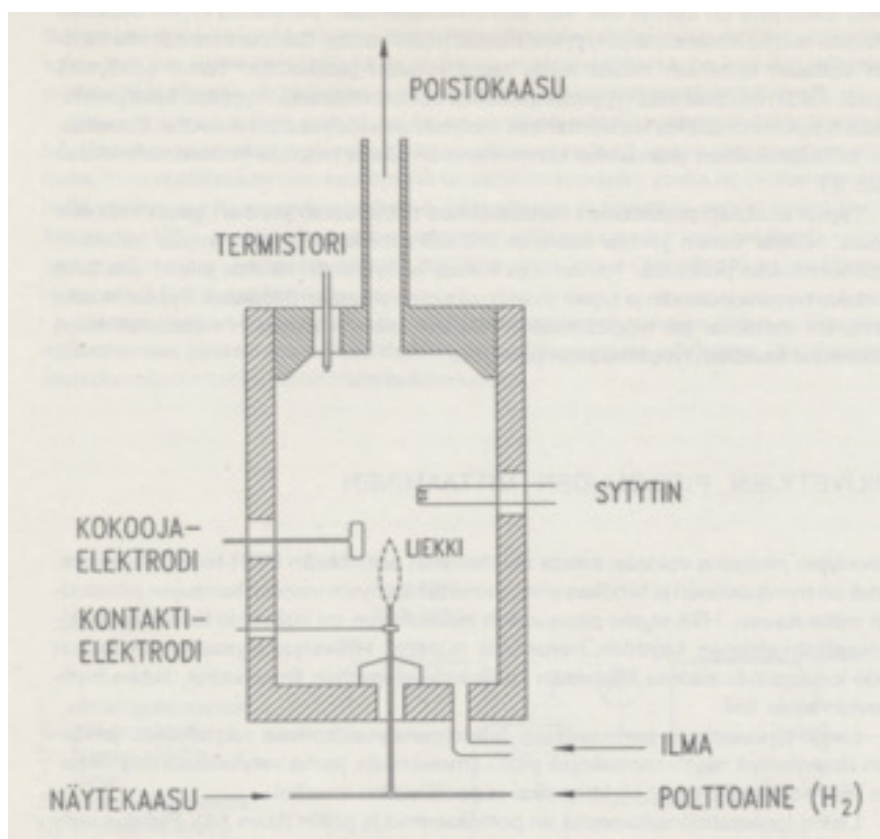
Kuva 3. Kemiluminesenssiin perustuva typen oksidien mittauslaitteen periaatekaavio /28, s.86/.

1. Otsonigeneraattori
2. Painemittari
3. Hapen säädin
4. Ilma
5. Valomonistinputki
6. Reaktiokammio
7. NO<sub>x</sub>- konvertti
8. Näytekaasu

### 2.5.4 Hiilivetyjen pitoisuuden mittaaminen

Hiilivetyjen pitoisuus voidaan mitata jo aiemmalla kuvatulla FTIR-tekniikalla tai FID- eli liekki-ionisaatioilmaisimella. Hiilivetyanalysaattorissa, joka perustuu liekki-ionisaatioon, näytekaasu johdetaan lämmitettyä näytelinjaa pitkin ilmaisimeen. Ilmaisimen vetyliekissä näytekaasun hiilivedyt ionisoituvat elektroneiksi ja positiivisiksi ioneiksi. /28, s. 87./

Kuvan 4 laitteistossa on polttokammio ja poltin. Vety johdetaan kammioon suuttimen läpi ja polttoilmasuuttimen reiästä. Syntyvät positiiviset ionit ja elektronit kerätään keräyselektrodin avulla. Virta voidaan mitata, kun polttosuutin toimii toisena elektrodina. Virrasta saadaan mittaussignaali. /28, s. 88./



Kuva 4. Liekki-ionisaatioilmaisim /28, s. 88/.

Liekki-ionisaatiolla voidaan mitata yhdisteitä, joissa on hiilen ja vedyn välinen sidos. Liekisä nämä yhdisteet tuottavat hiili-ioneja. Mitattaessa useita hiilivetyjä saadaan vaste, jota sääteläe hiililuku. Esimerkiksi metaaninmittaustuloksen pitoisuudeksi saadaan 40 ppm, vaikka kaasunäytteessä on 10 ppm metaania ja 10 ppm propaania. /28, s.88./

Eri katalysaattoreilla voidaan hiilivetyjen kokonaispitoisuudesta poistaa tiettyjä komponentteja. Esimerkiksi käyttämällä platinalankaa katalysaattorina voidaan kaikki muut hiilivedyt poistaa metaani poistaa näytekaasusta. Ratkaisulla saadaan määritettyä hiilivetyjen kokonaispitoisuus, metaanin pitoisuus ja hiilivetyjen pitoisuus ilman metaania. /28, s.88./

Liekki-ionisaatiolla pystytään mittaamaan vain hiilivetyjä, joiden kiehumislämpötila on alhainen, eli kaasumaisia hiilivetyjä. Päästökaasut voivat kuitenkin sisältää nestemäisiä ulkolämpötilassa ja paineessa olevia hiilivetyjä. Sen vuoksi analysaattorissa on lämmitin, joka pitää näytelinjan ja ilmaisimen n. 200 asteessa. /28, s. 89./

Happipitoisuudet kaasuissa vaihtelevat huomattavasti riippuen mitattavan prosessin luonteesta. Happipitoisuuden vaihtelu saattaa vaikuttaa analysaattorin vasteeseen. Virheen minimoimiseksi polttoaineena tulisi käyttää vedyn ja heliumin seosta, jossa heliumia on 60 % ja vetyä 40 %. Molempien tulee virrata samansuuruisina. /28, s.88./

### 2.5.5 Hiukkasmittaukset

Hiukkasmittauksia voidaan tehdä seuraavilla menetelmillä:

- gravimetrinen menetelmä
- jatkuvatoimiset optiset hiukkasmenetelmät
- beetasäteilyyn perustuva menetelmä
- hiukkaskokojakauman määrittäminen.

Primääriseksi menetelmäksi luokitellaan gravimetriset menetelmät. Gravimetrisessä menetelmässä hiukkaspitoisuus määritellään hiukkasmassan ja näytekaasun tilavuuden suhteena ( $\text{g/cm}^3$ ). / 16, s.57./

Optisessa kiintoaineen pitoisuusmittauksessa valon vaimenemista ja sirontaa hyödynnetään. Jatkvatoimisissa prosesseissa mitataan kiintoainepitoisuutta prosessin ohjaamiseksi. Pitoisuustasojen muutokset kuvaavat palamistehokkuutta tai puhdistuslaitteen toimintaa. / 16, s.57./

Beeta-säteilyyn perustuvassa menetelmässä impaktorin suodattimesta otetaan näyte, josta beetasäteilyn avulla määritetään kiintoaineen massa. Hiukkaspitoisuus määritetään hiukkasma-  
san ja imetyen näytekaasun suhteena. / 16, s.57./

Muita määrittäislaitteita ovat kaskadi-impaktori, joka soveltuu hiukkaskokoalueelle 0,1 – 10  $\mu\text{m}$ . Syklonissa pyörivään liikkeeseen saatetun kaasun hiukkaset kerääntyvät keräysastian syklonin seinämää pitkin, kun pienet hiukkaset kulkevat syklonin läpi. / 16, s.57./

Sähköisessä moni-asteimpaktorissa hiukkaset saatetaan varaustilaan. Kokoluokitus suori-  
taan alipaine-impaktorilla. Elektrometreillä mitataan impaktorille tuleva virta. Sähkövirran  
arvoista ja hiukkasen varauksesta lasketaan hiukkaskokojakauma hiukkaskoon funktiona. /  
16, s.57./

Prosessin pölypäästöjä säädetään mittaamalla savukaasujen pölypitoisuuksia. Optiset mene-  
telmät eivät häiritse mittauskohdetta. Yleisin käytetty mittaamenetelmä perustuu hiukkas-  
joukon läpi kulkevan valon vaimenemiseen. Vaimeneminen perustuu valon ja hiukkasten vä-  
lisiin vuorovaikutuksiin eli siroamiseen ja absorboitumiseen. Valon sirontaan perustuvissa  
menetelmissä on myös laservalon takaisinsirontaan perustuva mittaustapa. /16, s.57./

Absorptio sekä sironta perustuvat sähkömagneettisen säteilyn vuorovaikutukseen sähköisen  
suureen kanssa. Absorptiossa säteilyn intensiteetti heikkenee hiukkasen sisällä. Energiaa siir-  
tyy säteilystä hiukkaseen ja hiukkanen virittyy suurempienergiseseen tilaan. Valon vaikutukses-  
ta voi tapahtua myös absorptiota, kuten molekyylin pyörimisenergian ja molekyylin atomien  
välisen värähtelyenergian muuttumista. /16, s.37./

Sironnassa hiukkasen pinnalta lähtee säteilyä. Tämä edellyttää sähkömagneettisen säteilyn  
vuorovaikutusta sähköisen suureen kanssa. Säteily saa elektronipilven värähtelemään, mikä  
aikaan saa omaa säteilyä eli sirostunutta valoa. /16, s.38./

Sironta voidaan jakaa kahteen tyyppiin hiukkasen koon ja säteilyn aallonpituuden keskinäisen  
suhteen mukaan. Jos hiukkasen halkaisija on pieni verrattuna säteilyn aallonpituuteen, siron-  
taa kutsutaan Rayleigh -sironnaksi. Mie -sironnasta tapahtuu, kun tulevan säteilyn aallonpituus  
on samaa suuruusluokkaa kuin hiukkasen halkaisija. /16, s.38./



Valo vaimenee Lambert-Beerin lain mukaan (kaava 5) pölyhiukkasten vaikutuksesta /16, s.43/:

$$I/I_0 = e^{-\gamma L} \quad (5)$$

missä I = kanavan läpäisseen valon intensiteetti

$I_0$  = kanavaan tuleva intensiteetti

$\gamma$  = vaimennuskerroin

L = kaasukanavan leveys, hiukkasjoukon kulkema matka

Valon vaimenemiseen perustuvat savukaasujen kiintoainepitoisuuden mittarit eroavat käytettävän valonlähteen perusteella. Valonlähde määrää mittausaallonpituuskaistan. Tuloksien luotettavuuteen, mittaussyhteiden kokoihin, huoltotarpeeseen ja muihin seikkoihin vaikuttaa myös valonlähteen valinta. /16, s.44./

Hehkulamppua käytettäessä aallonpituuskaista noudattaa mustan kappaleen säteilyä. Heikkoutena on säteilytehon pienuus, suuntaaminen ja heikentyminen ajan myötä. Linseillä lähtävä valo kootaan riittävän pieneksi. Huuhteluilmaa käytetään luotettavan mittaustuloksen saamiseksi niin, että mittauskvetin osat eivät likaannu. /16, s.46./

Laservaloa käytettäessä valon lähteenä toimii helium-neon-laser aallonpituudella 622 nm. Kyseisen menetelmän teoreettiset laskut ovat helppoja. Mittaamisessa ei tarvita vertailusädetä, sillä laserin säteilytehon stabiilisuus on hyvä. Mittaussyhteet voivat olla pieniä lasersäteiden yhdensuuntaisuuden ja pienen halkaisijan ansiosta. Suurella säteilyteholla saadaan mitattua suurempia hiukaspitoisuuksia. Laseria käytettäessä myös häiritsevien kaasujen kuten CO<sub>2</sub>:n ja CO:n vaikutus häviää käytännössä. /16, s.46- 47./

Virhelähteet johtuvat mittaustavasta, hiukkasaineesta tai hiukkasten käyttäytymisestä johtuvista ominaisuuksista. Ominaisuuksista johtuvia virheitä syntyy hiukkasaineen huokoisuudesta tai hiukkasten koaguloitumisesta. Huokoisuus pienentää hiukkasen tiheyttä, jolloin laskuissa käytetty keskimääräinen tiheys on liian suuri arvoltaan. Koaguloitumisessa hiukkaset tarttuvat toisiinsa kiinni muodostaen hiukkaskimppuja. Mittauksista johtuvia virhelähteitä ovat mittaussvälin vaikutus, mittaussvälimatkan läpäisevyys ja hiukkaskokojakauman vaihtelun suuruus. Valon läpäisysuhde voi vaihdella paljon mittaolosuhteissa. Mittaamisen läpäisyä voivat väärentää absorboivat kaasut, suuntausvirheet ja ulkoiset seikat kuten kosteus. Proses-

sin aikana hiukkaskoot voivat vaihdella niin, että hiukkasten keskimääräinen koko ja jakauman leveys muuttuvat. /16, s.47- 49./

Päästökaasujen kiintoaineen hiukkaskokojakauma halutaan tuntea päästöjä tarkkailtaessa. Hiukkasten kokoa ja kokojakaumaa mitataan eri tavoin. Mittaustavan valintaan vaikuttaa hiukkaskokoalue. Mittausmenetelmät ovat vaihtelevia aina optisista ja sähköisistä menetelmistä erottimiin ja mekaanisiin menetelmiin. /16, s.52./

Hiukkasen aerodynaaminen halkaisija on pallon halkaisija, jonka tiheys on yksi gramma kuutiometriä kohden. Määrittystä käytetään dynaamisten luokittimien kokoluokituksissa. /16, s.53./

Kaasun mukana kulkevat hiukkaset joutuvat käyräviivaiseen liikkeeseen, kun kaasu kohtaa esteen. Hiukkasten pysymiseen kaasun virtauksen mukana vaikuttavat hiukkasten ominaisuudet ja ennen kaikkea niiden massa. /16, s.52./

Hiukkasten liikettä muuttuvassa kaasuvirtauksessa kuvataan pysähtymisetäisyydellä ja Stokesin luvulla yhtälössä 6. Pysähtymisetäisyys  $S$  on suurin etäisyys, jonka hiukkanen voi kulkea tietyllä nopeudella tyynessä ilmassa ilman vaikuttavia ulkoisia voimia. /16, s.52./

$$S = V_0 \tau \quad (6)$$

$V_0$  = hiukkasen alkunopeus

$\tau$  = hiukkasen relaksaatioaika

Relaksaatioajalla tarkoitetaan aikaa, jonka hiukkanen tarvitsee sopeuttaakseen nopeutensa uuteen vaikuttavien voimien tilanteeseen. /16, s.52./

Stokesin luku on (kaava 7) hiukkasen käyräviivaista liikettä kuvaava luku, joka on dimensioton. Se kuvaa hiukkasen pysähtymisetäisyyden ja paikallaan pysyvän esteen kokoa kuvaavan mitan toisiinsa. /16, s.53./

$$Stk = S / d_c = \tau U_0 / d_c \quad (7)$$

$U_0$  = kaasun nopeus sylinterissä

$d_c$  = esteen halkaisija

$S$  = pysähtymisetäisyys

Stokesin luvun ollessa suuri hiukkaset vastustavat voimakkaasti suunnan muutoksia. Luvun taas lähestyessä nolaa hiukkaset kulkevat täysin kaasun virtaviivojen perässä. /16, s.53./

Hiukkasen liikeradan muuttumista esteen vaikutuksesta kutsutaan impaktioilmiöksi. Ilmiötä hyödynnetään hiukkasten pitoisuuden mittaamisessa ja niiden keräämisessä.

Hitausimpaktorissa hiukkanen kuljetetaan suihkun mukana suuttimen läpi. Lopuksi suihku suunnataan levyä vasten, joka on impaktiolevy. Levy muuttaa virtausta niin, että siihen syntyy 90°:n käänös. Hiukkaset, jotka eivät kykene seuraamaan virtaussuunnan muutosta, törmäävät levyyn. Impaktorin keräystehokkuutta voidaan arvioida mallin avulla. /16, s.55./

Stokesin luku määritellään kaavassa 8 hiukkasen pysähtymisetaisyyden suhteena suuttimen säteeseen. Hiukkasen nopeutena käytetään keskimääräistä poistumisnopeutta suuttimesta. /16, s.55./

$$Stk = \tau U_0 / (D_j / 2) \quad (8)$$

$D_j$  = suuttimen halkaisija

Lausekkeessa käytetään suuttimen dimensiota esteeseen liittyvän dimension sijasta. Määritelmä on osoittautunut Heikki Torvelan mukaan käyttökelpoisemmaksi, koska impaktorin keräystehokkuutta ja toimintaa arvioitaessa suuttimen dimensio on oleellinen parametri. /16, s.55./

Stokesin luku siis luonnehtii impaktorin keräystehokkuutta. Siinä liitetään hiukkasen ja impaktorin ominaisuudet yhteen. Luku on verrannollinen hiukkasen halkaisijan toiseen potenssiin. Hiukkasten massa määritetään punnitsemalla. /16, s.55./

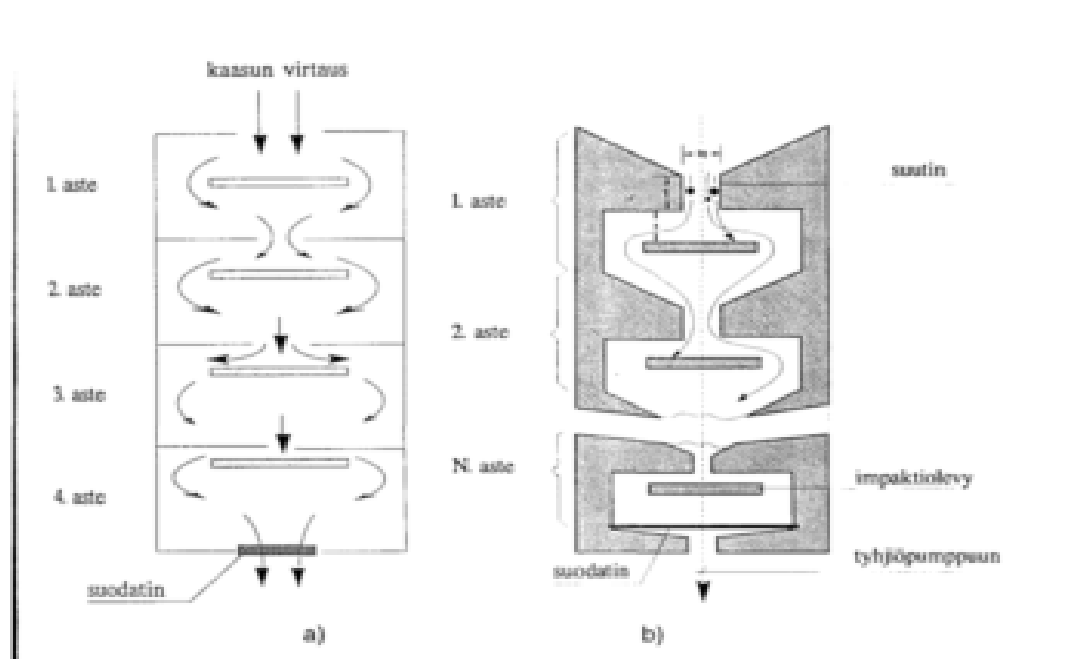
Impaktorissa käytetään eri virtausnopeuksia eri leikkausrajan vastaavuuksilla, jotta saataisiin kumulatiivisesta massajakaumasta useita pisteitä määritetyksi. Jotta hiukkasnäytteen kokojakauma pysyisi samana, pyritään haitat poistamaan käyttämällä samanaikaisesti useita impaktoreita eri leikkausrajoilla. Virtausnopeuden säätämistä vältetään, kun impaktoreita käytetään sarjassa. Sarjaan kytkettyä ryhmää kutsutaan kaskadi-impaktoriksi. /16, s.56./

Kaskadi-impaktoria käytetään hiukkaskokojakauman arvioimiseen. Korkeampien hiukkasten erottamiseksi voidaan liittää sykloni ja hienomman jakeen keräämiseksi suodatin. /16, s.56./

Impaktoriasteeksi kutsutaan yksittäistä impaktoria. Suurimman leikkausrajan omaava on järjestyksessä ensimmäisenä ja pienin viimeisenä. Leikkausrajaa pienennetään asteittain pien-

tämällä suuttimien lukumäärää tai kokoa tai impaktiolevyn etäisyyttä suuttimesta. Lopuksi kerätyt hiukkaset punnitaan ja analysoidaan levyltä. /16, s.56./

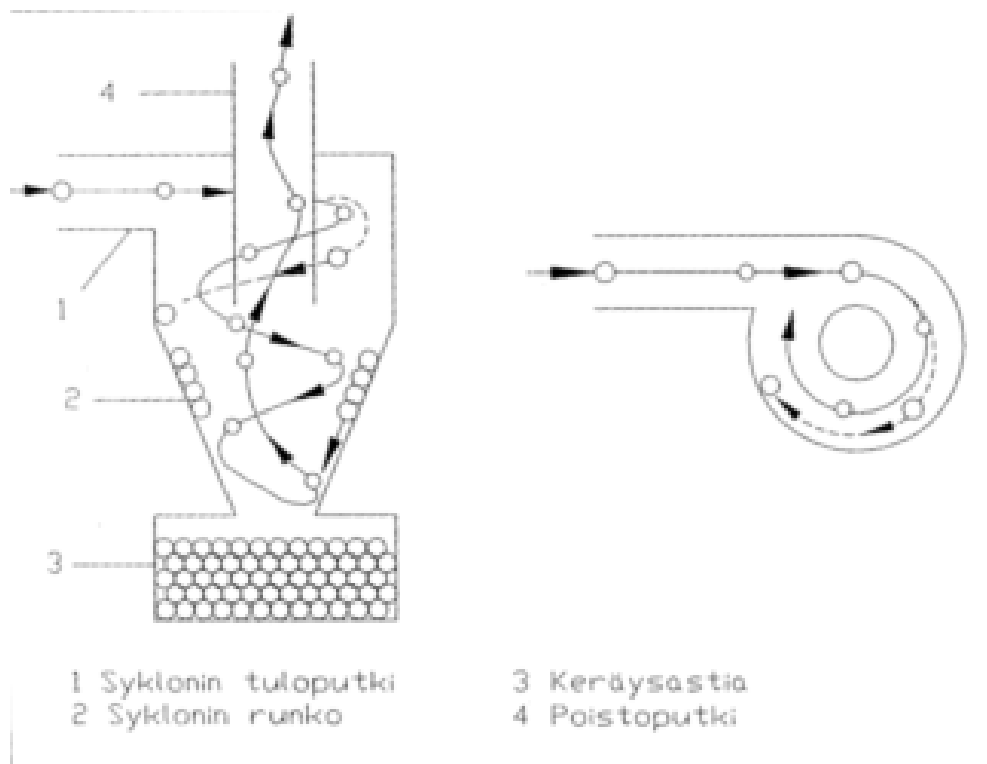
Kunkin asteen suuttimen kaskadi-impaktorissa oletetaan keräävän siihen tulevat leikkausrajaa suuremmat hiukkaset. Hiukkaskokojakauman kuvaajaksi piirretään hiukkasten kumulatiivinen massa siten, että muuttujana on kutakin astetta vastaava hiukkaskokoalueen yläraja. Näytteet voidaan jakaa kahteentoista fraktioon./ 16, s.56./



Kuva 5. Yksiaukkoisen kaskadi-impaktorin rakenne ja toimintaperiaate /16, s. 58/.

Kaskadisentripeterkeräimen avulla voidaan luokitella hiukkaskokoja. Laitteessa hienommat hiukkaset jäävät pohjan suodattimeen, kun karkeat hiukkaset kerätään suodattimeen. Hienot hiukkaset kulkevat kaasuvirran mukana keräimessä kuvan 5 mukaisesti. Karkeat hiukkaset kulkevat kaasuvirran keskellä suodattimeen jo alkupäässä. /16, s.57./

Moniastesyklonissa savukaasunäyte kohtaa syklonin rungon tangentiaalisesti ja synnyttää pyörrevirtauksen kuvan 6 mukaisesti. Seinämään keräytyvät leikkausrajaa suuremmat hiukkaset keskipakovoiman vaikutuksesta. Leikkausrajaa pienemmät hiukkaset palaavat takaisin kulkien poistoputken kautta toiseen sykloniin, jossa halkaisija on pienempi. Moniastesyklonissa on monia sykloneja peräkkäin, koska jokainen kerää oman fraktionsa hiukkasia. Viimeisenä syklonin perässä on suodatin, joka kerää kyseisen leikkausrajan hiukkaset talteen. Luokitusta voidaan tehdä kokoalueella 0,5 – 20  $\mu\text{m}$ . /16, s.58- 59./



Kuva 6. Moniastesyklonin toimintaperiaatteen läpileikkaus.

Aerodynaamisessa hiukkaskoon luokituksessa luokitetaan hiukkasia, joiden halkaisija on 0,5-30  $\mu\text{m}$ . Hiukkasen nopeus määritetään optisesti vakiokaasuvirtauksessa, jossa nopeuden määrää hiukkasen aerodynaaminen halkaisija. /16, s.59./

Diffraktiossa aaltoliikkeessä oleva valo hajaantuu esteen reunojen vaikutuksesta. Hajaantuvassa valossa interferenssin vaikutuksesta esiintyy suunnan säätelystä vaihtelua. Hiukkasten koon analysointiin voidaan käyttää esteen muodosta ja koosta riippuvaa valon kulkusädettä, joka määräytyy valon intensiteetin minimin ja maksimin riippuvuussuunnasta. /16, s.60./

Mitattavan hiukkasen ja laservalon ollessa samaa suuruusluokkaa diffraktioilmiöt ovat voimakkaammillaan. Hiukkaskokoanalysointoreissa käytetään helium-neonlaservaloa aallonpituudella 0,633  $\mu\text{m}$ . /16, s. 60./

Hiukkasnäyte kierrätetään nesteen mukana kyvetin läpi tai puhalletaan lasersäteeseen poikki. Mittaus voidaan myös tehdä savukaasukanavan läpi. Hiukkasnäytteistä voidaan myös määrittää hiukkasten kokoa gravitaatio- ja sentrifugimenetelmillä tai elektromikroskoopin avulla. /16, s.61./

Pieniä hiukkasia kokoalueella 0,01 – 1,0 µm voidaan määrittää hiukkasen sähköiseen liikkuvuuteen perustuen. Sähköinen liikkuvuus riippuu hiukkaskoosta, hiukkasen varausluvusta ja kaasun viskositeetistä. /16, s.62./

Hiukkaskokojakauman mittauslaite mittaa kokojakauman sähköiseen liikkuvuuden perusteella. Suuremmat hiukkaset on erotettava ennen analyysia. Kokojakauma määritetään kahdessa vaiheessa. Ensimmäiseksi mitataan liikkumisjakauma keskuselektrodin jännitettä suurentamalla. Seuraavaksi lasketaan hiukkasten kokojakauma. /16, s.63./

Analysaattorissa on kaksi samankeskistä sylinterielektrodia. Ulompi elektrodi on maadoitettu. Keskuselektrodi on negatiivisessa potentiaalissa. Kahden elektrodin välissä on puhdasilma, jonka läpi positiivisesti varautuneet hiukkaset kulkevat negatiivisesti varattua elektrodia kohden. Syntyvä rata riippuu analysaattorin geometriasta, sähkökentästä, hiukkasen halkaisijasta, hiukkasen varausluvusta ja tilavuusvirtauksesta. Näyteaerosoli koostuu hiukkasista, jotka kuuluvat valittuun potentiaalieroon elektrodien välillä. Muilla hiukkasilla ei ole väliä mittauksen kannalta. /16, s.66./

Hiukkaspitoisuus saadaan yhtälöstä 9:

$$N_a = N_i e^{(N_i q t)} \quad (9)$$

$N_a$  = pitoisuus

$N_i$  = havaittu pitoisuus

$q$  = aerosolin tilavuusvirtaus

$t$  = aika, jonka hiukkanen viipyy havaitsemistilassa

### 3. Päästöntarkkailujärjestelmä

Ongelmajätteellä tarkoitetaan jätettä, joka kemiallisen tai muun ominaisuuden takia aiheuttaa haittaa tai vaaraa terveydelle tai ympäristölle. Ongelmajätteen hyödyntämisestä ja ohjaamiseksi käsittelyyn on vastuussa toiminnanharjoittaja itse.

Suomessa ongelmajätettä käsitellään ongelmajätteiden käsittelyluvan saaneissa yrityksissä tai valtakunnallisissa ongelmajätelaitoksissa Ekokem Oy Ab:ssä Riihimäellä. Yritys on erikoistunut jonkin tietyn ongelmajäteen tai -jakeiden käsittelyihin. Käsiteltävät jätteet ovat esimerkiksi öljy-, elohopea- ja liuotinjätteitä. Sijoittaminen fysikaalis-kemialliseen tai polttokäsittelyyn kuitenkin riippuu jätteen laadusta. / 8, s.78./

Paikallisesti ja alueellisesti kaasupäästöjen tuntemiseen on eri tarpeita. Päästötietoja voidaan tarvita osa-alueen tai koko kohteen kaasupäästöjen määrittämiseksi. Saaduilla tiedoilla voidaan arvioida pintarakenteen tai kaasunkeräysjärjestelmän toimivuutta./6./

Päästömittauksia suoritetaan pistemäisten mittausten tai alueellisten mittausten avulla. Alueellisilla mittauksilla tarkoitetaan mittauksia, joilla mitataan pitoisuuksia tietyllä alueella ilmassa. Mikrometeorologiset mittaukset ovat muun muassa sellaisia. Saatujen tuloksien avulla lasketaan mitattava kaasukomponentin päästö. Pistemittauksissa tuloksia saadaan yksittäisten pisteiden päästöistä. Tiedoista arvioidaan alueellisia päästöjä./6./

Päästömittaukset voivat olla jaksottaisia tai jatkuvatoimisia. Prosessin päästöjä kyseisellä mitaushetkellä kuvaavat jatkuvatoimiset ja manuaalisesti toistettavien mittauksien tulokset. Tulos kertoo vain päästöjen suuruusluokan. Jatkuvatoimiset mittaukset taas suunnitellaan prosessin toiminnan ehdoilla. Prosessin toiminnan ollessa tasaista mittausvälit voivat olla pitkiä. Jos prosessi on syklistä tai epätasaista, tehdään laaja selvitys toiminnan vaikutuksista päästöihin. Päästöjen vaihdellessa paljon on jatkuvatoimisien päästömittauksien käyttö tarpeellista. Suurten ja monimutkaisten puhdistuslaitteiden toiminnan seuraamiseen tarvitaan jatkuvatoimisia mittauksia. /11, s.31./

Kaasupäästöjen vaihtelevuuteen vaikuttavat jätetäytön heterogeenisuus, hajoamisnopeuden ja – tilan erot, jätetäytön pinnan kaasunläpäisevyyden vaihtelevuus ja pinnan mikrobiologisesta hapettumisesta johtuvan metaanin hapettuminen./6/

Ekokem Oy Ab:lla on kolme polttouunia, joista kaksi on korkealämpötilapolttouunia. Vuosittain laitoksella käsitellään yli 100 000 tonnia ongelmajätteitä. Laitoksessa hävitetään polttamalla kemikaaleja, joten päästöihin on kiinnitetty huomiota. Päästömittaukset kiinnittävät huomionsa savukaasujen komponentteihin. Päästövalvonta koostuu ympäristöluvan mukaisesti jatkuvatoimisista päästöjärjestelmistä, joiden toimintaa tarkkaillaan manuaalisilla mittauksilla. /10./

### 3.1 Polttolinjat

Jätteiden poltossa käsitellään erityyppisiä ja heterogeenisiä jätteitä. Jätteen poltossa ilmakehään vapautuu mm. hiilidioksidia, suolahappoa, rikkidioksidia, orgaanisia aineita, PCDD-yhdisteitä, PCDF-yhdisteitä, dioksiineja ja kloorattuja hiilivetyjä

ja raskasmetalleja. Savukaasujen eri puhdistusmenetelmiä on kehitetty päästöjen vähentämiseksi. Laki antaa vaatimuksia kyseisille laitteille. Oikein suunnitellulla ja ohjatulla poltolla voidaan vähentää jätteiden poltossa syntyvien päästöjen määrää. /5./

Ekokemin polttolinja 1 on ollut käytössä vuodesta 1984. Linjan kaasunpuhdistus on uudistettu vuonna 1999. Kyseisellä polttolinja ykkösellä (LIITE 1) jätteet poltetaan 1300 °C:ssa. Prosessin ytimenä toimii 12-metrinen rumpu-uuni. Palaminen varmistetaan pitkäaikaisella viipymisellä polttouuneissa. Poltossa syntynyt lämpö jalostetaan sähköksi tai kaukolämmöksi. Syntynyt kuona hyödynnetään muun muassa maanrakennusmateriaalina. Savukaasut puhdistetaan prosessissa eri toiminnoilla, kuten jäädyttämällä, hiukkasten poistolla, esipesulla, jatkopesulla sekä aktiivihieillä. Vaikeiden jätteiden mukaan mitoitetaan päästö-arvojen vähentämiseksi kaasunpesurit, suodatusapuaineet ja sähkö- ja kuitusuodattimet. /12./

Polttolinja 1:n ja 2:n poltettavat jätteet käsitellään samanlaisissa polttoprosesseissa kahdessa korkealämpötilauunissa. Prosessit eroavat toisistaan vain eri savukaasuprosesseilla. /12./

Polttolinja 2:lla (LIITE 2) prosessissa on pienempi rumpu ja jälkipalotila korkealämpötilauunilla kuin polttolinja 1:llä. Savukaasut jäädytetään 155 °C:seen johtamalla ne jätelämpökattilan kautta puolikuivaan puhdistusprosessiin. Savukaasukanavassa happamat ja haitalliset yhdisteet reagoivat sammutetun kalkin ja aktiivihieiden kanssa. Kuitusuodattimella poistetaan prosessissa hiukkaset. Osa kaasusta voidaan kierrättää uudelleen puhdistukseen virtausta säätämällä puhaltimien ja säätöventtiilien avulla./12./

Keskilämpötilauunissa (LIITE 3) kiinteät jätteet käsitellään 500–950 °C:n lämpötilassa. Syntyvä polttolämpö johdetaan höyrykattilaan, josta savukaasut päätyvät polttolinja 2:n ja keskilämpötilauunin yhteiseen savukaasupuhdistusjärjestelmään. /12./

Ekokemin uuden jätevoimalan pääpolttoaineena on yhdyskuntajäte. Pääsääntöisesti jäte on peräisin kaupasta, kotitalouksilta ja teollisuudesta. Voimalassa voidaan myös polttaa muitakin jätteitä. Voimalassa syntyvällä energialla tuotetaan kaukolämpöä. Ilmakehään johdettavia



kokonaispäästöjä pyritään pienentämään muun muassa hyödyntämällä savukaasunpuhdistustekniikkaa. /13./

### 3.2 Mittausjärjestelmät

Lainsäädäntö on kiristänyt teollisuuden ympäristön ja turvallisuusvalvontajärjestelmien tarkkuutta koskien erityisesti kemikaalien ja kaasujen valvomista. Teollisuuden on myös nykyään otettava huomioon turvallisuudessaan terrorismi. Ympäristön tilaa valvovat erilaiset tekniset valvontajärjestelmät, jotka koostuvat mittalaitteista ja hälyttimistä. Ympäristön tilasta tarkkailaan säteilyä, hiukkaspitoisuuksia, meteorologisia arvoja, kaasuja ja kemikaaleja./14./

Valvontajärjestelmillä valvotaan jatkuvasti ympäristön tilaa. Ympäristöjärjestelmiin voidaan tarpeen vaatiessa kytkeä muita hälyttimiä, esimerkiksi manuaalisesti toimivia hälyttimiä. Valvonnan lisäksi järjestelmällä voidaan kerätä dataa analysointeja varten ja antaa toimintaohjeita poikkeustilanteita varten. Järjestelmä mahdollistaa myös onnettomuustilanteiden harjoittelun ja simuloinnin. Järjestelmillä saadaan myös aikaiseksi paikallisen pelastuslaitoksen ja kohteen välinen nopea tiedonkulku. /14, s.31- 32./

Yrityksen toiminnan ympäristövaikutuksia on seurattu 1980-luvulta alkaen. Tuolloin tehtiin laaja ympäristön perustilatutkimus, jonka avulla saadaan ympäristöön vaikuttavasta toiminnasta kokonaisvaikutuskuva. Nykypäivänä tarkkailu kattaa viemärivedet, pohja- ja pintavedet, maaperätutkimukset, bioindikaattoritutkimukset sekä savukaasututkimukset. /17./

Päästötarkkailussa polton päästöjä valvotaan jatkuvatoimisin mittauksin. Vuosittain viranomaisten asettamien vaatimuksien valvomiseen vastataan ulkopuolisilla vertailumittauksilla. Kenttälaitteistolla manuaalisesti vastataan laitoksen prosessista haluttuihin vertailumittauksiin. Lisäksi laitteistolla tehdään ympäristövaikutuksien tarkkailua esimerkiksi savukaasujen päästömittauksia. Taulukossa 4 on esitettyä savukaasumittauksien tärkeimmät komponentit, mittaustarve ja mittausten tarkoitus. /17./

*Taulukko 4. Savukaasumittauksien tärkeimmät komponentit, mittaustarve ja mittausten tarkoitus /7/.*

Komponentti	Mittauksen tarkoitus	Mittaustarve
O <sub>2</sub>	säätömittaus	jatkuva
CO	säätö- ja päästömittaus	jatkuva
CO <sub>2</sub>	säätö- ja päästömittaus	jatkuva
NO <sub>x</sub> (= NO + NO <sub>2</sub> )	päästömittaus	jatkuva/määräaikainen
SO <sub>2</sub>	säätö- ja päästömittaus	jatkuva/määräaikainen

### 3.2.1 Jatkuvatoimiset mittauslaitteet

Automaattisten mittausvälineiden (AMS) tulee täyttää AMS -laitteiden standardivaatimukset. AMS on sijoitettava valmistajan ohjeiden mukaisesti niin, että se mittaa edustavasti koko savukaasun hiukkaspitoisuuden. Tärkeätä on myös, että AMS: n paikka ei häiritse vertailumittausta. Kerättävä tieto mittauksien aikana voi olla mA, mV, ppm tai mg/m<sup>3</sup>. AMS -signaali voidaan muuttaa pitoisuudeksi (ppm, mg/m<sup>3</sup>). Mitään yhtenäistä tapaa ei ole epäkelpoisten tulosten määrittämiseen. Tulosten kelpoisuus on arvioitava tapauskohtaisesti. Taulukossa 5 on laitoksen kiinteiden mittareiden päästöarvot esitettyinä. /10; 23./

Mittauslaitteen signaali on analoginen tai digitaalinen. Laitteen mittausresoluution on oltava suuri, jotta keskiarvot voidaan määrittää. Huollot mittalaitteille tulee suorittaa EN 14181-standardin mukaisesti. Standardi EN 14181 on julkaistu vuonna 2004 ja hyväksytty vuonna 2003. Standardin tavoitteena on vertailumittauksilla varmistaa kiinteästi asennettujen mittalaitteiden toimivuus ja mittauksen laatu direktiivin vaatimusten mukaisesti. /10; 23, s.1./

Direktiivin mukaan laadunvarmistus on jaettu neljään osaan. Ensimmäiseksi varmistetaan mittausmenetelmän soveltuvuus käyttökohteeseen. Toisena referenssimenetelmän avulla kalibroidaan kiinteät mittalaitteet. Kolmantena laadunvarmistuksesta pidetään huolta käytön aikana. Neljäntenä suoritetaan aina vuosittainen valvonta laitoksessa. /23, s.2./

Laitteiston toimintakyvyille on kriteereitä, kuten lineaarisuus, ympäristöolosuhteiden vaikutusten huomioon ottaminen ja käytettävyys. Ympäristötekijöitä ovat muun muassa lämpötila, värinä, paine ja jännite. Kokonaismittausepävarmuus on laskettava. Laitevalmistajan on osoitettava tyyppihyväksyntätestien avulla laitteen vaaditut kriteerit. Toiminnanharjoittajan on tarkistettava mittapaikka, asennukset ja dokumentointi. Nollapiste on tarkistettava. Apusuu-reet on tarkistettava myös, esimerkiksi vertailumittaukset on tehtävä happi- ja kosteusmittauksille muiden komponenttien kanssa. Tulosten laatuun otetaan kantaa raportissa. Mittauksen täytyy olla jäljitettävästi kalibroituja. /23, s.3./

Taulukko 5. Laitoksen kiinteiden mittareiden päästöarvoja.

<b>Kiinteät mittarit</b>			
Komponentti	Yksikkö	Mittausalue	Mittaepävarmuus
CO	mg/m <sup>3</sup>	0-1500	0,9
CO <sub>2</sub>	til-%	0-20	
TOC	mg/m <sup>3</sup>	0-50	0,7
O <sub>2</sub>	til-%	0-21	
H <sub>2</sub> O	til-%	0-25	
NO	mg/m <sup>3</sup>	0-1000	0,8
Lämpötila	°C	0-300	
Virtaus	m <sup>3</sup> /h, kostea	0-164000	

### 3.2.2 Kenttämittalaitteisto

Vertailumittauksia suoritetaan yleensä kenttämittalaitteistolla tarkkailusuunnitelman mukaisesti suorittamalla savukaasujen manuaalisia mittauksia. Vertailumittausmenetelmän on oltava EN 13284-1 -standardin mukainen ja laboratorion tulee olla EN ISO /IEC 17025 -akkreditoitu tai viranomaisen hyväksymä. /10./

Vertailumittauksien haaste piilee mittauksien mittaustapahtumasta. Käytettävien menetelmien tulee olla

- luotettavia ja tunnettuja
- dokumentoituja
- henkilökunnan käytössä, joka on pätevää kokemuksen ja koulutuksen myötä
- tarkoituksenmukaisessa käytössä
- ylläpidosta huolehdittuja
- validoituja mittausepävarmuuksiltaan ja mittausalueiltaan
- jäljitettävissä kalibroinnilla
- sisäisesti ja ulkoisesti laatuvarmennettuja
- suoritettuja asianmukaisilla kenttämittauksilla.

Mittauslaitteistolta vaaditaan tiivyyttä, kemiallista inerttiyttä ja kondensoivan nesteen poistoa. Laitteiston sisälle kertyvät hiukkaset otetaan huomioon. Mittauslaitteistossa pyritään siihen että hiukkasia ei kertyisi laitteiston osien väliin. Nollanäyte ei saa ylittää 10 %:a päivittäisestä raja-arvosta. Sondin kulma tulee olla 15 astetta kanavan keskiakseliin nähden ilman ne-

gatiivista virtausta. Suhde pienimmän ja suurimman savukaasuvirtauksen välillä saa olla 3:1. /10; 24./

Kenttämittalaitteistolla suoritetaan vertailumittauksia, joilla varmistetaan rooli pätevyuden arvioinnissa. Vertailumittaus on ulkoinen keino, jolla osoitetaan tuloksen luotettavuus ja vertailukelpoisuus. Kyseisen vertailumittaustapahtuman tulee vastata normaalia mittaustapahtumaa. Vertailumittaus tuloksista saadaan analysoitavaksi poikkeamat ja mittausepävarmuudet. Saaduilla tiedoilla ennaltaehkäistään poikkeamia. /24./

Laitteistolle annetaan ohjearvoja säädöksissä. Laitteiston näytteenoton imupumpun on oltava tiivis, korroosion kestävä ja virtauksen säätöalueen on oltava suuri. Kaasun kuivausjärjestelmän tulee poistaa kosteutta siten, että virtausnopeudella kaasun kosteus on 10 g/m<sup>3</sup>. Virtausmittarin on oltava kalibroitu. /10./

Myös mittauksen suoritukselle annetaan säädöksissä ohjeita. Sondi lämmitetään savukaasukanavassa myötävirrassa. Mittauksen aikana tulee välttää sondin kosketusta seinämään. Mittauskanava on tiivistettävä, ettei mittaaja altistu savukaasuille eikä mittaustulokseen tule ilmaa. Mittauksen yksityiskohdat, kuten virtauksen muoto, näytteenottoaika ja virtausnopeuden muutokset tulee kirjata ylös mittauspöytäkirjaan. /10./

Päästömittaajan raportissa on suositeltavaa laittaa graafiset mittauspitoisuudet ja mittausarvot raakadatanäytteenä sekä keskiarvoina. Kalibrointifunktion käyttökelpoisuuteen tulee ottaa kantaa. Toiminnanharjoittajan tulee dokumentoida päästömittauslaitteisto esimerkiksi malli, sijainti, mittausperiaate, mittausalue, huollot, käyttöohjeet, laitteen toiminnan seuranta ja vastuuhenkilö. /23./

#### **4. Lainsäädäntö**

Ympäristölainsäädännön perustana on ympäristösuojelulaki 86/2000 (YSL), joka toteuttaa Euroopan neuvoston direktiiviä 1996/61/EY ympäristön pilaantumisen ehkäisemisen ja vähentämisen yhtenäistämiseksi (IPPC -direktiivi, Integrated Pollution Prevention and Control). Laki vaatii mahdollisesta pilaantumisesta aiheuttavaan toimintaan ympäristöluvan hankkimista (YSL 86/2000, 28 §). Toiminnan harjoittaminen, tarkkailu ja raportointi määritellään ehtoilla laissa. Kaikissa tapauksissa toiminnanharjoittajan on noudatettava lain ja asetuksen vaatimuksia (YSL 86/2000, 51 §). / 15./

Parhaan käyttökelpoisen tekniikan periaate (BAT, Best available techniques) esiintyy ympäristösuojelulaissa. Tekniikka tarkoittaa tässä tekniikkaa, jolla päästöjä voidaan vähentää tehokkaasti ja taloudellisesti järkevästi. Tekniikan on myös oltava yleisesti saatavilla (YSL 86/2000, 3 §). BREF-asiakirjoissa julkaistaan parhaan käyttökelpoisen tekniikan määritelmät. Asiakirjoissa käsitellään myös päästöjen seurannan toteutustapoja, tulosten tulkintaa sekä seurantamenetelmiä ja raportointia. /15./

#### 4.1 ISO-sertifikaatti

ISO 14000 -sarja rakentuu ympäristöjärjestelmästä, ympäristöarvioinneista, elinkaaristandardeista ja ympäristömerkinnöistä. ISO 14000 -sarja muodostaa yritykselle ympäristöhallinnan ohjenuoran. Pääpaino on standardien laadinta. Niiden käyttö on suositeltavaa mutta vapaa ehtoista. /18./

Organisaatiot voivat käyttää standardeja toimintatapoja kehittäessään. Pääsääntöisesti yritykset haluavat osoittaa sidosryhmilleen ympäristösuorituskyvyn täyttymystä. Standardeja käyttämällä on saavutettu aktiivisempi rooli ympäristöasioissa, jolloin on kiinnitetty huomiota ympäristönäkökohtiin. Ympäristöhallinnan käsitteet, määritelmät ja menetelmät ovat selkiytyneet ja vakiintuneet, mikä helpottaa tiedon vertailua. /18./

Suurimmaksi osaksi ympäristökysymykset ohjaavat organisaatiota ja tuotannon toimintaa. Ympäristöasioiden hallintajärjestelmiä on luotu järjestelmällisen käsittelyn helpottamiseksi. EMAS-järjestelmä (The Eco- Management and Audit Scheme) ja ISO 14001 -ympäristölaatu-järjestelmät perustuvat EU-asetukseen ja kansainväliseen standardiin. Järjestelmät luovat organisaatioon ympäristöajattelua ja ympäristötoiminnan hallintaa. /9./

Standardi on ohjeistus tai malli hyvästä käytännöstä eli vertailupohja yritykselle. Standardilla yritys voi luoda yhteisiä pelisääntöjä liittyen ympäristöasioihin. ISO 14001 kertoo vaatimukset toiminnanharjoittajalle. ISO 14004 antaa taas opastuksen järjestelmän luojalle.

Ympäristöjärjestelmien avulla ympäristöasiat saadaan osaksi johtamista, varmistetaan yhdenmukaiset toimintatavat, lisätään ympäristötietoisuutta. Niillä myös tehostetaan toimintoja ja vähennetään päästöjä, ehkäistään ympäristövahinkoja, pyritään toimimaan vastuullisesti ja parantamaan kilpailukykyä. Vaatimuksena on ympäristölainsäädännön vaatimusten täyttämisen ja jatkuvan parantamisen periaate. Parantamisen taso lähtee aina yrityksen omasta lähtö-

kohdasta. Järjestelmään kuuluvat ympäristötunnusluvut ja ympäristöraportin laatiminen. Yritys saa sertifikaatillaan lisäarvoa julkikuvaansa ja asiakassuhteisiinsa. /18./

Iso-sarjaan kuuluu 25 standardia, opasta ja teknistä raporttia. Kasvihuonekaasujen mittaamiseen on kyseisissä julkaisuissa opasteita ja standardeja. Muitakin kansainvälisiä standardeja on luotu kasvihuonekaasujen mittaamista, raportointia ja todentamista varten. /18./

#### **4.1.1 Ilmansuojelu**

Polttolaitosten ilmanpäästöjen tarkkailu- ja raportointivaatimukset noudattavat direktiiviä Suomen lainsäädännössä asetuksella 1017/2002 (VNA 1017/2002 eli LCP-asetus). Tarkkailusuunnitelma luodaan laitoksessa, joka on ilmansuojeluilmoitusvelvollinen. Lääninhallitus saa tarkkailusuunnitelman, jossa esitetään laadun, päästöjen ja vaikutusten seurannat ja toteutus. Päästöjä koskevassa osiossa tulee kertoa muun muassa menetelmistä ja muuttujista, mittaamenetelmien ja –järjestelyjen kuvauksesta, saatujen tietojen keräyksestä, taltioinnista, käsitte-lystä ja laadunvarmennuksesta. / 15; 2, s.29./

Ilman laadun tarkkailusuunnitelmassa taas tulee kertoa mittausten tavoitteet, keinot niiden saavuttamiseksi, mitattavat suureet, mittauspaiikat, mittausten kestot ja tiheydet, laadunvarmennus ja tulosten tallennus ja esitys. Saadut tarkkailutulokset lähetetään vuosittain viranomaisille ja tarvittaessa väliraportteina. /2, s.30./

Ilmansuojelussa viranomaiset eivät vaadi käyttötarkkailua prosessille vaan puhdistimien toiminnan käyttötarkkailun./2, s.30./

#### **4.1.2 Jätteenpolttolaki**

Vuoden 2006 EU:n jätteenpolttodirektiivi määrittää, mitä polttolaitoksen piipusta saa päästä ilmaan. Polttoperäiset hiukkaset liittyvät erityisesti terveysvaikutuksiin. Pölymäisille ja kaasumaisille emissioille on määritetty enimmäisrajat EU:n jätteenpolttodirektiivissä L 332/91 (Suomessa 363/2003 jätteenpoltossa). Direktiivissä rajataan savukaasujen kokonaishiukkaspäästöt 10 mg:aan/Nm<sup>3</sup>. /19./

Suomessa on tiukemmat päästörajat. Isoilla jätteenpolttolaitoksilla, jossa poltetaan yhdyskuntajätteitä, savukaasut puhdistetaan monivaiheisessa kemiallisessa prosessissa. Savu-

kaasujen suodatuksella saadaan emissioarvot alle jätteenpolttodirektiivin riippumatta poltettavan jätteen laadusta. /19./

Pienhiukkaspäästöihin ei jätteenpolttodirektiivi ota kantaa. Jätteenpoltossa muodostuu kuitenkin pienhiukkasia, jotka sisältävät raskasmetalleja. Raskasmetallit on luokiteltu myrkyllisiksi alkuaineiksi. Raskasmetallit ovat jätteessä eri yhdisteissä ja muodossa kuin hiiliyhdisteissä. Metallit ovat jätteenpoltossa puhtaina metalleina, hajoavina suoloina ja klorideina./19./

Ilmansuojelussa otetaan myös huomioon seuraavat lait:

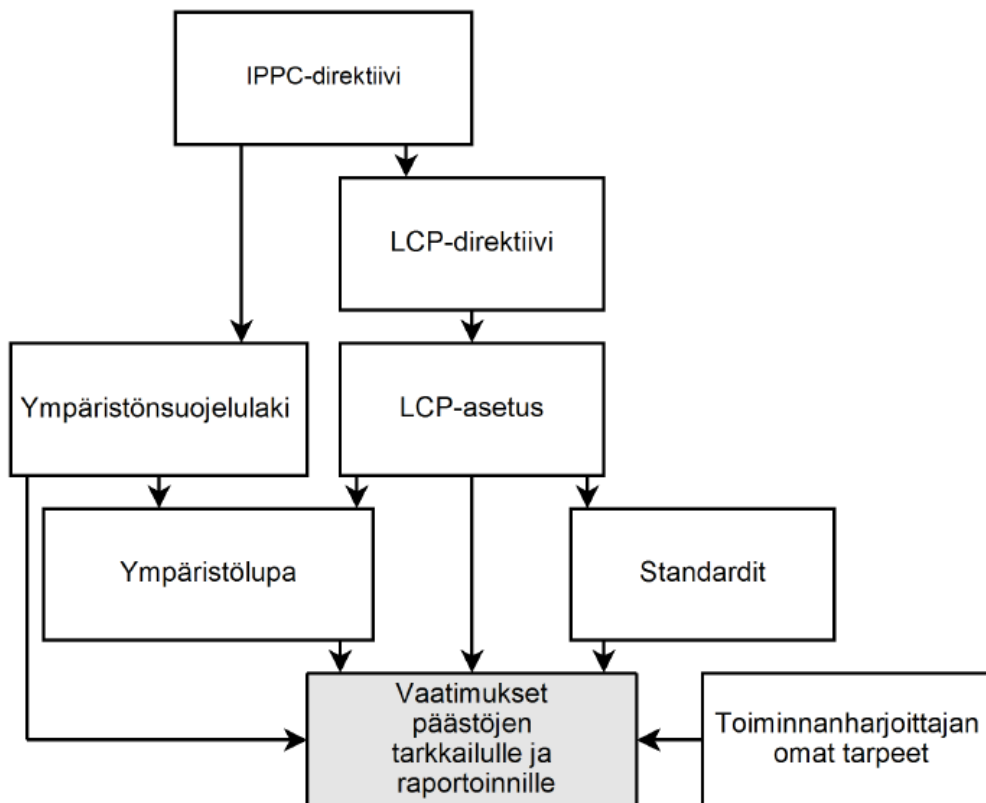
- EPNAs (EY) 842/2006 (17.5.2006)
- asetus 5.12.2001/ 1187.

Euroopan parlamentin ja neuvoston asetus EY 842/2006 koskee tiettyjä fluorattuja kasvihuonekaasuja. Valtioneuvoston asetus koskee taas otsonikerrosta heikentäviä aineita ja eräitä fluorihilivetyjä sisältävien laitteiden huoltoa sekä huoltotoimintaa ja jätehuoltoa suorittavien pätevyysvaatimuksia. Lait ja asetukset perustuvat siihen, että jätteenpolttolaitoksissa syntyy myös hiilidioksidipäästöjä mutta ei metaania. / 19; 20./

#### **4.1.3 Päästöraajat**

Toiminnanharjoittajalle tulee monelta taholta vaatimuksia miten rakentaa päästöjensä tarkkailu- ja raportointijärjestelmänsä. Tärkeimmät näistä tulevat laeista ja direktiiveistä. /15./

Kuvassa 7 on esitetty päästöjen tarkkailu- ja raportointivaatimusten lähteiden keskinäiset suhteet. Kansallinen LCP-asetus velvoittaa polttolaitoksen toiminnanharjoittajaa. Asetus taas perustuu LCP-direktiiviin. Asetus myös velvoittaa käyttämään standardeja päästömittausten laadunvarmistukseen. Ympäristöluvut on laadittu asetuksen perusteella, joten asetus velvoittaa suoraan ja ympäristöluvankin kautta. Ympäristösuojelulaki taas velvoittaa suoraan toiminnanharjoittajaa ja välillisesti ympäristöluvan kautta. Lisäksi toiminnanharjoittajalla on omia velvoitteitaan ja raportointitarpeita esimerkiksi prosessin seuraamiseksi ja muiden sidosryhmiensä informoimiseksi. /15./



Kuva 7. Vaatimukset päästöjen tarkkailulle ja raportoinnille /16/.

Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 80/2001 (EY 80/2001) asettaa vaatimuksia yli 50 MW polttoainetehoisille polttolaitoksille ja kaasuturbiineille. Tämän perusteella laitokset saavat ympäristöluvut, jotka velvoittavat laitoksia. Direktiiviä toteutetaan käyttämällä päästörajaja. Polttolaitosten ilmanpäästöjen tarkkailu- ja raportointivaatimukset noudattavat direktiiviä Suomen lainsäädännössä asetuksella 1017/2002 (VNA 1017/2002 eli LCP- asetus). /3, s.118; 15./

Ilman laadulle annetaan ohjearvoja, joissa määritetään suurimmat sallitut pitoisuudet epäpuh-  
tauksille. Taulukossa 6 nämä on esitetty tunti-, vuorokausi- tai vuosikeskiarvoina. Aritmeettisena keskiarvona kelvollisista hetkellisarvoista lasketaan tuntiarvot. Laskennasta jätetään pois ylös- ja alasajotilanteet sekä puhdistustilanteiden häiriötilat. Vuorokausikeskiarvo lasketaan tuntiarvojen keskiarvona. Aritmeettisena keskiarvona lasketaan myös 48 tunnin pitoisuuskeskiarvo. Arvo on aina kalenterivuorokautta kohti oleva keskiarvo. Kuukausikeskiarvot lasketaan tuntiarvojen keskiarvona. LCP-asetus vaatii, ettei kalenterivuoden aikana yksikään päästöpitoisuuden kuukausikeskiarvo saa ylittää päästöarvoa. /3, s.118; 15./



Taulukko 6. Jatkuvat toimisten päästömittausten raja-arvoja / 21./

Mittaus	Lyhenne	Yksikkö	10 min ka.	30 min ka.		vrk-ka.
			95 % alle	100% A*	97 % B**	
Hiilimonoksidi, häkä	CO	mg/m <sup>3</sup>	150	100	-	50
Suolahappo, vetykloridi	HCl	mg/m <sup>3</sup>	-	60	10	10
Rikkidioksidi	SO <sub>2</sub>	mg/m <sup>3</sup>	-	200	50	50
Hiilivedyt	CxHy	mg/m <sup>3</sup>	-	20	10	10
Hiukkaset	pöly	mg/m <sup>3</sup>	-	30	10	10
Typenoksidit ***	NO <sub>x</sub>	mg/m <sup>3</sup>	-	400	200	200

Kokonaispäästölaskennassa on tunnettava haitta-aineen pitoisuus ja savukaasun virtaus tarkastelujakson ajalta. Massavirta saadaan, kun pitoisuus ja tilavuusvirta kerrotaan keskenään. Massavirta kerrotaan tarkastelujakson pituudella ja tulokseksi saadaan kokonaispäästö eli haitta-aineen massa. Kokonaispäästö  $m_e$  saadaan pitoisuuden, tilavuusvirran ja tarkasteluajan tulona kaavan 10 tavalla./ 8./

$$m_e = C \cdot q_w \cdot t \quad (10)$$

$m_e$  = haitta-aineen massa [ kokonaispäästö]

$q_w$  = savukaasun tilavuusvirta [m<sup>3</sup>n/s]

$t$  = tarkastelujakson pituus

$C$  = mitattu pitoisuus [mg/m<sup>3</sup>n]

## 5. Validointi

Menettelyä, jossa menetelmä täyttää käyttötarkoituksen asettamat vaatimukset tutkitulla ja puolueettomalla näytöllä, kutsutaan validoinniksi. Validointi kertoo mittaustulosten luotettavuuden ja menetelmän mahdolliset ongelmat. Validointiprosessissa määritetään parametrit, jotka ilmaisevat suorituskykyä. Prosessissa myös määritetään mittausmenetelmän rajoitukset ja käyttöalue, suorituskykyyn vaikuttavat häiriötekijät ja vaikuttavuuden määrä, määritettävät analyytit, niiden matriisit, häiriötekijät ja mittausten epävarmuustaso määritellyissä olosuhteissa. /22, s.20./

## 5.1 Tavoite

Ensimmäiseksi määritetään analyytti näytteessä, jolla mittaussuure yksilöidään. Seuraavaksi valitaan mittaustekniikka eli mittausmenettely. Samalla valitaan mittaussuureen mallikaava eli malliyhtälö. Validoinnilla osoitetaan, että kaikki vaikuttavat suureet on otettu huomioon. Tällöin malliyhtälö ja mittausolosuhteet ovat riittävät. Jäljitettävyyden jokaiselle vaikuttavalle suurelle toteutetaan valitsemalla sopiva vertailu eli referenssinormaali ja kalibroimalla mittanormaaleja vertailunormaaleja käyttäen. Lisäksi käyttämällä sertifikaattitietoja luotettavuudesta koskien laitteita ja mitta-astioita saadaan jäljitettävyyttä aikaan. Lopuksi määritetään mittaasepävarmuus. /22./

Mittausten luotettavuus on mittaustuloksen ominaisuus, joka määritetään vertaamalla mittanormaalia tai mittaustulosta ilmoitettuihin referensseihin. Näin jäljitettävyyden avulla mitaukset ovat keskenään verrattavia, vaikka mittaus olisi suoritettu eri menetelmillä, eri tekijöillä ja eri paikoissa. /24./

## 5.2 Kriteerit

Laboratoriot osoittavat standardin ISO / IEC 17025 mukaan toimivansa laatu järjestelmien mukaan ja tuottavansa teknisesti päteviä tuloksia. Validoinnilla osoitetaan aiotun mittaussuureen mittaaminen hyväksytyillä suorituskriteereillä. Validointia voidaan käyttää kehittämisen työkaluna, jolla optimoidaan menetelmän suorituskyky ja asiakkaan tarpeet. Muutokset ovat aina validoitava, kun tehdään muutoksia standardimenetelmään. /22, s.20./

Mittaustuloksien jäljitettävyystekijät luettelona:

- kaikista ketjun osista on kalibrointitodistus
- laitteet ovat yksilöitävissä
- mittaasepävarmuus on tiedossa ja ilmoitettu
- mittausmenetelmä on dokumentoitu
- kalibroinnit suoritetaan tietyin väliajoin
- mittaustulokset on kirjattu ja säilytetty
- kalibrointeja tekevän laboratorion pätevyys on osoitettu.

Lähtösuureet vaikuttavat mittaustulosten laskemiseen. Lähtösuureiden jäljitettävyys tulee osoittaa varmennetuilla vertailuaineilla, mittalaitetekalibroinneilla sekä standardien ja mittaastioiden sertifikaateilla. Mittausten vertailuarvoja saadaan muun muassa standardiliuosten pitoisuussertifikaateista. /22./

Ilmoittamalla kaikki epävarmuudet vertailussa saadaan aikaan aukottomasti jäljitettävä vertailuketju. Vertailumittaukset, vertailumateriaali, laatusertifikaatit ja katkeamaton kalibrointiketju muodostavat vertailuketjun. / 22, s.19./

### **5.3 Spesifisyys ja herkkyys**

Spesifisyys- ja selektiivisyyskokeilla pyritään varmistamaan menetelmän mittavuutta. Herkkyys määritetään vertaamalla validoitavan menetelmän antamia tuloksia luotettavan käytössä koetstatun menetelmän kanssa. Menetelmä on herkkä, kun se kykenee havaitsemaan näytepitoisuuksien pienet vaihtelut. Herkkyys osoitetaan kalibrointikuvaajan kulmakertoimen avulla. Tarkkuus rinnastetaan kokonaisvirheeseen, joka koostuu systemaattisen ja satunnaisen virheen summasta. /22; 24./

### **5.4 Määrittäysraja**

Pitoisuutta, joka määritetään hyväksytyllä tarkkuudella ja täsmällisyydellä, kutsutaan määrittäysrajaksi. /22; 24./

Mittausepävarmuusarviointi kertoo tiedon mahdollisen virheen suuruudesta eli arvojen todennäköisen vaihteluvälin yksittäisen tuloksen suhteen. Mittausepävarmuuden ilmoittaminen lisää tuloksen pätevyyttä. Arvoa tarvitaan, kun halutaan tarkkaa tietoa mittauksen luotettavuudesta toimittaessa raja-arvojen lähellä. / 22, s.22./

Mittausepävarmuuden arviointia voidaan määrittää ohjeista, joissa on kuvattu vaiheet ja laskemisperiaatteet. Perusteoksena toimii ISO-GUM-ohje, jossa muun muassa ohjeistetaan lähtösuureille mittausepävarmuuslähteet ja arvioidaan standardiepävarmuudet. Lähtötietoina käytetään joko tilastollisia mittaustietoja tai laitevalmistajan luotettavuusarvoa. /22, s.23./

Helpompana menetelmänä pidetään matemaattista menetelmää, jossa arvioinnissa huomioidaan koko menetelmä. Tämä tarkoittaa sitä, että validointi ja laadunvarmistusaineisto kattavat

aiheuttamansa virheet. GUM:ssa saattaa jäädä osa epävarmuuslähteistä pois. Mallinnuksesta saadaan tärkeää tietoa koskien luotettavuuteen vaikuttavia tekijöitä, kun jo käyttöönottaessa voidaan arvioida mittausepävarmuutta./22, s.24./

## KOKEELLINEN OSA

### 6. MATERIAALIT JA MENETELMÄT

#### 6.1 Mittausmenetelmät ja laitteistot

Kenttämittalaitteistolla suoritetaan tarkkailusuunnitelman mukaisesti savukaasujen manuaalisia mittauksia. Mittauksia suoritetaan kaksi kertaa kuukaudessa tai kerran kuukaudessa jokaisesta laitosalueella olevasta piipusta, riippuen mitattavasta komponentista. Lisäksi suoritetaan mittauksia erillispyyntöjen perusteella. Mittaustasoilta suoritetaan polttolinjojen manuaalinen mittaus savukaasupuhdistuksen jälkeen. Mittaussuoritukset tehdään analyysi- ja työohjeiden mukaisesti. Tulokset kirjataan järjestelmään. /25./

Standardin SFS-EN 14181 mukaisesti on tehty kiinteästi asennettujen savukaasumittalaitteiden laadunvarmistus. Ulkopuolinen mittaja suorittaa vuosittaiset vertailumittaukset. EI-jatkuvatoimisesti mitattavat päästökomponentit mitataan kahdesti vuodessa ulkopuolisen mittajan toimesta. Tarvittaessa käytetään myös ulkopuolista mittajaa. /25./

Taulukko 7. Päästömittaukset

<b>PPM 960 IRC</b>			
Komponentti	yksikkö	Mittausalue	mittausepävarmuus
CO	ppm	1000-10000	20
CO <sub>2</sub>	til-%	0-20	0,02
CxHx	ppm	100-2000	2
O <sub>2</sub>	til-%	0-20	0,02
NO	ppm	250-5000	5
Lämpötila	°C	0- + 450	
<b>Testo 300 M</b>			
CO <sub>2</sub>	ppm	0-20,5	
O <sub>2</sub>	ppm	0-21	
CO	til-%	1000-8000	20
Lämpötila	°C	0- + 500	
<b>MP6KRS-mikromanometri</b>			
Virtaus	m/s	1,5- 100,0	0,015

Taulukossa 7 on esitetty päästömittaukset, apumittaukset, mittausten yksiköt ja mittausepävarmuudet. PPM 960 IRC- analysaattorilla mitataan viittä eri kaasukomponenttia ja lämpötilaa. Testo 300 M -analysaattorilla mitataan lämpötilan lisäksi kolmea kaasukomponenttia. MP6KRS-mikromanometrillä mitataan virtausta savukaasukanavassa. Virtaus saadaan yksikössä m/s, josta saadaan kertomalla savukaasukanavan poikkipinnalla m<sup>3</sup>/s. /26; 29; 34./

## 6.2 Mittalaitteisto

Laiteluettelo:

TESTO 300M -analysointilaitteisto (TESTO, Saksa)

- anturi ja näytteenottoletkut
- kaasukuivain, virtalähde ja virtajohdot tai kondensointisäiliö
- virtajohdot ja virtalähde
- IR-tulostin
- kuljetuslaukku ja suojakotelo
- jatkojohto
- kannettava tulostin
- rotametri ja T-haaraputki

PPM 960 IRC -analysointilaitteisto (PPM Systems, Suomi)

- näytteenottoimuletku
- pumppu
- silikageelipullo
- T-haaraputki
- rotametri
- lämpötilanturi
- kannettava tietokone, sarjakaapeli ja virtajohdot

MP6KSR-mikromanometri (Salomat, Saksa)

- S-mallin pitot-putki
- näytteenottoletkut

## 6.3 Koejärjestely

Mittauksia suoritettiin laitoksen eri piipuilla näytteenottoon tarkoitetuilla piippukopeilla n. 20 m korkeudessa (kuva 8). Jokaisella piipulla on näytteenottamista varten tehtyjä yhteitä eli näytteenottoreikiä piipun seinämässä. Alipaineistettu piippu takaa, ettei näytteenottotilanteessa

näytekaasua tule huoneilmaan. Samassa piippukopissa sijaitsevat myös kiinteämittarit, jotka mittaavat 1 s välein.



Kuva 8. Piippukoppi.

Ensimmäiseksi asennettiin yhteeseen mittaamaan PPM 960 IRC- analysaattori, joka mittaa 5 s välein. Seuraavaksi otettiin TESTO 300M- analysaattori, jolla mitattiin 10 minuutin välein samasta yhteestä kuin PPM 960 IRC- analysaattori. Virtausmittaukset suoritettiin MP6KRS erillään kaasukomponenttien mittaamisesta.

Mittausten aloitus- ja lopetuskellonajat kirjattiin muistiin, jotta piippujen tietokantajärjestelmästä voidaan hakea kiinteiden mittareiden arvot lämpötilalle, paineelle, CO CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, C<sub>x</sub>H<sub>x</sub> ja NO kaasukomponenttipitoisuuksille ja virtaukselle.

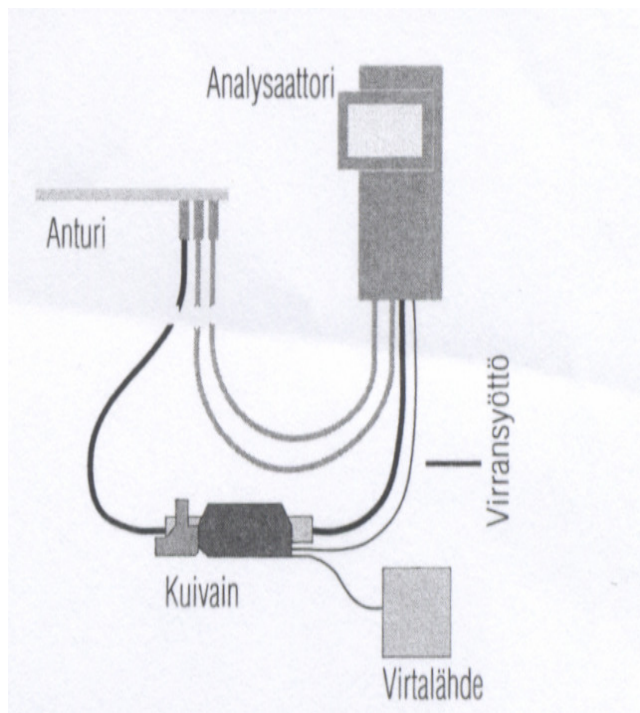
#### 6.4 TESTO 300M

Testo 300M -analysaattori mittaa kaasumaisista komponenteista CO:a, CO<sub>2</sub>:a ja O<sub>2</sub>:a sekä lämpötilaa ja painetta. Mittausperiaatteena on sähkökemiallinen kenno, joka mittaa O<sub>2</sub>- ja CO-pitoisuuksia. Analysaattorin CO<sub>2</sub>-pitoisuus on laskennallinen O<sub>2</sub>-mittauksen avulla. Laite on ohjelmoitu laskemaan kaavalla 11 CO<sub>2</sub>-pitoisuus.

$$CO_2 = \frac{CO_{2\max} \cdot (21 - O_2)}{21} \quad (11)$$

CO<sub>2max</sub> = öljyn spesifinen arvo

Laitteessa on kuvan 9 mukainen näytteen käsittelyjärjestelmä, jossa savukaasukuivain kuivaa anturilta tulevan savukaasun, minkä jälkeen kaasunäyte pumpataan analysaattoriin. /30./



Kuva 9. Testo 300M -analysaattori /30. /

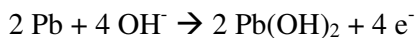
#### 6.4.1 Sähkökemiallinen kenno

Kannettavia mittalaitteita on voitu laajentaa määrittämään useita kaasuja käyttäen sähkökemiallisia kennoja. Mitattavaa kaasua varten on laitteessa oma kenno. Kennoja on kehitetty hapen, typen oksidien, hiilidioksidin, hiilimonoksidin ja rikkidioksidin pitoisuuksien mittaamiseen. /28; 29./

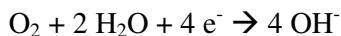
Sähkökemiallinen kenno perustuu hapetus-pelkistymisreaktioon, jossa mitattava kaasu reagoi sille ominaiseen tapaan. Happikennossa katodilla happi pelkistyy hydroksyyli-ioneiksi. Ionit kulkeutuvat elektrolyytin kautta anodille hapettaen siellä metallianodia. Faradayn lain mukaan syntyy virta, joka on verrannollinen hapen kulumiseen katodilla. Happea kuluu sitä mukaa mitä sitä saapuu katodille. Konsentraatio on siis nolla. Kennon jännite ei vaikuta virtaan, sillä toiminta perustuu virtalähteeseen. /28; 29./



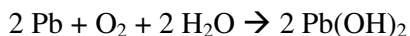
Anodi:



Katodi:



Kenno:



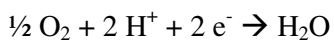
Diffuusio rajoittaa hapen saapumista katodille. Happi pääsee katodille ainoastaan diffuusioesteen läpi. Este on yleensä kapillaariputkessa oleva muovikalvo tai kaasueste. Nopeus, jolla happi saapuu katodille diffuusioesteen läpi, riippuu mitattavan näytteen happipitoisuudesta. Kennon virta riippuu hapen saapumisnopeudesta. Virtaa siis säätelee hapen pitoisuus. /28./

Reaktiot hiilimonoksidin pitoisuuden mittaamiseksi sähkökemiallisessa mittaamisessa:

Anodi:



Katodi:



Diffuusio kontrolloi anodille tulevan hiilimonoksidin virtausnopeutta. Katodin happi tulee ilmasta eikä diffuusion kautta. /28./

Kapillaaridiffuusioesteet mahdollistavat sen, että mittauksen lämpötila- ja paineriippuvuus on pientä. /28./

#### 6.4.2 Näytteenotto

Anturista lähtevät näytteenottoletkut kiinnitettiin analysaattoriin. Mittalaite kytkettiin päälle ja annettiin laitteen suorittaa 60 s alkutestin. Laitteesta valittiin raskasöljyohjelma ja asetettiin anturi mittauskanavaan virtauksen keskelle. Suoritettiin mittaus. Annettiin mittaustulosten vakiintua ja kirjattiin tulokset muistiin. Mittauksen aloitus- ja lopetuskellonaika kirjattiin

muistiin. Poistettiin anturi savukaasukanavasta. Laitteelle suoritettiin mittauskennojen huuhtominen raikkaalla ilmalla, kunnes O<sub>2</sub>-taso oli yli 20,0 % ja CO-arvo alle 50 ppm. /29./

### **6.4.3 Kondensointisäiliö ja savukaasukuivain**

Testo 300M:n vakiolisälaitteena tulee kondensointisäiliö eli suodatinputkilo. Se estää analyssaattorin rikkoutumisen kosteuden takia. Kondensoitumisesta johtuvaa kosteutta kondensoituu, kun mitataan kaasua, jolla on alhainen lämpötila. Laite kerää tiivistyneen kondensaation suodatinsäiliöön, josta se tyhjennetään poistamalla laitteesta kansipala. /29./

Testo 300M -laitteeseen on liitettävissä myös savukaasukuivain. Kaasukuivainta käytetään suodatinsäiliön tilalla. Kondenssiveden aiheuttamat vauriot voidaan estää savukaasukuivaimella. Kuivain myös mahdollistaa pitkäaikaiset mittaukset. Savukaasukuivain poistaa kondenssiveden jäädyttämällä kaasun lämpötilan 10 °C ympäristön lämpötilaa matalammaksi. Savukaasukuivaimen avulla mittaus voidaan suorittaa kosteista savukaasuista alhaisissa lämpötiloissa sekä kylmissä olosuhteissa. Savukaasukuivaimen periaate on, että laite kuivaa anturille tulevan savukaasun johdattaen sen seuraavaksi analyssaattoriin. /30; 31; 32./

### **6.4.4 Ohjeistus**

Laitteen käytön yhteydessä huomatuista käyttöominaisuuksista laadittiin, kuten myös laitteen maahantuojalta, päästömittaajilta, ohjekirjoista ja mittauksien aikana saadusta tiedosta yrityksen ohjeiden mukaan analyysiohjeet (LIITE 4) laitteelle. Tehtiin mittauksiin tarkoitetut mittauspöytäkirja (LIITE 5), kalibrointipöytäkirja (LIITE 6) ja huoltokirja (LIITE 7). Opastettiin kenttämittauksia suorittava henkilökunta käyttämään laitteita ohjeiden pohjalta. Mittaukset tehdään jatkossa analyysi- ja työohjeiden mukaisesti.

### **6.5 PPM 960 IRC**

PPM 960 IRC -analyssaattori mittaa CO:a, CO<sub>2</sub>:a, O<sub>2</sub>:a, NO:a ja C<sub>x</sub>H<sub>y</sub>-pitoisuuksia sekä lämpötilaa. Laitteen toiminta perustuu monikanavainfrapuna-fotometriin ja kemialliseen mittauskennoon sekä mikroprosessitekniikkaan, mittaus CO, CO<sub>2</sub>, C<sub>x</sub>H<sub>y</sub>-pitoisuuksien osalta perustuu infrapuna-absorptioon, O<sub>2</sub>:a ja NO- pitoisuuksien osalta sähkökemialliseen kennoon.

Laitteessa on liitteen 8 mukainen näytteenkäsittelyjärjestelmä, jolla mittauskaasu kuivataan ja lauhde poistetaan. /26; 69 /

Laitteen kolmitieventtiili valitsee näytekaasun. Kalvopumppu eli magneettivärähtelijä imee mittaussondilta kaasun näytteenkäsittelijän läpi työntäen kaasun ohivirtaukseen ja optiikalle. Näytteenottosondit vaihtelevat eri lämpötilojen ja käyttötarkoitusten mukaan, joissakin on esisuodatin päässä. /26./

Sisääntuloliittimestä johdetaan näytekaasu suodattimen alle, jossa on lauhteelle varattu tila. Teflonkalvosuodatin toimii eräänlaisena vesisulakkeena liiallisen veden päästessä laitteiston näyteletkustoon. Suodatin vaihdetaan tarvittaessa uuteen. Peltier-jäähdytin eli näytejäähdytin kondensoi lauhteen näytekaasusta. /26./

Analysaattorin optiikkayksikkö sisältää oman näytepumpun, monikanavaisen infrapunamittauksen, kaksi kemiallista mittauskennoa ja mikroprosessipohjaisen elektroniikan. Näytepumpuna eli magneettivärähtelijänä toimii kalvopumppu. Happikenno mittaa happipitoisuuden muodostamalla pienen sähköjännitteen. Jännite on verrannollinen näytteen happipitoisuuteen. /26./

Virtausmittari eli rotametri on muovirunkoinen kuristusventtiilillä varustettu mittari. Rotametrissä virtaus ohjataan kulkemaan ylöspäin laajenevan kartiomaisen putken läpi. Putkessa on uimuri, joka sulkeutuu alapäästä, kun virtausta ei ole. Virtauksen voima nostaa uimurin korkeudelle, jossa uimurin paino ja nesteen syrjäytys ja virtauksen vastusvoima ovat tapapainossa keskenään. Mittari kytketään laitteen ja suodattimen väliin. Laitteen lyijyakut on kytketty sarjaan. Savukaasut ovat märkiä, tästä johtuen laitteen käyttöä alhaisissa lämpötiloissa tulisi välttää. /26; 27./

### **6.5.1 IR -mittaus**

Joidenkin yhdisteiden molekyyliarakenteita voidaan kuvata infrapunaspektroskopiaa käyttämällä. Samalla analytiikalla voidaan mitata kaasujen pitoisuuksia ja molekyyliarakenteita. /28./

IR -mittauksessa eli infrapunaspektrofotometriassa molekyyliässä tapahtuu vibraatioita ja rotaatioita. Molekyyli absorboi infrapunavaloa siirtyessään vibraatiotilasta toiseen. Vibraatioissa eli atomien värähtelyssä toisiensa suhteen syntyy molekyylin tunnusomaista spektriä. /28./

Kaasumaisessa olomuodossa molekyylit värähtelevät ja pyörivät vapaammin kuin esimerkiksi kiinteässä olomuodossa. Infrapunamittauksesta saadaan aineen spektri, johon vaikuttaa aineen

olomuoto. Spektrissä näkyvät rotaatiohuiput kertovat hienorakenteeltaan kaasumaisen olo-  
muodon. Tapahtuvista absorptioista syntyy infrapuna-absorptiospektri molekyylille. Spektriä  
voidaan myös käyttää aineen rakenteen tutkimiseen, tunnistamiseen ja määrälliseen analysoi-  
miseen. /28./

Hapetta ja typpeä ei voida havaita infrapuna-absorptioilla, sillä molekyyleissä on kaksi  
identistä atomia. Rakenteessa ei voi tapahtua värähtelyä, jonka aikana dipoli-momentti  
muuttuisi ja absorboisi infrapunasäteilyä. Muita kaasuja voidaan menetelmällä mitata. Apuna  
mittauksissa käytetään absorptiospektrejä. Molekyylit, jotka ovat kaksiatomisia, muodostavat  
yhden perusvyön. Vyöspektriä kutsutaan molekyyleistä syntyviä spektrejä, jossa spektrivii-  
vat koostuvat suuresta joukosta lähekkäin olevista komponenteista. Moniatomiset molekyylit  
taas muodostavat useampia spektrivöitä. /28./

### 6.5.2 Näytteenotto

Kiinnitetään näytteenottoimuletkulla toisiinsa suodatinsondi ja pumppu. Laitetaan pumpun  
poistoletkuun T-haaraputki ja yhdistetään T-haaraputki kiinni PPM 960 IRC- analysaattorin  
näytteenottoputkeen. Virtaus asetetaan n. 6-8 l/min. Virtajohto, lämpöelementin kaapeli ja  
sarjakaapeli laitetaan kiinni PPM 960 IRC -analysaattoriin. Sarjakaapelin toinen pää yhdiste-  
tään kannettavaan tietokoneeseen. PPM 960 IRC -analysaattoriin ja kannettavaan tietokonee-  
seen laitetaan virrat päälle. Annetaan analysaattorin nollaantua ja tasaantua siten, että lämpö-  
elementti ja keraaminen suodatinsondi ovat vapaassa tilassa ulkona mittauskanavasta. Muiden  
kaasukomponenttien lukemien annetaan asettua nolnaan, paitsi O<sub>2</sub> lukeman 20,9 %:n. General  
Receiver-ohjelma käynnistettiin ja asetettiin lämpöelementti ja keraamisen suodatinsondin  
mittauskanavaan kuvan 9 mukaan. Aloitettiin mittaus. Mittaustulokset tallennettiin koneelle.  
Lisäksi n. 10 minuutin välein kirjattiin mittaustuloksia ylös. Mittauksen aloitus- ja lopetuskel-  
lonaika kirjattiin muistiin. General Receiver ja tietokone suljettiin. Poistettiin lämpöelementti  
ja keraaminen suodatinsondi mittauskanavasta. Laitteelle suoritettiin mittauskennojen huuh-  
tominen raikkaalla ilmalla. Puretaan laitteisto. /26/



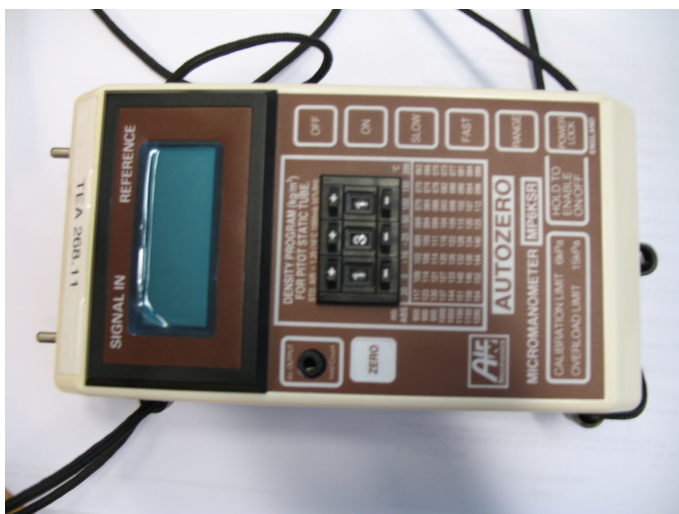
Kuva 9. IRC 960 PPM -analysointilaitteisto koottuna koelolosuhteissa.

### 6.5.3 Ohjeistus

Laitteen käytön yhteydessä huomatuista käyttöominaisuuksista laadittiin, kuten myös laitteen maahantuojalta, päästömittaajilta, ohjekirjoista ja mittauksien aikana saadusta tiedosta yrityksen ohjeiden mukaiset analyysiohjeet (LIITE 9) laitteelle. Tehtiin mittauksiin tarkoitettuja mittauspöytäkirjat (LIITE 10) ja kalibrointipöytäkirja (LIITE 11). Opastettiin kenttämittauksia suorittava henkilökunta käyttämään laitteita ohjeiden pohjalta. Mittaukset tehtiin analyysi- ja työohjeiden mukaisesti.

### 6.6 S-pitot-putki ja MP6KRS -mikromanometri

S-pitot-putkella ja MP6KRS- mikromanometrillä (kuva 10) voidaan mitata painetta ja virtaus- ta savukaasukanavassa. / 34./



Kuva 10. MP6KRS-mikromanometri.

### 6.6.1 Mikromanometri

Manometri on painetta mittaava laite, joka mittaa suhteellista painetta ulkoiseen paineeseen nähden. Yleensä käytetään putkea, jossa on elohopeaa. Toiseen päähän kohdistuu ilmanpaine ja toiseen putken kaasun paine. /34; 35./

Kuvan 11 mukaisesti nestepintojen korkeuseron  $\Delta h$  ja vallitsevan ilmanpaineen  $p_0$  mukaan saadaan paine lausekkeesta 12. /35./

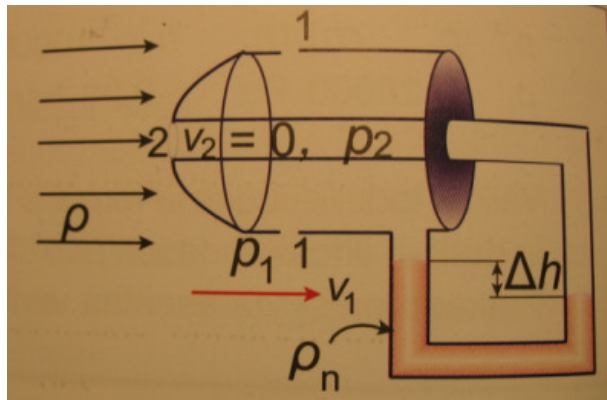
$$p = p_0 + \rho g \Delta h \quad (12)$$

$\rho$  = ilman tiheys

$\Delta h$  = täyttönesteen pintojen korkeusero

$p_0$  = ilman paine

$g = 9,81 \text{ m/s}^2$



Kuva 11. Pitot-putki.

Putken mittaus perustuu kahteen samankeskiseen putkeen. Pitot-putki mittaa kokonaispaineen ( $p_0$ ) ja staattisen paineen ( $p$ ), jolloin paineen erotus voidaan laskea dynaamisesta paineesta ( $p_d$ ) (kaava 13) ja selvittää nopeus ( $v$ ) kaavalla 14. /36./

$$p_d = p_0 - p \quad (13)$$

$$v = \sqrt{\frac{2p_d}{\rho}} \quad (14)$$

missä  $v$  on nopeus [m/s]  
 $\rho$  on ilman tiheys [kg/m<sup>3</sup>]  
 $p_d$  on dynaaminen paine  
 $p_0$  on kokonaispaine  
 $p$  on staattinen paine

Ilman tiheys riippuu paineesta ja lämpötilasta. /36./

Yhdistämällä kaavat Bernoullin lain mukaisesti ja mikromanometrin korkeuden erosta saadaan  $p_2 - p_1 = \rho g \Delta h$  lopullinen kaava 15 virtausmittaukselle. /35./

$$v_1 = \sqrt{\frac{2 * \rho_n * g * \Delta h}{\rho}} \quad (15)$$

### 6.6.2 S-pitot-putki

Pitot-putki perustuu kahteen samankeskiseen putkeen. Sisäputkella on avoin reikä putken päässä ja uloimmalla putkella on suljettu pää, mutta reiät putken sivuosassa. Asennettaessa pitot-putki mittauskanavaan tulee putken pään olla suorassa virtaa vastaan. /34./

Pitot-putkella voidaan mitata ilmavirtausta mittaamalla molempien putkien ilmanpaineiden erot. Pitot-putken staattinen putki mittaa kokonaispaineen ja toinen putki mittaa staattisen paineen. Kuvan 12 S-mallin pitot-putkessa on kaksi uloketta, joista toinen mittaa virtauksessa staattista painetta ja toinen kokonaispainetta savukaasukanavassa. Dynaamisen paineen saa laskettua kokonaispaineen ja staattisen paineen erotuksena kaavalla 12. /34./



Kuva 12. S- mallin Pitot-putki.

### 6.6.3 Näytteenotto

Näytteenotto tapahtuu Pitotin monikulmiomittauksena. Mittauskanavan virtauksen määrittämiseksi on tehtävä mittauksia ennalta määritellyissä mittauspisteissä ja tuloksista on laskettava keskiarvo. / 28./

Määritettiin S-pitot-putkeen neljä eri mittauspisteen pituutta, jotka ovat taulukon 8 mukaiset.

*Taulukko 8. Jätelaitoksen piipun mittauspisteiden etäisyydet S-pitot-putkella ja etäisyys yhteeltä.*

Piippu	PL4
Piste S-pitotputkella	etäisyys (cm) näytteenotto
1	170
2	130
3	80
4	30

Mittarin päihin laitetaan näytteenottoletkut. Letkujen päät liitetään S-pitot-putken päihin. Mittari laitettiin päälle. Mittari asetettiin tuli päällä-tilaan. Mittarin annettiin lämmetä noin 1 minuutti ennen mittauksia. Laitteen nollaus suoritettiin asettamalla s-pitot-putki savukaasukanavaan vaakatasossa painamalla Zero-näppäintä. Mittaus suoritettiin asettamalla s-pitot-putki pystysuoraan, jolloin se antaa virtaukselle arvon. Virtausnopeus mitattiin savukaasukanavassa neljässä eri kohdassa liikuttamalla s-pitot-putkea kanavassa. Eri mittauspisteissä annettiin ensin arvon vakiintua ja kirjattiin tulos. S-pitot-putki poistettiin yhteestä. Mittauksen aloitus- ja lopetuskellonaika kirjattiin ylös muistiin. Laitteisto sammutettiin ja purettiin. /34./

### 6.6.4 Tiheysarvo

Laitteessa voidaan korjata mittaustilanteessa esiintyvän kaasun tiheyden vaikutus. Oikealla arvolla saadaan oikea nopeus. Arvon selvittämiseksi mittaolosuhteissa täytyy tietää mittaustilanteessa esiintyvän ilman lämpötila ja paine. Arvot paineelle ja lämpötilalle voidaan mitata jatkuvatoimisilla mittareilla tai Testo 300M -laitetta käyttämällä. / 34. /

Laitteessa esiintyvän taulukon ja mittaamalla saatujen paine- ja lämpötila-arvojen avulla saadaan tiheys selville. Taulukossa esiintyvien arvojen perusteella määritetään laskennallisesti arvoille funktio, jonka avulla on mittaajan vaivatonta laskea kaasulle tiheysarvo. Lisäksi ko-



keellisesti testattiin eri tiheysarvoilla virtausta ja verrattiin saatua dataa kiinteämittareihin. /34./

Laittevalmistajan antamat kaavat 16 ja 17 ilman nopeuden laskemiseksi, jossa ilman nopeus on verrannollinen virtauksen aiheuttaman paineen neliöjuureen. Arvoa tulee lisäksi korjata mittauskanavassa mittaushetkellä vallitsevien lämpötilan ja paineen arvoilla. /34./

$$V = 1.311 \sqrt{P_v \cdot \frac{T}{295} \cdot \frac{1013}{B} \cdot \frac{1000}{100000 + P_s}} \quad (16)$$

V = ilman nopeus ( m/s)

T = virtauksen lämpötila ( °C)

B = barometrinen paine (mbar)

P<sub>v</sub> = virtauksen paine (Pa)

P<sub>s</sub> = staattinen paine (Pa)

STP-olosuhteissa (22 °C ja 1013 mbar) voidaan käyttää kaavaa 15

$$V = 1.31 \sqrt{P_v} \quad (17)$$

### 6.6.5 Ohjeistus

Laitteen käytön yhteydessä huomatuista käyttöominaisuuksista laadittiin, kuten myös laitteen maahantuojalta, päästömittaajilta, ohjekirjoista ja mittauksien aikana saadusta tiedosta yrityksen ohjeiden mukaan analyysiohjeet (LIITE 12) laitteelle. Tehtiin mittauksiin tarkoitettu mittauspöytäkirja (LIITE 13). Opastettiin kenttämittauksia suorittava henkilökunta käyttämään laitteita ohjeiden pohjalta. Mittaukset tehdään analyysi- ja työohjeiden mukaisesti.

## 7. Kalibrointi

Kalibroinnin tarkoituksena päästämittauksissa on selvittää analysaattorin näytön ja näytekaasun todellisen pitoisuuden välinen yhteys. Analysaattoreille on tehtävä kalibrointien tarkastukset nollakaasuilla ja yhdellä pääkomponentilla. Standardien esittämiä vaatimuksia on huomioitava mittalaitteen asentamisessa. /23; 28./

Kaksipistekalibroinnissa tarkistetaan näytölle tulevat lukemat tietyllä nollakaasulla esimerkiksi typpikaasulla ja kalibroitikaasun pitoisuudella. Tässä mallissa tunnetaan laitteen lineaarisuusominaisuudet. Laitteen ominaisuuksien tuntemiseksi ja toiminnan seuraamiseksi kalibrointikäyrän määrittäminen on tehtävä tietyin väliajoin. Laitteesta tarkastetaan myös kalibroinnin yhteydessä tiiviys, vasteaika, stabiilius ja herkkyys. /28./

Kalibroidut arvot lasketaan kalibrointifunktion avulla. Suora on voimassa nollasta aina 10 % maksimiarvosta. Kalibrointifunktion kriteerit kulmakertoimelle kertovat, että kulmakertoimen R-arvon tulisi olla lähellä arvoa 1 kaasumaisille komponenteille ja y-akselin leikkauspisteen oltava lähellä nollassa. Hiukkasmittauksessa suositeltavaa kulmakerroinarvoa ei ole, sillä tuloksesta muodostuu yleensä toisen asteen funktio. /23./

Kalibrointisuoran aluetta kaasuille voidaan laajentaa referenssikaasujen avulla. Kriteerin arvot määrittävät erot kalibrointifunktion ja lineaarisuusfunktion välillä. Kalibroinnissa käytettävät kaasuseokset voivat olla epästabiileja, koska kaasukomponentit, kuten NO ja NO<sub>2</sub>, ovat reaktiivisia. /23; 28./

## **TULOSTEN TARKASTELU**

### **8. Tulosten tarkastelu**

Työssä verrattiin kenttämittalaitteiston ja kiinteiden mittareiden arvoja keskenään tilastollisesti. Näin pyrittiin varmistamaan laitteiden toimivuus.

Mittaus koostui kolmesta eri laitteesta. Kiinteämittareista, jotka mittaavat 1 s välein. PPM 960 IRC -analysointilaitteisto mittaa 5 s välein. TESTO 300M -analysointilaitteisto mitataan 10 minuutin välein samasta yhteestä kuin PPM 960 IRC -analysointilaitteisto. Virtausmittaukset suoritettiin siten että MP6KRS erillään kaasukomponenttien mittaamisesta. MP6KRS-virtausmittaus suoritettiin neljästä eri kohdasta piipun halkaisijasta.

Kirjattujen mittausten aloitus- ja lopetuskellonaikojen perusteella haettiin arvot tietokantajärjestelmästä kiinteiden mittareiden lämpötilalle, paineelle, CO:a, CO<sub>2</sub>:a, O<sub>2</sub>:a, C<sub>x</sub>H<sub>x</sub>:a ja NO-pitoisuuksille ja virtaukselle.

Mittauksien aikana ilmeni TESTO 300M -analysointilaitteissa akkujen vika, joka hoidettiin vaihtamalla akut. PPM 960 IRC -analysointilaitteissa ilmeni hälytystiloja kosteuden vuoksi. Kosteusvaurioiden estämiseksi liitettiin lisäpumppu PPM 960 IRC -analysointilaitteistoon. Myöhemmissä mittauksissa pumpun lisättiin kaksi silikageelipulloa ja vedenerotuspullo. Pumppu lisää analysointilaitteen imutehoa, vaikka kosteus savukaasussa olisi suuri. Vedenerotuspullo kerää savukaasun tiivistyessä syntyvän nesteen pulloon. Silikageeli kerää lopun kosteuden näytekaasusta.

Datan siirrossa PPM 960 IRC:ltä tietokoneelle ilmeni myös katkoksia. Vian selvittämiseksi lainattiin datansiirtokaapelia valmistajalta. Lopuksi analysointilaitteen hälytystilan takia laite toimitettiin huoltoon.

Yrityksen ohjeiden mukaan laadittiin analyysiohjeet (LIITTEET 4, 9 ja 12) laitteille. Kenttämittauksia suorittava henkilökunta opastettiin käyttämään laitteita ohjeiden pohjalta. Nimettiin, numeroitiin ja kansioitiin laitteiston keskeiset asiat laboratorion järjestelmään.

### 8.1 Vertailu laitoksen jatkuvatoimisten mittalaitteiden kanssa

Saadut mittaustulokset (LIITE 13) muunnettiin tarvittaessa yksiköstä ppm yksikköön  $\text{mg}/\text{Nm}^3$  kaavalla 18:

$$m(\text{mg}/\text{Nm}^3) = \text{ppm} * (M/V_m), \text{ missä} \quad (18)$$

$$m = \text{pitoisuus (mg/ Nm}^3)$$

$$\text{ppm} = \text{mitattu pitoisuus ppm-yksiköissä}$$

$$M = \text{komponentin moolimassa (g/mol)}$$

$$V_m = \text{komponentin moolitilavuus (NTP) (l/mol)}$$

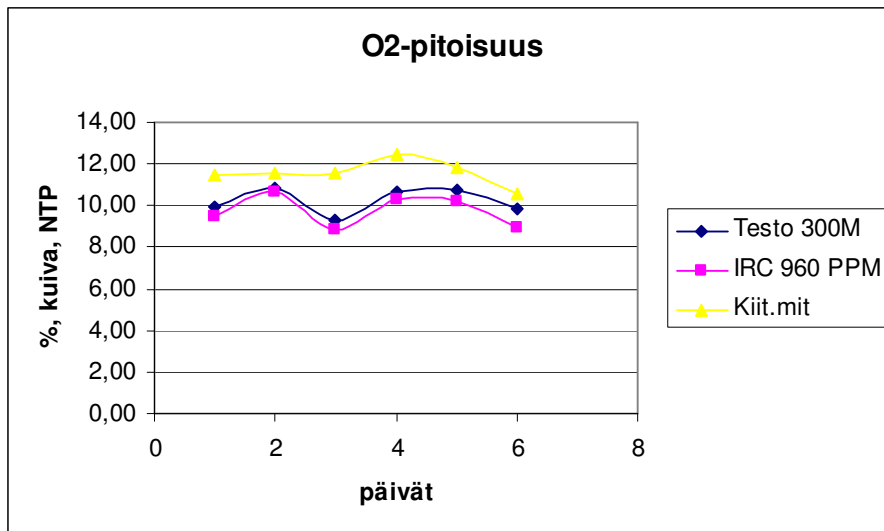
Tulokset redusointiin sen hetkiseen kosteuspitoisuuteen kaavalla 1. / 34./

Yksikkömuunnoksien ja redusointien jälkeen otettiin keskiarvot mittauksista ja taulukoitiin ne. Parivertailutestit suoritettiin virtaukselle ja  $\text{NO}_2$ -mittaukselle. ANOVA-testit tehtiin tiheysarvojen, lämpötilojen,  $\text{CO}_2$ - ja  $\text{O}_2$ -mittausten analysoimiseksi. Tehtiin vielä lisäksi regres-

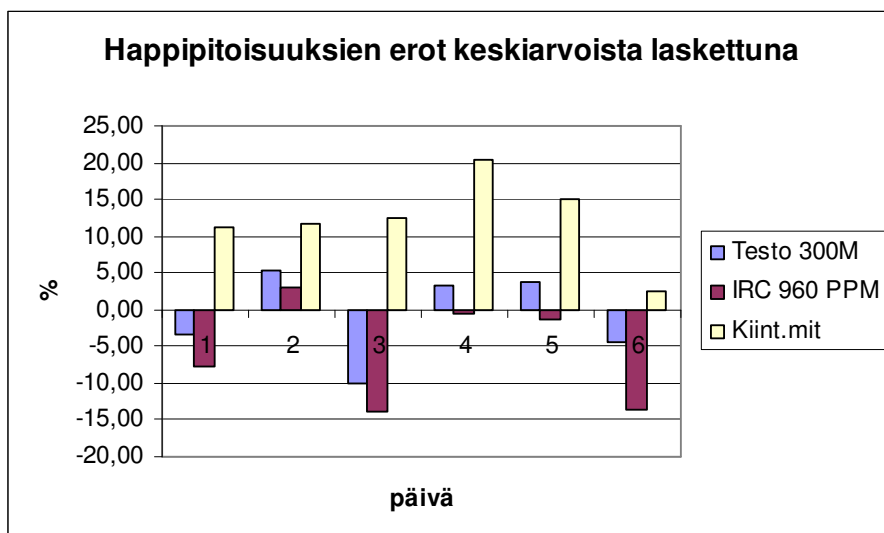
sioanalyysit TESTO 300M-, PPM 960 IRC- ja kiinteille mittareille koskien O<sub>2</sub>-, CO<sub>2</sub>-, NO-, lämpötila- ja virtausmittauksia.

### 8.1.1 O<sub>2</sub>

O<sub>2</sub>-mittauksista saatiin (LIITE 14) seuraavat arvot ja kuva 13. Mittaustuloksista tehtiin tilastollinen tarkastelu ANOVA-analysoinnilla. Analyysin merkitsevyydeksi saatiin  $1,6 \times 10^{-7}$ , joka on pienempi kuin 0,05 merkitsevyytaso. Erot ovat siis tilastollisesti merkitseviä. Liitteen 14 regressiosuorista nähdään, että laitteiden keskinäiset erot ovat suuria korrelaatiokertoimilla 0,34 ja 0,21. Poikkeuksen tekee regressioanalyysissä TESTO 300M- ja PPM 960 IRC - analysaattorin välinen korrelaatiokerroin on 0,9. Kuvasta 14 nähdään mittaustuloksien erot keskiarvoista laskettuna.



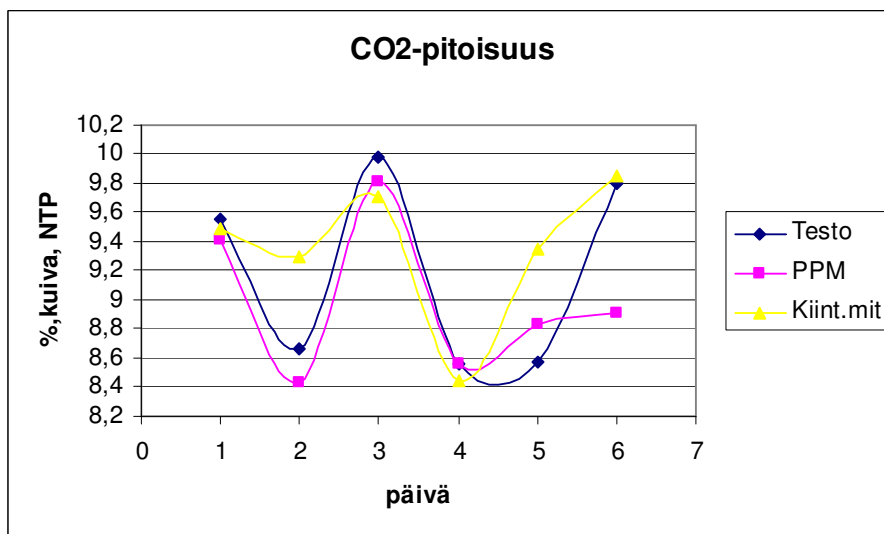
Kuva 13. Happipitoisuus mittauspäivinä 1-6.



Kuva 14. Happipitoisuuksien erot kolmen eri mittauksen keskiarvoista laskettuna.

### 8.1.2 CO<sub>2</sub>

CO<sub>2</sub>-mittauksista saatiin seuraavat arvot (LIITE 15) ja kuva 15. Mittaustuloksista tehtiin tilastollinen tarkastelu ANOVA-analysoinnilla. Analyysin merkitsevyydeksi saatiin 0,17, joka on suurempi kuin 0,05:n merkitsevyytaso. Tilastollisesti eroja ei voida pitää merkitsevinä. Kuvasta 16 nähdään mittaustuloksien erot keskiarvoista. Liitteen 15 regressiosuorista nähdään, että laitteiden keskinäiset erot ovat keskinkertaisia korrelaatiokertoimilla 0,58; 0,32 ja 0,66.



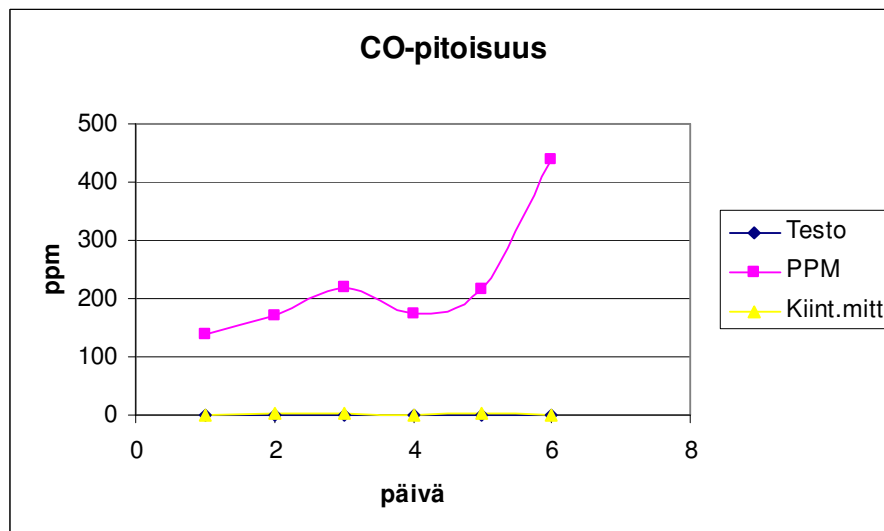
Kuva 15. CO<sub>2</sub>- pitoisuus mittauspäivinä 1-6.



Kuva 16. Hiilidioksidipitoisuuksien erot keskiarvoista laskettuna.

### 8.1.3 CO

CO-mittausten tulokset on esitettyä kuvassa 17 ja taulukossa 9. Mittaustuloksista nähdään, että PPM 960 IRC on ainoa, joka poikkeaa nolasta. Erot ovat siis tilastollisesti merkitseviä.



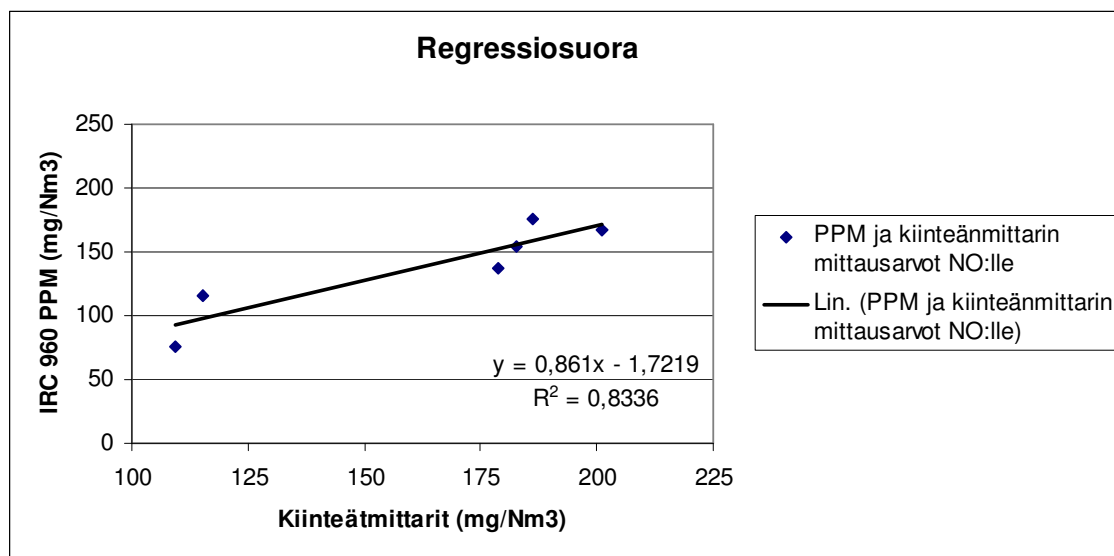
Kuva 17. Hiilimonoksidipitoisuus mittauspäivinä 1-6.

Taulukko 9. Hiilimonoksidipitoisuudet TESTO-, PPM- ja kiinteällä -mittarilla mittauspäivinä 1-6.

Päivä	TESTO	PPM	Kiint.mit (mg/Nm <sup>3</sup> )
1	0	0	0,57
2	0	0	3,86
3	0	0	2,73
4	0	0	1,12
5	0	0	1,68
6	0	0	0

### 8.1.4 NO

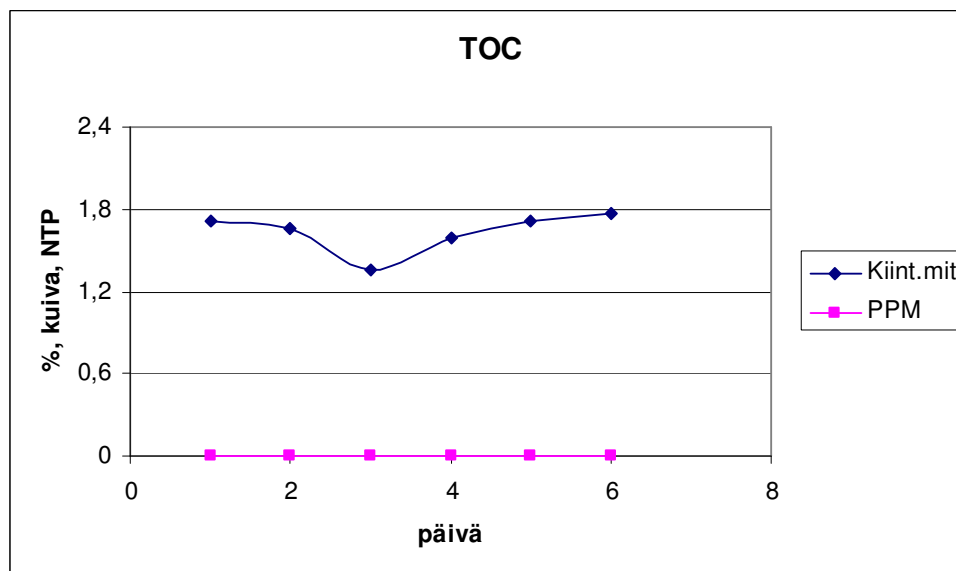
NO-mittauksista saadut arvot on esitetty liitteessä 16. Mittaustuloksista tehtiin tilastollinen tarkastelu parillisella t-testillä. Analyysin merkitsevyydeksi saatiin 0,9, joka on suurempi kuin 0,05:n merkitsevyytaso. Erot eivät siis ole tilastollisesti merkitseviä. Kuvasta 18 nähdään mittaustuloksien regressiosuora, jossa korrelaatiokerroin on 0,83. Laitteilla ei ole suurta eroa.



Kuva 18. IRC 960 PPM- ja kiinteämittarin mittaustuloksien regressiosuora.

### 8.1.5 TOC

Kyseisistä mittausten tulokset on esitettyä kuvassa 19 ja taulukossa 10. Mittaustuloksista nähdään, että kiinteämittari on ainoa, joka poikkeaa nolasta. Erot ovat siis tilastollisesti merkitseviä.



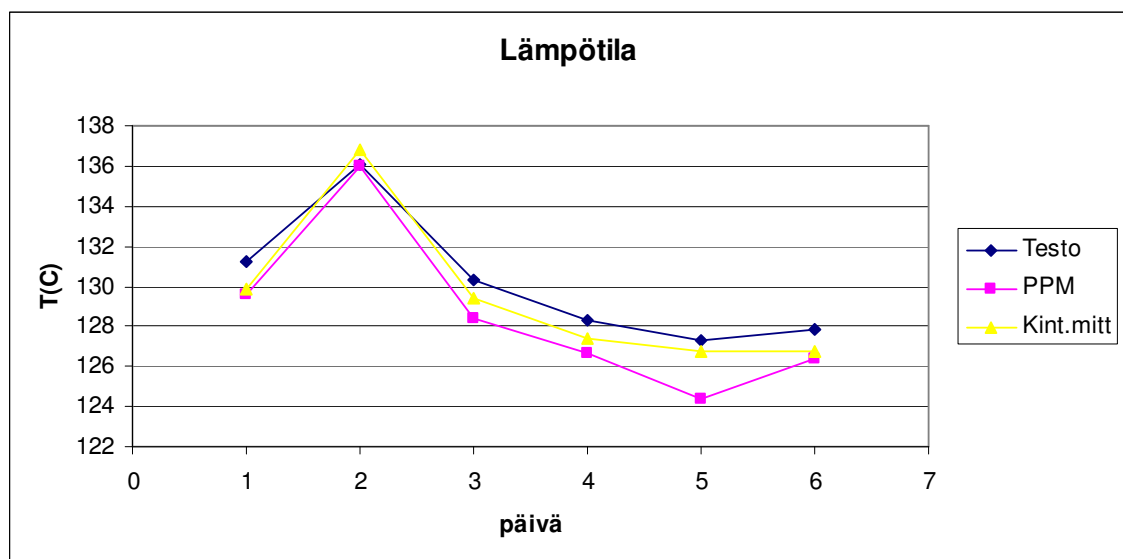
Kuva 19. TOC-pitoisuus mittauspäivinä 1-6.

Taulukko10. TOC-pitoisuudet mittauspäivinä 1-6.

Päivä	Kiint.mit	PPM
1	1,711886	0
2	1,664821	0
3	1,352704	0
4	1,588011	0
5	1,718558	0
6	1,774095	0

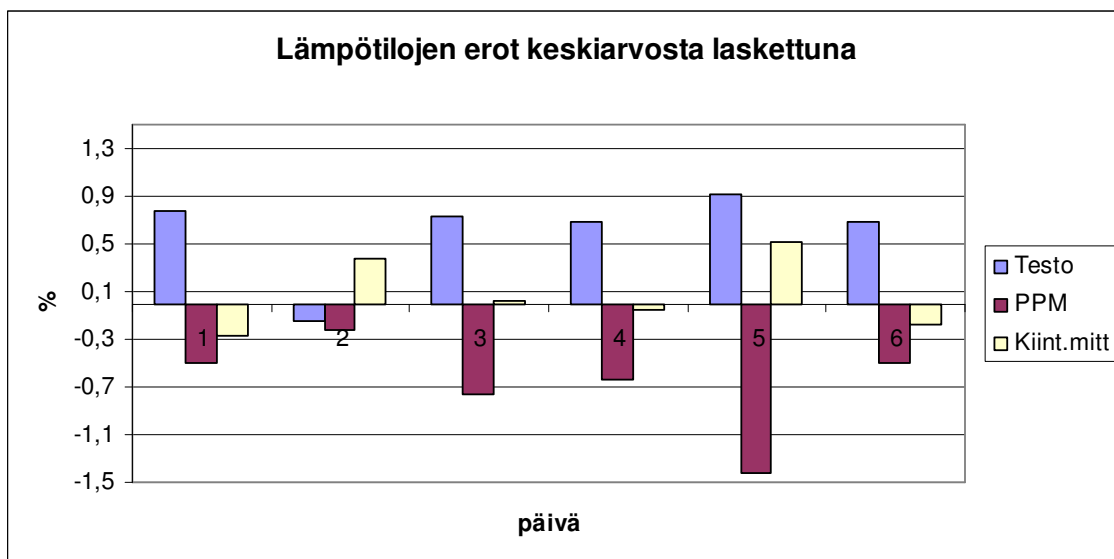
### 8.1.6 Lämpötila

Kyseisistä mittausten tulokset on esitetty kuvassa 20 ja liitteessä 17. Mittaustuloksista tehtiin tilastollinen tarkastelu ANOVA-analysoinnilla. Analyysin merkitsevyydeksi saatiin 0,002, joka on pienempi kuin 0,05:n merkitsevyytaso. Erot ovat siis hieman tilastollisesti merkitseviä. Kuvasta 21 nähdään mittaustulosten laitekohtaiset erot keskiarvoista laskettuna. Liitteessä 17 nähdään mittaustuloksien regressiosuora, jossa korrelaatiokertoimet ovat 0,98, 0,94 ja 0,98. Laitteilla ei ole suurta eroa.



Kuva 20. Lämpötila mittauspäivinä 1-6.





Kuva 21. Lämpötilojen erot keskiarvosta laskettuna.

### 8.1.7 Tiheysarvo

Laskennallisesti määritettiin tiheysarvon ratkaisemiseksi kaava 19. Manuaalissa olevat luvut syötettiin Matlab-tietokoneohjelmistoon, josta saatiin seuraavat yhtälön kertoimet kolmannen asteen yhtälölle. Muodostettiin kertoimista yhtälö. Testattiin yhtälön toimivuutta itse manuaalilla arvoilla.

$$z = 20 - 0,3x + 0,11y \quad (19)$$

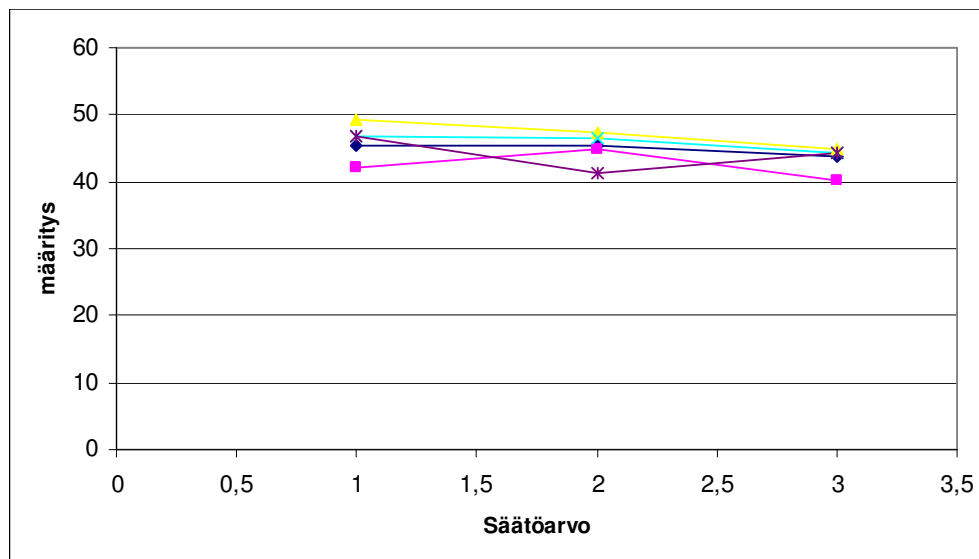
$z$  = laitteeseen syötettävä tiheys-arvo

$x$  = lämpötila (°C)

$y$  = paine (mbar)

Lisäksi määritettiin kokeellisesti arvoa mittaamalla mittalaitteella savukaasupiipulla. Analysointilaitteen näyttöön laitettiin eri tiheysarvot 80,85 ja 90. Suoritettiin mittauksia kyseisillä arvoilla. Saatuja tuloksia verrataan kiinteidenmittalaitteiden arvoihin. Oletettiin, että parhaiten kiinteidenmittareiden mittaustuloksia vastaava arvon näytössä oleva tiheysarvo toimii parhaiten kyseisissä olosuhteissa.

Mittaukset tehtiin kolmessa eri tiheysarvopisteessä suorittaen rinnakkaiset mittaukset. Mittauksista saatiin seuraavat virtausarvot (LIITE 18). Mittaustuloksista tehtiin tilastollinen tarkastelu yksisuuntaisella ANOVA-analysoinnilla. Analyysin merkitsevyydeksi saatiin 0,23, joka on suurempi kuin 0,05:n merkitsevyytaso. Tiheysarvon säätämällä ei siis ole tilastollista merkitsevyyttä. Kuvasta 22 nähdään, että säätöarvojen suhteet eivät vaihtele suuresti.



Kuva 22. Säädettyjen tiheysarvojen 80, 85 ja 90 keskinäiset suhteet.

### 8.1.8 Tilavuusvirtaus

Virtausnopeusmittausarvot on muunnettu taulukossa 12 tilavuusvirtauksiksi kertomalla piipun pinta-alalla (taulukko 11).

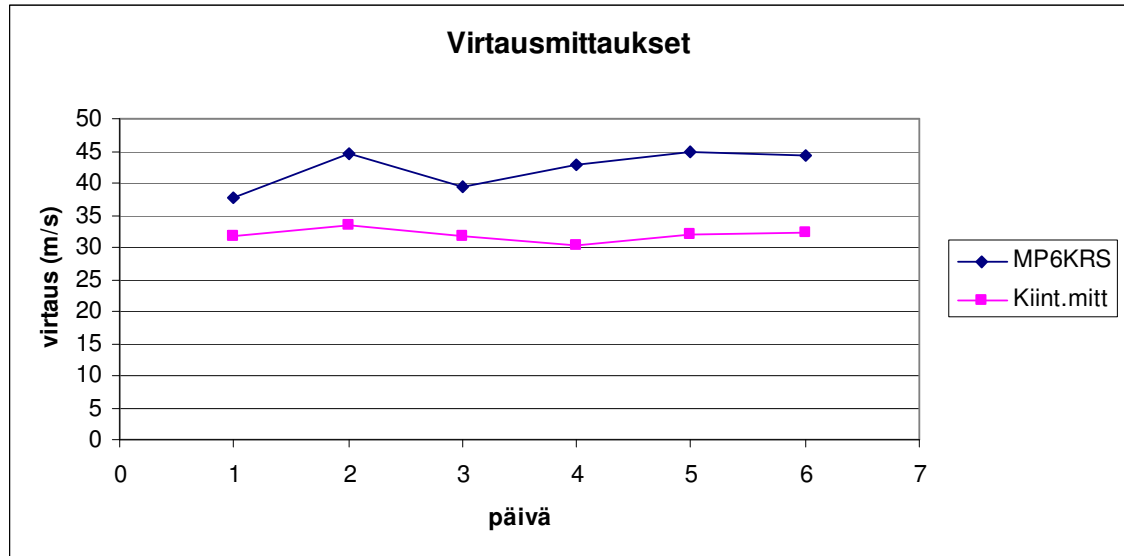
Taulukko 11. Jätelaitoksen piipun säde  $r$  ja pinta-ala  $A$ .

$r$	
	0,85
$A$	
	2,269801

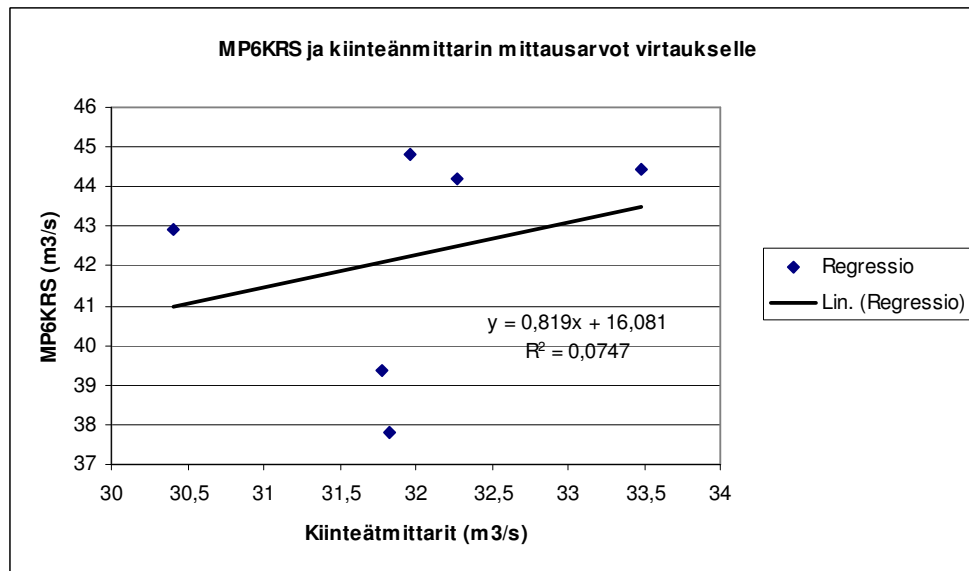
Taulukko 12. Saadut mittaustulokset (m/s) ja muunnetut ( $m^3/s$ ).

m/s	( $m^3/s$ ).
16,65	37,80
19,58	44,44
17,34	39,35
18,92	42,94
19,73	44,79
19,47	44,19

Mittaustulokset on esitetty liitteessä 19 ja kuvassa 23. Mittaustuloksista tehtiin tilastollinen tarkastelu ANOVA-analysoinnilla (LIITE 19). Analyysin merkitsevyydeksi saatiin 0,0003, joka on pienempi kuin 0,05:n merkitsevyytaso. Erot ovat siis tilastollisesti merkitseviä. Laitteilla on eroa. Kuvassa 24 nähdään mittaustuloksien regressiosuora, jossa korrelaatiokerroin on 0,07.



Kuva 23. Virtaus mittauspäivinä 1-6.



Kuva 24. Regressiosuora virtausmittauksien mittausarvoille.

## 9. Yhteenveto

Riihimäen tuotantolaitos koostuu neljästä jätteenpolttolinjasta. Kyseisistä polttoprosesseista syntyy päästöjä, joita laitoksella tarkkaillaan jatkuvatoimisilla päästömittausjärjestelmillä. Päästömittaukset keskittyvät savukaasujen komponentteihin. Päästövalvonta koostuu ympäristöluvan mukaisista jatkuvatoimisista päästömittausjärjestelmistä, joiden toimintaa varmistetaan sekä manuaalisilla mittauksilla että jatkuvatoimisilla vertailumittauksilla. Järjestelmillä valvotaan ympäristön tilaa.

Päästötarkkailussa polton päästöjä valvotaan jatkuvatoimisin mittauksin. Vuosittain suoritetaan ulkopuolisen mittaajan suorittamat vertailumittaukset. Laboratorion omalla kenttälaitteistolla hoidetaan yksittäiset vertailumittaukset sekä tarvittavat lisämittaukset.

Kenttämittalaitteisto koostuu TESTO 300M-, PPM 960 IRC- ja MP6KRS-mikromanometrianalysointilaitteista. TESTO 300M -analysointilaitteella mitataan happea, hiilidioksidia ja -monoksidia. PPM 960 IRC -analysointilaitteella mitataan happea, hiilidioksidia ja monoksidia, typpimonoksidia ja orgaanisia hiiliyhdisteitä. MP6KRS-mikromanometria käytetään virtausmittauksiin.

Kenttämittalaitteistolle laadittiin tai päivitettiin analyysiohjeet. Lisäksi suoritettiin käyttöönottoon liittyvät tarvittavat huollot, kalibroinnit sekä koulutettiin henkilökuntaa käyttämään laitteistoa.

Laitteistoa tulisi testata testikaasuilla tietyin väliajoin, jotta varmistuttaisiin laitteiston toiminnasta. Suosittelisin, että laboratorion kenttämittalaitteisto testataan tietyin väliajoin kalibrointikaasuilla.

Mikromanometria käytettäessä tiheysarvon säätämällä ei ole suurta vaikutusta mittaustuloksiin tilastollisen tarkastelun perusteella. Suosittelisin kuitenkin, että arvo säädetään veden tiheyteen normaaliolosuhteissa piipulla mitattaessa.

Mittaustulosten tilastollisella tarkastelulla saatiin pääsääntöisesti huonoja tuloksia. Tilastollisessa tarkastelussa ilmeni ANOVA- ja regressio-analyysien tuloksien välillä ristiriitaa. Laitteet ovat kuitenkin käyttökelpoisia valmistajien testien perusteella, joissa laitteet on huollettu

ja kalibroitu testikaasuilla. Myös Ekokemin omilla ostetuilla testikaasuilla saatiin hyviä tuloksia. Luotettavamman tilastollisen tarkastelun saamiseksi tulisi suorittaa lisää mittauksia ja laajemmalla mittausalueella.

## Lähteet

1. Ympäristönsuojelutekniikan perusteet. Painosalama Oy 2000, s.8-10, s. 41- 61
2. Hahkala, Matti -Lumme, Eija -Laine, Kari: Ilmansuojelu. Teknillisen korkeakoulun Täydennyskeskus. Espoo: 1990.
3. Mortimer Charles E. Kemia. Jyväskylä: Gummerus 1997.s.103- 120.
4. Seppänen, Raimo- Tiuhonen, Seppo -Wuolijoki, Hilikka- Kervinen ,Martti -Smolander, Juhani- Haavisto, Anja- Karkela, Eeva- Varho, Kimi: MAOL- taulukot. 2 uudistettu painos, Keuruu: Otava 2000
5. Seppänen Harri: Ympäristönsuojelutekniikan perusteet. Otatieto 1991.
6. Rintala, Jukka -Sormunen, Kai – Einola, Juha- Lähtelä, Juha- Rasi, Saija. Kaatopaikkojen kaasupäästöt ja niiden hallinta. Ympäristö- ja terveystieteiden lehti 37:2006 s.56-59.
7. Mäki, Timo ja Posio, Jani: Savukaasumittaukset. Raportti B no. 51. Maaliskuu 2004.
8. Kiiski, Harri: Polttolaitosten päästöjen viranomaisraportoinnin uudistaminen. Diplomityö. Lappeenrannan teknillinen yliopisto. 2005.
9. Ihalainen, Esa: Ympäristönsuojelutekniikan perusteet. Painosalama Oy 2000, s.8-10, s. 41- 61
10. Kapanen, Heikki: Manuaalisten savukaasumittausten kehittäminen. Insinööri. Mikkelin ammattikorkeakoulu. Ympäristötekniikan koulutusohjelma. 2005.
11. Teollisuuden ympäristönsuojelun käsikirja. Teollisuuden keskusliiton julkaisu 1992.
12. Ongelmajätteiden käsittelyprosessit. (WWW- dokumentti.) Ekokem Oy.  
[http://www.ekokem.fi/portal/fi/ekokem-yhtiot/kasittelyprosessit/ongelmajatteiden\\_kasittelyprosessit](http://www.ekokem.fi/portal/fi/ekokem-yhtiot/kasittelyprosessit/ongelmajatteiden_kasittelyprosessit). Luettu 18.8.2008.
13. Jätevoimala uutta voimaa ja lämpöä. Ekokem oy Ab. Esite. 2008.
14. Kainulainen, Tommi: Kaasujen elektroninen tunnistaminen ja ympäristönvalvontajärjestelmät. Ympäristö- ja terveys lehti 8:2002, s. 30- 32.
15. Hannola, Mikko: Monipolttoainekattilan päästöjen tarkkailu ja raportointi. Diplomityö. Lappeenrannan teknillinen yliopisto. 2007.
16. Hietaniemi, Lauri ja Lehto Ari: Ympäristömittausten automatisointi- ja kehittämistarpeet Suomessa. Teknologia katsaus 117/2001. TEKES.
17. Ekokem OY AB:n ympäristö ja yritys vastuuraportti. Ekokem OY AB:n ympäristö ja yritys vastuuraporttityöryhmä. 2007
18. Sahlberg, Sari: Standardeista nostetta ympäristöasioiden hallintaa. Ympäristö- ja terveys lehti 5:2008, s.33-47.

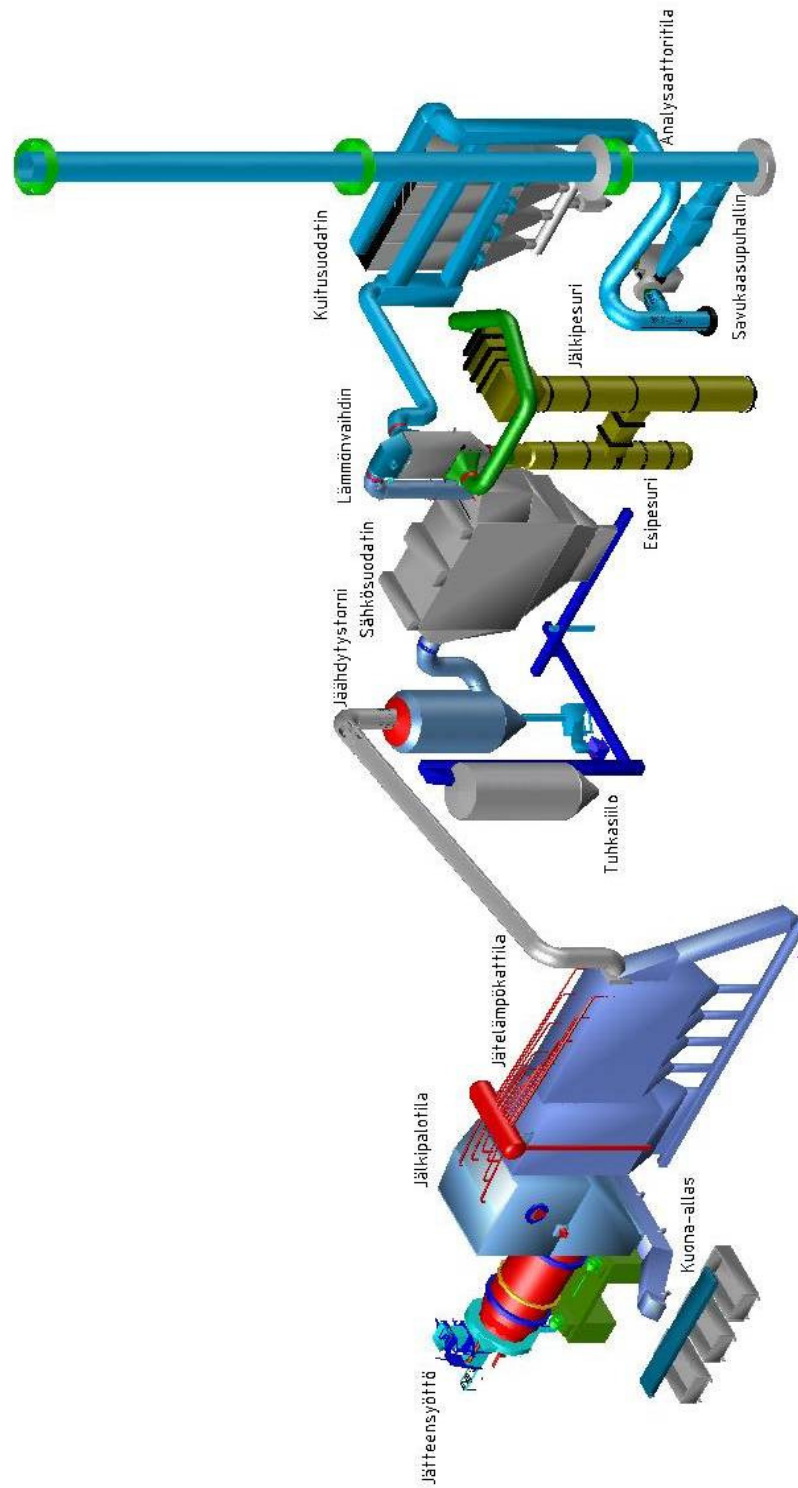
19. Wilen, Karl & Jokiniemi, Jorma: Jätteenpolton pienhiukkaset. Ympäristö- ja terveys lehti 10: 2005, s.28- 32.
20. Ilmansuojelu. (WWW-dokumentti). Ekokem Oy. [www.edilex.fi/ekokem/fi/](http://www.edilex.fi/ekokem/fi/) .Luettu 11.8.2008.
21. Lainsäädännön seuranta. Ekokemin tietokanta järjestelmä. Luettu 20.8.2008.
22. Eerola, Susanna: Jäljitettävyyden, menetelmävalidoinnin ja epävarmuusarvio määrittävät mitausten luotettavuutta. Ympäristö- ja terveys lehti 3-4;2008 s.18- 24
23. Pellikka, Tuula: Laadunvamusstandardin EN-14181-kansallinen tulkinta. Kurssimateriaali. XVII valtakunnalliset päästömittaajapäivät 10–11.4.2008, Lahti.
24. Saares, Riitta: Päästömittaukset ja akkreditointi. Kurssimateriaali. XVII valtakunnalliset päästömittaajapäivät 10–11.4.2008, Lahti.
25. Kaila, Minna: Ympäristömittaukset ja näytteet, Ekokemin tietokantajärjestelmä. Luettu 20.8.2008.
26. PPM 960 IRC kannettava savukaasuanalysointilaitteisto. Ohjekirja. PPM -Systems OY.
27. Virtaus. (WWW-dokumentti.).  
[http://www.tp.spt.fi/~salabra/automaatio/ProsSim/Doc/Sensors/Virtaus.html#\\_Toc174184455](http://www.tp.spt.fi/~salabra/automaatio/ProsSim/Doc/Sensors/Virtaus.html#_Toc174184455)  
. Luettu 25.8.08
28. Torvela, Heikki: Päästönmittausten perusteet. Helsinki: Painatuskeskus Oy 1993.
29. Testo 300M. Ohjekirja. 30.
30. Testo-savukaasuanalysointilaitteistot polttinhuoltoon ja säätöön. Ohjekirja. Humitec Oy.
31. Sarka, Matti, asiantuntija, Humitec Oy: suullinen tieto 13.8.2008.
32. Practical Handbook; Heating measurement technology. Ohjekirja. Testo. 3<sup>rd</sup> edition.
- 34 MP Series 4 Autozero digital micromanometer, User Manual, Publication No. 059-0080-00 Issue 3, May 1994. 37.
35. Hautala, Mikko ja Peltonen, Hannu: Insinöörifysiikka 1. Lahden Teho-opetus Oy, s.118
36. Pitot-putki. (WWW-dokumentti.) <http://fi.wikipedia.org/wiki/Pitot-putki>. Luettu 18.8.2008.
37. Hengitettävät hiukkaset ja niiden jatkuvatoimisten analysointilaitteiden vertailu. Ympäristötoimisto. Muistio. Pääkaupunkiseudun yhteistyövaltuuskunta. 1994.
38. Hengitettävät hiukkaset (PM<sub>10</sub>) pääkaupunkiseudun. Pääkaupunkiseudun yhteistyövaltuuskunta ympäristötoimisto. YTV, 1994.
39. De Nevers, Noel: Air Pollution Control Engineering. Second Edition. Utah. McGraw-Hill 2000.

40. Laitinen, Risto & Toivonen, Jukka: Yleinen ja epäorgaaninen kemia. Helsinki. Otatieto, 2004.
41. Päästömittaustekniikan perusteet. Päästömittausten käsikirja 1. Työryhmä. VTT. 2007.
42. Davis, Mackenzie L. & Cornwell, David A.: Environmental Engineering. Fourth Edition. USA. MiMcGraw- Hill, 2008.
43. Kajolinna, Tuula -Puustinen, Harri- Pellikka, Tuula: Päästömittausryhmien väliset savukaasujen vertailumittaukset ja kiinteästi asennettujen päästömittalaitteiden toiminnan laadunvarmistus referenssimenetelmien avulla. Tutkimusraportti. VTT. 2007.

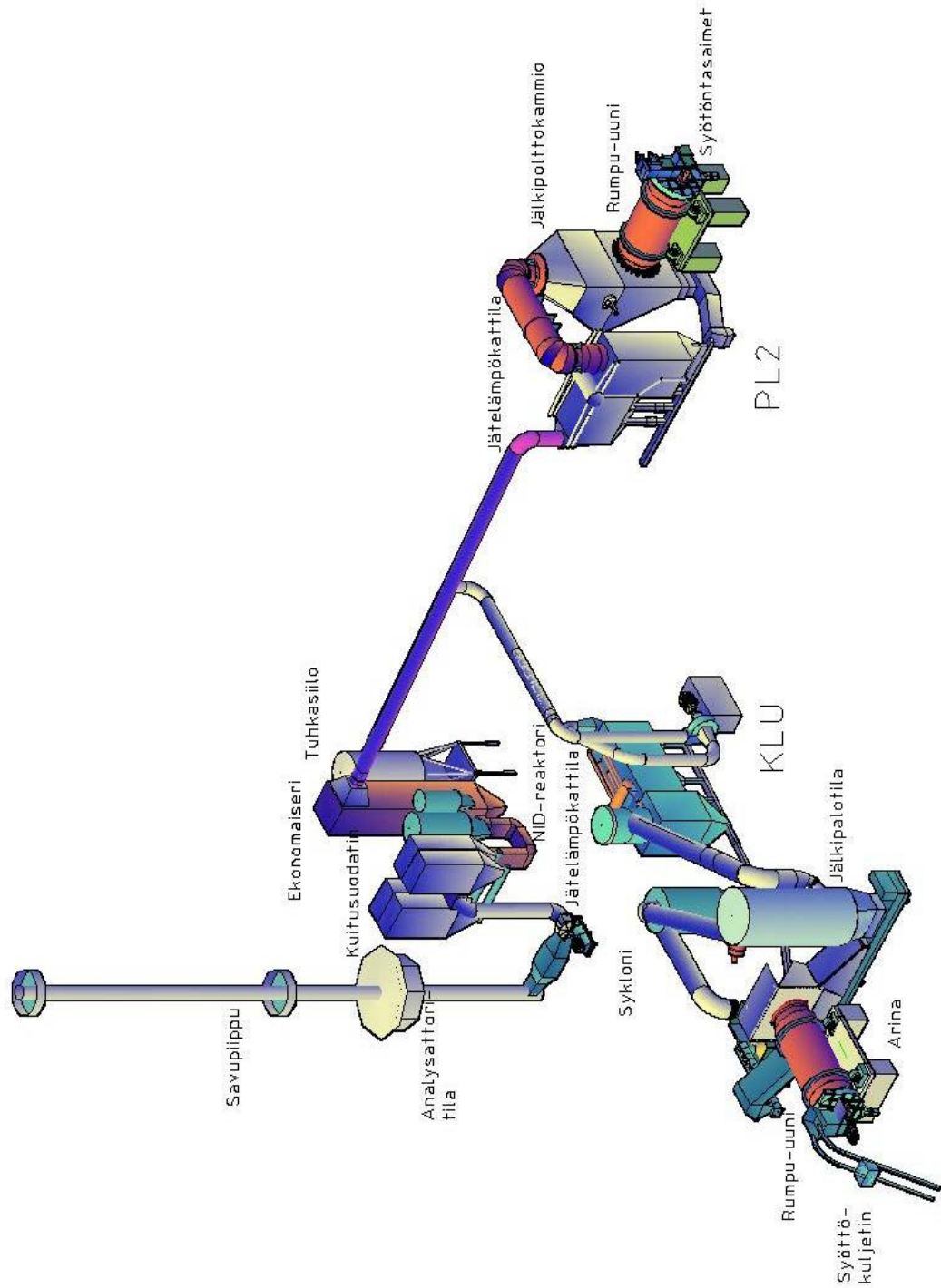


# Liitteet

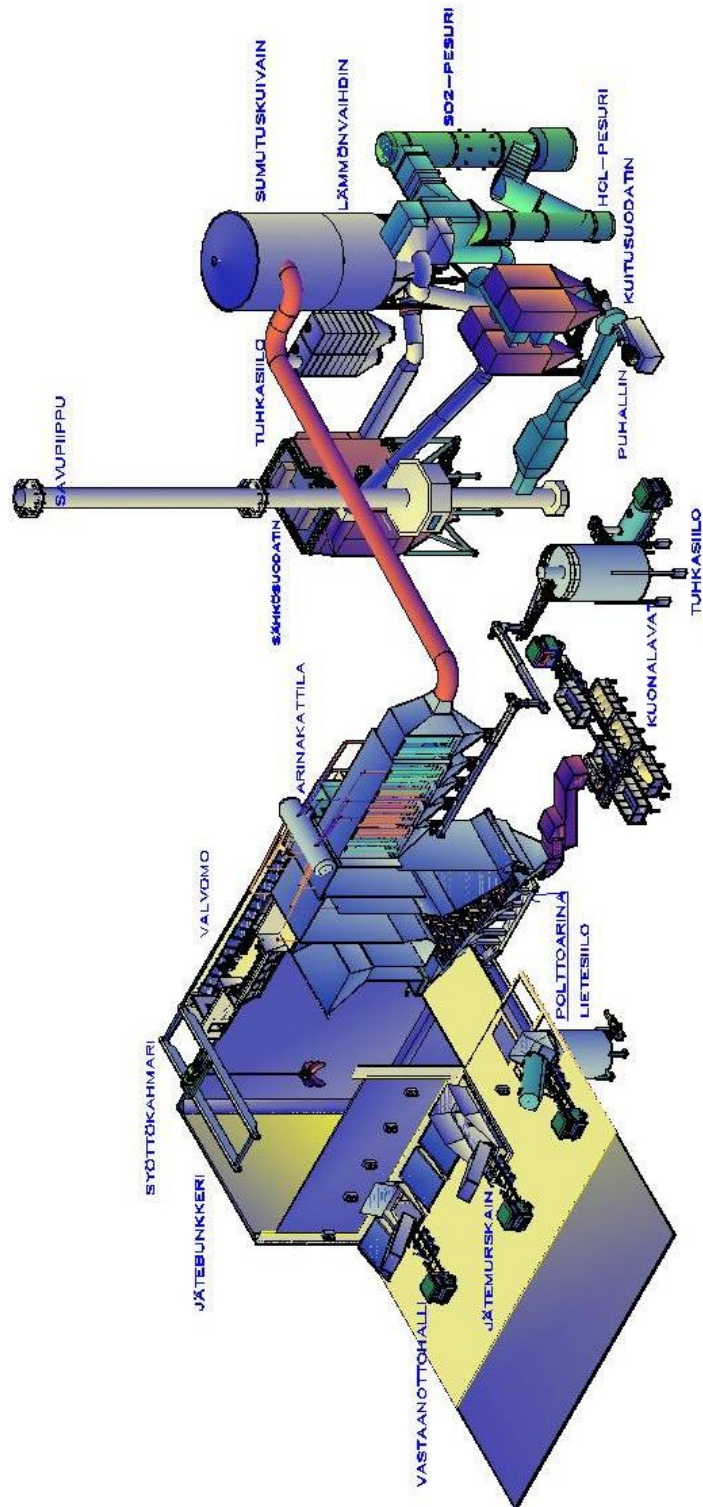
## Liite1: Polttolinja 1.



## Liite 2: Polttolinja 2.



Liite 3: Jätevoimalan polttolinja.



## **Liite 4: Testo 300M -analysaattorin analyysiohje.**

Aihe: Kaasumaisten komponenttien mittaus TESTO 300M -analysaattorilla

### **0 KANSILEHTI**

#### **0.1 MENETELMÄN SOVELTUVUUS**

Tämä ohje on laadittu kaasumaisten komponenttien CO, CO<sub>2</sub> ja O<sub>2</sub> sekä lämpötilan ja paineen mittaukseen TESTO 300M -analysaattorilla.

Analysaattorivalmistajan antamat mittausalueet:

CO <sub>2</sub>	0 – 20,5 % *)
O <sub>2</sub>	0 – 21 %
CO	0- 8000 ppm

\*) Laitteeseen asennettujen kalibrointikaasujen maksimipitoisuudet määräävät ylärajat.

Lämpötila 0- + 500 °C

Paine +/- 80 mbar

#### **0.2 LÄHDE**

Analysaattorin laitekortti TEA 266.11

Analysaattorin käyttöohje

#### **0.3 PERIAATE**

Mittausperiaatteet:

- O<sub>2</sub>, CO: sähkökemiallinen kenno
- CO<sub>2</sub>: laskennallinen O<sub>2</sub>-pitoisuudesta

#### **0.4 POIKKEUKSET**

### **1 HÄIRIÖTEKIJÄT**

### **2 REAGENSIT**

Kalibrointikaasu CO:lle

Laitteeseen asennetut kalibrointikaasut eivät saa olla < 500 ppm, sillä se voi johtaa korkeampien mittausalueiden epätarkkuuksiin.

### **3 LAITTEET JA VÄLINEET**

Tarvittavat laitteet mittausta varten:

- TESTO 300M -analysaattori
- anturi ja näytteenottoletkut
- kaasukuivain, virtalähde ja virtajohdot tai suodatinputki
- virtajohdot
- IR -tulostin
- kuljetuslaukku ja suojakotelo
- jatkojohto
- tulostin

## 4 TYÖTURVALLISUUS

- Varo työskennellessäsi kuumia metallipintoja.
- Noudata varovaisuutta ja käytä asianmukaisia suojaimia.
- Varo pudottamasta työvälineitä alas mittaustasolta.
- Pääkallomerkin vilkkuessa näytöllä on myrkytyksen vaara suuri.
- Vuoromestarille on ilmoitettava etukäteen piipuilla ja prosesseissa suoritettavista mittauksista.

## 5 NÄYTTEEN ESIKÄSITTELY (MITTAUS)

### 5.1 Valmistelut mittauspaikalla

#### Laitteiston asennus

- Mittauksissa käytetään aina kaasukuivainta, vain prosessimittauksissa käytetään suodatinputkea
- Kiinnitä anturista lähtevät näytteenottoletkut analysaattoriin, sininen paineletku, punainen kaasuletku ja musta lämpötila-anturi painamalla päät tiiviisti kiinni laitteeseen.
- Tarvittaessa analysaattorin ja kannettavan tulostimen saa laitteen takana olevien magneettien avulla metallipintaan kiinni.

#### Kaasukuivainta käytettäessä

- Jos mittauksessa käytetään kaasukuivatinta, tulee se kytkeä suodatinputken tilalle laitteen päissä olevista letkuista
- Kaasukuivain on aina oltava mittaustilanteessa kytkettynä virtalähteeseen toimiakseen.
- Irrota letkut kondenssisäiliön päistä
- Liitä kaasukuivain letkuihin kaasukuivaimessa olevan nuolen osoittaessa ylöspäin eli analysaattoriin päin, varmista kytkentä (väärin kytkettynä laite rikkoutuu)
- Liitä muuntaja pistorasiaan ja kaasukuivaimen
- Liitä lyhyt johto analysaattorin ja kaasukuivaimen välille. Punainen valo syttyy kaasukuivaimen, kun laite on kytkettynä virtalähteeseen.
- Käynnistä kaasukuivain päälle painamalla musta vipu 1 asentoon. Punaisen ja vihreän valon palaessa, voit aloittaa mittauksen. Jos vihreä valo ei pala, laite ei ole vielä valmis.

#### Suodatinputkea käytettäessä

- jos mittauksessa käytetään suodatinputkea, tulee se kytkeä kaasukuivaimen tilalle laitteen päissä olevista letkuista
- irrota letkut kaasukuivaimen päistä ja liitä kondensointisäiliö letkuihin kaasukuivaimessa olevan nuolen osoittaessa ylöspäin

## 5.2 Mittauksen suorittaminen

### 5.2.1 Kaasumaiset komponentit

#### Testo 300M -analysaattorin näyttö:

-Painamalla kaksi kertaa **OK**-näppäintä pääsee laitteen **päävalikkoon** ( siirtyminen ylös/alas **nuolinäppäimillä**)

- **S-vesi/ nokiluku** syöttöveden lämpötilan ja nokiluvun muuttaminen
- **Muisti** tallennetut/luodut tiedostot
- **Polttoaine** polttoainevalikko ja myös O2 ref ja CO2 max arvojen muuttaminen

### - Asetukset :

Painamalla **OK**-nappia asetuksen ollessa valittuna pääset:

- **Näytön as.** lisää ja poistaa mittaustaulukossa näkyviä parametreja/arvojen yksiköitä
- **Mittayks.** muuttaa mittayksiköitä mm. lämpötilalle
- **Päivä/aik** muuttaa päivämäärää ja kellonaikaa
- **tulostin** tulostaa ja muuttaa rivitekstien ominaisuuksia
- **taustavalo** valita tausta valo automaattisesti päälle tai ei
- **NO<sub>2</sub>- lisäys** voidaan muuttaa laskennallista NO<sub>2</sub> lisäys- arvoa, suositus 5 %

### - Aputoiminnot:

Painamalla ok- nappia aputoimintojen ollessa valittuna, pääset;

- **Yläraja CO, NO** pääsee muuttamaan arvojen rajoja
- **Toimintarajat** voltit:4,9, mit: 23,7 astetta, h:6
- **Tyhjennä muisti** voidaan tyhjentää muistista arvot, kaikki tiedot tai perua toiminto
- **Kalibrointi** voidaan kalibroida CO ja NO
- **Baudinnopeus** valitaan haluttu tiedonsiirtonopeus

Mittaus Testo 300M -analysointorilla

- Kytke mittalaite päälle painamalla **1/0**-näppäintä, jolloin näyttöön tulee teksti ”**Tarkistaa**”. Laite suorittaa aina jokaisen käynnistyskerran jälkeen 60 s alkutestin, jolloin se tarkistaa akkujen tilan.
- Laite siirtyy automaattisesti **mittausohjelma**-valikkoon, valitse **raskasöljy**-ohjelma ja paina **ok**.
- Paina **ok** näppäintä niin että pääset päävalikkoon. Valitse nuolinäppäimillä **muisti** ja paina **ok**.
- Luo valmiiksi tiedosto painamalla kohtaa **uusi**. Näyttöön ilmestyy merkkitaulu, jossa voit liikkua kaikilla nuolinäppäimillä. Valitse haluamasi merkki ja paina **lisää**. Voit myös poistaa merkkejä painamalla **poista**. Kirjoittamisen valmistuttua paina **ok**.
- Voit myös halutessasi valita aiemmin luodun kansion. Valitse haluamasi kansio ja paina **ok**.
- Näyttöön ilmestyy mitattavat arvot kolmella eri sivulla, joita voit kelata ylä/alas -nuolinäppäimillä.
- Aseta anturi mittauskanavaan virtauksen keskelle ja paina **start**. Mittauksen aikana voit hakea mittaustuloksia näytölle ylös/alas nuolinäppäimillä
- Mittaustuloksien vakiinnuttua pysäytä mittaus painamalla **lopeta**. Poista anturi pois savukanavasta.
- Kirjaa haluttu/ halutut arvot ylös ja tallenna tiedot painamalla **muisti** näppäintä ja tulosta tarvittaessa.
- Mittauksen jälkeen tulee mittauskennoja huuhtoa raikkaalla ilmalla. Käynnistä mittaus raikkaassa ilmassa ja pidä se niin kauan, kunnes O<sub>2</sub>-taso on yli 20.0 % ja CO-arvo alle 50 ppm.
- Kun lopetat mittaamisen. Paina **1/0**-nappia, jolloin ohjelma sulkeutuu ja näyttöön tulee: ”**Virta katkeaa hetken kuluttua.**”
- Sammuta kaasukuivain painamalla musta vipu O-asentoon

### 5.2.2 Paineen, paine-eron ja lämpötilan mittaus

Laitteen käynnistysvaiheessa tapahtuva painen tai paine-eron mittaus:

Mittaus ei saa kestää yli 5 minuuttia kerrallaan, sillä arvot ovat silloin toleranssin ulkopuolella. Mittauksen kestäessä yli 5 minuuttia palaa takaisin nollakohtaan asetuskohtaan.

Paine-ero mitataan erikseen laitteen käynnistys vaiheessa painamalla **ΔP**-näppäintä. Laitte pyytää asettamaan 0- paineeseen anturin eli huoneilmaan. Paina **OK**, kun anturi on asennettu. Seuraavaksi laite mittaa paine-eron ja 0-paineen asetuksen 8 s. Laitte pyytää hyväksymään paineen. Paina **ok**. Aseta anturi savukaasuun. Näyttöön ilmestyy paine-ero. Anna arvon vakiintua näyttöön. Kirjaa arvo ylös. Paina lopeta kohtaa.

Paineen mittaaminen:

Paine voidaan mitata ennen tai jälkeen mittauksen:

Valitse alustusvaiheen ja nimeämisen jälkeen mittausvalikosta haluamasi ohjelma. Älä käynnistä mittausta vaan paina näytön oikeassa kulmassa olevaa **hPa/T** nappia. Ohjelma pyytää poistamaan sondin savukanavasta eli mittaamaan huoneilman paineen. Paina **ok** sondin ollessa huone-ilmassa. Laitte mittaa paineen 3 s:ssä. Laitte automaattisesti seuraavaksi pyytää asettamaan sondin savukanavaan. Aseta sondi savukanavaan. Paina **ok**. Näyttöön ilmestyy paine-ero. Anna arvon vakiintua näyttöön. Kirjaa arvo ylös. Paina **lopetä** kohtaa.

Laitte ilmoittaa onko kyseessä ali- vai ylipaine. Positiivinen lukuarvo on ylipaine ja negatiivinen alipaine. Laitte palautuu mittausvalikkoon tai alustusvaiheeseen, ilman mittauksia.

### 5.3 Mittauksien tallentaminen ja tulostaminen

#### Mittauksien tallentaminen

- Voit tallentaa mittauksien painamalla **muisti** näppäintä.
- Mittauksien tallentamisen voit tarkistaa painamalla kaksi kertaa **ok** näppäintä, jolloin pääset valikkoon. Valitse sieltä muisti ja paina **ok**. Näyttöön ilmestyy kaikki mittauksien tiedot.
- Sammuta savukaasukuivain
- Pura laitteisto.

#### Mittauksien tulostaminen

Varmista että printerissä on virtaa. Paina printeri päälle **1/0**-napista.

Heti mittauksen jälkeen tapahtuvassa printtauksessa paina **printerin kuva** nappia, jolloin printeri tulostaa mittauksien. Myöhemmin voi tulostaa valitsemalla muistista haluttu mittauksien ja mittaus numero. Painamalla **tulostusnappia** printeri tulostaa valitun mittauksien.

Mittauksien tuloksissa esiintyvät katkoviivat kertovat että kyseisten aineiden pitoisuuksia ei ilmentynyt.

### 5.4 Mittauksen jälkeen

#### Veden/ kosteuden poisto kaasukuivaimesta ja suodatinputkesta

- Mittauksen aikana suodatinputkeen tai kaasukuivaimen tuleva veden määrä ei saa ylittää putkessa olevaa maksimi- viivaa.
- Jos vesi määrä ylittää putken maksimi- viivan, tulee mittaus keskeyttää ja vesi poistaa kaatamalla.
- Jokaisen mittauksen jälkeen tulee kaasukuivain ja suodatinputki tarkistaa veden ja kosteuden takia.
- Suodatinputken suodattimen ollessa märkä, tulee suodatin poistaa vetämällä ja kuivata se.

- Vesi poistetaan avaamalla suodatinputkisäiliössä molemmat päät ja kaasukuivaimessa vain lyhyempi pää avaamalla ja kaatamalla vesi pois.

## 5.6 HUOLTO

### Kaasukuivaimen ja kondenssisäiliön suodattimien vaihto

- Laitteiden suodattimen osia vaihdetaan, kun keltaiset osat (kondensointisäiliö) ja valkoinen osa (kaasukuivain) ovat tummuneet harmaiksi tai mustiksi.
- Kondenssointisäiliössä molemmat päät saa avata, kaasukuivaimessa vain lyhyemmän päänsä avata.
- Osien vaihto tapahtuu kiertämällä putken suodatinpää auki käsin, jolloin auki haluttu pää tulee ulos putkesta.
- Keltaisen/valkoisen suodattimen päälle jää vielä suojakuppu, joka poistetaan kiertämällä niin että koko yksikkö irtoaa letkun päästä.
- Oranssilla avaimella irrotetaan keltainen/valkoinen suodos-osa. Kiertämällä oranssin avaimen aukkoon ja vetämällä nuolen osoittamaan suuntaa pala irtoaa.
- Poista pala avainta käyttäen putkesta.
- Vaihda uusi pala takaisin putkeen.

Kierrä suojakuppu takaisin letkun päähän. Kierrä pää takaisin putkeen kiinni.

Sidoksia tulee rasvata tietyin väliajoin, jotta osat saa vaivattomasti auki.

### O<sub>2</sub>-, ja CO -kennojen vaihto

Kennot tulee vaihtaa analysaattoriin, kun laite ilmoittaa virheviestillä vasemmassa kulmassa asiasta. Kennoja vaihdettaessa poistetaan mittaustilanteen suojakenno ja paristotilan kotelo. Suojakenno poistetaan seuraavasti. Irrota laitteen oikeassa yläkulmassa oleva hihnan pää pois painamalla sivuissa olevista paloista.

Työnnä laite ulos suojakotelosta. Avaa paristotilan kotelo. Irrota letkukiinnitykset, jotka johtavat käytettyyn kennoon. Irrota kenno analysaattorista. Aseta uusi kenno paikalleen piirilevyn mukaan ja yhdistä letku kytkennät uudelleen. Sulje paristotilan kotelo. Laite on käyttövalmis. Kirjaa laitteen kennojen vaihdot ylös laitekohtaiseen kansioon huolto kohtaan.

**HUOM!** Kun O<sub>2</sub>-kenno on vaihdettu, vaatii analysaattori 60 minuutin mukautumisen. Tuona aikana analysaattoria ei saa kytkeä päälle!

CO kennoa vaihdettaessa on uudesta kennosta poistettava ennen asennusta varsi.

Laitetoimittajan arvio happikennon käyttöiästä on 2- 3 vuotta.

### Savukaasuanturin puhdistus

- Poista anturin putki
- Laita se kuumaan veteen
- Puhalla ilmaa putkeen tai puhdistusta pyöröharjalla

## 6 MENETELMÄN LAADUNVALVONTA

### 7 KALIBROINTI

Laitteiston asennus:

- Asenna ja laita laitteisto päälle kuin mittaustilanteessa.
- Liitä rotometri ja T- liitin kaasupulloon.
- Liitä T-liittimestä lähtevä putki laitteen anturin päähän ja rotometrissä lähtevä putki kaasupulloon.



- Säädä virtaus rotaatiometrissä näyttämään 10 l/s säätelemällä kaasupulloa.
- Muista jättää ovi auki kalibroinnin ajaksi.

Testikaasuilla suoritettava varmistusmittaus:

- Suoritetaan normaali mittaus käyttäen testikaasuja (Katso kohta 5.2 Mittauksen suorittaminen)
- Määrittäysrajat testikaasuille +/- 2,02 %

Kalibroinnin suoritus:

- Paina kaksi kertaa **ok** näppäintä, jolloin pääset päävalikkoon. Valitse sieltä **aputoiminnot** ja paina **ok**.
- Valitse kalibrointi ja paina **ok**.
- Aseta oletettu arvo ja paina **start**.
- Aloita testikaasun syöttö.
- Kalibrointi voidaan pysäyttää 180 s aikana painamalla **stop** ja käynnistämällä uudelleen **startista**.
- Lopeta kalibrointi testikaasun syötöllä.
- Kalibroinnin vahvistetaan painamalla **ok** (peruutus tapahtuu painamalla **ESC**).

TESTO 300M – analysaattorin kalibrointitajuuus on määritelty laitekortissa.

## 8 SUORITUS

Mittausten suoritus on esitetty kohdassa 5.2 mittauksen suorittaminen.

## 9 TULOSTEN LASKEMINEN

Mittaustuloksen muuntaminen ja redusointi

- CO:n mittaustulokset voidaan muuntaa tarvittaessa ppm → mg/Nm<sup>3</sup> seuraavasti:

$m = \text{ppm} * (M/V_m)$ , missä

$m = \text{pitoisuus yksiköissä [mg/ Nm}^3]$

ppm = mitattu pitoisuus ppm-yksiköissä

$M = \text{CO:n moolimassa (28,00 g/mol)}$

$V_m = \text{CO:n moolitilavuus (NTP) (22,4 l/mol)}$

- CO:n mittaustulokset redusoidaan tarvittaessa haluttuun happipitoisuuteen seuraavasti:

mittaustulos \* ((21 - O<sub>2,red</sub>) / (21 - O<sub>2,mitattu</sub>)), missä

O<sub>2,red</sub> = happipitoisuus, johon tulokset halutaan redusoida (esim. 11%)

O<sub>2,mitattu</sub> = CO- mittauksen aikana mitattu happipitoisuus (%)

## 10 TOISTETTAVUUS; TARKKUUS JA MITTAUSEPÄVARMUUS

Analysaattorin valmistaja antaa analysaattorin tarkkuudeksi 0,02 % alueen päätearvosta.

## **11 TULOSTEN ILMOITTAMINEN**

- Excelissä lasketut tulokset syötetään Labmasteriin
- Mittauksesta saadut paperitulosteet arkistoidaan niille varattuun kansioon laboratoriossa.

## **12 HUOMAUTUKSET**

Mittauksen aikana saattaa ilmetä esimerkiksi CO<sub>2</sub> piikki, jolloin laite hälyttää. Tuolloin tulee mittaus keskeyttää ja poistaa sondi kanavasta pois. Laitteen kennoja huuhdellaan välittömästi vapaassa tilassa ulkona mittauskanavasta, niin että O<sub>2</sub>-taso on yli 20 % ja CO-arvo alle 50 ppm.

## Virheilmoitukset:

<b>VIRHEVIESTI</b>	<b>SYY/KORJAUS</b>
<b>T/C?</b>	1. Lämpötila-anturi ei ole kytketty 2. Lämpötila-anturia ei ole kytketty kunnolla. Lämpötila ja siitä lasketut arvot eivät mittaa, edelliset arvot listalla. Tarkasta kytkennät tai ota käyttöön uusi lämpötila-anturi.
<b>AT!</b>	Lämpötila-anturi on erillisen ympäristön lämpötilan mittaukseen viallinen tai käyttökelvoton. Viimeisin mitta-arvo on näytöllä. Varmista että anturi on ohjeiden mukaisesti asennettu.
<b>GT!</b>	Sallittu toimintalämpötila on ylitetty tai alitettu. Toimi sallituissa lämpötilarajoissa.
<b>O2!</b>	Nollapisteen mittaus ei ole stabiili. O2-kenno on vaihdettu, mutta ei ole odotettu 60 minuuttia. Sulje mittalaite ja suorita mukautumisvaihe.
<b>O2?</b>	O2-kenno on käytetty loppuun. Vaihda O2-kenno.
<b>CO!/NO!</b>	Nollapisteen mittaus ei ole stabiili. Alustusvaihe tulee ajaa useita kertoja.
<b>CO?/NO?</b>	1. Analysaattorissa on vielä savukaasua. 2. Mitatut pitoisuudet ovat olleet korkeita. 3. Alustusvaiheeseen on kulunut liian pitkä aika. 4. Kennoa ei ole huuhdeltu riittäväällä ilmalla viimeisen mittauksen jälkeen. Anturi on siirrettävä raikkaaseen ilmaa ja alustettava. Jos muutosta ei tapahdu, vika on kennoissa ja se on poistettava.
<b>UG?</b>	Analysaattorin teho on alhainen. Laite kytkeytyy pois päältä, kun teho on alle 4.4 V. Lataa akku tai kytke virtalähteeseen.
<b>NO tai CO (KEHYSTETTYNÄ)</b>	Mittausarvo ylittää raja-arvon. Poista anturi pois savukaasusta ja huuhtelee kennot raikkaalla ilmalla. Mittausta voi jatkaa, jos se on tarpeellista. <b>Mittauskennot ovat saattaneet tuhoutua tai vahingoittua!</b> CO tapauksessa, kaasukytkin voidaan asettaa asentoon O2/NO ja jatkaa mittausta.
<b>Pääkallonmerkki</b>	Mittausarvot ylittävät 500 ppm mitattaessa CO:a. <b>Myrkytyksen vaara!</b> Mittausarvon pudotessa alle 200 ppm viesti katoaa.
<b>Memory full Confirm with OK</b>	Tietoa ei voi tallentaa. Tuhoa tieto kokonaan tai osia siitä.
<b>??? % O2</b>	Kenno ei toimi. Laite ei ilmoita mitta-arvoa. Vaihda kenno.
<b>??? % CO2</b>	CO2 ei voida mitata, koska O2-kenno on viallinen tai käytetty loppuun. Vaihda O2-kenno.
<b>viivoja % CO2</b>	Happitaso on alle 20 % , jolloin CO2 ei ole (tai O2-kenno on viallinen).

## 13 KIRJALLISUUS

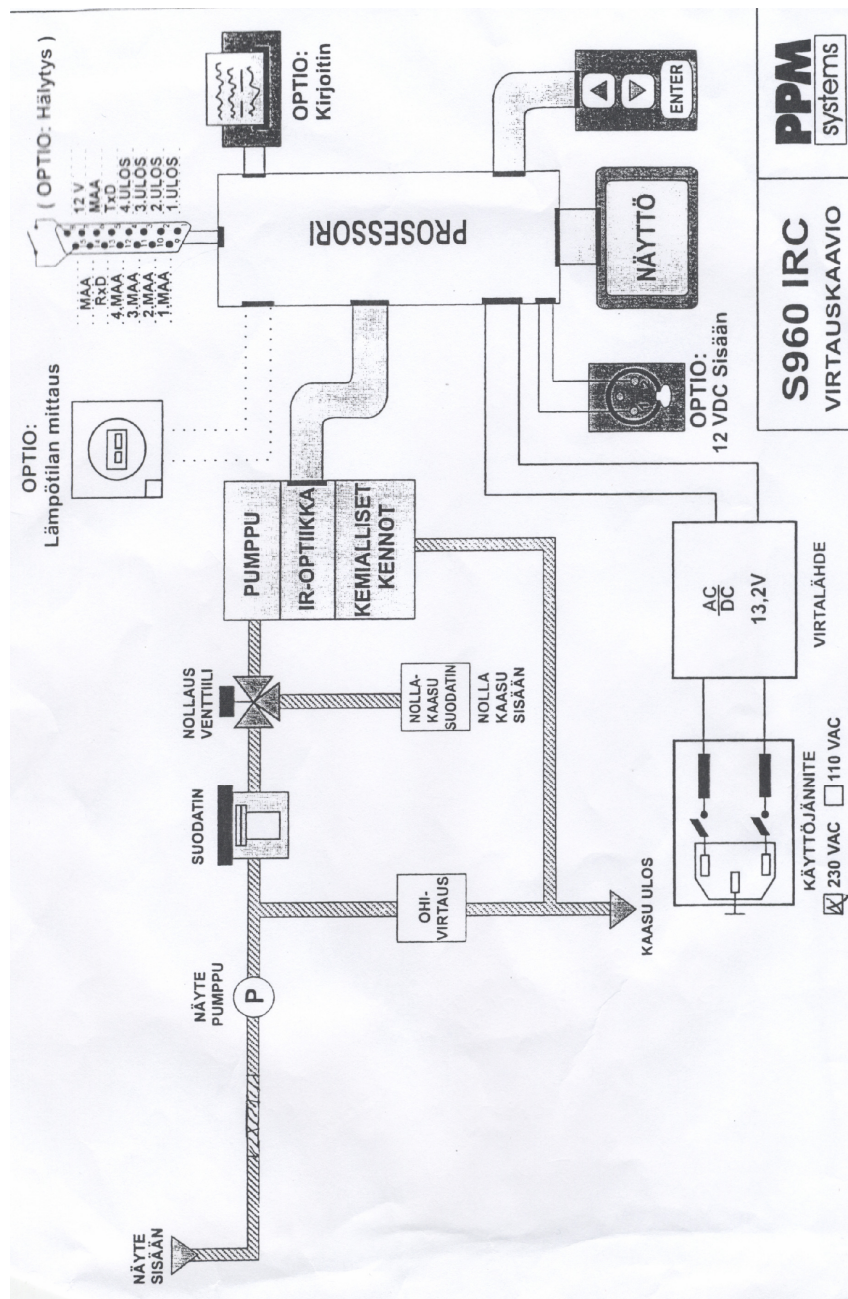
## 14 VIITTEET







Liite 8: IRC 960 PPM -analysoittorin virtauskaavio.



## Liite 9: PPM 960 IRC -analysointilaitteen päivitetty analyysiohje.

Aihe: Kaasumaisten komponenttien mittaaminen PPM 960 IRC -analysointilaitteella

Tarvitettavat laitteet mittausta varten:

- PPM 960 IRC -analysointilaitteisto
- näytteenottoimuletku
- lämpöanturi
- kannettava tietokone ja sarjakaapeli analysointilaitteelle
- virtajohdot
- (kalibroitaessa) rotametri ja t-haaraputki
- silikageelipullo
- pumppu

### TYÖTURVALLISUUS

- Varo työskennellessäsi anturin kuumaa metallipintaa
- Noudata varovaisuutta ja käytä asianmukaisia suojausvälineitä
- Varo pudottamasta työvälineitä alas mittaustasolta
- Vuoromestarille on ilmoitettava etukäteen piipuilla ja prosesseissa suoritettavissa mittauksissa
- Kalibrointia suorittaessa jätä kaasukeskuksen ovi auki

### MENETELMÄN LAADUNVALVONTA

#### KALIBROINTI

Laitteiston asennus:

- Asenna ja laita laitteisto päälle kuin mittaustilanteessa
- Liitä rotametri ja T-liitin kaasupulloon.
- Liitä T-liittimestä lähtevä putki laitteen anturin päähän ja rotatiometrissä lähtevä putki kaasupulloon.
- Säädä virtaus rotaatiometrissä näyttämään 10 l/s säätämällä kaasupulloa.
- Muista jättää ovi auki kalibroinnin ajaksi

Nollaus

- Ohjelma suorittaa pyydettyä nollauksen kaikille komponenteille ( ei lämpötilalle, O<sub>2</sub> 20,9 % ) automaattisesti ja samanaikaisesti
- nollausjakson koostuu 2 minuutin nollatutumisesta ja 2 minuutin toipumisesta, jolloin mittaustuloksia ei päivitetä ja näyttöruutu on harmaana
- nollauksen voi keskeyttää valikosta ”kesk.nollaus”-komennolla, jonka jälkeen ohjelma käyttää vanhoja nolla-arvoja

Kalibroinnin suoritus

- vie kohdistin Aluekalib- näytössä kalibroitavan komponentin kohdalle ja paina ENTER-näppäintä
- ohjelma siirtyy ikkunaan, jossa asetetaan haluttu kalibrointiarvo (= kalibrointikaasu pitoisuus). Pikakelaustoiminta saadaan painamalla samanaikaisesti ENTER- ja nuolinäppäintä. Hyväksy oikea kalibrointiarvo ENTER-näppäimellä, jolloin laitteen näyttöön tulee ”hyväksy enter”.
- syötä laitteelle antamasi pitoisuuden mukaista standardikaasua. Katso että lukema on pitoisuusarvoltaan +/- 20 % väliltä. Laite suorittaa kalibroinnin, tallettaa uudet odotusarvot ja on valmis mittaamaan toipumisajan jälkeen uusilla kalibrointiarvoilla.



- virhekalibrointi voidaan jättää hyväksymättä nuolinäppäimillä

PPM 960 IRC -analysointilaitteen kalibrointitaajuus on määritelty kalibroinnin seurantaohjelmassa





## Liite 12: MP6KSR-mikromanometrin analyysiohje.

Aihe: Virtauksen mittaus S-pitot-putkella ja MP6KSR-mikromanometri-analysaattorilla.

### 0 KANSILEHTI

#### 0.1 MENETELMÄN SOVELTUVUUS

Laitteella voidaan mitata painetta ja virtausta kanavassa.

Analysaattorivalmistajan antamat mittausalueet:

Virtaus	1,5 – 100,0 m/s
Paine	± 199.9 Pa
	± 1999 Pa
	± 6.00 kPa
	± 199,9 mm H <sub>2</sub> O
	± 600 mm H <sub>2</sub> O
	± 19,99 in H <sub>2</sub> O
	± 1,999in H <sub>2</sub> O

#### 0.2 LÄHDE

Analysaattorin laitekortti TEA 268 .11

Analysaattorin käyttöohje

#### 0.3 PERIAATE

Mittausperiaate:

-mikromanometri: Mittaa suhteellista painetta ulkoiseen paineeseen nähden. Yleensä käytetään putkea, jossa on elohopeaa. Putken toiseen päähän kohdistuu ilmanpaine ja toiseen päähän kaasun paine.

Nestepintojen korkeus ero  $\Delta h$  ja vallitsevan ilman paineen  $p_0$  avulla saadaan paine lausekkeesta

$$p = p_0 + \rho g \Delta h \quad (\text{Kaava 1})$$

missä

$\rho$  = tiheys

$\Delta h$  = korkeus ero

$p_0$  = ilman paine

$g = 9,81 \text{ m/s}^2$

-Pitot- putki: Putken mittaus perustuu kahteen samankeskiseen putkeen. Pitot-putkessa olevat reiät mittaavat kokonaispaineen ( $p_0$ ) ja staattisen paineen ( $p$ ), jolloin voidaan laskea paineiden erotuksesta dynaaminen paine ( $p_d$ ) (kaava 2) ja selvittää nopeus ( $v$ ) Bernoullin yhtälöstä (kaava 3).

$$p_d = p_0 - p \quad (\text{Kaava 2})$$

missä

$p$  = staattinen paine

$p_0$  = kokonaispaine

$p_d$  = dynaaminen paine

Bernoullin yhtälöstä saadaan:

$$v = \sqrt{\frac{2p_d}{\rho}} \quad (\text{Kaava 3})$$

missä  $v$  on nopeus [m/s]  
 $\rho$  on ilman tiheys [kg/m<sup>3</sup>]  
 $p_d$  on dynaaminen paine

Ilman tiheys riippuu paineesta ja lämpötilasta.

Yhdistämällä kaavat 1,2 ja 3 saadaan lopullinen kaava nopeudelle (kaava 4):

$$v_1 = \sqrt{\frac{2 * \rho_n * g * \Delta h}{\rho}} \quad (\text{Kaava 4})$$

missä  
 $p_n$  = paine-ero

## 0.4 POIKKEUKSET

### 1 HÄIRIÖTEKIJÄT

### 2 REAGENSIT

### 3 LAITTEET JA VÄLINEET

Tarvittavat laitteet mittausta varten:

- MP6KSR-mikromanometri
- S-mallin pitot-putki
- letkut

### 4 TYÖTURVALLISUUS

- Varo työskenneltäessäsi kuumia metallipintoja
- Noudata varovaisuutta ja käytä asianmukaisia suojaimia
- Varo pudottamasta työvälineitä alas mittaustasolta
- Vuoromestarille on ilmoitettava etukäteen piipuilla ja prosesseissa suoritettavista mittauksista
- Varo tallomasta mittauslaitteiston letkuja

### 5 NÄYTTEEN ESIKÄSITTELY (MITTAUS)

Valmistelut mittauspaikalla

Laitteiston asennus

- laita kirkas letku mittarin **signal In** -putkeen ja tumma letku **Reference** putkeen
- laita letkujen päät pitot-putken päihin: kirkas letku virtausta vastaan ja tumma myötävirtaan
- varmista että laite on vaakasuorassa
- Aseta tiheysarvo näyttöön
- Haluttu tiheysarvo asetetaan painelemalla + ja – nappeja

### Tiheys- arvon laskeminen

- Laitteessa voidaan korjata mittaustilanteessa esiintyvä kaasun tiheys. Oikealla arvolla saadaan oikea nopeus.
- Savukaasukanavassa mitattaessa käytetään arvoa 120 eli  $\rho = 1,29 \text{ kg/m}^3$
- Muissa tilanteissa ota selvää mittaolosuhteissa (Jatkuvatoimisista mittareista tai Testo 300M laitetta käyttämällä) esiintyvä kaasun **lämpötila** ja **paine** ja laske (kaava 5) kaasun tiheys. Kaava 5 perustuu laitteen antamiin taulukkoarvoihin, joissa esiintyy paine, lämpötila ja tiheys. Arvoista on tehty matemaattinen kolmannenasteen kaava.

$$z = 20 - 0,3x + 0,11y \quad (\text{Kaava 5})$$

z = laitteeseen syötettävä tiheys-arvo

x= lämpötila( °C)

y = paine (mbar)

### Näppäimet

- OFF** Sammuta-näppäin , käytetään Power Lock näppäimen ollessa pohjassa
- ON** Päälle-näppäin, käytetään Power Lock näppäimen ollessa pohjassa
- SLOW** Painamalla Slow näppäintä hidastuu asettumisaikaa painetta mitattaessa, slow tulee näyttöön
- FAST** Painamalla Fast näppäintä nopeutuu asettumisaika painetta mitattaessa, slow merkki lähtee pois näytöstä
- RANGE** Näppäimestä löytyy laitteen kahdeksan mittaussparametria. Valinta tehdään painamalla Range näppäintä sisää monta kertaa
- DC OUTPUT** Voidaan kytkeä nauhuri/mittari
- ZERO** Napista pääsee käyttäjän aloitukseen, asennettaessa nollausta tehdessä

### Virtausmittauksen suorittaminen

- Suorita mittaus putken eri syvyyksillä savukaasukanavassa
- Paina **Power Lock**-näppäin pohjaan
- Paina kerran **On**-näppäintä ja vapauta **Power Lock**-näppäin
- Anna mittarin lämmitä noin 1 minuutti ennen mittausta
- Valitse haluttu mitta-alue (m/s) painamalla **Range**-näppäintä:
- Nollaa laite painamalla **Zero**-näppäintä.
- Virtausmittarin tulisi näyttää nollaa.
- Aseta s-pitot-putki kohtisuoraan virtaukseen nähden, jolloin sen tulisi antaa virtausnelle arvo.
- Mittalukeman ollessa negatiivinen käännä letkut tai putket päinvastoin
- Paina **slow**- näppäintä kerran, jos lukema vaeltelee.
- Jos lukema vaeltelee edelleen vahvasta äskeinen toiminta painamalla toisen kerran **slow**-näppäintä.

### Mittaustulosten kirjaaminen

- Kirjaa mittaustulokset ylös mittauspöytäkirjaan ja laske keskiarvot.
- Tuloksien laskennassa tulee ottaa huomioon pitot-putken korjauskerroin.

### Mittauksen lopettaminen

- Laite sammutetaan painamalla **Power Lock**-näppäin pohjaan.
- Paina kerran **Off**-näppäintä ja vapauta **Power Lock**-näppäin.
- Pura laitteisto.
- Puhdista laitteisto tarvittaessa.

**6 MENETELMÄN LAADUNVALVONTA****7 KALIBROINTI****8 SUORITUS****9 TULOSTEN LASKEMINEN****10 TOISTETTAVUUS; TARKKUUS JA MITTAUSEPÄVARMUUS**

Analysaattorin valmistaja antaa analysaattorin tarkkuudeksi  $\pm 1\%$  alueen päätearvosta.

**11 TULOSTEN ILMOITTAMINEN**

- Excelissä lasketut tulokset syötetään Labmasteriin
- mittauksesta saadut paperitulosteet arkistoidaan niille varattuun kansioon laboratoriossa

**12 HUOMAUTUKSET**

Laitteen antamat virheilmoitukset:

Bat low      Patterit (4 kpl) tulee vaihtaa/ladata

**13 KIRJALLISUUS****14 LIITTEET**

Mittauspöytäkirja

**Liite 13: Esimerkki 12.9.2008 jatkuvatoimisien mittalaitteiden raakadatatista.**

Mittattavien komponenttien yksiköt.

virtaus	Nm3/h, kostea
lämpötila	C
O2	%, kostea
CO	mg/Nm3, kostea
CO2	%, kostea
NOx (NO2:na)	mgNO2/Nm3, kos- tea
TOC	mg/Nm3, kostea
H2O	%

12.9.2008 jatkuvatoimisien mittalaitteiden virtaus, lämpötila, happi ja hiilimonoksidi raakadataa

12.9.2008 10:10:00	virtaus	111215,63	lämpötila	127,607	O2	9,826	CO	0,638
12.9.2008 10:11:00	virtaus	108612,46	lämpötila	127,591	O2	26,653	CO	0,659
12.9.2008 10:12:00	virtaus	107451,04	lämpötila	127,576	O2	26,665	CO	0,679
12.9.2008 10:13:00	virtaus	109493,54	lämpötila	127,56	O2	9,866	CO	0,7
12.9.2008 10:14:00	virtaus	110574,84	lämpötila	127,544	O2	26,657	CO	0,721
12.9.2008 10:15:00	virtaus	108612,46	lämpötila	127,529	O2	10,507	CO	0,742
12.9.2008 10:16:00	virtaus	108492,31	lämpötila	127,513	O2	10,725	CO	0,763
12.9.2008 10:17:00	virtaus	108051,77	lämpötila	127,498	O2	10,796	CO	0,783
12.9.2008 10:18:00	virtaus	107090,6	lämpötila	127,482	O2	10,914	CO	0,804
12.9.2008 10:19:00	virtaus	106930,4	lämpötila	127,467	O2	10,863	CO	0,825
12.9.2008 10:20:00	virtaus	109693,77	lämpötila	127,451	O2	10,888	CO	0,846
12.9.2008 10:21:00	virtaus	107731,38	lämpötila	127,436	O2	11,045	CO	0,867
12.9.2008 10:22:00	virtaus	105208,31	lämpötila	127,42	O2	11,036	CO	0,887
12.9.2008 10:23:00	virtaus	106930,4	lämpötila	127,404	O2	11,092	CO	0,908
12.9.2008 10:24:00	virtaus	105528,7	lämpötila	127,341	O2	11,148	CO	0,929
12.9.2008 10:25:00	virtaus	107130,65	lämpötila	127,253	O2	11,426	CO	0,95
12.9.2008 10:26:00	virtaus	108091,82	lämpötila	127,165	O2	11,789	CO	0,971
12.9.2008 10:27:00	virtaus	109413,43	lämpötila	127,086	O2	11,942	CO	0,991
12.9.2008 10:28:00	virtaus	108932,85	lämpötila	127,025	O2	12,136	CO	1,012
12.9.2008 10:29:00	virtaus	106610,02	lämpötila	126,965	O2	12,236	CO	1,033
12.9.2008 10:30:00	virtaus	106049,33	lämpötila	126,904	O2	12,435	CO	1,054
12.9.2008 10:31:00	virtaus	108051,77	lämpötila	126,844	O2	12,434	CO	1,075
12.9.2008 10:32:00	virtaus	105969,23	lämpötila	126,733	O2	12,436	CO	1,095
12.9.2008 10:33:00	virtaus	102084,5	lämpötila	126,573	O2	12,425	CO	2,015
12.9.2008 10:34:00	virtaus	99401,219	lämpötila	126,534	O2	12,474	CO	2,503
12.9.2008 10:35:00	virtaus	103646,4	lämpötila	126,555	O2	12,478	CO	4,212
12.9.2008 10:36:00	virtaus	111856,41	lämpötila	126,575	O2	12,819	CO	3,938
12.9.2008 10:37:00	virtaus	110294,51	lämpötila	126,596	O2	12,9	CO	3,663
12.9.2008 10:38:00	virtaus	105388,52	lämpötila	126,617	O2	12,467	CO	3,388
12.9.2008 10:39:00	virtaus	102845,42	lämpötila	126,637	O2	12,183	CO	0,726
12.9.2008 10:40:00	virtaus	105728,94	lämpötila	126,658	O2	12,259	CO	0,714
12.9.2008 10:41:00	virtaus	103045,66	lämpötila	126,679	O2	12,27	CO	0,702
12.9.2008 10:42:00	virtaus	106770,2	lämpötila	126,699	O2	12,195	CO	0,69
12.9.2008 10:43:00	virtaus	103446,16	lämpötila	126,72	O2	11,995	CO	0,678
12.9.2008 10:44:00	virtaus	105448,59	lämpötila	126,741	O2	11,667	CO	0,665
12.9.2008 10:45:00	virtaus	107971,68	lämpötila	126,761	O2	11,608	CO	0,653
12.9.2008 10:46:00	virtaus	109333,33	lämpötila	126,782	O2	11,799	CO	0,641
12.9.2008 10:47:00	virtaus	104807,82	lämpötila	126,803	O2	11,589	CO	0,629
12.9.2008 10:48:00	virtaus	113298,17	lämpötila	126,841	O2	11,297	CO	0,617
12.9.2008 10:49:00	virtaus	110254,46	lämpötila	126,896	O2	10,845	CO	0,604



12.9.2008 10:50:00	virtaus	105929,18	lämpötila	126,951	O2	10,526	CO	0,592
12.9.2008 10:51:00	virtaus	109012,94	lämpötila	127,006	O2	10,381	CO	0,58
12.9.2008 10:52:00	virtaus	109934,07	lämpötila	127,06	O2	10,416	CO	0,568
12.9.2008 10:53:00	virtaus	109413,43	lämpötila	127,115	O2	10,741	CO	0,556
12.9.2008 10:54:00	virtaus	108412,21	lämpötila	127,168	O2	10,784	CO	0,543
12.9.2008 10:55:00	virtaus	108091,82	lämpötila	127,222	O2	10,727	CO	0,531
12.9.2008 10:56:00	virtaus	109333,33	lämpötila	127,275	O2	10,727	CO	0,519
12.9.2008 10:57:00	virtaus	110494,76	lämpötila	127,328	O2	10,617	CO	0,507

## 12.9.2008 jatkuvatoimisien mittalaitteiden hiilidioksidi, TOC ja vesi raakadata.

12.9.2008 10:10:00	CO2	7,663	NOx (NO2:na)	120,147	TOC	1,221	H2O	21,905
12.9.2008 10:11:00	CO2	7,658	NOx (NO2:na)	120,147	TOC	1,221	H2O	21,893
12.9.2008 10:12:00	CO2	7,663	NOx (NO2:na)	120,147	TOC	1,221	H2O	21,895
12.9.2008 10:13:00	CO2	7,663	NOx (NO2:na)	120,147	TOC	1,221	H2O	21,897
12.9.2008 10:14:00	CO2	7,663	NOx (NO2:na)	120,147	TOC	1,221	H2O	21,899
12.9.2008 10:15:00	CO2	7,663	NOx (NO2:na)	120,147	TOC	1,221	H2O	21,901
12.9.2008 10:16:00	CO2	7,663	NOx (NO2:na)	120,147	TOC	1,221	H2O	21,903
12.9.2008 10:17:00	CO2	6,838	NOx (NO2:na)	68,132	TOC	1,197	H2O	21,343
12.9.2008 10:18:00	CO2	6,72	NOx (NO2:na)	55,678	TOC	1,233	H2O	21,239
12.9.2008 10:19:00	CO2	6,725	NOx (NO2:na)	59,585	TOC	1,331	H2O	21,093
12.9.2008 10:20:00	CO2	6,75	NOx (NO2:na)	62,271	TOC	1,368	H2O	20,995
12.9.2008 10:21:00	CO2	6,676	NOx (NO2:na)	57,631	TOC	1,258	H2O	20,739
12.9.2008 10:22:00	CO2	6,623	NOx (NO2:na)	52,991	TOC	1,258	H2O	20,617
12.9.2008 10:23:00	CO2	6,647	NOx (NO2:na)	53,48	TOC	1,306	H2O	20,525
12.9.2008 10:24:00	CO2	6,623	NOx (NO2:na)	49,817	TOC	1,233	H2O	20,427
12.9.2008 10:25:00	CO2	6,574	NOx (NO2:na)	47,131	TOC	1,27	H2O	20,324
12.9.2008 10:26:00	CO2	6,515	NOx (NO2:na)	46,154	TOC	1,416	H2O	20,25
12.9.2008 10:27:00	CO2	6,315	NOx (NO2:na)	47,131	TOC	1,221	H2O	20,147
12.9.2008 10:28:00	CO2	6,12	NOx (NO2:na)	48,107	TOC	1,16	H2O	20,012
12.9.2008 10:29:00	CO2	5,968	NOx (NO2:na)	51,526	TOC	1,429	H2O	19,921
12.9.2008 10:30:00	CO2	5,885	NOx (NO2:na)	41,758	TOC	1,27	H2O	19,78
12.9.2008 10:31:00	CO2	5,836	NOx (NO2:na)	50,794	TOC	1,294	H2O	19,628
12.9.2008 10:32:00	CO2	5,797	NOx (NO2:na)	53,968	TOC	1,148	H2O	19,468
12.9.2008 10:33:00	CO2	5,753	NOx (NO2:na)	53,968	TOC	1,233	H2O	19,371
12.9.2008 10:34:00	CO2	5,763	NOx (NO2:na)	53,968	TOC	1,27	H2O	19,243
12.9.2008 10:35:00	CO2	5,729	NOx (NO2:na)	52,991	TOC	1,343	H2O	19,127
12.9.2008 10:36:00	CO2	5,812	NOx (NO2:na)	59,585	TOC	1,27	H2O	19,035
12.9.2008 10:37:00	CO2	5,636	NOx (NO2:na)	61,05	TOC	1,221	H2O	18,901
12.9.2008 10:38:00	CO2	5,485	NOx (NO2:na)	66,422	TOC	1,258	H2O	18,863
12.9.2008 10:39:00	CO2	5,729	NOx (NO2:na)	73,016	TOC	1,355	H2O	18,773
12.9.2008 10:40:00	CO2	5,983	NOx (NO2:na)	73,993	TOC	1,258	H2O	18,72
12.9.2008 10:41:00	CO2	5,944	NOx (NO2:na)	84,005	TOC	1,233	H2O	18,711
12.9.2008 10:42:00	CO2	5,939	NOx (NO2:na)	89,133	TOC	1,331	H2O	18,703
12.9.2008 10:43:00	CO2	6,061	NOx (NO2:na)	91,819	TOC	1,465	H2O	18,211
12.9.2008 10:44:00	CO2	6,193	NOx (NO2:na)	98,413	TOC	1,294	H2O	17,689
12.9.2008 10:45:00	CO2	6,374	NOx (NO2:na)	106,471	TOC	1,16	H2O	17,849
12.9.2008 10:46:00	CO2	6,276	NOx (NO2:na)	108,181	TOC	1,465	H2O	18,755
12.9.2008 10:47:00	CO2	6,227	NOx (NO2:na)	96,947	TOC	1,319	H2O	18,926
12.9.2008 10:48:00	CO2	6,339	NOx (NO2:na)	79,365	TOC	1,184	H2O	18,993
12.9.2008 10:49:00	CO2	6,545	NOx (NO2:na)	75,458	TOC	1,27	H2O	19,109
12.9.2008 10:50:00	CO2	6,803	NOx (NO2:na)	85,226	TOC	1,233	H2O	19,261
12.9.2008 10:51:00	CO2	7,018	NOx (NO2:na)	87,668	TOC	1,136	H2O	19,429

12.9.2008 10:52:00	CO2	7,092	NOx (NO2:na)	88,4	TOC	1,294	H2O	19,581
12.9.2008 10:53:00	CO2	7,053	NOx (NO2:na)	80,83	TOC	1,294	H2O	19,74
12.9.2008 10:54:00	CO2	6,842	NOx (NO2:na)	73,993	TOC	1,111	H2O	19,837
12.9.2008 10:55:00	CO2	6,852	NOx (NO2:na)	81,563	TOC	1,087	H2O	19,64
12.9.2008 10:56:00	CO2	6,96	NOx (NO2:na)	87,668	TOC	1,416	H2O	18,845
12.9.2008 10:57:00	CO2	6,94	NOx (NO2:na)	83,761	TOC	1,477	H2O	18,926

## Redusoidut tulokset:

O2	CO	CO2	NOx (NO2:na)	TOC	virtaus
12,32063	0,799976	9,608486	150,6499827	1,530988	30,89323
33,41968	0,826307	9,602217	150,6499827	1,530988	30,17013
33,43472	0,851385	9,608486	150,6499827	1,530988	29,84751
12,37079	0,877716	9,608486	150,6499827	1,530988	30,41487
33,42469	0,904048	9,608486	150,6499827	1,530988	30,71523
13,17452	0,930379	9,608486	150,6499827	1,530988	30,17013
13,44787	0,956711	9,608486	150,6499827	1,530988	30,13675
13,53689	0,981788	8,574035	85,42938753	1,500895	30,01438
13,68485	1,00812	8,426077	69,81355954	1,546035	29,74739
13,6209	1,034451	8,432346	74,71247073	1,668915	29,70289
13,65225	1,060783	8,463694	78,0803938	1,715309	30,47049
13,84911	1,087114	8,370906	72,26238819	1,577382	29,92538
13,83783	1,112192	8,304451	66,44438259	1,577382	29,22453
13,90804	1,138524	8,334544	67,05753016	1,637568	29,70289
13,97826	1,164855	8,304451	62,46456582	1,546035	29,31353
14,32684	1,191186	8,243011	59,09664274	1,592428	29,75851
14,782	1,217518	8,169032	57,87160148	1,775495	30,02551
14,97384	1,242596	7,918255	59,09664274	1,530988	30,39262
15,21709	1,268927	7,673749	60,32043013	1,454501	30,25913
15,34248	1,295259	7,483159	64,60744763	1,791795	29,61389
15,592	1,32159	7,379087	52,35954272	1,592428	29,45815
15,59075	1,347922	7,317647	63,68960709	1,622521	30,01438
15,59326	1,372999	7,268745	67,66942385	1,439455	29,4359
15,57947	2,526569	7,213575	67,66942385	1,546035	28,35681
15,64091	3,138463	7,226113	67,66942385	1,592428	27,61145
15,64592	5,281345	7,183481	66,44438259	1,683962	28,79067
16,07349	4,937781	7,287554	74,71247073	1,592428	31,07123
16,17506	4,592964	7,066871	76,54940569	1,530988	30,63736
15,63213	4,248147	6,877535	83,28525184	1,577382	29,27459
15,27603	0,910317	7,183481	91,55333998	1,699008	28,56817
15,37132	0,895271	7,501967	92,77838125	1,577382	29,36915
15,38511	0,880224	7,453066	105,332233	1,546035	28,6238
15,29107	0,865178	7,446796	111,7621323	1,668915	29,65839
15,0403	0,850131	7,59977	115,1300554	1,836935	28,73504
14,62902	0,833831	7,765282	123,3981435	1,622521	29,29128
14,55505	0,818784	7,992234	133,5019127	1,454501	29,99213
14,79454	0,803737	7,869354	135,6460484	1,836935	30,37037
14,53122	0,788691	7,807914	121,5599547	1,653868	29,11328
14,16509	0,773644	7,948349	99,5142274	1,484595	31,47171
13,59833	0,757344	8,206648	94,61531621	1,592428	30,62624
13,19835	0,742297	8,530149	106,8632211	1,546035	29,42477
13,01653	0,727251	8,799733	109,9251973	1,424408	30,28137

13,06042	0,712204	8,892521	110,8430379	1,622521	30,53724
13,46793	0,697158	8,843619	101,3511624	1,622521	30,39262
13,52185	0,680857	8,579051	92,77838125	1,393061	30,1145
13,45038	0,665811	8,591589	102,2702568	1,362968	30,02551
13,45038	0,650764	8,727008	109,9251973	1,775495	30,37037

## Liite 14: Happipitoisuuden ANOVA-tilastoanalyysi ja regressiosuorat

### O2

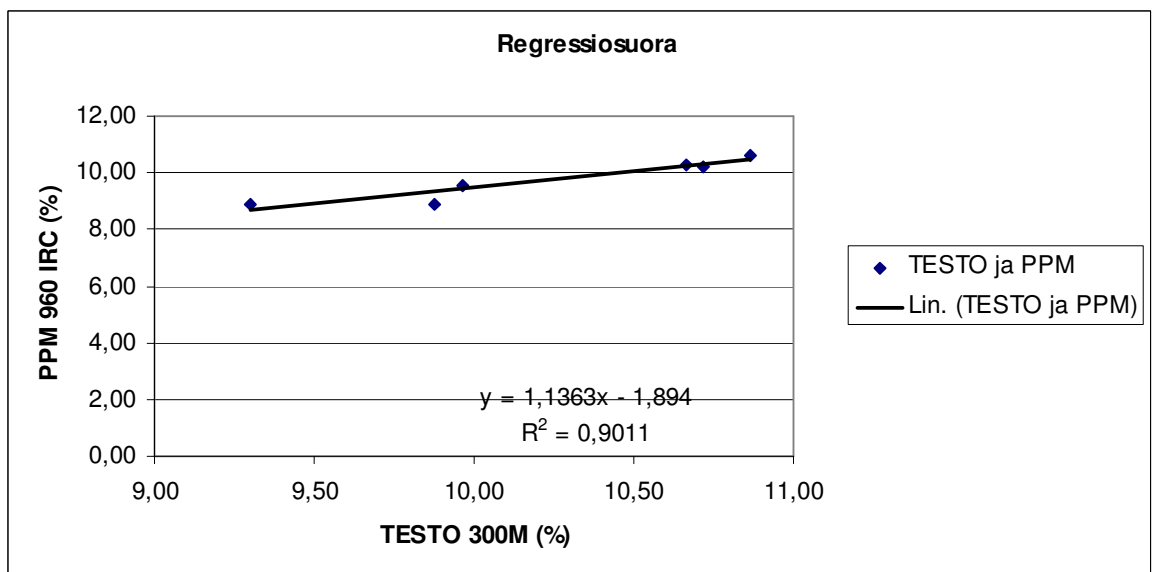
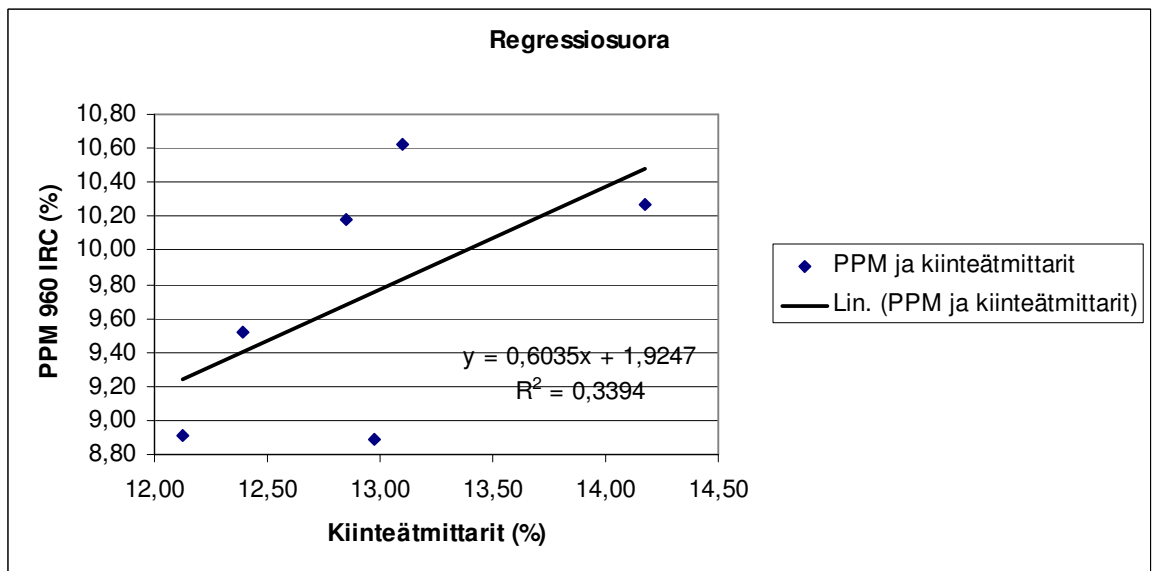
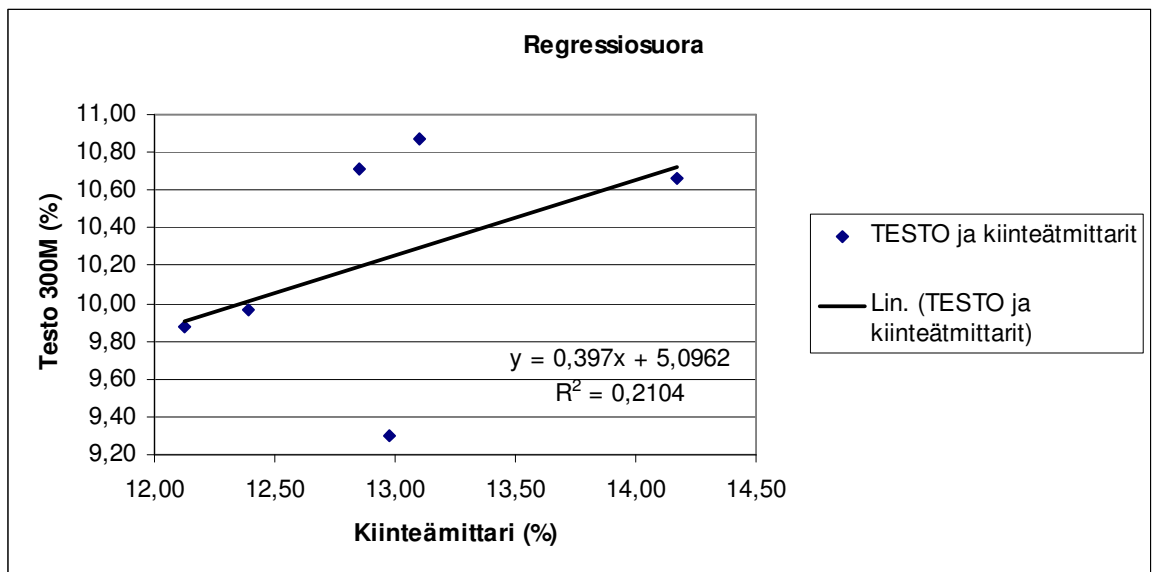
Päivä	TESTO(%)	PPM(%)	Kiint.mit(%)
1	9,97	9,52	12,39
2	10,87	10,62	13,10
3	9,30	8,89	12,97
4	10,67	10,27	14,17
5	10,72	10,18	12,85
6	9,88	8,91	12,13

Anova: kaksisuuntainen ilman toistoa

YHTEENVETO	Lukumäärä	Summa	Keskiarvo	Varianssi
1	3	31,876	10,62533	2,382396
2	3	34,588	11,52933	1,870089
3	3	31,163	10,38767	5,05907
4	3	35,108	11,70267	4,620217
5	3	33,753	11,251	1,998229
6	3	30,91	10,30333	2,721658
TESTO(%)	6	61,389	10,2315	0,378279
PPM(%)	6	58,391	9,731833	0,542019
Kiint.mit(%)	6	77,618	12,93633	0,505059

### ANOVA

Vaihtelun lähde	NS	va	KN	F	P-arvo	F-kriittinen
Jäte-erä	5,492687	5	1,098537	6,722582	0,00541203	3,325835
Laitteet	35,66922	2	17,83461	109,1402	1,6131E-07	4,102821
Virhe	1,634101	10	0,16341			
Yhteensä	42,79601	17				



**Liite 15: Hiilidioksidipitoisuuden ANOVA-tilastoanalyysi ja regressiosuorat****CO2**

Päivä	TESTO(%)	PPM(%)	Kiint.mit(%)
1	9,55	9,42	9,48
2	8,67	8,43	9,29
3	9,98	9,82	9,70
4	8,57	8,56	8,44
5	8,58	8,83	9,34
6	9,80	8,91	9,85

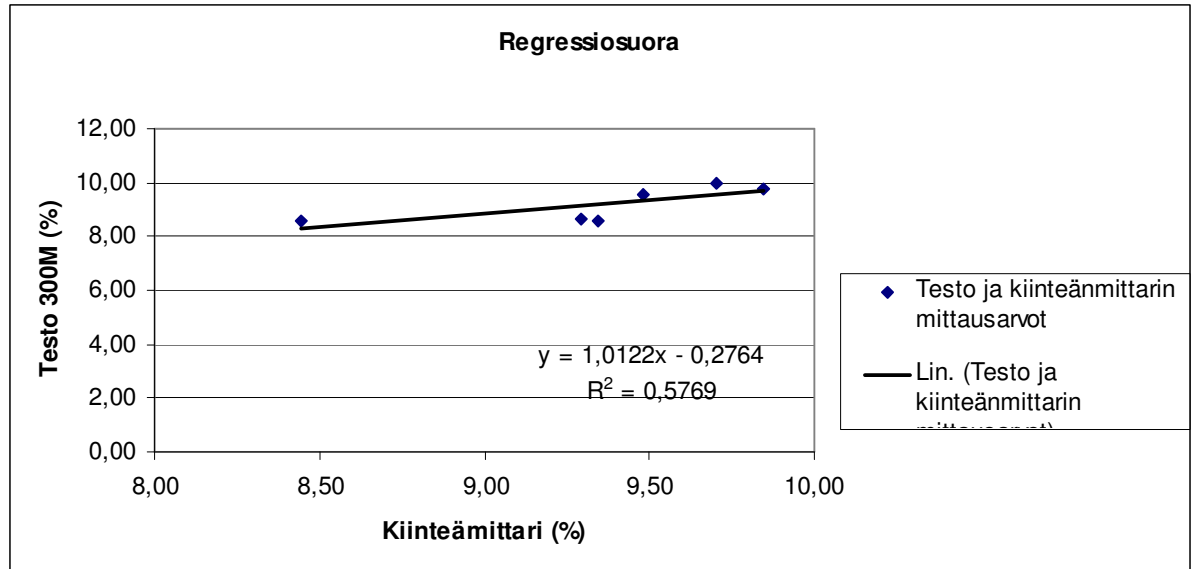
Anova: kaksisuuntainen ilman toistoa

<i>YHTEENVETO</i>	<i>Lukumäärä</i>	<i>Summa</i>	<i>Keskiarvo</i>	<i>Varianssi</i>
1	3	28,45283	9,48427802	0,004295
2	3	26,38816	8,79605451	0,1981
3	3	29,49615	9,83205163	0,018553
4	3	25,56774	8,52258136	0,004561
5	3	26,75791	8,91930437	0,151623
6	3	28,55668	9,51889308	0,278248
TESTO(%)	6	55,13833	9,18972222	0,430489
PPM(%)	6	53,96642	8,99440373	0,280205
Kiint.mit(%)	6	56,11473	9,35245553	0,242428

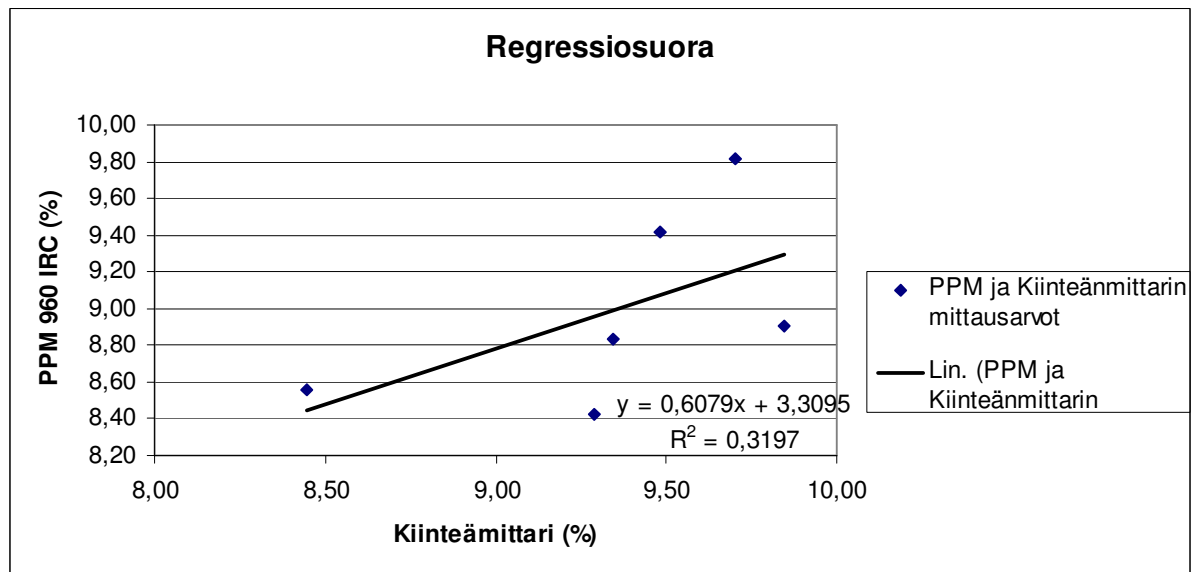
**ANOVA**

<i>Vaihtelun lähde</i>	<i>NS</i>	<i>va</i>	<i>KN</i>	<i>F</i>	<i>P-arvo</i>	<i>F-kriittinen</i>
Jäte-erä	3,840518	5	0,76810367	8,30296	0,00248242	3,325835
Laitteet	0,385665	2	0,19283254	2,084459	0,17511221	4,102821
Virhe	0,925096	10	0,09250962			
Yhteensä	5,15128	17				

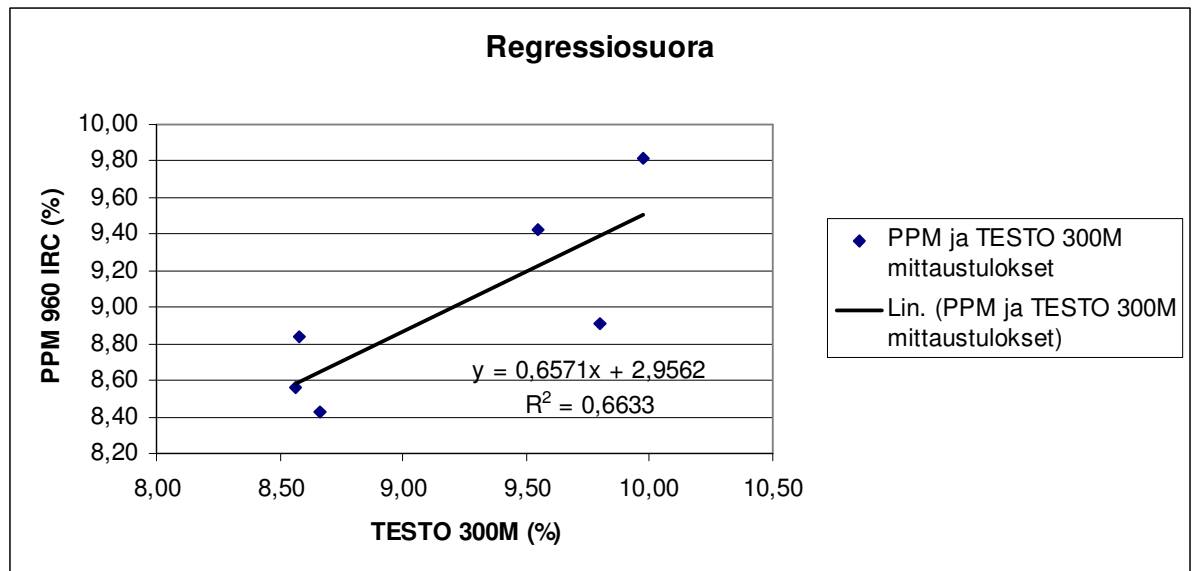
TESTO 300M –analysoittorin ja kiinteän mittarin regressiosuora mitta-arvoille.



PPM 960 IRC ja kiinteän mittarin regressiosuora mitta-arvoille.



TESTO 300M- ja PPM 960 IRC -regressiosuora mittausarvoille.





**Liite 16: NO<sub>2</sub> t-testitilastoanalyysi.**

<b>NO2</b>		
Päivä	PPM (mg/Nm3)	Kiint.mi t(mg/Nm3)
1	175,990952	186,3250013
2	137,1214642	178,7079948
3	167,5707155	200,9915918
4	76,09193012	109,2703052
5	154,7209779	182,6026996
6	116,239	115,4410256
ka	137,9558399	162,2231031
variassi	37,15976617	39,40441193

Parittainen kahden otoksen t-testi keskiarvoille

	<i>PPM (mg/Nm3)</i>	<i>Kiint.mi t(mg/Nm3)</i>
Keskiarvo	159,0684533	162,2231031
Variassi	2954,904698	1552,70768
Havainnot	6	6
Pearsonin korrelaatio	0,070815505	
Arvioitu keskiarvojen ero	0	
va	5	
t Tunnusluvut	-0,119174402	
P(T<=t) yksisuuntainen	0,454888666	
t-kriittinen yksisuuntainen	2,015048372	
P(T<=t) kaksisuuntainen	0,909777332	
t-kriittinen kaksisuuntainen	2,570581835	

## Liite 17: Lämpötilamittaustulokset, ANOVA-tilastoanalyysi ja regressiosuorat

### Mittaustulokset

Päivä	Testo	PPM	Kiint.mit
1	131,2	129,5556	129,8382
2	136,1	136	136,8226
3	130,3333	128,387	129,4192
4	128,3	126,625	127,3675
5	127,3	124,3462	126,7977
6	127,8667	126,3679	126,7824

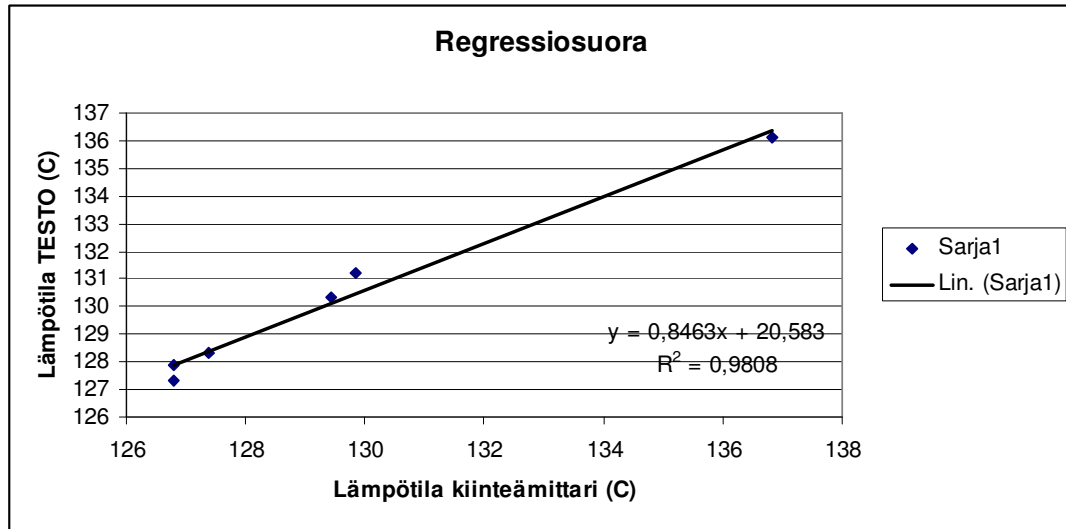
Anova: kaksisuuntainen ilman toistoa

<i>YHTEENVETO</i>	<i>Lukumäärä</i>	<i>Summa</i>	<i>Keskiarvo</i>	<i>Varianssi</i>
1	3	390,5937	130,1979	0,773105
2	3	408,9226	136,3075	0,201492
3	3	388,1394	129,3798	0,948256
4	3	382,2925	127,4308	0,704413
5	3	378,4439	126,148	2,497959
6	3	381,017	127,0057	0,598924
Testo	6	781,1	130,1833	10,65811
PPM	6	771,2816	128,5469	16,53589
Kiint.mit	6	777,0277	129,5046	14,59536

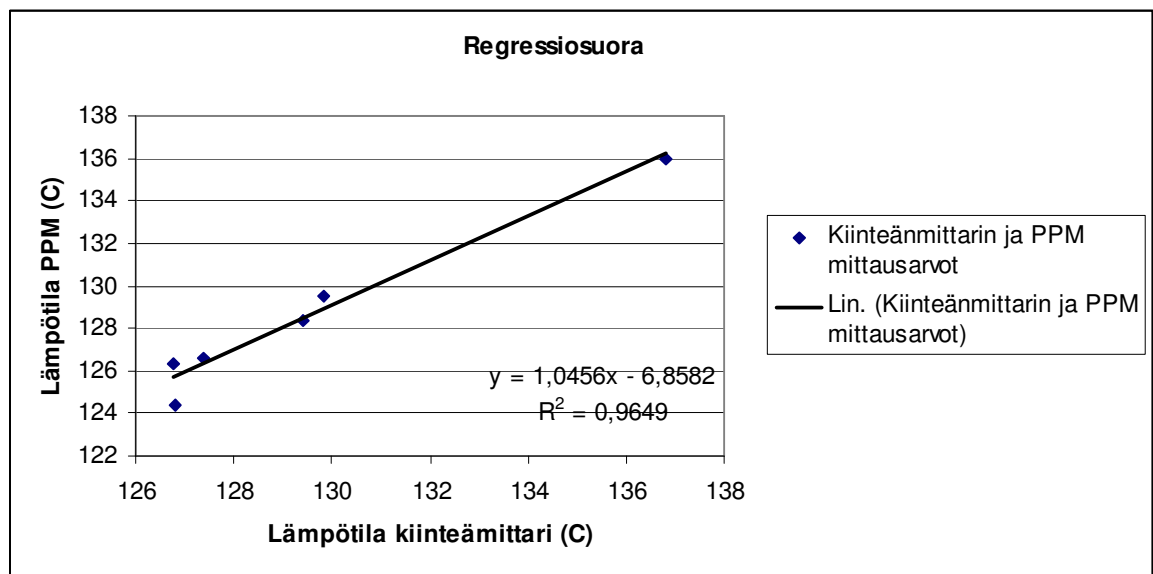
### ANOVA

<i>Vaihtelun lähde</i>	<i>NS</i>	<i>va</i>	<i>KN</i>	<i>F</i>	<i>P-arvo</i>	<i>F-kriittinen</i>
Rivit	205,6097	5	41,12195	123,2267	1,19E-08	3,325835
Sarakkeet	8,111203	2	4,055602	12,15308	0,002104	4,102821
Virhe	3,337098	10	0,33371			
Yhteensä	217,058	17				

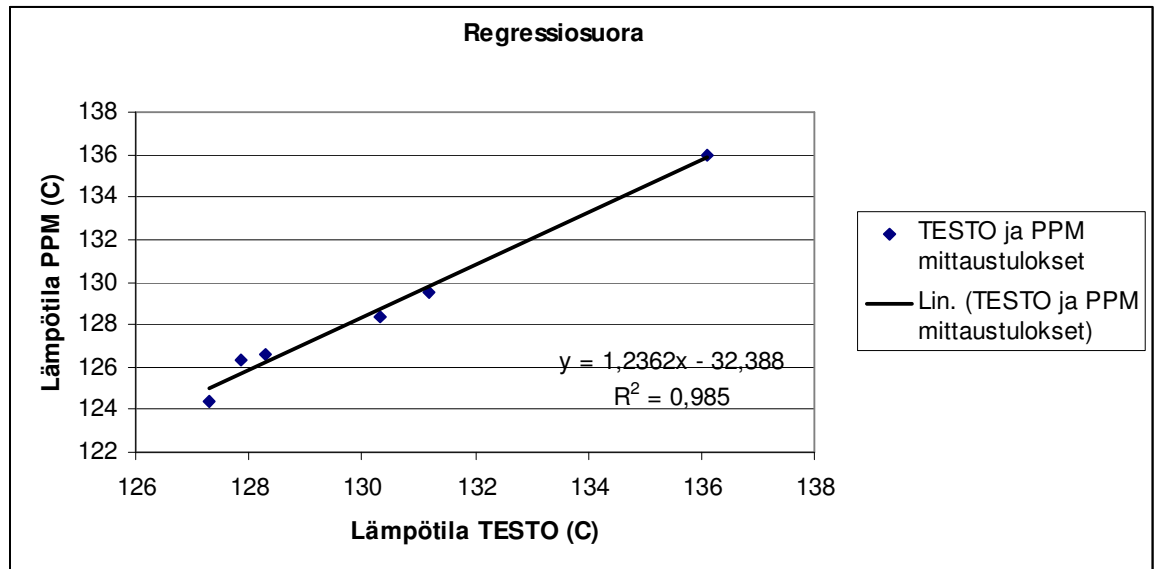
TESTO 300M- ja kiinteän mittarin regressiosuora mittausarvoille.



PPM 960 IRC ja kiinteän mittarin regressiosuora mittausarvoille.



TESTO 300M ja PPM 960 IRC -regressiosuora mittausarvoille.



**Liite 18: Tiheysarvon mittaustulokset ja tilastollinen ANOVA-analyysi**

Tiheysarvon vaikutus mittaustuloksiin m3/s

	Arvo 80	Arvo85	Arvo 90
1	45,2916	45,44141	43,69366
2	42,19559	44,79225	40,14823
3	49,38632	47,3889	44,94205
4	46,73974	46,49006	44,19302
5	46,78967	41,17491	44,19302
ka	46,08059	45,0575	43,434

Anova: yksisuuntainen

**YHTEENVETO**

<i>Ryhmät</i>	<i>Lukumäärä</i>	<i>Summa</i>	<i>Keskiarvo</i>	<i>Varianssi</i>
Arvo 80	5	230,4029	46,08059	6,895208
Arvo85	5	225,2875	45,0575	5,694972
Arvo 90	5	217,17	43,434	3,572532

**ANOVA**

<i>Vaihtelun läh-</i> <i>de</i>	<i>NS</i>	<i>va</i>	<i>KN</i>	<i>F</i>	<i>P-arvo</i>	<i>F-</i> <i>kriittinen</i>
Luokkien vä- lissä	17,81149	2	8,905745	1,653017	0,232226	3,885294
Ryhmissä	64,65084	12	5,38757			
Yhteensä	82,46233	14				

**Liite 19: Virtauksen mittaustulokset ja tilastollinen t-testi.**

Virtaus	m3/s	
	Päivä	MP6KRS
1	37,80126	31,83166
2	44,4427	33,48107
3	39,34926	31,77352
4	42,94463	30,40811
5	44,79225	31,96757
6	44,19302	32,26813

Parittainen kahden otoksen t-testi keskiarvoille

	<i>MP6KRS</i>	<i>Kiint.mit</i>
Keskiarvo	42,25385	31,95501
Varianssi	8,746847	0,973623
Havainnot	6	6
Pearsonin korrelaatio	0,273261	
Arvioitu keskiarvojen ero	0	
va	5	
t Tunnusluvut	8,849866	
P(T<=t) yksisuuntainen	0,000153	
t-kriittinen yksisuuntainen	2,015048	
P(T<=t) kaksisuuntainen	0,000306	
t-kriittinen kaksisuuntainen	2,570582	