



VAASAN AMMATTIKORKEAKOULU  
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Aapo Hautakangas

PAKOKAASUJEN  
ANALYSOINTILAITTEEN ASENNUS  
JA KÄYTTÖÖNOTTO

Wärtsilä Finland Oy

Tekniikka  
2018

## **ALKUSANAT**

Opinnäytetyö tehtiin Vaasan ammattikorkeakoululle yhteistyössä Wärtsilä Finland Oyj:n kanssa osana insinöörin tutkintoa. Haluaisin kiittää Mikko Ketosta opinnäytetyön aiheesta. Kiitän työni valvojia Vesa Ihanamäkeä ja Jens Sandelinia, jotka ohjasivat ja neuvoivat hankkeen edetessä. Työn aihe oli todella mielenkiintoinen ja olisi ollut mahtavaa saada laite toiminta valmiuteen asti.

Meksiko, Monterrey 22.5.2018

Aapo Salomo Hautakangas

## SYMBOLI- JA LYHENNELUETTELO

### Symbolit

A	Ampeeri
°C	Celsius-asteikko
°F	Fahrenheit-asteikko
h	Tunti
I	Virta
m	Metri
mA	Milliampeeri
ml	Millilitra
mV	Millivoltti
P	Teho
R	Vastus
U	Jännite
W	Watti
W/m	Wattia/metri

### Lyhenteet

ATEX	Turvallisuus luokitus, palo- tai räjähdysvaara
------	--

Bar	Baari eli paineen yksikkö, 1 Bar = 100 000 pascalia
C	Hiili
CAN	Controller Area Network (Automaatio väylä)
CH <sub>4</sub>	Metaani
C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	Propaani
C <sub>6</sub> H <sub>14</sub>	Heksaani
CO	Hiilimonoksidi
CO <sub>2</sub>	Hiilidioksidi
CLD	Chemiluminescence Detector, kemiluminesenssi tunnistin
DWI	Direct Water Injection
EGR	Exhaust Gas Recirculation, pakokaasun uudelleen kierto
FID	Flame Ionization Detector eli liekki-ionisaatiodektektori
H	Vety
He	Helium
H <sub>2</sub> O	Vesi
HC	Hydrocarbons, Hiilivedyt
IRD	Infrared Detector, infrapunavalo tunnistin
NO	Typpimonoksidi
NO <sub>2</sub>	Typpidioksidi
NO <sub>x</sub>	Typen oksidit

O <sub>2</sub>	Happi
O <sub>3</sub>	Otsoni
PMD	Paramagnetic Detector, paramagneettinen tunnistin
PMT	Photo multiplier tube, Fotoni mittari
PPM	Parts Per million eli suhteellinen suhdeyksikkö
PTFE	Polytetrafluorieteeni
SA	Synthetic Air, Synteettinen ilma
SO <sub>2</sub>	Rikkidioksidi
THC	Total hydrocarbons, Kaikki hiilivedyt yhteensä

## TIIVISTELMÄ

Tekijä	Aapo Hautakangas
Opinnäytetyön nimi	Pakokaasujen analysointilaitteen asennus ja käyttöönotto
Vuosi	2018
Kieli	suomi
Sivumäärä	54 + 2 liitettä
Ohjaaja	Riitta Niemelä, Vesa Ihanamäki

---

Opinnäytetyön tavoitteena on parantaa Vaasan tehtaan moottorien testiajomahdollisuuksia ja automatisoida ne. Mittauslaitteiden käyttöönotto on helpompaa kuin edellisten, eikä tarvitse niin paljon työtä. Wärtsilässä on tarve mitata entistä tehokkaammin päästöjä. Tämän takia Wärtsilä OYJ on päättänyt asentaa koeajoon uuden päästöjen mittauslaitteen. Tämä uusi laite voi mitata useaa eri moottoria samaan aikaan ja pystyy mittaamaan useampia päästöjä kuin edelliset päästöjen mittauslaitteet.

Yksi tärkeimmistä asioista on mitata metaanin pitoisuus päästöistä. Koeajossa tullaan tulevaisuudessa ajamaan enemmän kaasumoottoreita. Tätä ei aikaisemmat laitteet pystyneet tekemään. Tämä uusi laite käyttää neljää erilaista mittausmenetelmää päästöjen pitoisuuden mittaamiseksi pakokaasusta. Nämä kaasut ovat NO<sub>x</sub>, CO, CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, THC ja CH<sub>4</sub>. Uusien stantardien tullessa voimaan, Wärtsilä haluaa olla edelleen alansa parhaita, vaikka päästöjä halutaan vähentää kokoajan, täytyy moottorien hyötysuhteen pysyä vähintäänkin samana.

Kyseinen laite vaati suhteellisen suuret investoinnit, mutta se tulee maksamaan itsensä takaisin tulevaisuudessa. Kun laite on saatu kokonaan toimintakuntoon, voidaan sitä ohjata helposti suoraan valvomosta. Laitteen myötä päästönmittauksista tuli yksinkertaisempaa, mutta samalla tehokkaampaa. Tulevaisuudessa moottorien päästönmittaus tiedoista tulee yhä arvokkaampia uusien stantardien ja lakien tullessa voimaan. Tällöin on hyvä olla jo askeleen lähempänä vihreämpää tulevaisuutta.

## ABSTRACT

Author	Aapo Hautakangas
Title	Installation and commissioning of the exhaust analyzer
Year	2018
Language	Finnish
Pages	54 + 2 Appendices
Name of Supervisor	Riitta Niemelä, Vesa Ihanamäki

---

The purpose of the thesis was to improve and automatize the emission measuring in engine testing at Wärtsilä Finland Oyj. The use of measuring devices are easier than the previous ones and does not require much work to maintain them.

Wärtsilä has need to measure emissions more efficiently. For this reason, Wärtsilä Oyj has decided to install a new emission measurement device for the test run. This new device can measure multiple different motors at the same time and can measure more emissions than the previous emission metering devices.

One of the most important things is to measure the concentration of methane in the emissions. This is because there will be more gas engines in the test run in the future. Previous analyzers could not measure the portion of methane in the exhaust. This new device uses four different measuring methods to measure the concentration from exhaust gas. The gases are NO<sub>x</sub>, CO, CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, THC and CH<sub>4</sub>.

As new standards come into effect, Wärtsilä wants to remain the best in its field, even if emissions are to be reduced over time, the efficiency of the engines must remain at least the same as before.

This project requires relatively large investments, but it will pay back in the future. Once the unit is fully operational, it can be easily controlled from the control room. With the device, emissions measurements became simpler but at the same time more efficient.

In the future, engine emission measurement data will become more valuable when new standards and laws come into effect. In that case it is good to be one step closer to the greener future than competitors.

# SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

SYMBOLI- JA LYHENNELUETTELO.....	3
1 JOHDANTO.....	13
2 MOOTTORIN PÄÄSTÖT JA MITTAUKSET .....	15
2.1 Miksi päästöjä mitataan?.....	15
2.2 Moottorin päästömittaukset .....	16
2.3 Savupäästöt .....	17
3 PROJEKTIN ALOITUS.....	18
3.1 Työn aloitus .....	18
3.2 AutoCAD pohjapiirustus ja laitteiden sijoitus .....	18
3.3 Alueen siivous.....	19
3.4 Sähköistys .....	19
3.5 AutoCAD-piirrokset kehikoista .....	20
3.5.1 Analysaattorin suojakaappi .....	21
3.5.2 Kaasupullojen kehikko.....	22
3.5.3 Tasohylly.....	26
3.6 Läpiviennit .....	27
3.7 Esilämmitettyjen suodattimien sijoitus .....	28
3.8 CAN- linjat.....	28
3.9 Lämmitetyt linjat.....	30
3.10 Hätäseis kytkin ja ON/OFF painike .....	34
4 KAASUNHÄLYTYSJÄRJESTELMÄ.....	35
5 AVL AMA I60 .....	37
5.1 Suunnitteluvaihe .....	38
5.2 Jäähdytys.....	38
5.3 Kalibrointikaasut.....	38
5.4 Mittauskaasut .....	39
5.5 Paineensäätöventtiilit .....	41



5.6	Kaasulinjojen sijoitus.....	41
5.7	Laitteen sähköistys.....	42
5.8	Kaapin ilmastointi.....	43
5.9	Pakokaasun poisto.....	44
5.10	Paineilma.....	45
5.11	Kondensiovesi.....	46
5.12	Lämmitetty näytteenotto yksikkö (HSU).....	46
5.13	Raakakaasu mittaus.....	46
5.14	Tyypillinen päästöjen mittausjärjestelmä .....	47
5.14.1	FID – Flame Ionization Detector .....	47
5.14.2	CLD – Chemiluminescence Detector.....	48
5.14.3	IRD - Infrared Detector .....	49
5.14.4	PMD - Paramagnetic Detector .....	49
6	JOHTOPÄÄTÖKSET .....	50
	LÄHTEET .....	51
	LIITTEET .....	52

## KUVIO- JA TAULUKKOLUETTELO

<b>Kuva 1.</b> International Maritime Organization .....	16
<b>Kuva 2.</b> The World Bank.....	16
<b>Kuva 3.</b> Länsi-Suomen Ympäristökeskus .....	16
<b>Kuva 4.</b> Typen oksidien määrä lämpötilan funktiona. ....	17
<b>Kuva 5.</b> Huoneiston pohjapiirustus AutoCAD-ohjelmalla.....	18
<b>Kuva 6.</b> Sähköjen sijainti laitteen takana. ....	20
<b>Kuva 7.</b> Analysaattorin kehikko piirettynä AutoCAD-ohjelmalla. ....	22
<b>Kuva 8.</b> Kaasupullojen kehikosta AutoCAD-piirros.....	24
<b>Kuva 9.</b> Kaasupullojen kehikko, rakennettu AutoCAD-piirustuksien mukaan ...	25
<b>Kuva 10.</b> Kaasupullot valmistuneessa telineessä. ....	25
<b>Kuva 11.</b> Kaasupullojen- ja analysaattorin kehikko yhdessä. ....	26
<b>Kuva 12.</b> Tasopöytä pyörillä .....	27
<b>Kuva 13.</b> Hiltin suljettava CFS-SL-palokatkokaulus (Hilti). ....	28
<b>Kuva 14.</b> CAN-Liitin, jossa ON ja OFF 120 Ohmin vastuksen säätö (Elfa Distrelec OY).....	30
<b>Kuva 15.</b> CAN- väylien reititys solusta 1 ja 2 analysaattorille. ....	30
<b>Kuva 16.</b> Teräслиittimien eristykseen käytettiin silikonivahto putkia. ....	32
<b>Kuva 17.</b> Lämmitetyn näytelinjan komponentit lueteltuna. ....	32
<b>Kuva 18.</b> Lämmitetty linja (RACOSAS). ....	32
<b>Kuva 19.</b> Hätäseis kytkimet sijaitsevat laitteen etupaneelissa.....	34
<b>Kuva 20.</b> Sensepoint kaasutunnistimet (Sarlin OY).....	35
<b>Kuva 21.</b> Vaarallisen alueen ääni- ja valohälytin (Honeywell).....	36
<b>Kuva 22.</b> Analysaattori AVL AMA i60 päästönmittauslaite. ....	37
<b>Kuva 23.</b> AVL AMA i60:n toiminta periaate.....	38
<b>Kuva 24.</b> PTFE- letkun ja kapillaariputken yhdistäminen. ....	40
<b>Kuva 25.</b> Teknohaus paineensäätöventtiili.....	41
<b>Kuva 26.</b> PTFE-letkujen pikaliittimet ja merkkaukset analysaattorin takana. ....	42
<b>Kuva 27.</b> CEE-liitin laitteen sähköistystä varten.....	43
<b>Kuva 28.</b> Jäähdytysvesiputkien eristys (Paroc Hvac Alucoat T). ....	44
<b>Kuva 29.</b> SMC:n paineilman säätöventtiili pikaliittimellä.....	46
<b>Kuva 30.</b> FID:n toimintaperiaate.....	48

<b>Kuva 31.</b> CLD-laitteen toimintaperiaate. ....	49
<b>Kuva 32.</b> Lämmitettyjen linjojen asennusohje (AVL USERS GUIDE). ....	52
<b>Kuva 33.</b> Lämmitettyjen linjojen asennusohje (AVL USERS GUIDE). ....	53
<b>Kuva 34.</b> Lämmitettyjen linjojen asennusohje (AVL USERS GUIDE). ....	53

**LIITELUETTELO**

**LIITE 1.** Lämmitettyjen linjojen asennusohje.

**LIITE 2.** Kaasujen tarkoitukset järjestelmässä.

## 1 JOHDANTO

Wärtsilä on vuonna 1834 perustettu suomalainen yritys, joka on listattu Helsingin Pörssissä. Yrityksen pääkonttori sijaitsee Helsingissä.

Wärtsilä on kansainvälisesti johtava älykkään teknologian ja kokonaislinkaariratkaisujen toimittaja merenkulku- ja energiamarkkinoilla. Wärtsilä maksimoi asiakkaiden alusten ja voimalaitosten ympäristötehokkuuden ja taloudellisuuden keskittymällä kestäviin innovaatioihin, kokonaisyötysuhteeseen ja data-analytiikkaan. Vuonna 2017 Wärtsilän liikevaihto oli 4,9 miljardia euroa ja henkilöstömäärä noin 18.000. Yrityksellä on yli 200 toimipistettä yli 80 maassa eri puolilla maailmaa. /4/

Wärtsilä on johtava laivojen koneisto- sekä propulsio- ja ohjausjärjestelmien toimittaja. Wärtsilä toimittaa moottoreita ja aggregaatteja, alennusvaihteita, propulsiolaitteistoja, valvontajärjestelmiä sekä tiivisteratkaisuja kaikentyypisiin aluksiin ja offshore-sovelluksiin. Wärtsilällä on vahva markkina-asema kaikilla merenkulun pääsegmenteillä koneistojen ja järjestelmien toimittajana. /4/

Wärtsilä tukee asiakasta toimitetun järjestelmän koko elinkaaren ajan. Wärtsilä huoltaa ja kunnostaa sekä laivojen koneistoja että voimaloita. Perinteisen huoltotoiminnan rinnalla Wärtsilä on laajentanut palvelujaan innovatiivisiin asiakkaan liiketoimintaa tukeviin palveluihin. Näitä ovat esimerkiksi merkkiriippumaton huolto maailman pääsatamissa sekä ennakoiva ja moottorien kuntoon perustuva huolto ja koulutus. /4/

Wärtsilä on merkittävä toimittaja hajautetun energiantuotannon voimalamarkkinoilla. Wärtsilä toimittaa voimaloita perusvoiman tuotantoon, kuormitushuippujen tasaamiseen ja teollisuuden omaan energiantuotantoon. Wärtsilän tarjoamien laitosten vahvuuksia ovat joustavat ratkaisut, korkea hyötysuhde ja alhaiset päästöt. /4/

Wärtsilä Finland Oy:n koeajoon on tullut tarpeita mitata koeajon aikaisia pakokaasupäästöjä tarkemmin. Vanhoilla laitteilla pystytään mittaamaan savukaasut sekä NO<sub>x</sub> arvot Smart NO<sub>x</sub> antureilla, joita on joka koeajosolussa yksi.

Uudella laitteella (AVL AMA I60) saadaan mitattua NO<sub>x</sub>-, CO-, CO<sub>2</sub>-, O<sub>2</sub>-, THC- ja CH<sub>4</sub>-päästöt pakokaasuista. Tämä uusi laite tulee Italiasta, jossa sille ei ollut enää käyttöä. Näitä kaikkia päästöjä täytyy mitata kaikista moottoreista ennen kuin ne päätyvät kentälle, sillä kentällä tehtävät mittaukset ovat paljon kalliimpia. Mikäli moottoreiden päästöt ovat suuremmat mitä luvataan, joutuu Wärtsilä maksamaan sakkoja. Tämän takia jokaisesta moottorista tulee mitata päästöt ennenkuin se lähtee maailmalle. Moottorit voivat olla identtisiä teknisiltä tiedoiltaan, mutta ne voivat olla kuitenkin viallisia ja erilaisia. Tämän takia jokainen moottori täytyy mitata erikseen.

Päästöjen mittaaminen on myös hyvä keino testata toimiiko moottori oikein. Päästöjen liiallinen määrä voi tarkoittaa jonkun tietyn komponentin viallisuutta. Näin voidaan rajata ongelma aluetta, missä vika mahdollisesti on.

Opinnäytetyön tavoitteena on saada laite asennettua ja tehdä laitteesta käyttöönottoohjeet sen tuleville käyttäjille. Kun analysaattori on saatu asennettua myös siihen liittyvät kustannuslaskemat kuuluvat opinnäytetyöhön. Viimeisenä tulee opastaa loppukäyttäjille laitteen käyttö. Käyttöä varten tehtiin käyttöopas.

## 2 MOOTTORIN PÄÄSTÖT JA MITTAUKSET

### 2.1 Miksi päästöjä mitataan?

Moottoreiden päästöt aiheuttavat ilmastonmuutosta ja ne saastuttavat ympäristöä. Moottoreista aiheutuu merkittävästi kasvihuonekaasuja, koska moottorit käyttävät fossiilisia polttoaineita palamisprosessissa, joiden avulla saadaan tuotettua sähköä ihmiskunnan tarpeisiin. Fossiilisten polttoaineiden sitomat yhdisteet vapautuvat näin ympäristöön. Kasvihuonekaasuja ovat vesihöyry ( $H_2O$ ), hiilidioksidi ( $CO_2$ ), metaani ( $CH_4$ ), dityppioksidi ( $N_2O$ ) ja otsoni ( $O_3$ ). IMO (International Maritime Organization) ja Maailmanpankki asettaa päästöjen rajat. Paikallisesti ympäristö luvat antaa Länsi-Suomen Ympäristökeskus (Kuva 1, 2 ja 3).

Ympäristöön pääseviä päästöjä pyritään rajoittamaan, koska ne vaikuttavat myös ihmisen terveyteen. Näitä päästöjä ovat muun muassa hiilimonoksidi ( $CO$ ), hiilivedyt ( $HC$ ), typen oksidit ( $NO_x$ ) ja pien hiukkaset ( $PM$ ). /6/

Kaikkien polttomoottoreiden pakokaasujen mittauksia koskevia lainsäädäntöjä on progressiivisesti tiukennettu ja ne tiukkenevat edelleen. Tämä on johtanut analysaattoreiden kehittymiseen nopeasti ja testilaitteiden tarkkuuteen. Päästöjen säädösten myötä moottoreista on tullut yhä kompaktimpia ja elektronisesti integroituja, mikä on ajanut testi-insinöörien töitä yhä haastavemmiksi . /6/

Suurinpana ongelmana on se, että mitä enemmän hiilivetyjä poltetaan ja paremmalle hyötysuhteella, sitä enemmän täytyy katalysoida ja suodattaa epäpuhtauksia. Tämän takia kehityksen keskeisenä asiana 2000-luvulla on vähentää polttoaineen kulutusta ilman että, vähennetään moottorien toimivuutta. /6/



**Kuva 1.** International Maritime Organization



**Kuva 2.** The World Bank



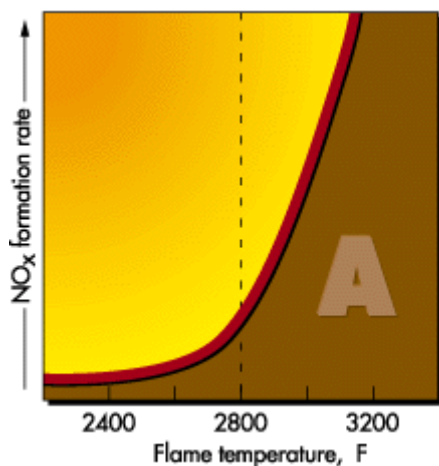
**Kuva 3.** Länsi-Suomen Ympäristökeskus

## 2.2 Moottorin päästömittaukset

Kaikki polttomoottorit aiheuttavat päästöjä, koska ne toimivat jollain polttoaineella. Wärtsilän tapauksessa suurin osa moottoreista toimii maakaasulla (LNG) tai dieselillä (LFO, HFO). Kaasumaisissa päästöissä suurimpana huolenaiheena ovat  $\text{NO}_x$ -päästöt.  $\text{NO}_x$ -päästöjä ei synny merkittävästi ennenkuin liekin lämpötila nousee yli 1500:aan Celcius asteeseen (Kuva 4). Tämän voi huomata alla olevasta kuvaajasta (kuva 10), jossa Y-akselilla on  $\text{NO}_x$ -päästöt ja X-akselilla lämpötila Farenheit-asteina. Yksi Farenheit saadaan muutettua Celsius-asteiksi seuraavalla kaavalla:

$$^{\circ}\text{F} = ^{\circ}\text{C} \times 1.8 + 32$$





**Kuva 4.** Typen oksidien määrä lämpötilan funktiona.

Kun lämpötila on noussut yli 1500:n asteeseen, kasvavat NO<sub>x</sub>-päästöt dramaattisesti. Viilentämällä liekin lämpötilaa saadaan NO<sub>x</sub>-päästöt nopeasti kuriin. Viilentämisen voi tehdä esimerkiksi syöttämällä vettä suoraan sylinteriin. Tätä kutsutaan Direct water injectioniksi (DWI) eli veden suorasyöttämiseksi. /6/

### 2.3 Savupäästöt

Savu on myös yksi tärkeimmistä huolen aiheista. Savua ja nokea muodostuu palamattomista hiiliyhdisteistä. Mitä parempi palamisreaktio saadaan toteutettua, sitä vähemmän palamisesta tulee päästöjä. Polttoaineen rikki ja tuhka osuus heijastuvat partikkeleiden määrään. Näkyvä savu koostuu molemmista kaasumaisista ja partikkeli päästöistä.



### 3.3 Alueen siivous

Alueelta poistettiin lavaaari, kaappi, paineilmaletku ja hiomakone. Näiden tilalle tuli analysaattorin kaappi. Paineilmaputkia muokattiin hieman ja siihen tehtiin 90:n asteen kulma, jotta paineilma saatiin analysaattorin kaapin sisään ilman turhia läpivientejä. Vesijohtojen päät tulpattiin, alue siivottiin ja maalattiin vaalean harmaalla.

### 3.4 Sähköistys

Tämän jälkeen sähköasentajat asensivat kahdeksan pistorasiaa, jotka ovat verkkojännitteisiä eli 230 V. Asentajat laittoivat myös 400 V -jännitteen, joka tarvitaan laitteelle, jotta se pystyy sähköistämään kaikki laitteeseen kuuluvat komponentit. Nämä tarvitsivat vikavirtasuojat, jotka asennettiin sähkökaappiin. Seinään laitettiin myös LED-lamppu, johon saatiin virta asentajien asentamasta pistorasiasta. Lampun tarkoituksena on helpottaa huoltoa ja asennusta laitteen takana, jonne ei muuten pääse paljon valoa.

Kaasupullojen telineen sisään tuli myös LED-valaistus, jotta kaasupullojen paineenalennus venttiileistä näki lukea paremmin arvoja. Kyseisen LED-lampun täytyy olla ATEX-luokiteltu, koska osa kaasuista on räjähtäviä. ATEX-luokitus annetaan tilaan, jossa ei saa tulla pienintäkään kipinää, joka voisi aiheuttaa palo- tai räjähdysvaaran. /2/



**Kuva 6.** Sähköjen sijainti laitteen takana.

### **3.5 AutoCAD-piirrokset kehikoista**

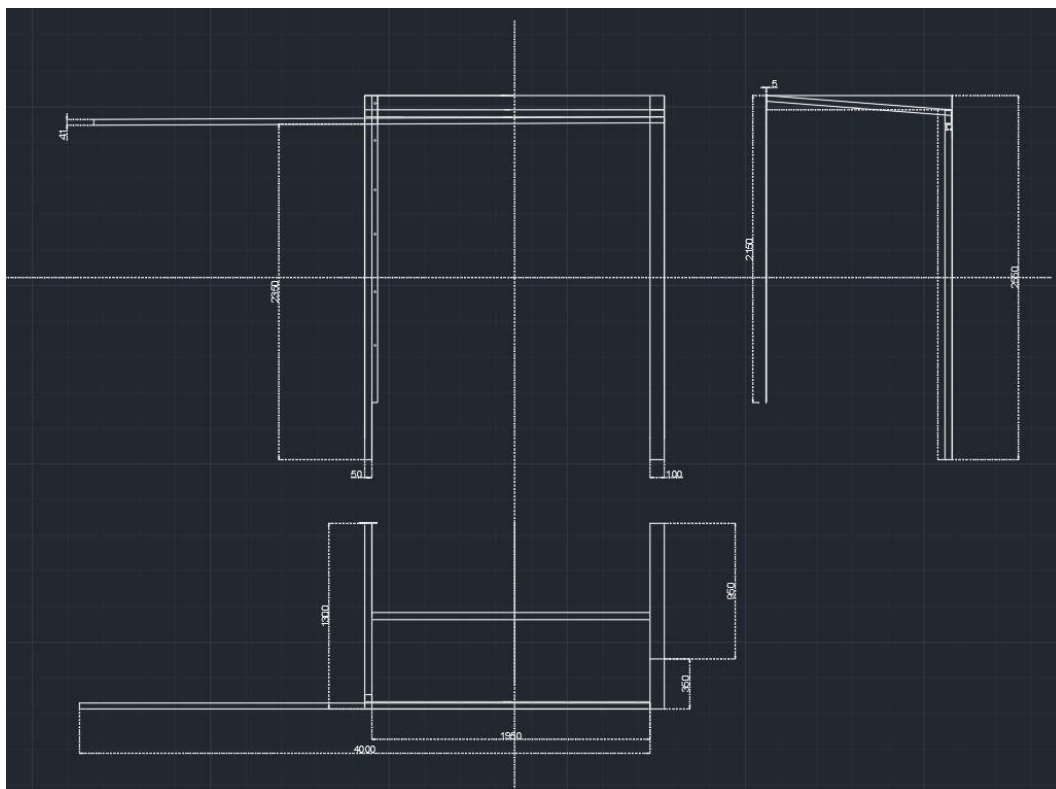
AutoCAD-ohjelmalla täytyi piirtää myös samassa mittakaavassa kaasupulloille teline ja analysaattorille suojakaappi. Oli tyydyttävää katsoa, kun AutoCAD-ohjelmalla siirrettiin kaasupullojenteline ja analysaattorinkehikko alkuperäiseen pohjapiirrokseen. Nämä sopivat sinne täydellisesti. Kaasupullojen teline ja analysaattorin suojakaappi täytyi mitata paikan päällä, jotta saatiin se näyttämään kaikkein parhaimmalta ja olemaan mahdollisimman käytännöllinen.

### 3.5.1 Analysaattorin suojakaappi

Analysaattorin suojakaapin piirtäminen vei paljon aikaa ja useita eri mahdollisuuksia piirrettiin, joista esimiehet päättivät lopulta parhaan lopputuloksen vastaamaan heidän tarpeitaan. Analysaattorin oveksi tuli läpinäkyvä liukuovi, joka oli tehty polykarbonaatista. Polykarbonaatti on 4 mm paksua. Liukuovi asennettiin helpottamaan huoltoja ja läpinäkyvä materiaali valon takia. Myös analysaattorin suojakaapin katto tehtiin samasta materiaalista edellä mainitusta syystä. Kattoon laitettiin pieni kaato, jotta vesi ei pääsisi analysaattorin sisään esimerkiksi tulipalon yhteydessä sprinkeleiden suihkuttaessa vettä. Analysaattorin kattoa leikattiin hieman, jotta kaikki putket mahtuivat siitä. Katto piti jättää kuitenkin hieman irti seinästä, jotta ilma kiertäisi paremmin. Analysaattorin kaapin liukuoven kisko jatkuu samalla tasolla kaasutelineen yläreunaan, jotta se näyttää hyvältä ja saadaan samalla koko etuovi pois edestä huollon ajaksi.

Analysaattorin oveen tehtiin raudoista kehikko, johon läpinäkyvä polykarbonaattilevy tulee kiinni. Näin saatiin 4 mm levystä paljon jäykempi, kun vahvistettiin se raudoituksella. Raudoistus oli 20 mm x 20 mm paksua. Analysaattorin liukuoveen laitettiin kaksi kahvaa, jotta sitä on helpompi käsitellä. Oveen tehtiin myös M4-kokoinen kierre ja siihen laitettiin yksi kestopagneetti, jotta se pysyy paremmin kiinni palkkia vasten. Ovea varten tehtiin myös palkkiin kaksi ohjausta raudasta, jotka pitävät sen paikoillaan.

Analysaattorin alle laitettiin sileä peltilevy, jotta analysaattoria olisi helpompi liikuttaa. Analysaattorissa on todella pienet renkaat ja se painaa yli 400 kg. Sitä on lähes mahdotonta liikuttaa turkkilevyn päällä, joten siihen laitettiin 3 mm vahvuinen pelti. Turkkilevyn päällä liikuttaminen aiheuttaa tärinää ja saattaa vaurioittaa laitetta ja löysätä liitoksia. Tämä oli yksi syistä, miksi pelti laitettiin. Pellin mitat olivat 1250 mm x 1900 mm, joten se peittää lattiaa koko analysaattorin suojakaapin leveydeltä. Pelti ei tule paljoa ulos kaapista, joten se ei aiheuta liukastumisvaaraa.



**Kuva 7.** Analysaattorin kehikko piirettynä AutoCAD-ohjelmalla.

### 3.5.2 Kaasupullojen kehikko

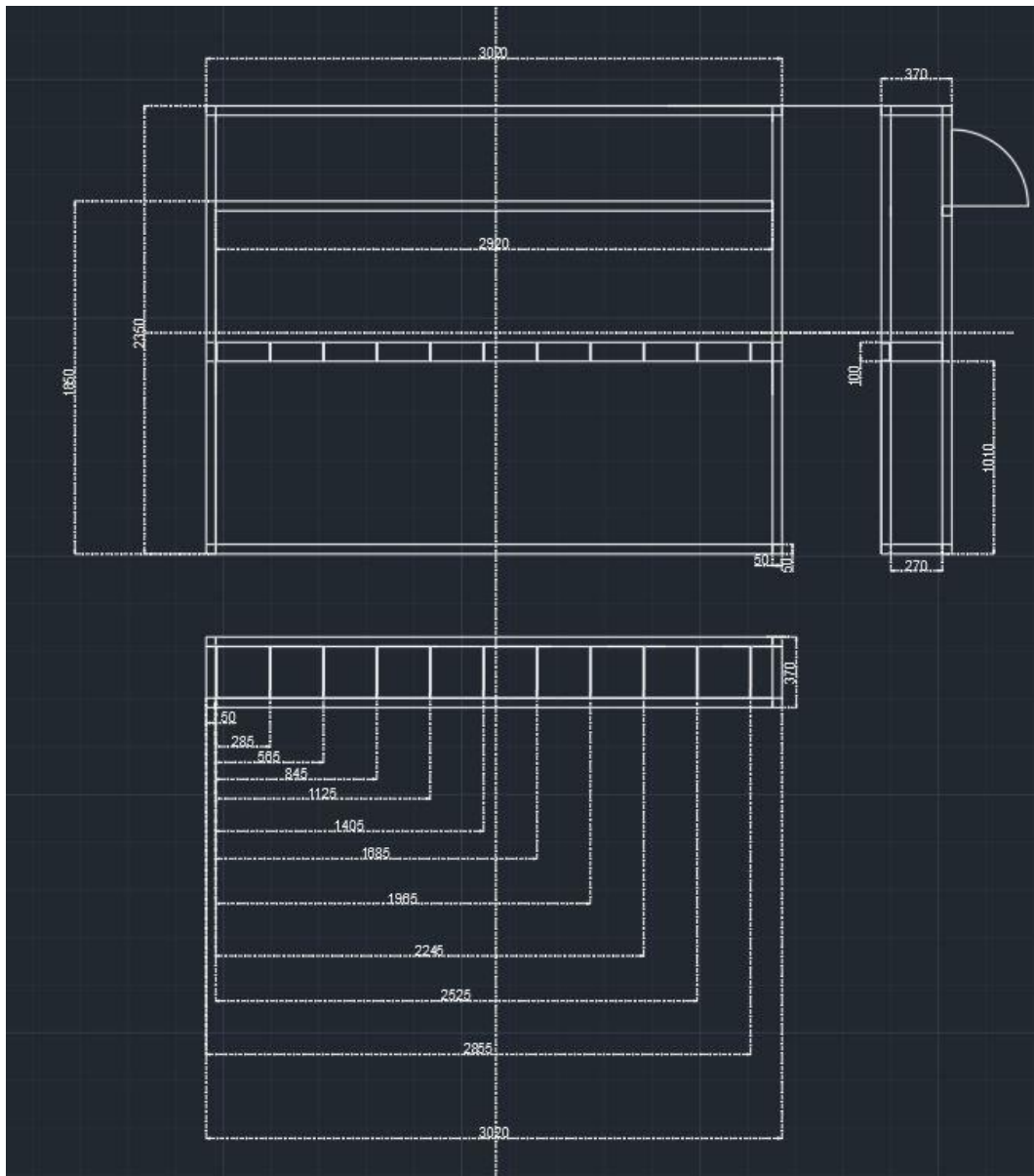
Kaasupullojen teline piirrettiin myös moneen kertaan ja lopulta päädyttiin yhteisymmärrykseen. Kehikko tehtiin 50 mm x 50 mm x 3 mm raudasta ja se hitsattiin lattiaan kiinni, jotta se olisi tukeva. Kehikosta jätettiin alin eturauta pois, jotta kaasupullojen vaihtaminen olisi helpompaa. Näin ollen ei painavia kaasupulloja tarvitse nostaa, vaan pyörittää paikoilleen.

Aluksi kaasupullojen kehikko ajateltiin laitettavan kiinni seinästä samalla tavalla kuin analysaattorin kehikko, mutta se laitettiin vain nojaamaan ilmastointikanavaa vasten ja säästettiin hieman tilaa jo valmiiksi aika täydentuntuiselta alueelta.

Kaasupulloja tulee kehiikkoon 10 kappaletta, näistä neljä on mittauskaasuja ja kuusi kaasua on kalibrointikaasuja. Kuvassa 1 on esitetty kaikki kaasut ja niiden sijainnit kaasupullojen kehiikossa. Kaasupullot ovat kaikki 50 litran suuruisia, mutta paineet

vaihtelevat pulloittain. Myös kaasupullojen eteen tuli samasta polykarbonaattilevystä kolme läppää, joita voitiin nostaa, jotta päästään helposti säätämään kaasupullojen venttiileitä. Lämpät suojaavat myös venttiileitä pölyltä ja kukaan ei vahingossa pääse niihin koskemaan.

Kaasupullojen läppiin laitettiin kiinni pultilla kahvat ja kahvoihin peltipalat tukemaan levyä. Kahvoista on hyvä nostaa ja laittaa läpät kiinni magneettia vasten. Kaappiin laitettiin vahvat magneetit peltiin kiinni, jotta läppä pysyy ylhäällä huollon tai venttiilien säätämisen yhteydessä. Jokaiseen läppään tulee yksi magneetti. Magneettien vetovoima on 3,7 kg, joka on paljon suurempi kuin vaadittava vetovoima.



**Kuva 8.** Kaasupullojen kehikosta AutoCAD-piirros.

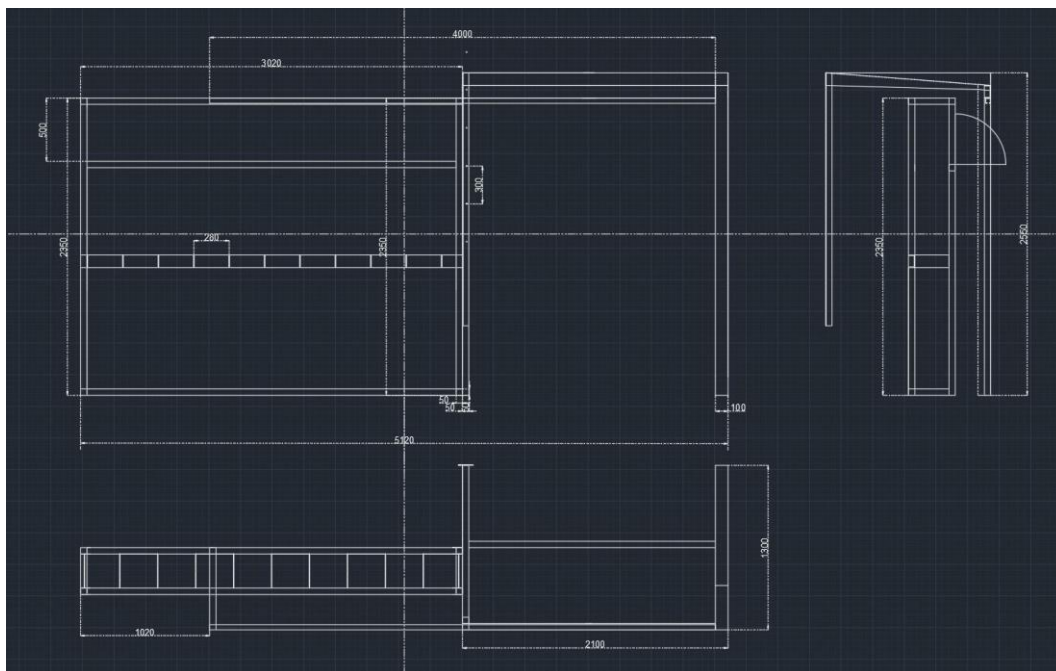




**Kuva 9.** Kaasupullojen kehikko, rakennettu AutoCAD-piirustuksien mukaan.



**Kuva 10.** Kaasupullot valmistuneessa telineessä.



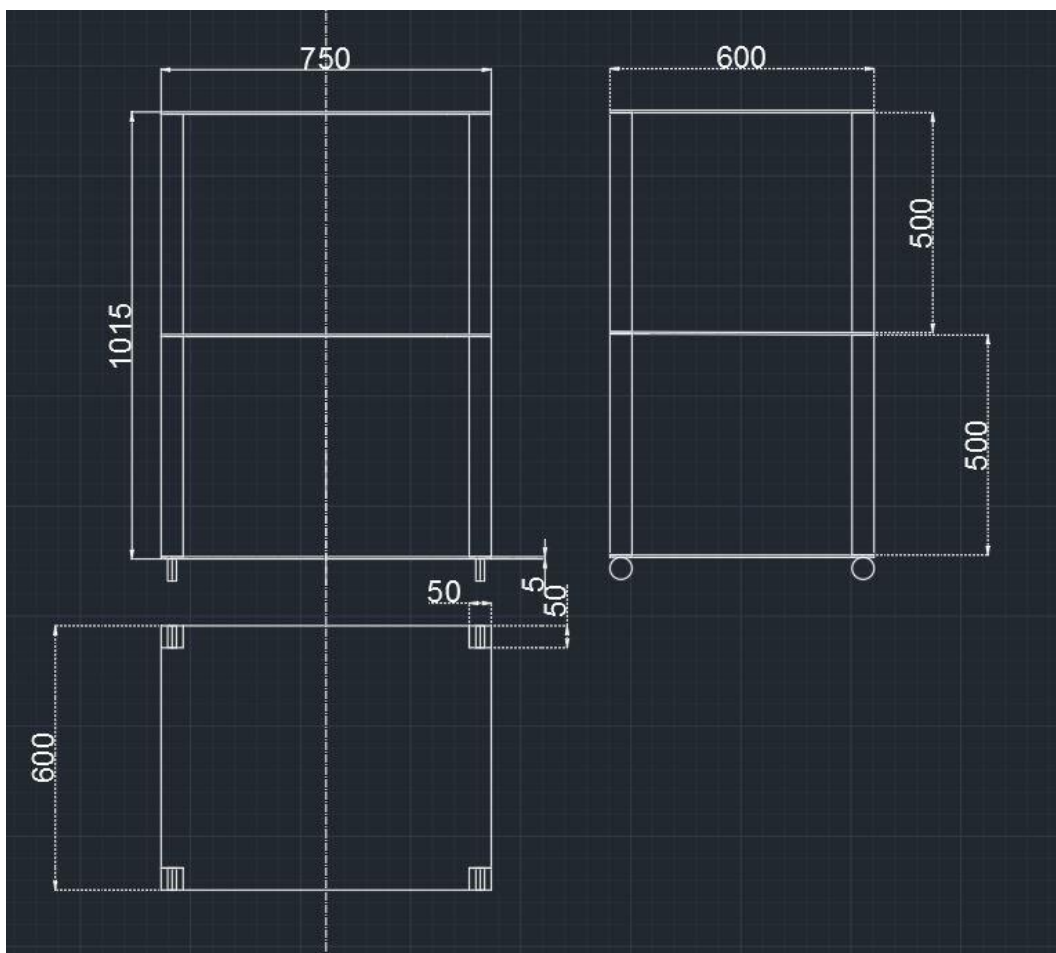
**Kuva 11.** Kaasupullojen- ja analysaattorin kehikko yhdessä.

### 3.5.3 Tasohylly

Tasohylly piirrettiin kolmeen kerrokseen, sen eteen tuli kaksi vapaasti liikkuvaa pyörää, jotka pystytään lukitsemaan. Tasohyllyn taakse laitettiin kaksi kiinteää pyörää. Näin tasohyllyä saa liikuteltua helposti ja huolto onnistuu paremmin. Tasohyllyille tuli kumimatot suojaamaan hyllyn maalikerrosta ja vähentämään laitteisiin kohdistuvaa tärinää. Kumi pitää laitteet myös hyvin paikoillaan. Tasohyllylle tulee kaksi pumppuyksikköä ja kolme letkulämmitintä. Tasohyllylle tulee myös Heated Bypass, jonka kautta kaasut menevät laitteelle. Tasohyllyn tasot tehtiin metallilevystä, jonka paksuus oli 4 millimetriä. Tasohyllyn pyörien kantolujuus on 75 kg, joten yhteiskantavuus on tällöin 300 kg, joka riittää helposti.

E. Niemelä OY hoiti kaikki hitsaukset ja kehikoiden rakentamiset todella hyvin piirroksien mukaan. Niemelä myös maalasi ja siivosi alueen. Niemelä tilasi paljon materiaalia ja kävi tilanteen vaatiessa hakemassa lisää.

Polykarbonaattilevyt tilattiin Etran kautta, niinkuin magneetitkin, jotka lukitsevat läpät ja liukuoven. Maalit ja liimat paikanpäälle toi Wärtsilän alihankkija GC West Fastigheter Ab.



**Kuva 12.** Tasopöytä kolmella tasolla ja pyörillä.

### 3.6 Läpiviennit

Kehikot maalattiin harmaalla maalilla ja ne pellitettiin. Pellistä tehtiin läpiviennit myöhemmässä vaiheessa projektia. Läpiviennit piti tehdä lämmitetylle letkulle, mittauskaasuille ja kalibrointikaasuille. Läpivientejä moottorien koeajo soluihin piti tehdä myös. Solusta yksi tehtiin läpivienti lämmitetylle linjalle soluun kaksi, josta molemmat linjat menevät suoraan analysaattorin kaapin taakse. Alla kuvassa Hiltin palokatkokaus, joita on käytetty ennenkin kyseisissä tiloissa. ( Kuva 13)



**Kuva 13.** Hiltin suljettava CFS-SL-palokatkokaulus (Hilti).

Projektissa täytyi mitata lämmitettyjen letkujen pituudet, koska vanhat kuuluivat laboratoriolle ja he halusivat ne takaisin projektin päätyttyä. Mittaaminen tapahtui laser-mitalla ja rullamitalla. Lämmitettyjen letkujen paikat ja läpivienti piti määrittää tarkasti. Letkujen läpiviennit ja reitti, mitä pitkin ne tulevat analysaattorille, saatiin määritettyä. Letku ei saanut olla lähellä kaasuputken laippoja, koska jos ne vuotavat, voivat letkut aiheuttaa räjähdysvaaran.

### **3.7 Esilämmitettyjen suodattimien sijoitus**

Koeajosuoihin määritettiin paikat tasolle, jotka pitävät esilämmitettyjä suodattimia paikoillaan. Soluihin laitettiin tasot, jotka oli tehty 50x50 mm putkesta ja näihin laitettiin kulmaraudat pitämään laitteita paikoillaan. Tasot hitsattiin palkkeihin kiinni. Hitsauksen ajaksi tarvittiin soluihin tulityöluvat, koska soluissa on kaasuputkia ja moottoreita koeajetaan. Tasot maalattiin vielä, jotta ne näyttivät paremmilta ja ovat paremmin suojattuna korroosiolta.

### **3.8 CAN-linjat**

CAN-linjat vedettiin laitteelta laitteelle. Ne kytketään sarjaan ja viimeisenä olevaan laitteeseen laitetaan 120 Ohmin vastus ON-asentoon. Tällä tavoin ohjaus kulkee laitteelta laitteelle. Muissa laitteissa vastukset ovat OFF-asennossa.

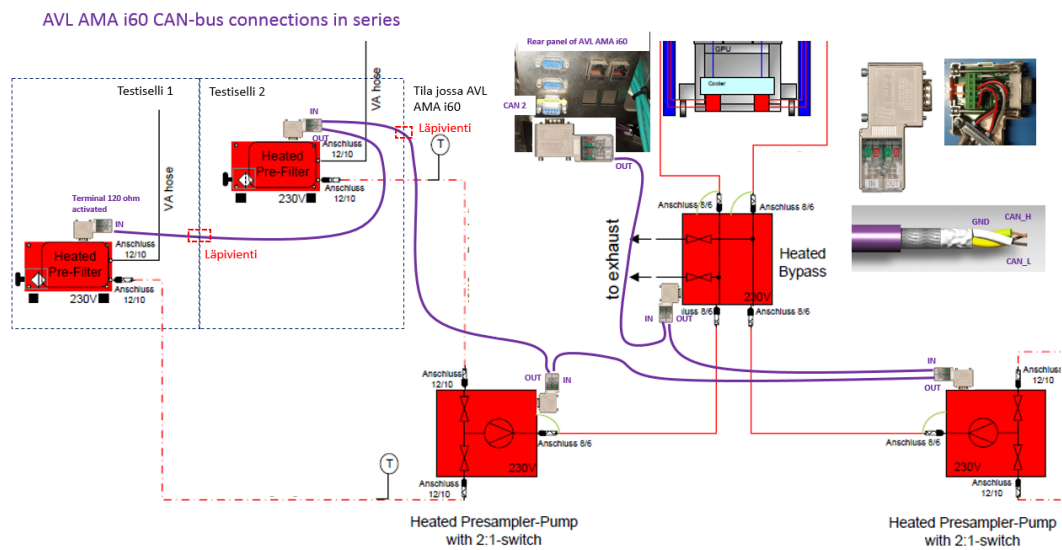
Ensimmäisenä laitteena on AVL AMA, jolta vedetään CAN-linja pumppuyksikölle, joka säätelee paineita ja määrittää lämmitetyn linjan, jota mitataan. Heated Bypass säättää oikean paineen ja virtauksen, minkä AVL AMA:n analyyttorit tarvitsevat toimiakseen oikein. Bypass-laitteelta vedetään CAN-linja aluksi toiselle lämmitetylle esinäytepumpulle, jolta se vedetään toiselle samanlaiselle, jotka molemmat sijaitsevat liikutettavalla työtasolla. Sieltä se vedetään solussa kaksi olevaan lämmitettyyn esisuodattimeen ja lopulta viimeiseen laitteeseen solussa yksi, joka on samanlainen kuin solussa kaksi. (Kuva 12) Näitä kyseisiä laitteita ohjataan CAN-linjan avulla, joka avaa instrumentti-ilmalla venttiileitä.

Ohjaukset toimivat näin koko systeemin lävitse ja AVL AMA analyyttorin tietokone lähettää CAN-linjalta saatavan informaation Ethernetin välityksellä valvomoon. Näin valvomossa ollaan tietoisia, mitä soluissa tapahtuu.

CAN-linjan tehtävänä on ohjata kahta lämmitettyä esisuodatinta, kahta näytteenottopumppua sekä bypass-yksikköä AMA i60 -analyyttorin avulla. CAN-väylää pitkin menee tieto laitteille, milloin eri venttiilit pitää olla missakin auki ja milloin tehdä PURGE-toiminto eli takaisin puhallus. PURGE-toiminto periaatteessa puhdistaa suodattimet ja kanavat. CAN- väylää pitkin menee myös tieto, milloin näytteenottopumppujen pitää käynnistyä ja mistä linjasta mitataan päästöjä. Linjoihin yksi ja kaksi vedettiin CAN-linja, mutta kolmanteen linjaan kolmanteen soluun ei tarvinnut vetää, koska siellä on erilainen esisuodatin. Siinä ei ole PURGE-toimintoa, eikä CAN-väyläohjausta. Tämän kolmannen esisuodattimen oma näytteenottopumppu käynnistyy CAN-väylän välityksellä, kun sitä halutaan mitata. CAN-linja asennettiin Tähtipiste Oy:n toimesta.



**Kuva 14.** CAN-Liitin, jossa ON ja OFF 120 Ohmin vastuksen säätö (Elfa Distrelec OY).



**Kuva 15.** CAN -väylien reititys solusta 1-ja 2-analysaattorille.

### 3.9 Lämmitetyt linjat

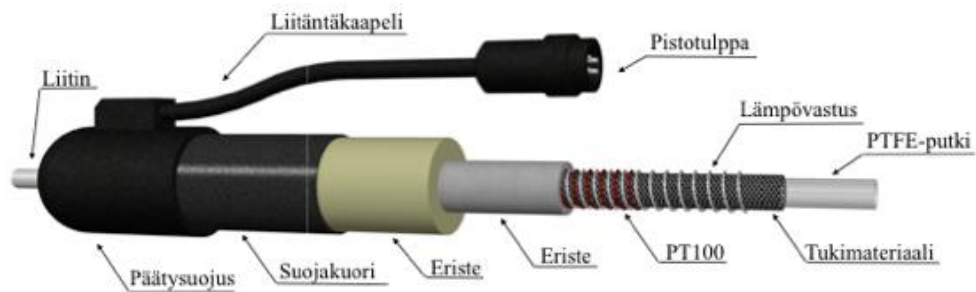
Lämmitetyt linjat kuljettavat kuumaa pakokaasua pakoputkesta analysaattorille. Lämmitetyssä linjalla pakokaasu pyritään pitämään n. 190 celsiusasteen

lämpötilassa, jotta näytekaasu ei muuttuisi matkalla. Näytekaasu pysyy kuumana lämpövastuksen avulla ja hyvän eristyksen avulla linjassa. Linjojen avulla höyryn tiivistyminen pyritään eliminoimaan. Lämmitettyjen linjojen avulla kalliit päästön mittauslaitteet voidaan säilyttää turvallisemmassa tilassa, missä on helpompi työskennellä laitteiden parissa. Jokaisen lämmitetyn linjan päähän laitettiin eristeet. Liittimet kuumenevat ja nämä täytyi eristää. Eristäminen tapahtui punaisella silikonivahtoeristeellä, joka kestää hyvin lämpöä. Linjat täytyy vetää soluihin AVL:n ohjeistuksen avulla, jotta vältetään niiden liialta kulumiselta (Liite 1).

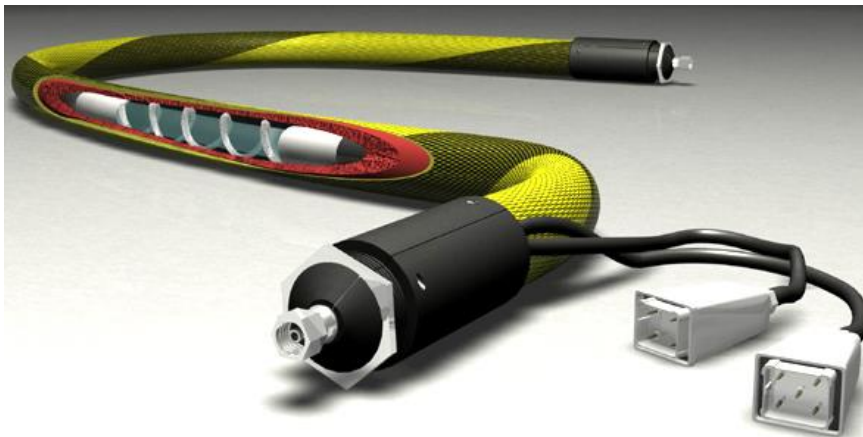




**Kuva 16.** Teräslittimien eristykseen käytettiin silikonivaahtoputkia.



**Kuva 17.** Lämmitetyn näyttelinjan komponentit lueteltuna.



**Kuva 18.** Lämmitetty linja (RACOSAS).

Lämmitetyt linjat tilattiin Italiasta RACOSAS-nimiseltä elektroniikkayritykseltä. Linjat tarvitsevat sähköä, jotta ne pysyvät kuumina. Soluissa 1 ja 2 on esilämmitetty suodatin, jolta vedetään 2,5 m pituinen pätkä pakoputkeen. Alle 2,5 m linjoja ei tarvitse lämmittää. 13 metrin pituisessa linjassa ja 26 metrin pituisessa linjassa



käytetään 90 W/m lämpövastuksia. 32 metrin linjassa taas 75 W/m:n vastusta, koska sulakkeemme eivät olisi kestäneet 90 W/m:n vastusta niin pitkälle matkalle. Sulakkeet kestävät 10 ampeeria. Ohmin laiksi kutsutaan yhtälöä  $U = RI$ , joka yhdistää virran (I), jännitteen (U) ja resistanssin (R) toisiinsa. Ohmin lain avulla voidaan kirjoittaa myös sähkötehon (P) kaava, jolla saadaan laskettua sulakkeiden kestävyudet:

$$P = \frac{U^2}{R} = RI^2$$

Yksinkertaisemmin kirjoitettuna sähkötehon kaavaksi saadaan:

$$P = UI \rightarrow I = \frac{P}{U} = \frac{90W \times 32m}{230V} = 12,5 A$$

Edellisessä laskutoimituksessa 10 A- sulakkeet eivät riitä, siksi lasketaan hieman vastuksien tehoa metriltä. Näin päästään lähellä 10 ampeeria.

$$P = UI \rightarrow I = \frac{P}{U} = \frac{75W \times 32m}{230V} = 10,4 A$$

$$P = UI \rightarrow I = \frac{P}{U} = \frac{90W \times 26m}{230V} = 10,2 A$$

Molemmat laskutoimitukset antavat hieman yli 10 ampeerin tuloksen, mutta se riittää käytännössä lämmittämään linjoja tarpeeksi. Tämän pitäisi riittää, koska sulakkeet ovat yleensä mitoitettu kestävänsä hieman isompia virtoja kuin mitä niihin on merkattu.

### 3.10 Häätä-seis-kytkin ja ON/OFF-painike

Laitteella on myös hätä-seis-kytkin. Käynnistetään myös tästä kyseisestä napista ja vivusta. Laitteessa on kaksi ON- ja OFF- näppäintä, jotta vahinkokäynnistyksiä ei tulisi. Aluksi laitetaan päävirta päälle vasemmasta vivusta, joka toimii myös hätä-seis-painikkeena. Laite käynnistetään lopulta oikeanpuolimmaisesta painikkeesta.



**Kuva 19.** Häätä-seis-kytkimet sijaitsevat laitteen etupaneelissa (Users Guide AVL).

## 4 KAASUNHÄLYTYSJÄRJESTELMÄ

Kaasunhälytysjärjestelmä tilattiin Sarlin OY:ltä. Kaasunhälytysjärjestelmään kuuluu kaksi vilkku- ja sireenihälytintä, joista toinen sijoitettiin työpisteelle ja toinen valvomoon. Toinen Sensepoint-anturi tunnistaa palavat kaasut. Tätä kutsutaan LEL-anturiksi. Toinen anturi tunnistaa myrkylliset kaasut. Tätä anturia kutsutaan EC-anturiksi. Näitä Sensepoint-antureita valmistaa Honeywell, jonka järjestelmä on jo valmiina eli nämä on helppo yhdistää järjestelmään. /9/

Kaasutunnistimet ovat ATEX-Certifikoituja ja nämä täyttävät viimeisimmätkin Euroopan stantardit. /1/



**Kuva 20.** Sensepoint-kaasutunnistimet (Sarlin OY).

Anturit sekä hälyttimet kytkettiin jo Wärtsilässä ennestään olevaan hälytysjärjestelmään. Järjestelmässä oli vielä tilaa liittää useampi hälytin ja anturi, joten päästiin hieman halvemmalla. Normaali hälytyksestä kaikkien kaasujen venttiilit menevät automaattisesti kiinni, mutta tämä saatiin ohitettua. Mikäli tulee hälytys laitteilta, se huomataan nopeasti valvomosta ja hoidetaan kuntoon ilman, että muut venttiilit menisivät kiinni ja moottorien koeajo keskeytyisi.

Projektiin tarvittiin myös sisääntulo-moduuli, koska yksi kortti tuli vaihtaa. Kortti täytyi vaihtaa, jotta saatiin kaksi kappaletta 2 mV- ja 2mA- sisääntuloa, jotka tarvittiin hälyttimille.



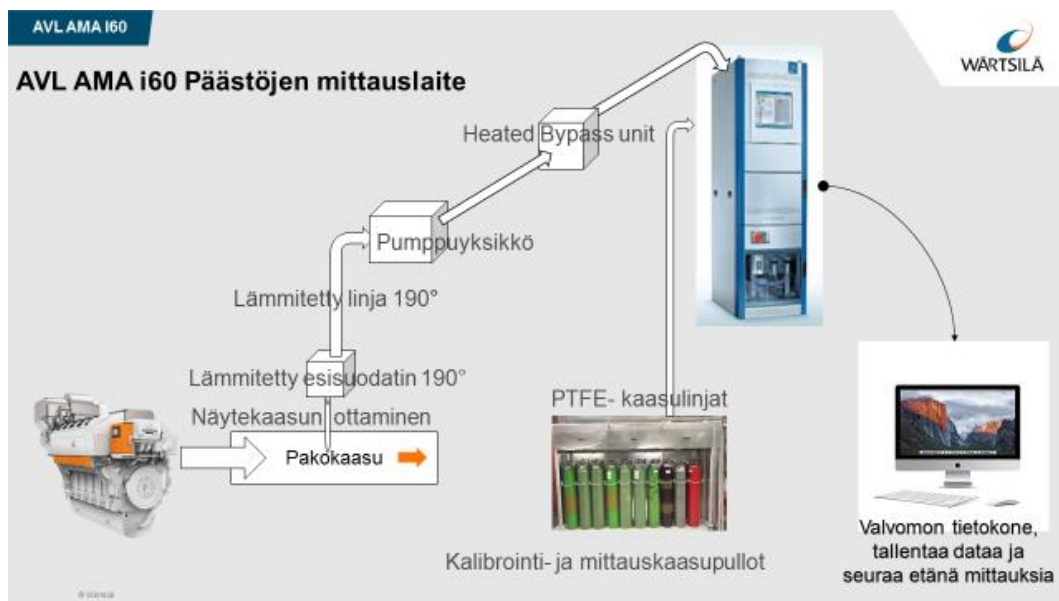
**Kuva 21.** Vaarallisen alueen ääni- ja valohälytin (Honeywell).

## 5 AVL AMA I60



**Kuva 22.** Analysaattori AVL AMA i60 -päästömittauslaite.

Tässä kyseinen laite (Kuva 21), joka tullaan asentamaan koeajoon. Laite sisältää monia eri laitteita, jotka muodostavat yhden ison kokonaisuuden. Laite täyttää ISO 8178 standardin ja mittauksen laadunvarmistuksen takaa ISO 9000.



**Kuva 23.** AVL AMA i60:n toiminta periaate.

## 5.1 Suunnitteluvaihe

Tätä kyseistä analysointia on kaavailtu jo kauemmin Wärtsilän tiloihin helpottamaan päästömittauksia. Hanke on todella laaja ja tarvitsee paljon eri alan ammattilaisen osaamista.

## 5.2 Jäähdytys

AVL AMA i60 päästönmittauslaitteessa jäähdytys hoidetaan vain tuulettimilla. Joissakin toisissa laitteissa on erilaisia jäähdytysjärjestelmiä, mutta tässä kyseisessä laitteessa ei sellaisia tarvita. Lämpötilan pitää olla stabiili mittauslaitteiden ympäristössä, jotta lämpötila ei heikentäisi tuloksien tarkkuutta. Uusia tuulettimia pitää tilata, koska laitteessa toimivat vain kaksi viidestä tuulettimesta.

## 5.3 Kalibrointikaasut

Kalibrointikaasut ovat kaasuja, joita käytetään laitteiden kalibrointiin eli nollaukseen. Toimiakseen kunnolla pakokaasuanalysointilaitteita on kalibroitava säännöllisesti. Kalibrointiin käytetään kaasuja, joiden koostumus on tunnettu. Kalibroinnin periaate on sama kuin minkä tahansa muun anturin eli tarkoitus on

asettaa nollapiste. Tässä tapauksessa nollapiste saavutetaan huuhtelemalla laitteisto puhtaalla typellä, jota jokus kutsutaan ”nolla ilmaksi”. Sen jälkeen 100 %:n arvo asetetaan tunnetun vertailukaasun avulla. Kaasu voi olla esimerkiksi ympäröivää ilmaa tai nollakaasua, joka on laimennettua tedetyllä suhteella. Koko kalibroinnin ja mittausten jälkeen järjestelmä huuhdellaan aina kalibroitikaasulla tai instrumentti-ilmalla, jotta vältytään linjojen rappeutumiselta ja ylikuulumiselta. /6/

Projektissa käytetään kuutta eri kalibroitikaasua. Näitä kaasuja ovat happi (O<sub>2</sub>), jossa on 23 % happea ja loput typpeä (N<sub>2</sub>). Toinen kalibroitikaasu on metaani (CH<sub>4</sub>), jonka konsentraatio on 1800 ppm. Kolmas kalibroitikaasu on propaani (C<sub>3</sub>H<sub>8</sub>), jonka konsentraatio on 900 ppm. Propaanista loput on synteettistä ilmaa. Neljäs kalibroitikaasu on hillidioksidi (CO<sub>2</sub>), joka on yhdeksän prosenttiyksikön vahvuista. Tästäkin loput on typpeä (N<sub>2</sub>). Viides kalibroitikaasu on hiilimonoksidi (CO), jonka konsentraatio on 900 ppm. Loput kaasupullosta on typpeä (N<sub>2</sub>). Kuudes ja viimeinen kalibroitikaasu on typpimonoksidi (NO), jonka konsentraatio on 1800 ppm. Tästäkin kaasupullosta loput on typpeä (N<sub>2</sub>). Kaikki kaasupullot tilattiin Teknohaus OY:ltä.

#### 5.4 Mittauskaasut

Kaikkia näitä kaasuja pitää säilyttää kovassa paineessa, normaalisti 150:n ja 200:n baarin paineessa. Kaasuja jaetaan pulloista n. 1 - 1,5 baarin paineella analysaattorille. Putkien täytyy olla puhtaita, jotta kaasujen koostumus ei muutu putkessa. Putket ei saa olla liian pitkiä, jotta ne eivät aiheuttaisivat paineen laskuja. Tässä tapauksessa käytämme Flourplast OY:n PTFE letkuja, joilla siirrämme kaasut pulloilta analysaattorille. PTFE letkut ovat ulkohalkaisijaltaan 6 mm ja sisähalkaisijaltaan 4 mm. Kaasulinjat ovat suhteellisen lyhyitä ja siksi ei periaatteessa tarvittaisi metallisia putkia. /6/

Mittauksissa tarvitaan myös kahta hieman erikoista kaasua. Nämä kaasut ovat 100 % happi (O<sub>2</sub>) ja vety(H)/helium(He) seos, jossa on 40 % vetyä ja 60 % heliumia. Nämä ovat molemmat palavia kaasuja ja siksi näihin käytetään kapillaariputkia

turvallisuussyistä. Kapillaariputki on ruostumatonta terästä, vahvaa ja hyvin taipuisaa, joten sitä voidaan käyttää hyvin letkuna. Kapillaariputken sisähalkaisija on 2 mm ja ulkohalkaisija 3 mm. Tämän takia jouduttiin tekemään 3 mm/6 mm:n liitin, jotta saatiin yhdistettyä kapillaariputki analysaattorin pikaliittimeen, joka on 6 mm putkelle tarkoitettu. Ylimääräiseksi jäänyttä PTFE letkua käytettiin jatkamaan kapillaariputkea analysaattoriin.



**Kuva 24.** PTFE letkun ja kapillaariputken yhdistäminen.

Jokainen kaasulinja merkattiin molemmista päistä, jotta huollon yhteydessä ei kaasulinjat vahingossa vaihda paikkoja. Yllä olevassa kuvassa näkyy merkkkaus. Kyseessä on vety-heliumkaasuseos, joka on ATEX- kaasu. (Kuva 16).

Projektissa käytetään neljää eri mittauskaasua. Ensimmäinen näistä kaasuista on 100 % happi ( $O_2$ ). Toinen näistä on 100 % typpi ( $N_2$ ). Kolmantena on



vety(H)/helium (He)-seos, josta 40 % on vetyä ja 60 % heliumia (He). Neljantenä mittauskaasuna käytetään synteettistä ilmaa (SA).

### 5.5 Paineensäätöventtiilit

Paineensäätöventtiilit laitettiin jokaisen kaasupullon päähän. Näin pystytään seuraamaan, paljonko kaasua on vielä pulloissa jäljellä. Paineensäätöventtiileillä pystytään takaamaan tasainen virtaus laitteelle. Tällöin vältetään ylipaineelta. Ensimmäisen säätimen avulla pystytään valitsemaan paine, jolla kaasu tulee pullosta. Toisen säätimen avulla pystytään säätämään paine, jolla kaasu menee eteenpäin analysaattorin eri laitteisiin (Kuva 25). Käyttöpaineena käytetään 1 - 1,5 baaria.



**Kuva 25.** Teknohaus-paineensäätöventtiili.

### 5.6 Kaasulinjojen sijoitus

Kaasuletkut laitettiin kiinni kaasupullojen kehikön takaseinään kumisten kiinnikkeiden avulla. Näin ne eivät ole edessä ja pysyvät hyvin suojassa kolhuilta.

PTFE-letkut kulkivat pitkin analysaattorin suojakaappia, josta ne kulkivat poistovesiputkien takaa lopulta analysaattorin taakse. Kapillaariputket vedettiin samalla tavalla ja samaa reittiä kuin PTFE letkut. Letkuihin tehtiin vedonpoistot ennen analysaattoria ja analysaattoriin, jotta letkut eivät lähtisi irti pikaliittimistä, kun analysaattoria liikutellaan. Kaasulinjat niputettiin hyvin nippusiteillä, jotta ne eivät ole edessä ja niitä on helpompi käsitellä.



**Kuva 26.** PTFE-letkujen pikaliittimet ja merkkaukset analysaattorin takana.

## 5.7 Laitteen sähköistys

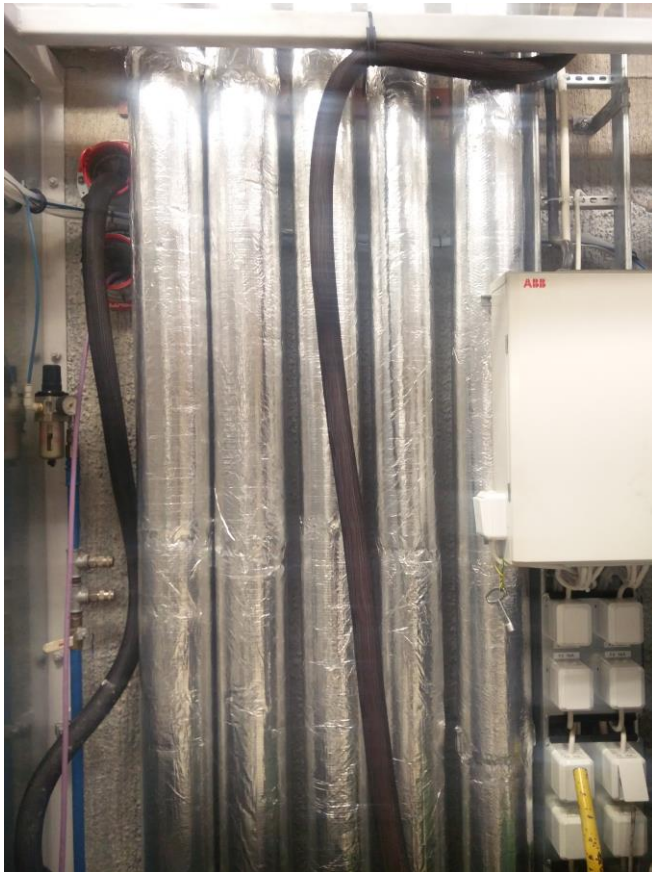
AVL AMA i60 tarvitsee 32 A CEE-liittimen sähköistykseen laitteen (Kuva 25). Sähköjärjestelmä on kolmivaiheinen. Vakaa ja jatkuva virran saanti tarvitaan, jotta laite toimii oikein ja ilman häiriöitä.



**Kuva 27.** CEE-liitin laitteen sähköistystä varten.

### **5.8 Kaapin ilmastointi**

Kaappi on varustettu tuulettimilla, jotta saadaan lämpö poistettua kaapista. Kaasun prosessointi yksikkö on myös varustettu tuulettimilla, jotta myrkylliset kaasut eivät pääse pakkaantumaan kaapin sisälle, mikäli kaasulinjat vuotavat. Suojakaapin takaseinällä menevät vesiputket ovat tarkoitettu moottorin jäähdyttämiseen. Kaikki putket ovat suhteellisen kuumia, sillä niissä liikkuu jäähdytysvesi sisään ja ulos. Nämä putket täytyy eristää, jotteivat ne tuota liikaa lämpöä kaappiin. Huoneessa on hyvä ilmastointi ja sitä ei tarvitse miettiä sen enempää projektin kannalta. Eristämisen jälkeen suojakaapin lämpötila laskee huomattavasti, mikä on hyvä asia analysaattorin kannalta.



**Kuva 28.** Jäähdytysvesiputkien eristys (Paroc Hvac Alucoat T).

### 5.9 Pakokaasun poisto

Pakokaasu menee analysaattorin lävitse, jossa mittaukset tapahtuvat. Tämän jälkeen pakokaasu päästetään huoneistoon. Huoneistossa on todella hyvä ilmastointi, joten pakokaasun poistolle ei ole tarvetta. Laite tuottaa arviolta  $4.2 \text{ m}^3/\text{h}$  pakokaasua. Pakokaasun takaisinkierrätystä (EGR) ei ole. EGR kierrättäisi pakokaasun takaisin pakoputkeen ja sitä kautta ulos.

Pakokaasu laitettiin menemään pois kopista ylimääräiseksi jääneen PTFE-letkun avulla. Pakokaasu ohjattiin vain yksinkertaisesti pois muualle huoneistoon, jotta kopin ilmanlaatu pysyy mahdollisimman hyvänä ja siellä on hyvä työskennellä.

## 5.10 Paineilma

AVL AMA i60 tarvitsee toimintaansa myös paineilmaa. Huoneessa oli valmiina jo paineilma, minne laite sijoitettiin. Pienillä muokkauksilla saatiin paineilma analysaattorin kaapin sisään. Paineilmaa tarvitaan paineistamiseen eli venttiileiden ohjauksiin ja laitteen puhdistamiseen. Paineilman säätöventtiili koottiin useasta osasta, jotta saatiin se sopimaan tarkoitukseen. Säätöventtiilissä on myös mittari ja siitä voidaan nähdä putkessa vallitseva paine.

Paineilmaa tarvitaan lähes jokaiselle laitteelle. SMC:n paineilman säätöventtiileissä on myös suodattimet, jotka puhdistavat ilmasta kosteudet ja muut epäpuhtaudet. SMC:n säätöventtiileissä on myös automaattinen tyhjennys kondenssiovedelle. Soluihin yksi ja kaksi tarvittiin myös paineilmaa. Soluissa tarvittava ilma täytyi olla instrumentti-ilmaa, joka on täysin puhdasta ilmaa. Laitosmiehet hoitivat instrumentti-ilman sellisiin tarvittaville paikoille.



**Kuva 29.** SMC:n paineilman säätöventtiili pikaliittimellä.

### **5.11 Kondensiovesi**

Laite tuottaa keskimäärin 100 ml/h. Tämä täytyy ottaa huomioon ja laittaa kondensiovesi virtaamaan säiliöön. Huoneistossa on kuitenkin niin suuri ilmanvaihto, että säiliötä ei todennäköisesti tarvitse ikinä tyhjätä. Kondensio vesi voidaan myös johtaa alakertaan suoraan viemäriin.

### **5.12 Lämmitetty näytteenotto yksikkö (HSU)**

Lämmitettylinja menee lämmitetyltä näytteenotto yksiköltä analysaattoriin, joko ylä- tai alakautta.

### **5.13 Raakakaasu mittaus**

Raakakaasu mittauksessa otetaan suoraan pakokaasua pakoputkesta. Ruostumaton teräsletku suojaa lämmitettyälinjaa ylikuumentumiselta ja tärinältä. Raakakaasu mittauksessa näytekaasua ei laimenneta millään lailla.

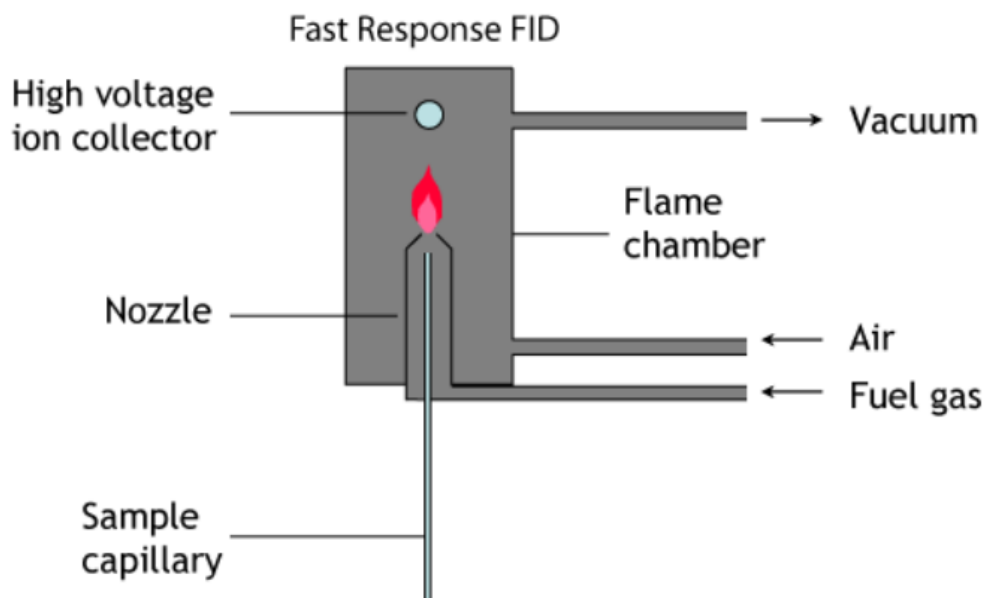
## **5.14 Tyypillinen päästöjen mittausjärjestelmä**

AVL AMA i60:ssä on useita eri komponentteja, mitkä mittaavat eri päästöjä. Seuraavaksi esitetään kaikki komponentit, missä ne sijaitsevat fyysisesti laitteessa, mitä ne mittaavat ja pintapuoleisesti, miten ne mittaavat. Toimintaperiaatteisiin ei sen syvällisemmin paneuduta, koska ne eivät kuulu opinnäytetyön aiheeseen.

### **5.14.1 FID – Flame Ionization Detector**

AVL FID on suunniteltu mittaamaan THC pitoisuuksia pakokaasuista. FID voi myös vaihtoehtoisesti mitata metaania ( $\text{CH}_4$ ). FID:n tulokset ilmaistaan yleensä metaanina, mikä tarkoittaa metaanin määrää, joka tarvittaisiin tuottamaan sama tulos.

FID:n toimintaperiaate perustuu ioneiden tunnistamiseen, jotka syntyvät kun orgaanisia komponentteja poltetaan vety (H) -liekillä (Liite 2). Ionisoitu näytekaasu antaa sähköisen varauksen virrata kahden elektrodin välillä muodostaen potentiaalieron. Virta on verrannollinen hiiliatomien määrään. Mittausperiaatteena käytetään suhteellista mittausta. Mitattavaa virtaa verrataan jo tiettyyn virtaan tietyllä kaasulla ja tietyllä konsentraatiolla, jolloin saadaan laskettua tulos ppm yksikkönä. /8, 3/



**Kuva 30.** FID:n toimintaperiaate.

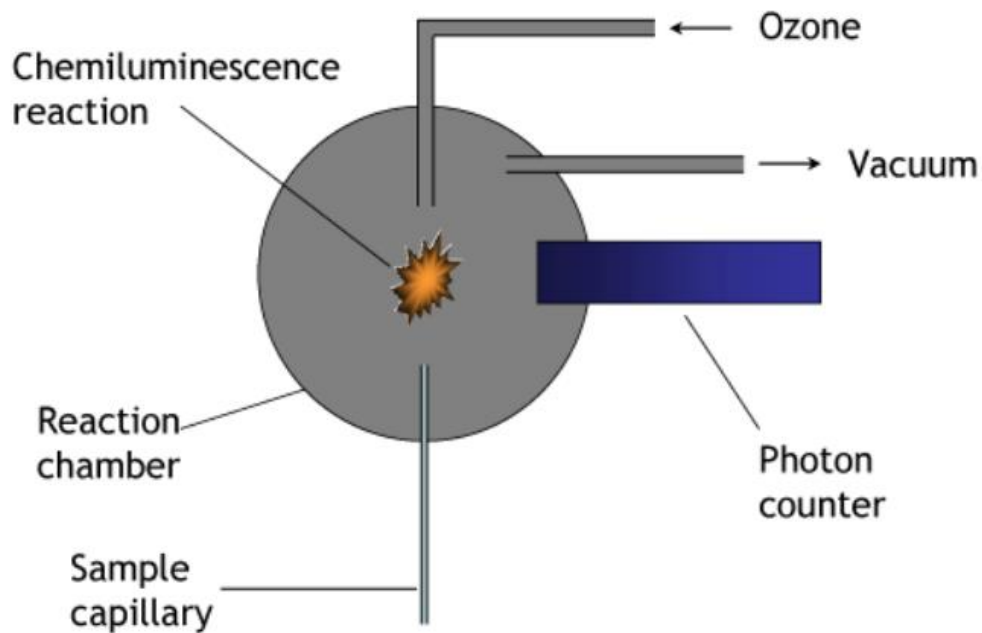
### 5.14.2 CLD – Chemiluminescence Detector

CLD eli kemiluminesenssi tunnistin on suunniteltu mittaamaan typpioksidien ( $\text{NO}_x$ ) konsentraatiota pakokaasuissa. CLD:n toiminta perustuu kemiluminesenssi reaktioon, josta lasketaan protonien määrä PMT-laitteella. Reaktio tapahtuu typpioksidin ja otsonin kohdatessa, jossa ne emittoivat valoa. Kemiluminesenssi säteily on verrannollinen typpioksidin konsentraatioon, kun ylijäämä otsoni on otettu pois laitteen tunnistimella ja muutettu elektroniseksi signaaliksi.

CLD-laite käyttää happea muodostakseen otsonia, jotta reaktio saadaan aikaiseksi. Mittauskaasuna käytetään typpioksidi-typpiseosta ja kalibrointikaasuna puhdasta typpikaasua  $\text{N}_2$  (Liite 2).

Mikäli halutaan määrittää typpioksidien  $\text{NO}_x$  määrä, täytyy  $\text{NO}_2$  ottaa kaasusta pois etukäteen. /8/





**Kuva 31.** CLD-laitteen toimintaperiaate.

#### 5.14.3 IRD - Infrared Detector

IRD-analysaattoria käytetään hiilimonoksidin CO, hiilidioksidin CO<sub>2</sub> ja muiden erilaisten yhdisteiden esimerkiksi typpioksidin N<sub>2</sub>O ja heksaanin C<sub>6</sub>H<sub>14</sub> päästönmittauksessa (Liite 2).

Laitteen toimintaperiaate perustuu infrapunavalon säteilyyn. Säteily menee näytekäasun lävitse ja kaasun molekyylit absorvoivat itseensä valospektrin, mikä on tyypillistä kaasuille. Tätä kutsutaan absorptiospektriiksi. /8/

#### 5.14.4 PMD - Paramagnetic Detector

PMD-analysaattoria käytetään määrittämään hapen O<sub>2</sub> konsentraation (Liite 2) erilaisista pakokaasuista. Happi on paramagneettista eli se pyrkii heikosti menemään kohti magneettikentän keskusta. Tätä ominaisuutta hyödyntäen voidaan määrittää hapen konsentraatio. /8, 5/

## 6 JOHTOPÄÄTÖKSET

Tämän kehityshankkeen tavoitteena oli suunnitella ja asentaa pakokaasumittausjärjestelmä Wärtsilän koeajoon. Hankkeen tavoitteen saavuttamiseksi täytyi tutusta erilaisiin päästönmittausjärjestelmiin ja kuinka ne toimivat. Turvallisuus osoittautui myös hyvin suureksi tekijäksi hankkeessa. Hanketta ei saatu suoritettua aivan loppuun saakka, mutta fyysisesti lähes kaikki asennukset pystyttiin tekemään. Tämä johtui suurilta osin toimituksien viivästymisistä ja pitkistä toimitusajoista, vaikkakin kaikki tilattiin hyvissä ajoin. Koeajon koeajoaikataulu häiritsi myös asentamista ja mittauksia.

AVL AMA Päästönmittauslaite oli myös vanha. Sitä oli käytetty aikaisemmin Italiassa, mikä aiheutti ongelmia. Siihen täytyi tehdä uudet merkinnät ja tarkistaa laitteen toimivuus. Laitteeseen vaihdettiin myös paljon varaosia.

Kun laite saadaan lopulta toimimaan, tulee se helpottamaan päästönmittauksia todella paljon. Fyysisesti laitteen luona ei tarvitse käydä kuin avaamassa kaasupullojen hanat ennen kalibrointia ja mittauksia. Kaikki muu pitäisi saada ohjattua valvomon puolelta etänä. Hankkeeseen voidaan myös liittää uusi lämmitetty linja, mikäli sellaista joskus tulevaisuudessa tullaan tarvitsemaan.

Ennen todellista käyttöönottoa, jonka tulee tekemään AVL NORDISKA Ltd:n työntekijä, eli mittauksia ei voi periaatteessa tehdä. Laitetta voi testata ja katsoa, että kaikki toimii, mutta lopullisen käyttöönoton täytyy tapahtua heidän toimestaan.

Mittausjärjestelmää tulee olemaan helppo huoltaa, koska se otettiin hyvin huomioon mitoitettaessa ja AutoCAD-piirroksissa. Laitteen huoltokustannuksetkin ovat hyvin pieniä, mikäli ei jouduta tilaamaan AVL:n työntekijöitä Ruotsista. Ainoastaan joitain suodattimia ja O-renkaita täytyy vaihtaa.

## LÄHTEET

/1/ Kaasupullojen varastointi ja säilytys. Viitattu 28.1.2018.

[http://www.aga.fi/fi/safety\\_health\\_ren/cylinder\\_safety/storing\\_gas\\_cylinders/index.html](http://www.aga.fi/fi/safety_health_ren/cylinder_safety/storing_gas_cylinders/index.html)

/2/ ATEX Certification for the European Union 24.2.2018

<https://industries.ul.com/hazardous-locations/atex-iecex-global-market-access/atex-certification-for-the-european-union>

/3/ FID Flame ionisation detector toimintaperiaate.

<https://www.cambustion.com/products/hfr500/fast-fid-principles>

/4/ Tietoa Wärtsilästä. Viitattu 12.4.2018.

<https://www.wartsila.com/fi/wartsila>

/5/ Analysaattorien toimintaperiaate. Viitattu 2.4.2018.

[http://www2.emersonprocess.com/siteadmincenter/PM%20Rosemount%20Analytical%20Documents/PGA\\_Manual\\_NGA2000\\_PMD\\_SW3-3\\_200006.pdf](http://www2.emersonprocess.com/siteadmincenter/PM%20Rosemount%20Analytical%20Documents/PGA_Manual_NGA2000_PMD_SW3-3_200006.pdf)

/6/ Martyr, A. & M A Plint (2012). Engine Testing: The Design, Building, Modification and

Use of Powertrain Test Facilities. 4. Painos. San Diego: Elsevier Ltd. 600 s.

ISBN:

9780080969503.

/7/ Hilti (2017). Hilti Palokatkokaulus CFS-SL. Viitattu 18.3.2018.

<https://www.hilti.fi/palokatkot-ja-palosuojaustekniikka>

/8/ AVL kotisivut. Viitattu 23.3.2018.





<https://www.avl.com/-/avl-ama-i60-exhaust-measurement-system>

/9/ Sensepoint Honeywell tietoa antureista Viitattu 27.2.2018.

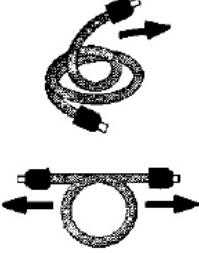
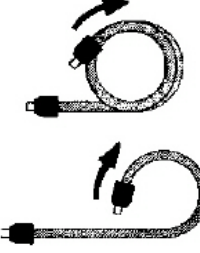


<https://www.honeywellanalytics.com/en/products/Sensepoint>

## LIITTEET









LIITE 1. Lämmitetyn näytelinjan asennusohje AVL:n käyttöoppaasta.

Wrong	Correct	Note
		<p>Avoid small bending radiuses, in the area of the connecting pieces above all.</p>
		<p>The heated lines should not sag - use suitable supports.</p>

**Kuva 32.** Lämmitettyjen linjojen asennusohje (AVL USERS GUIDE).

		<p>The heated lines are rolled up for transport and storage - they must not be used in this state.</p> <p>Before use, the lines have to be unwound completely.</p>
		<p>Do not stretch the lines when they are too short.</p>

**Kuva 33.** Lämmitettyjen linjojen asennusohje (AVL USERS GUIDE).

Wrong	Correct	Note
		<p>Avoid small bending radiuses.</p>
		
		<p>When inlet or outlet connections of the heated lines are moved (twisted), the lines must not be pulled excessively.</p>
		

**Kuva 34.** Lämmitettyjen linjojen asennusohje (AVL USERS GUIDE).

Liite 2. Kaasujen tarkoitukset mittausjärjestelmässä. (AVL USERS GUIDE).

<b>Type of gas</b>	<b>Intended use</b>	<b>Necessary for</b>
Nitrogen N <sub>2</sub> (technical)	Zero gas, purge gas	all
Synthetic air (technical) 20.5 % O <sub>2</sub>	Burner air of FID i60, zero gas of FID i60	HC, NO <sub>x</sub>
Hydrogen/Helium mix (40 % H <sub>2</sub> , 60 % He)	Burner gas of FID i60	HC
Oxygen O <sub>2</sub>	Ozonator of CLD i60	NO <sub>x</sub>
Span gases (several gases per component possible)	Calibration of the relevant measurement range	all
Compressed air, dry, oil-free	Control air of FID i60	–