

KYMENLAAKSON AMMATTIKORKEAKOULU
Energiatekniikka/ Automaatio- ja prosessitekniikka

Taru Kuotola

LAIVOJEN PÄÄSTÖMITTAUKSEN JA RAPORTOINNIN KEHITTÄMINEN

Opinnäytetyö 2014

TIIVISTELMÄ

KYMENLAAKSON AMMATTIKORKEAKOULU

Energiatekniikka

KUOTOLA, TARU

Laivojen päästömittauksen ja raportoinnin
kehittäminen

Opinnäytetyö

51 sivua +11 liitesivua

Työn ohjaaja

Marko Piispa, laboratorioteknikko

Toimeksiantaja

Kymenlaakson ammattikorkeakoulu

Toukokuu 2014

Avainsanat

NO_x, rikkidirektiivi, päästömittaukset

Tämä opinnäytetyö on tehty Kymenlaakson ammattikorkeakoulun päästömittauslaboratoriolle. Työn lähtökohtana on parantaa päästömittauslaboratorion päästömittauksissa käytettyjä menetelmiä niin, että ne vastaisivat paremmin ISO 8178-2-standardin ja IMO:n NO_x-koodin vaatimuksia. Opinnäytetyö pohjautuu kyseiseen standardiin ja NO_x-koodiin. Kyseiset standardit antavat kattavan selvityksen siitä, miten moottorien päästömittaukset tulee suorittaa ja siitä, mitä tietoja päästömittausraportissa vaaditaan. Työn loppupuolella käsitellään vuonna 2015 voimaan astuvaa rikkidirektiiviä, joka tulee vaikuttamaan huomattavasti merenkulun kokonaiskustannuksiin.

Tämä työ aloitettiin perehtymällä ISO 8178-2-standardiin ja rikkidirektiiviin. Ensimmäiseksi standardi tuli kääntää englannista suomeksi, jotta sitä pystyi työssä käyttämään. Tekstin kääntämisen aikana pohdittiin aiheen rajausta. Tässä työssä käsitellään myös näytteenotto- ja analysointijärjestelmää, joilla molemmilla on suuri merkitys mittauksen ja laskennan lopputuloksen kannalta. Johdannoksi aiheeseen, työn alkuun lisättiin palamisen teoriaa sekä kauppamerenkulun vaikutuksia ympäristöön ja rannikolla elävien ihmisten terveyteen.

Aiheeseen tutustumisen ja tiedonhaun jälkeen alkoi kirjoitusosuus, jonka aikana standardin ja IMO:n NO_x-koodin vaatimukset koottiin mahdollisimman selkeään ja johdonmukaiseen muotoon. Tuloksena syntyi työ, jossa käydään läpi kaikki NO_x-koodissa määritellyt päästömittausmenetelmät ja perehdytään ISO-standardissa esitettyihin vaatimuksiin sen osalta kun ne NO_x-koodista eroavat. Työ antaa ohjeita päästömittauksen suorittamiseen ja raportointiin, jotta mittaukset pystytään suorittamaan mahdollisimman tarkasti ja laivan normaalia toimintaa häiritsemättä.

ABSTRACT

KYMENLAAKSON AMMATTIKORKEAKOULU

University of Applied Sciences

Energy Engineering

KUOTOLA, TARU

Improving Emission Measurements and
Reporting on Site

Bachelor's Thesis

51 pages + 11 pages of appendices

Supervisor

Marko Piispa, Laboratory Technician

Commissioned by

Kymenlaakso University of Applied Sciences

May 2014

Keywords

EU Directive on Low Sulphur Fuel, NO_x, SO₂, emission
measurements

This bachelor's thesis was written for emission measurement laboratory of Kymenlaakso University of Applied Sciences. To accomplish these emission measurements on site accurately and according to IMO's NO_x Code and ISO 8178-2 standard, clear and coherent instruction for emission measurements and sampling system was needed.

This thesis was started by studying and translating the standard and the Code. Other official material concerning NO_x measurements, EU Sulphur Directive and monitoring of air pollution from ships was also used. During the translation, the definition of subject was specified. In the thesis was used Manual for Emission measurements - Part 1 published by Technical Research Center of Finland. This manual was applied to guarantee the correct translation of technical terms. Instruction also addresses the theory of combustion and the risks for environment and to human health caused by mercantile shipping.

After translation of text, demands of Code and standard were assembled in one file. The result is an instruction that reviews all measurement methods described in the Code. This description is completed by requirements of ISO 8178-2 standard. The thesis gives guidelines for reporting and how to carry out emission measurements precisely and without disturbances for the vessel.

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

LYHENTEET

JOHDANTO	7
1 MERENKULKUA SÄÄTELEVÄT LAIT JA MÄÄRÄYKSET	9
1.1 Kansainvälinen merenkulkujärjestö (IMO)	9
1.2 Kansainvälinen standardisoimisjärjestö (ISO)	11
2 MOOTTORIN PARAMETRIEN TARKASTUSMENETELMÄ	12
2.1 Tarkastettavat parametrit	12
2.2 Dokumentointi	15
3 YKSINKERTAISTETTU MITTAUSMENETELMÄ	15
3.1 Mitattavat parametrit	16
3.2 Näytteenotto	17
3.3 Mitattavat suureet ja mittauslaitteisto kaasumaisille päästöille	18
3.4 Testikierrot	22
3.5 Kaasumaisten päästöjen laskenta	24
4 SUORAN MITTAUKSEN JA VALVONNAN MENETELMÄ	28
5 ISO 8178-2 STANDARDIN VAATIMUKSET LAIVOJEN PÄÄSTÖMITTAUKSILLE	31
5.1 Testiolosuhteet	32
5.2 Mittauslaitteisto ja mitattavat parametrit	34
5.3 Testaus	35
5.4 Laskennassa tarvittavien tietojen keräys savukaasuista	38
5.5 Kaasumaisten päästöjen laskenta	38
5.5.1 Pakokaasujen massavirran määrittäminen	39
5.5.2 Kuiva- ja märkäkorjaus pakokaasuille	39
5.5.3 Kosteuden korjaus NO _x -päästöille	41
5.5.4 Päästöjen massavirran laskenta	42
5.5.5 Kaasumaisten päästöjen laskenta	43

5.6	Hiukkaspäästöjen laskenta	43
5.6.1	Erikoispäästöjen laskenta	45
5.7	Kaasumaisten päästöjen määrittely	46
6	RIKKIDIREKTIIVI	46
7	YHTEENVETO	47
	LÄHTEET	49
	LIITTEET	

Liite 1. Moottorin yleisten tietojen raportointi

Liite 2. Moottorin muiden tietojen raportointi

Liite 3. Ympäröivien olosuhteiden ja testaustulosten raportointi

Liite 4. Kaasumaisten päästöjen raportointi

Liite 5. Hiukkaspäästöjen raportointi

Liite 6. Polttoaineeseen liittyvien parametrien raportointi

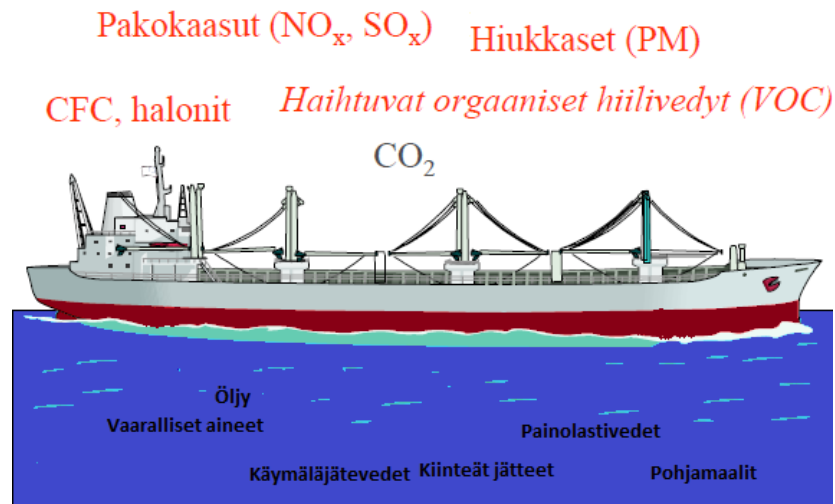
Liite 7. Analysaattoreiden toimintaperiaatteet

LYHENTEET

EIAPP	Engine International Air Pollution Prevention Certificate eli moottorille myönnettävä sertifikaatti testipetimituksen jälkeen.
HC	Hydrocarbons eli suomeksi hiilivedyt
IMO	International Maritime Organisation eli suomeksi Kansainvälinen merenkulkujärjestö
Kokonaisskaala	Tarkoittaa mittauksessa käytettyä vaihteluväliä
SECA-alue	Rikkioksidien kontrollialue, joka sisältää USA:n ja Kanadan rannikkoalueet, Itämeren, Pohjanmeren sekä Englannin kanaalin
NECA – alue	Typpioksidien kontrollialue
LNG	Liquid natural gas eli suomeksi maakaasu
Kaasumaiset päästöt	Hiilivedyt, CO, CO ₂ , NO _x , O ₂ , ei- metaaniset hiilivedyt, ammoniakki ja metanoli
PTFE	Polytetrafluorieteeni eli teflon
ESC	Electrochemical sensor eli sähkökemiallinen anturi
NDIR	Nondispersive infrared sensor eli ei-dispersiivinen infrapuna - analysaattori
HFID	Heated Flame Ionization Detector eli suomeksi lämmitetty liekki-ionisaatio
CLD	Chemiluminescent eli kemiluminesenssi
HCLD	Heated Chemiluminescent eli lämmitetty kemiluminesenssianalysaattori
PMD	Paramagnetic detector eli paramagneettidetektori
ZRDO	Zirkonium dioxide analysator eli suomeksi zirkoniumdioksidianalysaattori
SRC	Selective Catalytic Reduction eli katalyyttien käyttöön perustuva tekniikka, jota käytetään oksidien vähentämiseen pakokaasuista
WHO	World Health Organisation eli suomeksi Maailman terveysjärjestö

JOHDANTO

Nykyään rahtien vallitsevin kuljetusmuoto ovat merikuljetukset. Tämän lisäksi merillä ja sisävesillä liikutaan virkistystarkoituksessa niin risteilyaluksilla kuin yksityishenkilöiden omistamilla veneilläkin. Tämä liikenne rasittaa vesistöä, ja sillä on haitallisia vaikutuksia ympäristöön. Laivoista aiheutuvat päästöt on esitetty kuvassa yksi. (1)

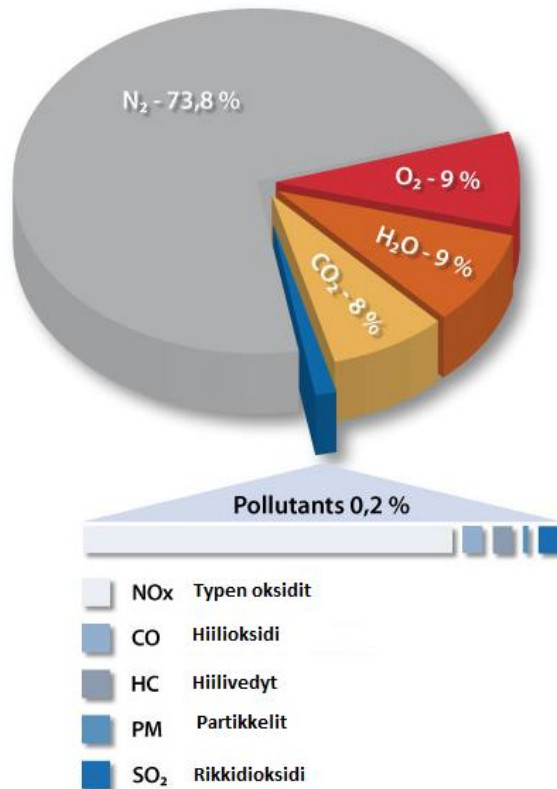


Kuva 1. Merenkulusta aiheutuvat päästöt. (1)

Alusten päästöt mereen aiheuttavat ravinnekuormitusta, joka edesauttaa merien rehevöitymistä. Toinen merkittävä ympäristöongelma ovat laivojen painolastivedet. Painolastivesi vakauttaa alusta, mutta sen mukana siirtyy vieraslajeja paikasta toiseen. Vieraslajien leviäminen puolestaan vaikuttaa koko meren ekosysteemiin, ja voi pahimmillaan johtaa alkuperäislajien häviämisen. Painolastivesistä tehtiin IMO:ssa vuonna 2014 yleissopimus, joka määrittää alueet, joilla painolastiveden saa vaihtaa. Toinen sopimuksessa esitetty ehkäisevä keino on painolastiveden käsittely niin, että käsittely tuhoaa vieraslajit ennen kuin painolasti puretaan mereen. (2)

Kolmas merkittävä laivojen ympäristövaikutus on palamisprosessin aikana syntyvät päästöt. Esimerkiksi typen ja hapen reagoitessa syntyy typen oksideja eli NO_x-päästöjä, joka voidaan jakaa typpioksidiksi NO ja typpidioksidiksi NO₂. Happi ja typi muodostavat 99 % moottorin sisään ottamasta ilmasta. Typpi säilyy suurimmaksi osaksi muuttumattomana palamisen aikana, sillä vain pieni osuus muuntuu typen eri oksideiksi. Polttoaineen laadulla ja sen sisältämän typen määrällä sekä palamislämpötilalla on suuri merkitys typen oksidien syntymiseen. Karkeasti voidaan sanoa, että mitä korkeampi lämpötila, sen isommat ovat NO_x-päästöt. Yleisesti ottaen nopeatahti-

silla moottoreilla on myös alemmat NO_x-päästöt verrattuna hidastahtisiin moottoreihin. Kuvassa kaksi on esitetty savukaasujen koostumus. (3)



Kuva 2. Savukaasujen koostumus. (3)

Laivojen hiilidioksidipäästöt vaikuttavat ilmastonmuutokseen ja nopeuttavat sitä. Typpi-, rikki- ja hiukkaspäästöt aiheuttavat luonnon happamoitumista sekä terveyshaittoja. Terveysvaikutuksista merkittävämpiä ovat lisääntyneet astmaoireet, hengitystieinfektiot sekä erilaiset syövä. (4) WHO:n mukaan vuonna 2012 ilmansaasteisiin kuoli seitsemän miljoonaa ihmistä (5). Liikenteestä ja teollisuudesta syntyviä päästöjä pyritään hillitsemään direktiiveillä, asetuksilla, päästökaupalla, päästörajoilla ja uusia teknologioita kehittämällä. Laivojen päästöjä on mahdollista vähentää alentamalla matkanopeutta. Jos esimerkiksi rahtilaiva pudottaa matkanopeutensa 12 solmuun, se vähentää NO_x-päästöjä 56 %:lla ja CO₂-päästöjä 61 %:lla. Pienhiukkaset laskivat 69 %:lla. (6) Näillä vähennyksillä on merkittäviä vaikutuksia rannikoiden asukkaiden terveyteen. Laivojen dieselmoottoreille on määritelty päästöraajat (luku 2.1), joita moottorin odotetaan noudattavan koko elinkaarensa ajan. Moottorin esisertifiointivaiheessa moottorin päästöt testataan laboratorio-olosuhteissa. Nämä testausarvot löytyvät moottorin manuaalista, mutta niitä ei yleensä voida verrata poikkeavien testiolosuhteiden takia laivalla tehtyihin mittauksiin. Laivalla tehtävien mittausten päätarkoi-

tus onkin varmistaa, että päästöt ovat annetuissa rajoissa ja, että moottori on asennettu ja huollettu oikein. Laivalla tehtävien mittausten yhtenä tarkoituksena on myös varmistaa, että moottoreita käytetään valmistajan antamien ohjeiden mukaan. Esisertifioidulle moottorille tehdään asennuksen jälkeen NO_x -päästöjen todentamistarkastus. Tämä tarkastus suoritetaan laivalla. Todentamiseen voidaan käyttää seuraavia menetelmiä:

- 1) parametrien tarkastusmenetelmä
- 2) yksinkertaistettu mittausmenetelmä
- 3) suoran mittauksen ja valvonnan menetelmä.

Kaikki mittausmenetelmät hyväksytään riippumatta siitä, mitä menetelmää on käytetty alun perin päästöjen todentamiseen. Käytetty menetelmä lisätään moottorin manuaaliin, minkä jälkeen laivan operoija päättää mitä menetelmää päästöjen todentamiseen jatkossa käytetään. Mittaukset suoritetaan aina turvallisesti ja niin, että moottorille aiheutuu mahdollisimman vähän häiriöitä. (7) Näytteet otetaan aina standardipaikoista. Mittaustuloksiin vaikuttaa paljon se, miten näyte on otettu ja minkälainen näytteen analysointijärjestelmä on käytössä. Tämän takia tässä opinnäytetyössä on käsitelty myös näytteenottoa (luvussa 4.2) ja mittauslaitteistoa (luvussa 4.3).

1 MERENKULKUA SÄÄTELEVÄT LAIT JA MÄÄRÄYKSET

1.1 Kansainvälinen merenkulkujärjestö (IMO)

IMO eli International Maritime Organisation perustettiin vuonna 1948 Genevessä kehittämään merenkulun turvallisuutta. IMO aloitti toimintansa vuonna 1958, ja sitä seuraavana vuonna pidettiin järjestön ensimmäinen kokous (8). Nykyisin IMO on YK:n alainen järjestö, jonka tavoitteena on globaalin merenkulun kehittäminen ja merien saastumisen ehkäiseminen. Jäseniä IMO:lla on 167. Jäsenet edustavat yleensä valtiotaan maan merenkulkuviranomaisen välityksellä. Järjestön päätavoitteena on kehittää ja hyväksyä kansainvälisiä sääntöjä ja määräyksiä, joilla pyritään varmistamaan tehokas meriliikenne ja merten puhtaana pysyminen. Säännösten ja määräysten toteuttaminen on jäsenvaltioiden vastuulla. (9)

IMO koostuu yleiskokouksesta, joka kokoontuu joka toinen vuosi, neuvostosta sekä viidestä pääkomiteasta. Pääkomiteoita ovat meriturvallisuuskomitea, meriympäristön suojelukomitea, juridinen komitea, teknisen yhteistyön komitea ja komitea, joka pyrkii eliminoimaan liiat muodollisuudet ja helpottamaan kansainvälistä merenkulkua. Pääkomiteoiden lisäksi IMO:lla on useita alakomiteoita, joiden tehtävänä on tukea teknistä komiteaa. (10) IMO:lla on myös sihteeristö, jonka toimipaikka sijaitsee Lontoossa. Sihteeristön johtajana on toiminut vuodesta 2012 asti japanilainen Koji Sekimizu. (11)

IMO:n tärkeimpiä sopimuksia ovat SOLAS-, MARPOL-, STCW-, ISM- ja ISPS- sopimukset. ISPS (eng. International Ship and Port Facility Security Code) on aluksia ja satamatoimintoja koskeva turvallisuussäännöstö, joka astui voimaan 2002. ISM (eng. International Safety Management) puolestaan koskee turvallisuusjohtamista ja STCW (Standard of Training, Certification and Watchkeeping) merenkulkijoiden pätevyyttä, koulutusta ja vahdinpitoa. MARPOL (eng. International Convention for the Prevention of Pollution From Ships) on kansainvälinen yleissopimus alusten aiheuttaman merien pilaantumisen ehkäisemiseksi. Ensimmäisenä voimaantullut sopimus on SOLAS (Safety of Life at Sea 1960), joka on kansainvälinen yleissopimus ihmishengen turvallisuudesta merellä. (9)

Laivojen päästörajoitukset pohjautuvat IMO:n asetukseen numero 13. Tässä asetuksessa määritellään päästörajat, joita laivan tulee noudattaa. Eri päästörajoja (engl. Tiers) sovelletaan laivan asennuspäivän ja nimellinopeuden mukaan. (12)

Taulukko 1. Laivojen päästörajoitukset. (12)

Tier	Moottorin asennuspäivä	NO _x - päästörajat (g/kWh)		
		n < 130	n = 130 -1999	n ≥ 2000
I	1.1.2000	17,0	$45 \cdot n^{-0.2}$	9,8
II	1.1.2011	14,4	$44 \cdot n^{-0.23}$	7,7
III	1.1.2016	3,4	$9 \cdot n^{-0.2}$	2,0

n = moottorin kierrosnopeus (rpm)

Tier 3 -päästötasoa sovelletaan vain uusille laivoille, jotka operoivat NECA- alueella. NECA- alue tarkoittaa alueita, joissa NO_x- päästöjä rajoitetaan. Näihin alueisiin kuuluu muun muassa Itämeri. Tier 3 -taso vaatii 80 %:n vähentämistä päästöissä Tier 1 -

tasoon verrattuna. Tämän tason saavuttaminen edellyttää katalysaattorijärjestelmää (SCR), maakaasun käyttöä polttoaineena tai pakokaasujen takaisinkiertäysjärjestelmää. Tier 3 -tasoa koskevien määräysten piti tulla voimaan vuoden 2016 alusta, mutta toukokuussa 2013 IMO:n merisuojauskomitea päätti siirtää sääntöjen voimaan tuloa viidellä vuodella. Säästöjen uusi voimaantulopäivämäärä on 1.1.2021. (13)

Tier 2 -tasolla päästöjen määrää on vähennettävä noin 20 %:lla Tier 1 -tasosta. Päästöjen vaadittu vähennysmäärä on riippuvainen moottorin kierrosluvusta. Tämän tason vaatimukset voidaan saavuttaa moottoriteknisin ratkaisuin. Tier 2 -tasoa sovelletaan kaikkiin aluksiin, joiden kolinlaskupäivä on 1.1.2011 tai sen jälkeen. Tier 2 -tasoa sovelletaan myös 1.1.2011 jälkeen asennettuihin uusiin dieselmoottoreihin. (13)

Tier 1-tason rajoja sovelletaan 1.1.2000 tai sen jälkeen asennettuihin dieselmoottoreihin, joiden teho on yli 130 kW. Yli 5 000 kW tehoisiin dieselmoottoreihin, joiden sylinterintilavuus on vähintään 90 litraa ja jotka ovat asennettu 1990-luvulla, sovelletaan näitä päästörajoja. (13)

1.2 Kansainvälinen standardisoimisjärjestö (ISO)

ISO eli International Organisation for Standardization on vuonna 1947 perustettu kansainvälisesti laajin standardisoimisjärjestö. ISO:n keskussihteeristön päämaja on Genevessä. Järjestön jäseniä ovat 163 maan kansalliset standardisoimisjärjestöt. Jäsenjärjestöillä on oikeus osallistua ISO:n teknisten komiteoiden työhön, joita on 200. Komiteoiden sihteeristön tehtäviä hoitaa kukin jäsenmaa vuorollaan. ISO-standardit voidaan vahvistaa jäsenmaissa kansallisiksi standardeiksi, mutta se on vapaaehtoista. ISO-standardeja on tällä hetkellä yli 18 000. (14)

ISO 8178-2 –standardi käsittelee polttomoottoreiden pakokaasupäästöjen laskentaa ja mittausta kenttäolosuhteissa. Tämä standardi on vahvistettu myös suomalaisiksi kansallisiksi standardiksi. Standardia sovelletaan polttomoottoreiden mittauksiin kentällä tai kun ei ole mahdollista ottaa mittauksia testipetiolosuhteissa tai käyttää testipedissä saatuja tuloksia. Standardia käytetään varmistamaan vastaavuus tai sertifiointi uudelle, käytetylle tai uudelleen rakennetulle moottorille. Testeissä tulee ottaa huomioon laboratorio- ja kenttämittausten eroavaisuudet. Moottoria testatessa, sen tulee käydä samalla nopeudella ja vääntömomentilla, joita on käytetty testipetimittauksissa. (15)

2 MOOTTORIN PARAMETRIEN TARKASTUSMENETELMÄ

Tällä tarkastusmenetelmällä varmennetaan, etteivät moottorin komponentit, asetukset ja operointiarvot eroa moottorin manuaalin antamista arvoista. Menetelmällä voidaan testata esisertifioituja (EIAPP) ja viimeisimmän sertifiointin jälkeen parannettuja tai säädettyjä moottoreita. Menetelmää voidaan käyttää myös vanhoihin moottoreihin, joille on tehty parannuksia. Menetelmän tarkoituksena on helpottaa päästöjen todentamista silloin, kun moottorille ei ole tehty säätöjä tai säädöt ovat vain pieniä. Tässä menetelmässä ei mitata NO_x-päästöjä vaan riittää, että tiedetään nykyisen säädön vastaavan spesifioitua komponenttia, kalibrointia tai parametrin säätöä alkusertifiointitilanteessa. Jos tulos vastaa alkuperäistä tulosta, voidaan moottorin olettaa edelleen täyttävän vaaditut päästörajat. Tällöin moottori voidaan sertifioida ilman NO_x-mittausta. Jos käytössä on pakokaasun jälkikäsitteilylaitteisto, se tarkastetaan tämän menetelmän yhteydessä. Manuaalin tiedot tarkastetaan aina tämän menetelmän yhteydessä. Moottorin manuaalissa on lueteltu kaikki päästöihin vaikuttavat moottorin komponentit, asetukset ja operointiarvot sekä moottorin suorituskykyyn, säätämiseen, komponentteihin ja parametreihin tehdyt muutokset, jotka on tehty alkusertifiointin jälkeen. Jokaisella moottorilla on omanlaisensa suunnittelu, joten kaikki NO_x-päästöihin vaikuttavat parametrit eivät esiinny kaikissa moottoreissa. (7)

2.1 Tarkastettavat parametrit

Seuraavana on lueteltu NO_x-päästöihin liittyviä parametrejä ja kuinka niitä voidaan parametrien tarkastusmenetelmässä tutkia.

- Ruiskutuksen ajoitus
 - polttoainenokan asento (yksittäinen nokka tai nokka-akseli, jos nokat eivät ole säädettäviä)
 - polttoainetangon asento, kun polttoaineen jakelun alkaa
 - yhdessä kuormapisteessä määritelty ruiskutusventtiilin avautumisajankohta

- kuormariippuvaiset operointiarvot ahtoilman paineelle, palotilan huippupaineelle, ahtoilman lämpötilalle ja pakokaasun lämpötilalle
- Ruiskutussuutin, -pumppu
 - komponentin tunnistusnumero (pumpussa männän ja holkin spesifikaatiot)
- Polttoainenokka
 - komponentin tunnistusnumero
 - polttoainetangon asento jakelun alussa ja lopussa (dynaaminen painemittaus)
- Ruiskutusaine common rail -moottoreissa
 - kuormariippuvainen paine kaiteella tai kiskolla, kuvaajasta katsotaan NO_x-vastaavuus
- Polttokammio
 - komponentin tunnistusnumero
- Puristussuhde
 - todellisen välyksen tarkastus
 - männän tarkastus
- Turboahtimen tyyppi
 - malli ja tunnistenumero
 - kuormariippuvainen ahtoilman paine, kuvaajasta NO_x-vastaavuus
- Ahtoilman lämmitin tai jäähdytin

- malli ja tunnistenumero
- kuormariippuvainen ahtoilman lämpötila, kuvaajasta NO_x-vastaavuus
- Venttiilin ajoitus (vain nelitahtimoottoreilla)
 - nokan asento
 - todellinen ruiskutuksen ajoitus
- NO_x-päästöjen vähentämiseen käytettävät laitteet
 - veden ruiskutus
 - kuormariippuvainen veden kulutus
 - polttoaine-vesiemulsio
 - kuormariippuvainen veden kulutus
 - kuormariippuvainen polttoainetangon asento
 - pakokaasun kierrätys
 - kuormariippuvainen kierrätetyn pakokaasun massavirta
 - CO₂-pitoisuus kierrätetyssä pakokaasuseoksessa
 - O₂-pitoisuus tyhjennysilmassa
 - katalyyttinen vähennys (SCR)
 - Kuormariippuvaisen pelkistysaineen massavirta ja lisäksi ajoittainen pistokoe NO_x-pitoisuudesta SCR:n jälkeen

- NO_x-mittaus on hyödyllinen todentamaan, että SCR:n tehokkuus vastaa yhä tilaa, joka oli sertifiointin aikana. (7)

2.2 Dokumentointi

Laivanomistajan tulee ylläpitää seuraavia dokumentteja, jotka liittyvät NO_x-päästöihin:

- moottorin manuaali, jossa ovat kirjattuna kaikki moottoriin tehdyt muutokset
- lista komponenteista ja säädöistä sekä kuormariippuvaisista operointiarvoista
- jokaisen parannellun komponentin tekninen dokumentointi (7)

Suunniteltuihin parametreihin vaikuttavat muutokset on kirjattava kronologisessa järjestyksessä moottorin manuaaliin. Kuvaukset täydennetään NO_x-päästöjen arvioinnissa käytettävällä datalla. Parametrien tarkastusmenetelmää toteutetaan kahdella tavalla. Ensimmäisessä tavassa moottorin parametrien dokumentointi tutkitaan. Tällöin manuaalista tarkastetaan moottorin säädöt ja niitä verrataan teknisessä tiedostossa oleviin tietoihin. Jos säädöt vastaavat teknisen tiedoston säätöjä tai säädöt ovat teknisen tiedoston antamien rajojen sisällä, voidaan moottorin todeta täyttävän asetetut päästörajat. Toisessa tavassa komponentit tai säädöt tarkastetaan vaaditulla tavalla. Tässä tavassa viitataan parametrien dokumentoinnin tarkastuksen tuloksiin ja todennetaan niiden olevan sallituissa rajoissa. Tarkastaja päättää tutkitaanko yksi vai kaikki komponentit, säädöt ja operointiarvot. Kaikkien säätöjen ja muutoksien, joihin on viitattu moottorin manuaalissa, on oltava sallituissa rajoissa. (7)

3 YKSINKERTAISTETTU MITTAUSMENETELMÄ

Tätä menetelmää käytetään NO_x-päästöjen todentamiseen vuosittaisissa ja väliaikais-tarkastuksissa. Moottorin ensimmäinen testaus tulee olla suoritettu testipenkissä ennen kuin tätä mittausmenetelmää voidaan soveltaa. Tässä menetelmässä olennaisia, korjattavia parametreja ovat ulkoilman lämpötila ja kosteus, sillä ne vaikuttavat huomattavasti NO_x-päästöihin. (7)

3.1 Mitattavat parametrit

Moottorin polttoaineen kulutuksen arvioinnissa voidaan käyttää esisertifioinnissa saatua tulosta. Tämä vaatii kuitenkin arviota testipenkissä käytetyn ja laivalla käytettävän polttoaineen vastaavuuksista. Koska laskennassa käytetty polttoaineen virtausmäärä (q_{mf}) liittyy polttoaineen koostumukseen, vastaavuuden arvio tehdään ottamalla polttoaineesta näyte, jota verrataan testipedissä käytetyn polttoaineen kalorimetriarvoon. Arvojen eroamisesta johtuvista vaikutuksista tehdään sekä raportti että laskelmat, jotka liitetään päästömittausraporttiin. Mittausten, laskennan ja testaustiedon kaikki tulokset esitetään moottorin testausraportissa. Yleisesti ottaen kaikki päästömittaukset suoritetaan käyttäen polttoaineena ISO 8217:2005 DM-luokan polttoainetta. Laivanomistajien helpotukseksi myös yleisesti käytetty ISO 8217:2005 RM-tason polttoaine hyväksytään testiin. (7)

Taulukko 2. Mitattavat parametrit. (7)

Parametri	Symboli	Yksikkö
Moottorin sisään ottaman ilman absoluuttinen kosteus	H_a	g/kg
Moottorin nopeus	n_d	min^{-1}
Turboahtimen nopeus (jos saatavilla)	n_{turb}	min^{-1}
Totaalinen parometrinen paine	p_b	kPa
Ahtoilman paine jäähdyttimen jälkeen	P_c	kPa
Jarruvoima	P	kW
Polttoaineen virtaus	q_{mf}	kg/h
Polttoainetangon asento	s	
Sisään otettavan ilman absoluuttinen lämpötila	T_a	K
Ahtoilman lämpötila jäähdyttimen jälkeen (jos saatavilla)	T_{SC}	K
Ahtoilman jäähdytinaineen lämpötila sisääntulossa	T_{caclin}	K
Ahtoilman jäähdytinaineen lämpötila ulostulossa	$T_{caclout}$	K
Pakokaasujen lämpötila näytteenottopisteessä	T_{exh}	K
Polttoaineen lämpötilan ennen moottoria	T_{fuel}	K

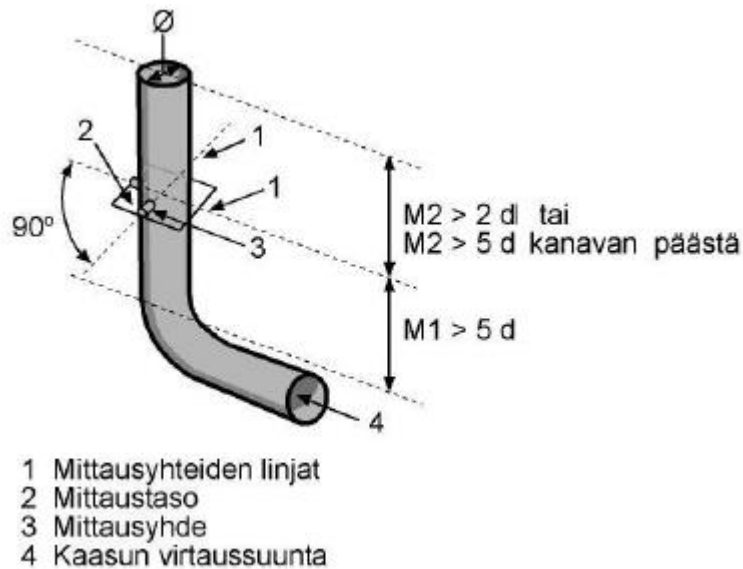
Meriveden lämpötila	T_{sea}	K
---------------------	------------------	---

Se, miten NO_x -päästömittauksen aikana hankitaan tarvittava data, on erityisen tärkeää jarruvoiman kohdalla. Kun moottori on kytketty suoraan vaihteeseen, monissa soveluksissa on mahdotonta mitata suoraan vääntöä puhtaan akselin puuttumisen takia. Pääperiaate jarruvoiman mittauksessa on usein generaattorin hyödyntäminen. Moottorit kytketään usein myös pumppuihin, hydraulikkayksikköihin, kompressoreihin ja muihin vastaaviin laitteisiin, jotka testataan vesijarrua vastaan valmistusvaiheessa. Jarruvoiman mittaamisessa generaattoreilla käytetään jännite- ja virtamittauksia yhdessä valmistajan ilmoittaman tehokkuuden kanssa. Jarruvoiman mittaukseen potkurilta voidaan soveltaa annettua tehokäyrää yhdessä moottorin kierrosnopeuden kanssa. Moottorin kierrosnopeus mitataan joko moottorin vapaasta päästä tai esimerkiksi kampiakselilta. (7)

3.2 Näytteenotto

Kaikkia komponentteja sisältävä raakapakokaasunäyte otetaan yhdestä tai kahdesta näytesyhteestä, jotka sijaitsevat lähekkäin ja ovat sisäisesti erotettu eri analysointilaitteille. Näytteenotossa huomiota kiinnitetään siihen, ettei kondensatiovevettä pääse muodostumaan näytteenottojärjestelmään missään vaiheessa. (7)

Näytesyhteen on sijaittava vähintään 10 putkenhalkaisijaa moottorin ulostulon, ahtimen tai viimeisen pakokaasun puhdistuslaitteen jälkeen. Sen on sijaittava vähintään 0,5 metrin tai kolmen putkenhalkaisijan päässä savupiipun päästä. Pakokaasun lämpötila on 190 °C HC:n näytesyhteessä ja muilla näytteenottotavoilla vähintään 70 °C . Moottorin, jossa on useampi sylinteri ja haaroitettu pakokaasukanava, näytteen on edustettava kaikkien sylinterien keskiarvopäästöjä. Näytesyhte on tällöin sijoitettava tarpeeksi kauas alavirtaan moottorista. Jos moottorilla on useita erillisiä pakokanavaryhmiä, näyte otetaan niistä kaikista ja niiden päästöjen keskiarvo lasketaan. Toisena vaihtoehtona on ottaa näyte vain yhdestä pakokaasukanavasta, jos pystytään todentamaan, että kaikkien sylinterien päästöt ovat identtisiä. Laskennassa käytetään kokonaispakokaasumäärää. (7)



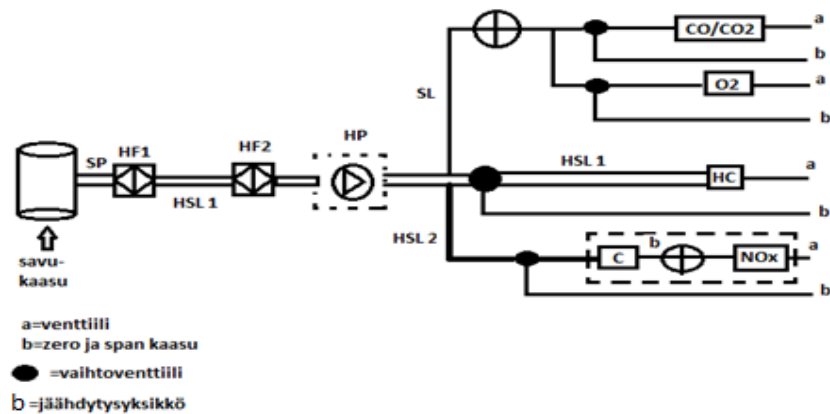
Kuva 3. Mittaustason M-sijainti. (19)

Näytteenottojärjestelmä on vuototestattava. Vuototestaus suoritetaan irrottamalla anturi pakokaasujärjestelmästä ja tulppaamalla sen pää. Seuraavaksi käynnistetään analysaattorin pumppu. Alun stabilointijakson jälkeen kaikkien virtausmittareiden on näytettävä nollaa. Jos näin ei ole, näytteenottolinjat tarkastetaan ja vika korjataan. Suurin sallittu vuoto nopeus alipainepuolella on 0,5 % järjestelmän virtausmäärästä. Analysaattorin ja ohituksen (eng. bypass) virtauksia voidaan käyttää pakokaasun virtausmäärän arviointiin. Toinen vuototestauksen metodi on esittää pitoisuuden askelmuutos näytelinjan alussa kytkemällä zero-kaasusta span-kaasulle. Jos pitoisuuden arvo on stabilointiajanjakson jälkeen alhaisempi verrattuna tiedettyyn pakokaasun pitoisuuteen, on tämä merkki kalibrointi- tai vuoto-ongelmasta. (7)

Jos pakokaasun koostumukseen vaikutetaan jälkikäsittelylaitteistolla, näyte otetaan alavirtaan näistä laitteista. Näyte otetaan paikasta, jossa siihen ei pääse muodostumaan vettä, joka on ruiskutettu pakokaasujärjestelmään jäähdytyksen, värähtelyn tai melun torjunnan vuoksi. Kun näytteenottohana ei ole käytössä, sen pään pitää olla tulpattu. (7)

3.3 Mitattavat suureet ja mittauslaitteisto kaasumaisille päästöille

CO-, CO₂-, NO_x-, HC- ja O₂-pitoisuuksia mittaavaan analyysijärjestelmään kuuluvat seuraavat kuvassa 4 esitetyt osat. Kaikkien kuvassa olevien osien on oltava kyseiselle komponentille ominaisessa lämpötilassa. (7)



Kuva 4. Näytteenotto järjestelmän sisältämät komponentit. (7)

1. SP, raakan pakokaasun näytteenottoyhde

Näytteenottoyhde on ruostumatonta terästä. Sisähalkaisija ei saa olla suurempi kuin näytelinjan sisähalkaisija. Yhteen seinämänpaksuus ei saa ylittää 1 millimetriä. Yhteessä on vähintään kolme reikää kolmessa eri kohdassa vaakatasossa, jotta näytteenottoon saadaan suunnilleen sama virtaus. Näyte otetaan joko yhdellä tai kahdella näytesyhteellä, jotka sijaitsevat lähekkäin ja ovat sisäisesti erotettu erityyppisille analysaattoreille.

2. HSL1, lämmitetty näytelinja

HSL1 kerää näytteen yksittäisestä yhteestä jakopisteelle ja HC-analysointorille. Linja valmistetaan joko ruostumattomasta teräksestä tai PTFE:stä. Linjan sisähalkaisija on vähintään 4 mm, ja maksimissaan 13,5 mm. Pakokaasun lämpötila näytesyhteessä on vähintään 190 °C, jota ylläpidetään lämmitetyllä suodattimella ja kuljetuslinjalla, jonka seinämän lämpötila on 190 °C ± 10 °C. Jos pakokaasun lämpötila näytesyhteessä on alle 190 °C, niin yli 180 °C:n seinämlämpötilaa voidaan käyttää. Lämmitetyllä suodattimella ja HC-analysointorilla pakokaasun lämpötila on 190 °C ± 10 °C.

3. HSL2, lämmitetty NO_x-näytelinja

HSL2 valmistetaan joko ruostumattomasta teräksestä tai PTFE:stä. Seinämlämpötila on 55 °C:sta 200 °C:seen kun käytetään jäähdytysyksikköä. Jos jäähdytysyksikköä ei käytetä, niin kyseinen lämpötila pidetään analysaattorille asti.

4. HF1, lämmitetty esisuodatin

HF1 lämpötila pidetään samana kuin HSL1:n.

5. HF2, lämmitetty suodatin

HF2:n tarkoitus on poistaa kiinteät partikkelit kaasunäytteestä ennen analysaattoria. Suodattimen lämpötila pidetään samana kuin HSL1:n. Suodatin vaihdetaan tarvittaessa.

6. HP, lämmitetty näytepumppu

HP lämmitetään samaan lämpötilaan kuin HSL1.

7. SL, näytelinjat CO, CO₂ ja O₂

SL valmistetaan joko ruostumattomasta teräksestä tai PTFE:stä. Linja on joko lämmitetty tai lämmittämätön.

8. CO/CO₂ analysaattorit

CO- ja CO₂-päästöjä on mahdollista mitata kahdella yksittäisellä analysaattorilla, jolloin molemmille päästöille on oma analysaattori. Toinen mahdollisuus on käyttää yhdistettyä analysaattoria, jolloin sama laite mittaa molemmat päästöt. Analysaattori on tyypiltään NDIR.

9. HC-analysaattori

HC-analysaattori on tyypiltään HFID. Sen lämpötila pidetään 180 °C:sta 200 °C:seen.

10. NO_x-analysaattori

Analysaattori on joko CLD- tai HCLD-tyyppinen. Jos käytetään HCLD:tä, lämpötila pidetään 55 °C:stä 200 °C:seen. Tyypillisesti NO_x-päästöt mitataan kuivana, mutta jos NO_x-päästöt on mitattu märkänä, käytetään HCLD-tyyppistä analysaattoria.

11. Muunnin C

Muunninta käytetään NO₂-kaasujen katalyyttiseen vähentämiseen NO-päästöiksi ennen CLD tai HCLD analysaattoria.

12. O₂-analysaattori

Analysaattori on tyypiltään joko PMD, ZRDO tai ESC. ZDRO-analysaattoria käytetään, jos O₂-pitoisuus on mitattu märistä pakokaasuista.

13. Jäähdytysyksikkö b

Jäähdytysyksikköä käytetään jäähdytykseen ja veden kondensoimiseen pakokaasunäytteestä. Jäähdytintä pidetään 0 – 4 °C:n lämpötilassa. Jos vesi siirretään kondensoimalla, näytekaasun lämpötilaa tai kastepistettä valvotaan. Kastepisteen tai kaasunäytteen lämpötilan ei saa ylittää 7 °C. (7)

Analysaattorin mittausalue suositellaan säädettäväksi niin, että mitatut pitoisuudet pysyvät 15 – 100 %:n välillä kokonaisskaalasta. Jos kokonaisskaalan arvo on 115 ppm tai vähemmän, niin alle 15 %:n pitoisuudet kokonaisskaalasta hyväksytään. Tässä ta-

pauksessa kalibroinnilla varmistetaan kalibrointikäyrän virheettömyys. Laitteen on oltava elektromagneettisesti yhteensopiva (EMC), jotta ylimääräiset virheet saadaan minimoitua. Analysaattorin arvot eivät saa poiketa nimelliskalibrointipisteen lukemasta enempää kuin $\pm 2\%$ koko mittausalueella tai $0,3\%$ kokonaisskaalasta. Tarkkuuden on oltava alle $\pm 1\%$ kokonaisskaalan pitoisuudesta yli 100 ppm:ssä mittauksessa tai $\pm 2\%$ alle 100 ppm:n mittauksessa. Spanin ja zeron vasteiden vaihtelu tunnin ajalla ei saa ylittää 2% kokonaisskaalan alimmasta arvosta. (7)

Pakokaasut mitataan joko märkinä tai kuivina. Kaasun kuivauslaitteet eivät saa vaikuttaa merkittävästi kaasujen koostumukseen. Kemiaalisia kuivaajia ei sallita veden poistoon näytteestä. Mitatut kaasut analysoidaan seuraavana esitetyillä menetelmillä. Liitteessä 7 on esitetty tarkemmin eri analysaattoreiden toimintaperiaatteet.

1. CO- ja CO₂-analysaattori: NDIR.
2. HC-analysaattori: HCLD, jossa on ilmaisin, venttiilit, putkilinja ja muut lämmitetyt komponentit, jotta kaasun lämpötila pysyy $190\text{ °C} \pm 10\text{ °C}$.
3. NO_x-analysaattori: CLD- tai HCLD-tyyppinen, jossa on NO/NO_x-muunnin, jos mitataan kuivia kaasuja. Märät kaasut arvioidaan HCLD-konvertterin kanssa, jolloin lämpötila pidetään yli 55 °C :ssa. Molemmissa analysaattorityypeissä, näytelinjojen seinämän lämpötila pidetään $55 - 200\text{ °C}$:en välissä muuntimelle tai analysaattorille asti.
4. O₂-analysaattori: PMD-, ZRDO- tai ECS-tyyppinen. (7)

Pakokaasun virtaus määritellään jollain seuraavista menetelmistä:

1. Suoralla mittauksella

Menetelmä edellyttää pakokaasuvirran suoraa mittausta. Tämä on vaikea toteuttaa käytännössä, koska mittausvirheitä tapahtuu herkästi.

2. Ilman ja polttoaineen virtausmäärien mittauksella

Mitataan ilman ja polttoaineen virtausmäärät. Pakokaasun virtaus lasketaan seuraavasta yhtälöstä:

$$q_{\text{mew}} = q_{\text{maw}} + q_{\text{mf}} \quad (1)$$

q_{mew} = Pakokaasun massavirta märistä pakokaasuista mitattuna [kg/h]

q_{maw} = Moottorin sisään ottaman ilman massavirta märillä pakokaasuilla [kg/h]

3. Polttoaineen virtauksen ja hiilen tasapainotus menetelmällä

Menetelmä edellyttää pakokaasuvirtauksen laskemista polttoaineen kulutuksen, polttoaineen koostumuksen ja pakokaasun pitoisuuksien mukaan. (7)

Sallitut vaihtelut mittausinstrumenteille on esitetty taulukoissa 3 ja 4.

Taulukko 3. Sallitut vaihtelut moottoriin liittyville parametreille. (7)

Mittalaitteiden sallitut vaihtelut ja kalibroinnin kelpoisuus moottoriin liittyvillä parametreille		
Mittalaite	Sallittu poikkeama	Kalibroinnin kelpoisuusaika (kk)
Moottorin nopeus	$\pm 2\%$ moottorin maksimiarvosta	12
Vääntövoima	$\pm 5\%$ moottorin maksimiarvosta	12
Teho (kun mitataan suoraan)	$\pm 5\%$ moottorin maksimiarvosta	12
Polttoaineen kulutus	$\pm 4\%$ moottorin maksimiarvosta	12
Ilman kulutus	$\pm 5\%$ moottorin maksimiarvosta	12
Pakokaasun virtaus	$\pm 5\%$ moottorin maksimiarvosta	12

Taulukko 4. Sallitut vaihtelut muille olennaisille parametreille. (7)

Mittausinstrumenttien sallittu vaihtelu ja kalibroinnin kelpoisuusajat muille olennaisille parametreille		
Mittalaite	Sallittu poikkeama	Kalibroinnin kelpoisuusaika (kk)
Lämpötilat $\leq 327^{\circ}\text{C}$	$\pm 2^{\circ}\text{C}$ absoluuttinen	12
Lämpötilat $> 327^{\circ}\text{C}$	$\pm 15^{\circ}\text{C}$ absoluuttinen	12
Pakokaasun paine	$\pm 5\%$ moottorin maksimiarvosta	12
Ahtoilman paine	$\pm 5\%$ moottorin maksimiarvosta	12
Ilmakehän paine	$\pm 0.5\%$ lukemasta	12
Muut paineet	$\pm 5\%$ lukemasta	12
Suhteellinen kosteus	$\pm 3\%$ absoluuttinen	6

3.4 Testikierrat

Testikiertojen on oltava hyväksytyjen testikiertojen mukaisia. Laivalla ei aina ole mahdollista noudattaa täsmälleen samaa menetelmää kuin testipenkissä, mutta mittaukset suoritetaan niin, että menettely on mahdollisimman lähellä alkuperäistä mene-

telmää. Testipenkin tuloksia ja laivalla saatuja tuloksia ei siis voida suoraan vertailla, koska saadut tulokset riippuvat paljon käytetystä menetelmästä. (7)

Erilaisia testikiertoja on neljä kappaletta. Testikiertoa E2 sovelletaan laivan pääpropulsiolaitteistoon sekä säädettävälapaiseen potkuriin. Pääpropulsiolaitteistoon laske-
taan kuuluvaksi myös sähköiset ohjaukset. C1-testikierrossa annetut vääntöarvot ker-
tovat kuinka paljon moottorin väännön pitää vähintään olla maksimiväännöstä kysei-
sellä nopeudella. C1-testikierrossa keskinopeus on valmistajan antama. Testikiertojen
painotuskertoimet on annettu taulukoissa 5 – 8. (7)

Taulukko 5. Vakionopeudella pyörivä propulsiolaitteisto. (7)

E2	Nopeus	100 %	100 %	100 %	100 %
	Voima	100 %	75 %	50 %	25 %
	Painotus- kerroin	0,2	0,5	0,15	0,15

Taulukko 6. Operoidut pää- ja apulaitteet (7)

E3	Nopeus	100 %	91 %	80 %	63 %
	Voima	100 %	75 %	50 %	25 %
	Painotus- kerroin	0,2	0,5	0,15	0,15

Taulukko 7. Vakionopeudelliset apulaitteistot. (7)

D2	Nopeus	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %
	Voima	100 %	75 %	50 %	25 %	10 %
	Painotus- kerroin	0,05	0,25	0,3	0,3	0,1

Taulukko 8. Apulaitteistot, joilla nopeus ja kuorma vaihtelevat.(7)

C1	Nopeus	Nimellisoikeus				Intermediate			Lois- teho
	Vääntö	100 %	75 %	50 %	10 %	100 %	75 %	50 %	0 %
	Painotus- kerroin	0,15	0,15	0,15	0,15	0,1	0,1	0,1	0,15

Jos mittauspisteiden määrä laivalla eroaa testipenkin mittauspisteiden määrästä, ote-
taan mittauspisteet ja painotuskertoimet huomioon. Mittauspisteiden määrän määrittä-
vät painotuskertoimet. E2-, E3- ja D2-testikierron mittauspisteiden yhteenlaskettu-
jen painotuskertoimien summan on oltava suurempi kuin 0,5. E2- ja E3-testikierron

käytetään yleensä 75 %:n kuormapistettä, ja D2-testikierrossa käytetään 25 %:n tai 50 %:n kuormaa. Näiden lisäksi molemmissa menetelmissä käytetään yhtä tai useampaa kuormapistettä. C1-testikierrossa mitataan vähintään yksi kuormapiste jokaiselta alueelta. Todellisten kuormapisteiden ± 5 %:n vaihtelu suhteellisesta tehosta 100 %:n kuormalla hyväksytään. Vaihtelu saa siis olla +0 %:sta -10 %:in. Esimerkiksi 75 %:n kuormalla sallitut rajat ovat 70 – 80 % suhteellisesta tehosta. Muilla kuormilla 5 %:n vaihtelu sallitaan. C1-testikierrossa valmistaja ilmoittaa sallitut toleranssit. (7)

3.5 Kaasumaisten päästöjen laskenta

Pakokaasun virtausmäärä q_{mew} lasketaan kaavan 1 mukaan. Laskennassa käytetään pakokaasujen märkäpitoisuutta. Jos pakokaasut mitataan kuivana, niin mitattu pitoisuus muunnetaan märäksi pitoisuudeksi kaavan 2 mukaan.

$$c_w = k_w * c_d \quad (2)$$

c_w = Pakokaasun pitoisuus märkänä [ppm]

k_w = Korjauskerroin

c_d = Pakokaasun pitoisuus kuivana [ppm] (7)

Raakaan pakokaasun korjauskerroin täydellisellä palamisella, jossa savukaasuvirta on mitattu joko suoralla tai ilman ja polttoaineen mittaumenetelmällä, lasketaan jommallakummalla seuraavista tavoista.

$$k_{wrl} = \left(1 - \frac{1,2442 * H_a + 111,19 * w_{ALF} * \frac{q_{mf}}{q_{mad}}}{773,4 + 1,2442 * H_a + \frac{q_{mf}}{q_{mad}} * f_{fw} * 1000} \right) * 1,008 \quad (3)$$

w_{ALF} = Polttoaineen vetyttöisyys [% m/m]

q_{mad} = Kuivan sisään otetun ilman massavirta [kg/h]

H_a ilmaisee kuinka monta grammaa vettä on kilossa pakokaasua.

$$k_{wri} = \left(1 - \frac{1,2442 * H_a + 111,19 * w_{ALF} * \frac{q_{mf}}{q_{mad}}}{773,4 + 1,2442 * H_a + \frac{q_{mf}}{q_{mad}} * f_{fw} * 1000} \right) / \left(1 - \frac{p_r}{p_b} \right) \quad (4)$$

Polttoaineelle ominainen kerroin f_{fw} kuivalle pakokaasulle lasketaan kaavan 5 mukaan.

$$f_{fw} = 0,055594 * w_{ALF} + 0,0080021 * w_{DEL} + 0,0070046 * w_{EPS} \quad (5)$$

w_{DEL} = Polttoaineen typpipitoisuus [% m/m]

w_{EPS} = Polttoaineen happipitoisuus [% m/m]

$$H_a = \frac{6,22 * p_a * R_a}{(p_b - 0,01 * R_a * p_a)} \quad (6)$$

R_a = Sisään otetun ilman suhteellinen kosteus [%] (7)

Kyllästetyn höyryn paine sisään otetusta ilmasta p_a [kPa] lasketaan seuraavaksi esitettyllä kaavalla.

$$p_a = (4,856884 + 0,2660089 * t_a + 0,01688919 * t_a^2 - 7,477123 * 10^{-5} * t_a^3 + 8,10525 * 10^{-6} * t_a^4 - 3,115221 * 10^{-8} * t_a^5) * \left(\frac{101,32}{760} \right) \quad (7)$$

t_a = sisään otetun ilman lämpötila $t_a = T_a - 273,15K$ [°C]

p_r = veden höyrystymispaine jäähdytinjärjestelmän jälkeen [kPa]

$p_r = 0,76$ kPa, kun jäähdytyskanavan lämpötila on 3 °C. (7)

Epätäydellisessä palamisessa syntyvien raakojen pakokaasujen korjauskertoimet lasketaan seuraavana esitettyjen yhtälöiden avulla. Kaavaa 8 voidaan käyttää, jos CO-pitoisuus on enemmän kuin 100 ppm tai HC-pitoisuus enemmän kuin 100 ppm°C ja kaasut on mitattu suoralla tai polttoaine-ilma-mittausmenetelmällä. Tätä kaavaa käytetään aina, kun pakokaasut ovat mitattu hiilitasapainomenetelmällä. Kaavassa 8 ja 10 CO- ja CO₂-pitoisuudet annetaan prosentteina.

$$k_{wr2} = \frac{1}{1 + \alpha * 0,005 * (c_{CO2d} + c_{COd}) - 0,01 * c_{H2d} + k_{w2} * \frac{Pr}{Pb}} \quad (8)$$

$$\alpha = 11,9164 * \frac{W_{ALF}}{W_{BET}} \quad (9)$$

W_{BET} = Polttoaineen hiilipitoisuus [%]

$$c_{H2d} = \frac{0,5 * \alpha * c_{COd} * (c_{COd} + c_{CO2d})}{c_{COd} + 3 * c_{CO2d}} \quad (10)$$

$$k_{w2} = \frac{1,608 * H_a}{1000 + (1,608 * H_a)} \quad (11)$$

Sisään otetun ilman korjauskerroin K_{wa} lasketaan:

$$k_{wa} = 1 - k_{w2} \quad (12)$$

NO_x -päästöt riippuvat ympäröivän ilman olosuhteista, joten NO_x -pitoisuus korjataan kaavoilla 13 tai 14. Suositeltava arvo kosteudelle on 10,71 g/kg 25 °C. Tätä arvoa käytetään päästöjen laskennassa. Höyryn tai veden ruiskutusta ahtoilmaan ei oteta huomioon laskennassa, koska se huomioidaan jo päästömittauksen säätölaitteistossa. Ahtoilmaan kondensoituva vesi lasketaan kosteuden korjauksen yhteydessä. (7)

Moottoreille, jotka syttyvät puristuksen voimasta, kaava on:

$$k_{hd} = \frac{1}{1 - 0,0182 * (H_a - 10,71) + 0,0045 * (T_a - 298)} \quad (13)$$

Ilmajäähdytteisille, puristusyhteyksille moottoreille sovelletaan seuraavaa yhtälöä:

$$k_{hd} = \frac{1}{1 - 0,012 * (H_a - 10,71) - 0,00275 * (T_a - 298) + 0,00285 * (T_{SC} - T_{SCRef})} \quad (14)$$

T_{SCRef} = Referenssilämpötila ahtoilmalle.

Ahtoilman kosteus huomioidaan seuraavasti:

$$H_{SC} = 6.22 \cdot p_{SC} \cdot 100 / (p_e - p_{SC}) \quad (15)$$

p_{SC} = ahtoilman kyllästetyn höyryn paine [kPa]

Jos $H_a \geq H_{SC}$ niin H_{SC} käytetään H_a :n tilalla yhtälössä 15.

Pakokaasujen massavirta lasketaan kaavojen 16 ja 17 mukaan mitatuista pitoisuuksista ja pakokaasun virtausmäärästä. Jokaiselta tehoalueelta pakokaasun pitoisuudet kerätään vähintään 60 sekunnin ajalta. Tulokset annetaan prosentteina kahden desimaalin tarkkuudella ja HC-, CO- sekä NO_x -pitoisuudet lähimpään kokonaislukuun pyöristettynä.

Taulukko 9. u_{gas} kertoimet. (7)

u _{gas} kertoimet ja polttoainekohtaiset parametrit						
kaasu	NO_x	CO	HC	CO ₂	O ₂	
ρ_{gas} kg/m ³	2,053	1,250	a)	1,9636	1,4277	
	ρ_e	u _{gas} kertoimet ^{b)}				
polttoaine	1,2943	0,001586	0,000966	0,000479	0,001517	0,001103

a) polttoaineesta riippuvainen suure

b) $\lambda=2$ märkä ilma, 273K ja 101,3kPa

U-arvot ovat annettu taulukossa 9 ideaalikaasulle. Yksittäisen pakokaasu komponentin massavirta $q_{m, gas}$ (g/h) lasketaan soveltamalla seuraavia kaavoja.

$$NO_x \quad q_{m, gas} = u_{gas} \cdot c_{gas} \cdot q_{mew} \cdot k_{hd} \quad (16)$$

$$\text{Muut kaasut} \quad q_{m, gas} = u_{gas} \cdot c_{gas} \cdot q_{mew} \quad (17)$$

c_{gas} = yksittäisen kaasun pitoisuus pakokaasuissa [ppm]

k_{hd} = NO_x korjauskerroin kosteudelle

Yleensä CO₂- ja O₂- päästöt annetaan prosentteina. Kaavassa 17 pitoisuuden yksikkönä käytetään ppm:ää. Yksi prosentti vastaa 10000 ppm:ää. (7)

Päästöt lasketaan seuraavalla kaavalla kaikille yksittäisille komponenteille.

$$gas_x = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} (q_{m, gas_i} \times W_{fi})}{\sum_{i=1}^{i=n} (P_i \times W_{fi})} \quad (18)$$

$$P = P_m + P_{aux} \quad (19)$$

P_m = Yksittäisen testipisteen teho

P_{aux} = Apulaitteistojen käyttämä teho mittauspisteessä

n = testimoodien lukumäärä

Moottorin NO_x -päästöt varmennetaan vertaamalla kaavan 18 tulosta sallittuihin päästörajoihin.

Yksinkertaistetussa mittausmenetelmässä sallitaan 10 %:n vaihtelut päästöarvoissa. Moottorin päästöarvot vaihtelevat riippuen polttoaineen syttyvyystekijöistä ja typpipitoisuudesta. Sallitut 10 %:n vaihtelut voidaan myöntää RM-polttoaineella esitestatulle moottorille (testiajo asennuksen jälkeen), jos saatavissa ei ole riittävästi tietoa sytytystavan vaikutuksesta NO_x -päästöihin ja polttoaineen sisältämän typen muuttumisesta eri NO -päästöiksi. Polttoaineanalyysissä selvitetään hiilen, veden, typen, rikin ja muiden tarvittavien komponenttien määrät, jotta polttoaineen tarkat ominaisuudet saadaan selville. Kokonaisuudessaan myönnetty rajat, koskien sekä yksinkertaistettua mittausmenetelmää että RM-tyypin polttoaineen käyttöä, eivät saa ylittyä 15 %:lla. (7)

4 SUORAN MITTAUKSEN JA VALVONNAN MENETELMÄ

Tätä menetelmää voidaan käyttää NO_x -päästöjen todentamiseen vahvistamis- sekä vuosittais- että väliaikaistarkastuksissa. Huomiota tulee erityisesti kiinnittää turvallisuuden, savukaasujen ja mittausvälineiden käsittelyyn sekä kalibrointikaasujen varastointiin ja käyttöön. (7)

Menetelmä edellyttää vähintään kaasumaisten NO - ja NO_2 -pitoisuuksien mittaamisen. Jos savukaasujen massavirta mitataan hiilipainotusmenetelmällä, vaaditaan myös CO_2 -mittaus. Lisäksi voidaan mitata CO -, HC - ja O_2 -pitoisuudet. Tämän lisäksi mitataan tai lasketaan seuraavat parametrit jokaisessa kuormapisteessä. (7)

Taulukko 10. Mitattavat parametrit suoran mittauksen ja valvonnan menetelmässä. (7)

Parametri	Symboli	Yksikkö
Moottorin nopeus	n_d	min^{-1}
Ahtoilman paine	p_c	kPa

Jarruvoima	P	kW
Aputeho (ei välttämätön)	P_{aux}	kW
Ahtoilman lämpötila	T_{SC}	K
Ahtoilman jäähdytinnesteen sisääntulo lämpötila (jos saatavilla)	T_{caclin}	K
Ahtoilman jäähdytinnesteen ulostulo lämpötila (jos saatavilla)	$T_{caclout}$	K
Meriveden lämpötila	T_{sea}	K
Polttoaineen massavirta	q_{mf}	kg/h

Moottorin operointiin liittyvät säädöt, kuten ahtoilman ohitus, turboahtimen status ja waste-gate, kirjataan. Kaikki NO_x-säätölaitteiden asetukset ja säädöt kirjataan. Jos on vaikeaa mitata tehoa suoraan, voidaan jarruvoimaa arvioida seuraavilla menetelmillä:

1. epäsuoralla mittauksella
2. katsomalla arvo nomographista.

Polttoaineen kulutusta arvioidaan joko suoralla mittauksella tai testipenkin mittaustulosten mukaan. Ympäröivistä olosuhteista mitataan jokaisessa kuormassa seuraavat parametrit. (7)

Taulukko 11. Ympäröivistä olosuhteista mitattavat parametrit. (7)

Parametri	Symboli	Yksikkö
Absoluuttinen kosteus	H_a	g/kg
Totaalinen parometrinen paine	p_b	kPa
Sisääntulevan ilman lämpötila	T_a	K

Mittauksen aikana moottorin operoinnissa pyritään noudattamaan mahdollisimman paljon testikierrossa määriteltyjä arvoja. Testikierroissa noudatetaan yksinkertaistetun mittausmenetelmän testikiertoja. E3-kierrossa kuormapiste asetetaan käyttäen moottorin nopeutta, vaikuttavaa painetta (MEP) tai indikoitua painetta (MIP), jos potkurin käyrä eroaa E3-käyrästä. MEP, MIP ja moottorin nopeus on annettu jokaiselle testikierrolle. (7)

Ennen mittauksia zero- ja span-arvot tarkastetaan ja analysaattorit säädetään tarvittaessa. Analysaattoreiden ulostulon lukema otetaan, kun mittarin lukema on vakiintunut.

Ulostulon nauhoitusjakson on oltava pituudeltaan vähintään 10 minuuttia pakokaasuilla ja vähintään kolme minuuttia zero- ja span-vastetarkastuksissa. 10 minuutin seurantaajaksoa käytetään aina, kun mitataan päästöjen pitoisuuksia, moottorin suorituskykyä tai ympäröiviin olosuhteisiin liittyviä parametrejä. Vähimmäisnäytetaajuus on kolme kertaa minuutissa. Kaasumaisista päästöistä kerätyistä analysaattorin ulostuloarvoista lasketaan keskiarvo. Analysaattorin ulostulo mitataan sekä testin aikana että zero- ja span-vastetarkastuksissa. HC-, CO- ja NO_x-pitoisuudet mitataan ppm:nä ja pyöristetään lähimpään kokonaislukuun. CO₂- ja O₂-pitoisuudet mitataan prosentteina ja ilmoitetaan vähintään kahden desimaalin tarkkuudella. Mittauksen jälkeen analysaattorin zero- ja span-arvot tarkastetaan uudelleen. Tällöin käytetään zero-kaasua ja samaa span-kaasua kuin on käytetty mittausten aikana. Tarkastus on hyväksytty, jos:

- 1) zero-kaasun vasteen ero ennen ja jälkeen mittauksen on vähemmän kuin 2 % alku- peräisestä span-kaasupitoisuudesta
- 2) span-kaasun pitoisuuden vaste-ero on alle 2 % ennen ja jälkeen testauksen. (7)

Näytteenottoajalta kerätään tiedot vähintään päästöjen pitoisuuksista, moottorin suorituskyvystä sekä ympäröivistä olosuhteista. Pakokaasujen virtaus voidaan päättää joko suoralla, ilman ja polttoaineen tai polttoaineen virtaus ja hiilentasapainotus menetelmällä. Hiilen tasapainotusmenetelmässä zero ja c_{co2d} asetetaan 0,03 %:in päästöillä, joita ei mitata. (7)

Polttoaineen koostumus (kaasun massavirran q_{mf} laskemiseen) selvitetään jollain seuraavista menetelmistä:

- 1) polttoaineen koostumus analysoidaan hiilen, veden, typen ja hapen määrän mukaan (hapen määrä ei välttämätön)
- 2) käyttämällä taulukon 12 arvoja.

Taulukko 12. Polttoaineen koostumus. (7)

	hiili	vesi	typpi	happi
	W _{BET}	W _{ALF}	W _{DEL}	W _{EPS}
Tislattu polttoaine (DM)	86,2 %	13,6 %	0.0 %	0.0 %
Jäännös polttoaine (RM)	86,1 %	10,9 %	0.4 %	0.0 %

Jos päästöjä ei ole mitattu märkinä, kaasumaisten päästöjen pitoisuudet muutetaan mäksi jommallakummalla seuraavista menetelmistä:

- 1) veden määrän suoralla mittauksella
- 2) muuntamalla kuiva päästö märäksi kaavojen 2, 3 tai 4 mukaan

Kosteuden ja lämpötilan korjaus lasketaan kaavojen 13 ja 14 mukaan. T_{SCRef} -arvot kirjataan. T_{SCRef} -arvossa viitataan meriveden 25 °C:n lämpötilaan, joten T_{SCRef} -arvo suhteutetaan todellisen meriveden lämpötilaan mukaan. Päästöt lasketaan samalla tavalla kun yksinkertaistetussa mittausmenetelmässä. Hankittu päästöarvo korjataan seuraavasti:

$$\text{korjattu kaasu}_x = \text{kaasu}_x * 0.9. \quad (20)$$

Päästöarvoa (kaasu_x tai korjattu kaasu_x) verrataan sallittuihin päästörajoihin. Jotta moottorin voidaan katsoa saavuttavan asetetut päästörajat, vaadittujen tietojen pitää olla viimeisen 30 päivän ajalta. Tietoja säilytetään laivalla vähintään kolme kuukautta. Tiedot kerätään joko yksittäisinä testisarjoina koko moottorin operointialueelta tai yksittäisinä tapahtumina, kun moottorin kuorma vastaa vaadittua. (7)

Suoran mittauksen ja valvonnan menetelmä dokumentoidaan laivan valvontamanuaaliin. Hyväksytty laivan valvontamanuaali liitetään EIAPP-sertifikaattiin. Suoran mittauksen ja valvonnan menetelmää voidaan käyttää, kun tiedot kerätään vaadituista mittauksista ja otetaan huomioon valvontamanuaalissa oleva informaatio. (7)

5 ISO 8178-2 STANDARDIN VAATIMUKSET LAIVOJEN PÄÄSTÖMITTAUKSILLE

Kenttämittaukset ovat välttämättömiä vain, kun seuraavat vaatimukset ja olosuhteet toteutuvat:

- 1) Hyväksytyyn moottorityypin testipetimitaukset eivät ole sopivia, koska kenttäolosuhteet eivät ole jäljennettävissä. Tällöin mittaukset korvataan testipedin mittauksilla.
- 2) Arvioidaan paikallisia päästöjä. Mittaukset suoritetaan normaalin toiminnan aikana tai simuloimalla operointiolosuhteita. Testijärjestelyissä pyritään noudattamaan mahdollisimman paljon standardia. Mittaustuloksia ei voida kuitenkaan suoraan verrata testipenkin tuloksiin, koska tulokset riippuvat käytetystä testikierrosta.

- 3) Mittauksista on sovittu molempien osapuolten kesken. Saadut tulokset ovat kyseiselle moottorille tyypillisiä näissä testiolosuhteissa. Tuloksia ei voi verrata muihin arvoihin.
- 4) Tarkastetaan käytössä olevan tai uudelleen rakennetun moottorin vastaavuus standardiin. Testistä ei välttämättä saada olosuhteista johtuen samoja tuloksia kuin on määriteltä. Tulokset rajoitetaan tässä tapauksessa koskemaan vain tätä sovellusta.
- (15)

5.1 Testiolosuhteet

Kaikki tilavuudet ja tilavuusvirrat suhteutetaan 273 Kelvinin lämpötilaan ja 101,3 kPa paineeseen. T_a ja p_s mitataan sekä parametri f_a lasketaan jommallakummalla seuraavana esitetystä kaavoista. Luonnollisesti tai mekaanisesti painetta vaihtavilla, puristus-sytytteisillä kompressoreilla f_a lasketaan kaavan 21 mukaan.

$$f_a = (99/p_s) * (T_a/298)^{0,7} \quad (21)$$

Puristus-sytytteisille moottoreille, joilla on turboahdin, käytetään kaavaa 22.

$$f_a = (99/p_s)^{0,7} * (T_a/298)^{1,5} \quad (22)$$

p_s = ilmakehän paine mitattuna kuivana.

Luonnollisesti tai mekaanisesti painetta vaihtavilla puristus-sytytteisillä moottorilla parametri α_a lasketaan seuraavasti:

$$\alpha_a = (99/p_s)^{1,2} * (T_a/298)^{0,6} \quad (23)$$

α_a pitää olla välillä 0,93–1,07. Testiraportissa esitetään α_a ja f_a arvot. Ahtoilmajähdytteisillä moottoreilla jäähdytyksen keskilämpötila ja ahtoilmän lämpötila kirjataan testi-raporttiin. (15)

Taulukko 13. Testiolosuhteissa mitattavat parametrit.(15)

Suure	Lyhenne	Yksikkö
Polttoaineen kulutus	b_x	kg/kWh

Sisäänotetun ilman suhteellinen kosteus	H_a	g/kg
Moottorin nopeus <i>ith</i> -moodissa testin aikana	n_d	min ⁻¹
Turboahtimen nopeus	n_{turb}	min ⁻¹
Parometrinen paine	p_B	kPa
Ilman paine ahtoilman jäähdyttimen jälkeen	p_{be}	kPa
Korjaamaton jarruvoima	P_i	kW
Polttoainetangon asento jokaisella sylinterillä	s	-
Sisäänotetun ilman lämpötila	T_a	K
Ilman lämpötila ahtoilman jäähdyttimen jälkeen	T_{ba}	K
Jäähdyttimen lämpötila, sisääntulo	T_{clin}	K
Jäähdyttimen lämpötila, ulostulo	T_{clout}	K
Voiteluöljyn lämpötila	T_{oil}	K

Mittauksissa tehona käytetään korjaamatonta jarruvoimaa. Väännön ja nopeuden arvot eroavat luultavasti testipetitulosista, joten päästökkin eroavat testipenkin mittauksista. Jos testipetitulosissa ilmoitettua maksimitehoa ei ole mahdollista saavuttaa, käytetään maksimitehona suurimmasta sallitusta väännöstä ja nopeudesta saatua tehoa. Siinä tapauksessa, ettei tehoa ole mahdollista mitata suoraan, voidaan se laskea annetuista arvoista. Teho mitataan ja kirjataan jokaisessa operointipisteessä. (15)

Mittausten yhteydessä ilman sisäänottojärjestelmä tutkitaan, koska ilman sisäänottojärjestelmän rajoitukset suurimmalla sallitulla ilmavirralla voivat rajoittaa myös moottorin operointiarvoja. Jäähdytysjärjestelmänä mittauksissa käytetään järjestelmää, jolla on riittävä jäähdytyskapasiteetti moottorin normaaleille operointiarvoille ja -olosuhteille. Tiedot voiteluöljystä kirjataan testiraporttia varten. Polttoaineena testeissä käytetään moottorille tyypillistä polttoainetta, jonka tiedot kirjataan testiraporttiin. Polttoaineen lämpötila ennen ruiskutuspumppua mitataan ja mittauspisteen sijainti määritetään testiraporttia varten. Pakokaasujärjestelmän varustelu noudattaa moottorin

valmistajan määräyksiä. Näytelinjat ja näytteenottolaitteisto asennetaan niin, ettei turvallisuutta ja työolosuhteita vaaranneta. (15)

5.2 Mittauslaitteisto ja mitattavat parametrit

Pakokaasun pääkomponentteja eli CO-, CO₂-, HC-, NO_x-, O₂-kaasuja mitataan samoilla menetelmillä kun yksinkertaistetussa mittausmenetelmässä (15). Hiukkaspäästöjen mittauksessa käytetään pakokaasun laimennusjärjestelmää, joka voidaan toteuttaa laimentamalla osa pakokaasuvirrasta, isokineettisellä järjestelmällä tai pakokaasun virtausmäärää säätävällä laitteistolla, jolloin pakokaasuvirrasta mitataan joko pitoisuus tai virtausmäärä. Laimennus voidaan toteuttaa myös koko pakokaasumäärälle. Hiukkaspäästöjen näytteenotto vaaditaan, jotta saataisiin kerättyä hiukkasia suodattimelle. Jos hiukkaspäästöt mitataan kokonaispakokaasumäärästä niin mittalaite sisältää yleensä sekä laimennuksen että näytteenottojärjestelmän. Muuten näytteenotolle ja laimennukselle on erilliset yksiköt. Näytteenottopumppua suositellaan pidettävän käynnissä koko mittauksen ajan. Yhden suodattimen menetelmässä ohitusventtiiliä voidaan käyttää säätämään pakokaasun virtausta suodattimelle halutuin aikavälein. Muut näytteenottotavat hyväksytään, jos pystytään osoittamaan, että näytteenottojärjestelmä antaa saman tuloksen. (16) Väännön ja nopeuden mittauksissa sovelletaan annettuja testiertoja. Väännön ja tehon mittauksen pitää mahdollistaa myös akselitehon mittaus. Pakokaasun massavirran määrittämisessä käytetään samoja menetelmiä kuin yksinkertaistetussa mittausmenetelmässä. Hiilitasapainotusmenetelmää suositellaan käytettäväksi, koska suoraan mittausmenetelmään tai ilman ja polttoaineen mittausmenetelmään tarvittavia mittalaitteita ei useinkaan ole laivalla saatavilla. (15)

Mittalaitteiden tarkkuudessa noudatetaan samoja toleransseja, jotka on esitetty taulukoissa 5 ja 6. Jäähdyttimen, voiteluöljyn, pakokaasun, sisään otetun ilman ja polttoaineen lämpötilat mitataan. Pakokaasun ja ilmakehän paineet mitataan. Näiden lisäksi mitataan sisään otetun ja laimennusilman kosteudet sekä laimennusilman virtausmäärä. Kalibrointiväli mittalaitteilla on kolme kuukautta. Kokonaistarkkuuksien ja toistettavuuden toleranssit mittauksille sekä laskennalle löytyvät taulukosta 14. (15)

Taulukko 14. Toleranssit kokonaistarkkuudelle. (15)

Komponentti	Yksikkö	Tarkkuus	Toistettavuus
-------------	---------	----------	---------------

Kaasumaiset päästöt	ppm	± 5 % lukemasta	± 1 % kokonaisskaalasta
	µg/m ³	± 7 %	± 5,1 %
	g/kWh	± 9 %	± 7,4 %
Hiukkaspäästöt	µg/m ³	± 6,5 %	± 6,5 %
	g/kWh	± 8,5 %	± 8,5 %

Hiukkaspäästöjä määriteltäessä pakokaasun laimennusjärjestelmät ovat sallittuja. Kaasumaisten päästöjen mittaus ja näytteenotto noudattaa yksinkertaistetussa mittausmenetelmässä esitettyä tapaa. Hiukkaspäästöjen mittaukseen suositellaan osittaista pakokaasujen laimennusjärjestelmää. (15) Laimennusjärjestelmän virtauskapasiteetin pitää olla riittävä, jottei vettä pääse kondensoitumaan suodattimeen. Hiukkasten massan määrittäminen vaatii näytteenoton, suodattimen, painoa mittaavan laitteen sekä lämpö- ja kosteussäädettävän paikan, johon suodatin voidaan näytteenoton jälkeen laittaa. Hiukkasnäyte otetaan ylävirtaan, läheltä näytteenottopistettä. Laimennusilman lämpötila ei saa ylittää 52 astetta. (16) Suodattimen keskimääräinen läpivirtausnopeus laskeaan ja esitetään mittausraportissa. Jos suodattimen painon mittauslaite ei ole lähellä, niin kuljetuksen aikana tulee varmistua siitä, että suodatin on painon mittaupaikassa samassa tilassa kuin lähtiessään näytteenottopisteeltä. Näytteenotossa käytettävät instrumentit kalibroidaan valmistajan suositusten mukaisesti. Partikkeleiden näytejärjestelmän kalibroinnissa suodattimen läpi menevän pakokaasun mittausvirhe ei saa ylittää ± 4 % lukemasta. (15)

5.3 Testaus

Testikiertojen tulee noudattaa mahdollisimman paljon alkuperäistä esisertifioinnissa käytettyä testiä. Useimmiten laivalla mittauspisteiden määrä eroaa testipetimittauspisteiden määrästä, mistä johtuen standardissa annettuja painotuskertoimia ei voida käyttää. Ennen testaamista varmistetaan moottorin ja sen apulaitteiden kunto. Jokainen hiukkassuodatin laitetaan vähintään kahdeksi tunniksi avoimeen painotuskammioon, jonka jälkeen suodattimet punnitaan ja omapaino kirjataan. Suodatin varastoidaan tiivistettyyn, kyseistä tarkoitusta varten valmistettuun laatikkoon. Kuljetuksen aikana pyritään välttämään värinää ja lämpötilan isoja muutoksia. Mittauslaitteisto asennetaan vaaditulla tavalla. Kun pakokaasun laimennusjärjestelmää käytetään, se asenne-

taan tässä vaiheessa paikalleen. Näiden toimenpiteiden jälkeen laimennusjärjestelmä ja moottori käynnistetään ja niitä esilämmitetään kunnes kaikki paineet ja lämpötilat ovat tasaantuneet. Moottori ajetaan aluksi suurimpaan mahdolliseen kuormaansa. Laimennusilman lämpötila saa vaihdella 293–303 Kelviniin. (15)

Laimennusjärjestelmää säädettäessä, yhden suodattimen menetelmässä, järjestelmän käynnistysvaiheessa käytetään ohitusventtiiliä. Tällöin laimennusilman partikkelipitoisuus määritellään. Jos käytetään suodatettua laimennusilmaa, yksi mittaus testin aikana riittää. Jos taas laimennusilmaa ei suodateta, näyte otetaan vähintään kolme kertaa testin aikana. Suositus on ottaa näyte alussa, lopussa ja suunnilleen testin puolivälissä. Laimennusilman lämpötila asetetaan enintään 52 °C:seen. Laimennussuhde on säädettävä yli neljään. CO₂- ja NO_x- pitoisuuksien säätöjärjestelmissä, CO₂- ja NO_x- pitoisuudet mitataan testin alussa ja lopussa. CO₂- ja NO_x- pitoisuus laimennusilmassa saa olla 5-100 ppm. Laimennetun pakokaasun analysointijärjestelmässä partikkelien määrä selvitetään ottamalla laimennusilmasta näyte testin jälkeen. (15)

Valmistajan ilmoittamien testinopeuksien ja maksimitehon arvojen mukaan voidaan laskea tehoarvot määritellyille testimoodeille. Jokaiselle testimoodille lasketaan moottorin asetukset kaavan 24 mukaan.

$$S = \left[(P_{max} + P_{aux}) \frac{F}{100} \right] - P_{aux} \quad (24)$$

S = moottorin dynamometrin asetus [kW]

P_{max} = moottorin maksimiteho testiolosuhteissa [kW]

P_{aux} = apulaitteiden käyttämä teho [kW]

F = moottorin väännön osuus maksimiväännöstä [annetaan prosentteina]

Testissä käytettävät analysaattorit asetetaan nolnaan. Testikiertoissa pyritään noudattamaan mahdollisimman paljon moottorin testipeti mittauksissa käytettyä testikiertoa. Jos testauspisteiden määrä eroaa virallisesta määrästä, tulee vähintään 10 minuutin kestoinen mittaus suorittaa jokaisella testikuormalla. Tärkeintä mitattaessa ei ole mit-

tausaika vaan se, että moottorin arvot ovat stabiilit mittauksen aikana. Testauksen aikana moottorin määritelty nopeus on pidettävä joko $\pm 1 \%$ tai $\pm 3 \text{ min}^{-1}$ tarkkuudessa. Edellä mainitut rajat eivät koske loistehoa, jonka arvot pidetään valmistajan määrittelemissä toleransseissa. Vääntö pidetään testauksen aikana $\pm 2 \%$:ssa kyseisen moodin maksimiväännöstä. Polttoaineen lämpötila kirjataan testiraporttia varten, ja sen tulee noudattaa valmistajan ohjeita. Analysaattorien antamat lukemat kirjataan testausraporttiin. Pakokaasun on virrattava vähintään kolme minuuttia analysaattorille, jotta analysaattorin tulosta voidaan pitää luotettavana. Suositus on, että analysaattorin arvo otetaan vasta jokaisen testimoodin loppuvaiheessa tai testimoodin viimeisen kolmen minuutin aikana. Partikkeleiden näytteenotto tehdään joko yhden tai useamman suodattimen menetelmällä. Mittauksen tulos saattaa vaihdella suuresti käytetystä menetelmästä riippuen, joten mittauspöytäkirjassa on aina mainittava käytetty menetelmä. Yhden suodattimen menetelmässä otetaan testikiertojen yhteydessä määritellyt modaaliset painotuskertoimet huomioon. Modaaliset painotuskertoimet huomioidaan säätämällä virtausta tai näytteenottoaika. Näyte otetaan jokaisessa moodissa mahdollisimman myöhäisessä vaiheessa, jotta arvot ehtivät tasaantua. Näytteenottoaika yhden suodattimen menetelmässä on vähintään 20 sekuntia ja useamman suodattimen menetelmässä vähintään 60 sekuntia. Ilman ohitusjärjestelmää, näytteenoton tulee kestää molemmilla menetelmillä vähintään 60 sekuntia. (15)

Moottorin nopeus ja kuorma, sisään otetun ilman lämpötila, pakokaasun paine, polttoaineen virtausmäärä ja ilman tai pakokaasun virtausmäärä mitataan viimeisen 80 %:n aikana kun moottori on stabiloitunut haluttuun nopeuteen. Mittausajanjakson aikana saaduista arvoista voidaan laskea keskiarvo. Joissain tapauksissa savukaasujen, palamisilman ja polttoaineen määrää on vaikea mitata, jolloin ne lasketaan hiili-happitasapainotusmenetelmällä. Analysaattoreiden zeron ja span asetukset säädetään ja tarkastetaan vähintään testin lopussa. Analysaattoreiden testi on hyväksytty, jos välttämättömät säädöt testin jälkeen eivät ylitä analysaattoreilta vaadittua tarkkuutta. (15)

Testiraportissa esitetään selkeästi mitä on mitattu, miten mittaukset on suoritettu ja mitkä arvot on laskettu. Raportissa on esitettävä myös korjatut arvot sekä se, miten kyseinen arvo on korjattu. Arvio tulosten tarkkuudesta ja syyt juuri näiden testausoptioiden valintaan on hyvä esittää raportissa. Käytettävissä olevan mittauslaitteiston tiedot kirjataan myös raporttiin. Nämä tiedot sisältävät span-kaasun indikaattorit, ympäröivät olosuhteet kuten ilmakehän kosteuden, moottorin suorituskyvystä kertovat sekä

polttoaineen tunnistamiseen tarvittavat tiedot. Yleisesti ottaen moottorin osien kuvauksia ei testausraporttiin kirjoiteta, mikäli ne ovat helposti jäljitettävissä. Ruiskutuksen ajoitus, ruiskutuksen asetukset, ruiskutussuutinten koko ja turboahtimen erikoispiirteet on raportissa määriteltävä. Kipinäsytytteisillä moottoreilla on määriteltävä myös sytytystulppien merkki ja sytytyksen säädöt. (15) Liitteissä 1-6 esitellään standardin mukaisia raportointipohjia erilaisten tietojen raportointiin.

5.4 Laskennassa tarvittavien tietojen keräys savukaasuista

Kaasumaisten päästöjen ($conc$) ja laimennusilman ($conc_d$) pitoisuuksien keskiarvot lasketaan. Hiukkaspitoisuuden laskemiseksi tarvitaan suodattimen läpi menevän pakokaasun massa- (M_{SAM}) tai tilavuusvirta (V_{SAM}). Suodattimet palautetaan painotuskaappiin ja pidetään siellä vähintään kaksi tuntia mittauksen jälkeen. Aika ei saa ylittää 80 tuntia. Tämän jälkeen suodattimet punnitaan. Suodattimien bruttopaino mitataan ja taarapaino lasketaan. Partikkeleiden massa saadaan kaikkien suodattimien taarapainojen summasta. Partikkeleiden massasta käytetään menetelmästä riippuen joko M_f - tai M_{fi} -symboleita. M_f -symbolia käytetään yksittäiselle suodattimelle ja M_{fi} -symbolia monen suodattimen menetelmässä. Jos testausmenetelmässä vaaditaan laimennusilmasta johtuvaa korjausta, silloin laimennusilman massa- tai tilavuusvirta suodatinten läpi ja hiukkasten massa mitataan. Jos laimennusilman määrä mitataan useammassa testipisteessä, silloin lasketaan myös hiukkasten massan suhde laimennusilman massaan tai tilavuuteen. (15)

5.5 Kaasumaisten päästöjen laskenta

Seuraavana esitettyjä laskentamenetelmiä sovelletaan normaaleissa olosuhteissa. Erikoistapauksissa, esimerkiksi jos ilman kosteus on korkea tai moottorin operointiarvot ovat normaalista poikkeavia, sovelletaan muita kaavoja. (15)

Pakokaasujen massavirran laskentaan sovelletaan joko suoran mittauksen, ilman ja polttoainevirtauksen tai hiiliasapainotusmenetelmää. Suoran mittauksen menetelmässä pakokaasujen virtausmäärä määritetään mittaamalla polttoaineen virtaus ruiskutus-suuttimella. Yleisesti ottaen tätä menetelmää ei suositella käytettäväksi, koska menetelmä on vaikea toteuttaa käytännössä ja toteutettaessa mittausvirheet ovat todennäköisiä. Ilman ja polttoaineen mittausmenetelmä edellyttää polttoaineen ja ilmamäärän mittausta. Hiiliasapainotusmenetelmän käyttö vaatii pakokaasun massavirran laske-

mista polttoaineen kulutuksen ja pakokaasun pitoisuuksien perustella. Jos käytetään pakokaasujen kokonaislaimennusta, niin laimennetun pakokaasun kokonaisvirtausmäärä (G_{TOTW} , V_{TOTW}) mitataan testin aikana. (15)

5.5.1 Pakokaasujen massavirran määrittäminen

Pakokaasujen massavirta määritellään erikseen jokaisessa testauspisteessä. Ilman ja polttoaineen mittausten menetelmässä märkien pakokaasujen massavirta G_{EXHW} (kg/h) lasketaan seuraavasti:

$$G_{EXHW} = G_{AIRW} + G_{FUEL} \quad (25)$$

G_{AIRW} = Sisään otetun ilman massavirta märillä pakokaasuilla [kg/h]

G_{FUEL} = Polttoaineen massavirta [kg/h]

Tilavuusvirta V_{EXHD} (m³/h) kuivista pakokaasuista lasketaan:

$$V_{EXHD} = V_{AIRD} + F_{FD} \times G_{FUEL} \quad (26)$$

V_{AIRD} = Moottorin sisään ottaman ilman tilavuusvirta [m³/h] kuivana

Märkien pakokaasuista tilavuusvirta V_{EXHW} lasketaan:

$$V_{EXHW} = V_{AIRW} + F_{FW} \times G_{FUEL} \quad (27)$$

V_{AIRW} = Moottorin sisään ottaman ilman tilavuusvirta [m³/h] märkinä

F_{FD} ja F_{FW} = Käytetylle polttoaineelle ominainen arvo pakokaasun massavirran laskemiseksi. (15)

5.5.2 Kuiva- ja märkäkorjaus pakokaasuille

Jos pakokaasut on mitattu kuivina, niin ne muunnetaan märiksi seuraavan kaavan mukaan.

$$conc(wet) = K_W \times conc(dry) \quad (28)$$

conc = korjattu pitoisuus [ppm]

K_W = Korjauskerroin.

Raaoille pakokaasuille sovelletaan seuraavaa kaavaa:

$$K_{Wr1} = \left(1 - F_{FH} \times \frac{G_{FUEL}}{G_{AIRD}} \right) - K_{W2} \quad (29)$$

F_{FH} = Polttoaineen ominaiskerroin

G_{AIRD} = Moottorin sisään ottaman ilman massavirta kuivana.

Kaavan 29 voidaan katsoa määrittävän polttoaineen ominaisarvo $F_{FW/D}$. Näin määritellen kyseinen arvo kuvaa pakokaasujen sisältämän veden määrää. F_{FH} :n arvot dieselillä ovat 1,835, 1,865 tai 1,920.

$$K_{Wr2} = \frac{1}{1 + HTCRA \times 0,005 \times [\% conc_{CO}(dry) + \% conc_{CO_2}(dry)]} - K_{W2} \quad (30)$$

K_{Wr2} = Korjauskerroin raaoille pakokaasuille

HTCRAT = vesi-hiili -suhde

Korjauskerroin lasketaan laimennetulle pakokaasulle:

$$K_{We1} = \left(1 - \frac{HTCRAT \times CO_2 \% conc (wet)}{200} \right) - K_{W1} \quad (31)$$

Korjauskerroin laimennusilmalle:

$$K_{Wd} = 1 - K_{W1} \quad (32)$$

$$K_{W1} = \frac{1,608 \times [H_d \times (1 - 1/DF) + H_a \times (1/DF)]}{1\,000 + \{1,608 \times [H_d \times (1 - 1/DF) + H_a \times (1/DF)]\}} \quad (33)$$

H_d = Laimennusilman kosteus [g/kg]

DF = Laimennuskerroin

$$H_d = \frac{6,22 \times R_d \times p_d}{p_B - p_d \times R_d \times 10^{-2}} \quad (34)$$

R_d = Laimennusilman suhteellinen kosteus [%]

R_d = Sisään otetun ilman suhteellinen kosteus [%]

p_b = Laimennusilman kyllästyshöyryn paine [kPa]

p_B = Baronmetrinen paine [kPa]

Jos laimennusilmana käytetään muuta kuin moottorin sisään ottamaa ilmaa, niin yllämainitut kaavat eivät ole käytössä. (15)

5.5.3 Kosteuden korjaus NO_x -päästöille

NO_x -päästöt riippuvat paljon ympäröivistä olosuhteista, joten NO_x -pitoisuudet korjataan kertoimilla, jotka lasketaan seuraavana esitetyillä kaavoilla. Diesel-moottoreille korjauskerroin lasketaan kaavan 35 mukaan. (15)

$$K_{\text{HDIES}} = \frac{1}{1 + A \times (H_a - 10,71) + B \times (T_a - 298)} \quad (35)$$

$$A = 0,309 \text{ G}_{\text{FUEL}}/\text{G}_{\text{AIRD}} - 0,0266$$

$$B = -0,209 \text{ G}_{\text{FUEL}}/\text{G}_{\text{AIRD}} + 0,00954$$

$$H_a = \frac{6,22 \times R_a \times p_a}{p_B - p_a \times R_a \times 10^{-2}} \quad (36)$$

Bensiinimoottoreille korjauskerroin lasketaan kaavan 37 mukaan.

$$K_{\text{HPET}} = 0,6272 + 44,030 \times 10^{-3} \times H_a - 0,862 \times 10^{-3} \times H_a^2 \quad (37)$$

5.5.4 Päästöjen massavirran laskenta

Jokaisessa testimoodissa moottorin päästöjen massavirta lasketaan. Jos päästöjen mittaustaus perustuu jarruvoimaan, yhtälöitä 38–40 käytetään.

$$M_{\text{GAS}} = u \cdot \text{conc} \cdot G_{\text{EXHW}} \quad (38)$$

$$M_{\text{GAS}} = v \cdot \text{conc} \cdot V_{\text{EXHW}} \quad (39)$$

$$M_{\text{GAS}} = w \cdot \text{conc} \cdot V_{\text{EXHW}} \quad (40)$$

Laimennetulle pakokaasulle massavirta lasketaan jollain seuraavista tavoista.

$$M_{\text{GAS}} = u \cdot \text{conc}_c \cdot G_{\text{TOTW}} \quad (41)$$

G_{TOTW} = Laimennusilman massavirta kosteilla pakokaasuilla [kg/h]

$$M_{\text{GAS}} = w \cdot \text{conc}_c \cdot V_{\text{TOTW}} \quad (42)$$

V_{TOTW} = Laimennusilman tilvavuusvirta kosteilla pakokaasuilla [m³/h]

conc_c lasketaan:

$$\text{conc}_c = \text{conc} - \text{conc}_d \cdot [1 - (1/\text{DF})] \quad (43)$$

DF lasketaan jommallakummalla seuraavista tavoista.

$$\text{DF} = 13,4 / [\text{conc}_{\text{CO}_2} + (\text{conc}_{\text{CO}} + \text{conc}_{\text{HC}}) \cdot 10^{-4}] \quad (44)$$

$$\text{DF} = 13,4 / \text{conc}_{\text{CO}_2} \quad (45)$$

Kun päästöjen mittaustaus perustuu kuivien pakokaasujen massavirtaan, niin massavirta lasketaan kaavoilla 46–47. (15)

$$\rho_{\text{GAS}} = v^* \text{conc}_{\text{GAS}} \quad (46)$$

$$\rho_{\text{GAS}} = w^* \text{conc}_{\text{GAS}} \quad (47)$$

NO_x-päästöille kertoimet u (märkä), v (kuiva) ja w (märkä) ovat

$$u = 0,001\ 587$$

$$v = 0,002\ 053$$

$$w = 0,002\ 053.$$

5.5.5 Kaasumaisten päästöjen laskenta

Yksittäisten kaasujen päästöt lasketaan kaikille yksittäisille komponenteille kaavalla 18. Kaavaa sovelletaan vain kun päästöjen mittausta perustuu jarruvoimaan. Laskennassa käytettävä testimoodien lukumäärä ja painotuskertoimet määritellään luvussa 4.4.

(15)

5.6 Hiukkaspäästöjen laskenta

Hiukkaspäästöjen laskennassa käytetään annettuja korjauskertoimia ja joko osittaista pakokaasujen laimennusta tai pakokaasujen kokonaislaimennusta. Hiukkaspäästöjen, jotka perustuvat jarruvoimaan ja joissa käytetään yhden suodattimen menetelmää, massavirta lasketaan kaavoilla 48 tai 49.

$$PT_{\text{mass}} = \frac{M_f}{M_{\text{SAM}}} \times \frac{\overline{G_{\text{EDFW}}}}{1\ 000} \quad (48)$$

$$PT_{\text{mass}} = \frac{M_f}{V_{\text{SAM}}} \times \frac{\overline{V_{\text{EDFW}}}}{1\ 000} \quad (49)$$

$$\overline{G_{\text{EDFW}}} = \sum_{i=1}^{i=n} G_{\text{EDFW}i} \times W_{Fi} \quad (50)$$

$$\overline{V_{EDFW}} = \sum_{i=1}^{i=n} V_{EDFWi} \times W_{Fi} \quad (51)$$

$$M_{SAM} = \sum_{i=1}^{i=n} M_{SAMi} \quad (52)$$

$$V_{SAM} = \sum_{i=1}^{i=n} V_{SAMi} \quad (53)$$

Useamman suodattimen menetelmässä sovelletaan kaavoja 54–55.

$$PT_{massi} = \frac{M_{fi}}{M_{SAMi}} \times \frac{G_{EDFWi}}{1\,000} \quad (54)$$

$$PT_{massi} = \frac{M_{fi}}{V_{SAMi}} \times \frac{V_{EDFWi}}{1\,000} \quad (55)$$

$i = 1, \dots, n$ Yksittäisten moodien yhteenlasketut keskiarvoiset arvot näytteenottoajanjakson aikana. (15)

Taustatietojen avulla partikkeleiden massavirta voidaan korjata kaavojen 56–59 mukaan. Kaavat 56–57 ovat yhden suodattimen menetelmään ja 58–59 useamman suodattimen menetelmään. Molemmissa menetelmissä voidaan käyttää kumpaa vain kaavaa riippuen siitä, onko pakokaasuista mitattu tilavuus- vai massavirta. (15)

$$PT_{mass} = \left\{ \frac{M_f}{M_{SAM}} - \left[\frac{M_d}{M_{DIL}} \times \left(1 - \frac{1}{DF} \right) \right] \right\} \times \frac{\overline{G_{EDFW}}}{1\,000} \quad (56)$$

M_{DIL} = Suodattimien läpi menevän laimennusilman massavirta

M_d = Laimennusilmanäytteen massavirta

$$PT_{mass} = \left\{ \frac{M_f}{V_{SAM}} - \left[\frac{M_d}{V_{DIL}} \times \left(1 - \frac{1}{DF} \right) \right] \right\} \times \frac{\overline{V_{EDFW}}}{1\,000} \quad (57)$$

V_{DIL} = Suodattimien läpi menevän laimennusilman tilavuusvirta

$$PT_{massi} = \left\{ \frac{M_{fi}}{M_{SAMi}} - \left[\frac{M_d}{M_{DIL}} \times \left(1 - \frac{1}{DF} \right) \right] \right\} \times \frac{G_{EDFWi}}{1\,000} \quad (58)$$

$$PT_{massi} = \left\{ \frac{M_{fi}}{V_{SAMi}} - \left[\frac{M_d}{V_{DIL}} \times \left(1 - \frac{1}{DF} \right) \right] \right\} \times \frac{V_{EDFWi}}{1\,000} \quad (59)$$

DF:n laskentaan käytetään joko kaavaa 44 tai 45. Jos päästöt perustuvat kuivien pakokaasujen (g/m^3) massavirran mittaukseen, käytetään joko kaavaa 60 tai 61.

$$PT_{conci} = \frac{M_{fi} * q_i}{V_{SAMi} * 1000} \quad (60)$$

$$PT_{conci} = \frac{PT_{massi}}{V_{EXHWi}} \quad (61)$$

5.6.1 Erikoispäästöjen laskenta

Yksittäiselle suodattimelle päästöt lasketaan kaavan 62 mukaan

$$PT_x = \frac{PT_{mass}}{\sum_{i=1}^n P_i * W_{fi}} \quad (62)$$

Useammalle suodattimelle päästöt lasketaan kaavojen 18 ja 19 mukaan.

Vaikuttava painotuskerroin W_{FEi} yhden suodattimen menetelmässä lasketaan kaavojen 63 tai 64 mukaan. Vaikuttavan painotuskertoimen arvo saa vaihdella $\pm 0,005$ annettua arvosta. (15)

$$W_{FEi} = \frac{M_{SAMi} \times \overline{G_{EDFW}}}{M_{SAM} \times G_{EDFWi}} \quad (63)$$

$$W_{FEi} = \frac{V_{SAMi} \times \overline{V_{EDFW}}}{V_{SAM} \times V_{EDFWi}} \quad (64)$$

$$i = 1 \dots n$$

5.7 Kaasumaisten päästöjen määrittely

Kaasumaiset päästöt määritellään luvun 4.3 mukaan. Näyte raaosta pakokaasuista otetaan yhdestä tai kahdesta näytepisteestä niin, että pakokaasut jaetaan sisäisesti eri analysointialueille. Analyttiseen mittausjärjestelmään ei saa muodostua kondensaatiovettä mittauksen aikana. Pakokaasut voivat sisältää myös ammoniakkia. Ammoniakki voi olla peräisin esimerkiksi SRC-järjestelmästä. Näissä tapauksissa voidaan käyttää muunninta, jolla on korkea lämpötila. Muunnin muuntaa NH_3 :n typpioksidiksi. (15)

6 RIKKIDIREKTIIVI

Maailmanlaajuisesti käytettävän polttoaineen rikkirajaa alennettiin 1.1.2012 alkaen 3,5 %:in. Seuraava polttoaineen rikkipitoisuuden alennuksen tavoitepäivämäärä on 1.1.2015, jolloin rikkipitoisuus alennetaan 0,5 %:in. Ennen vuotta 2018 arvioidaan matalarikkisten polttoaineiden saatavuus. Tämän arvioinnin perusteella rikkirajoitusten voimaantuloa voidaan siirtää vuoteen 2025. Rikin oksideja on rajoitettu SECA-alueella heinäkuusta 2010 alkaen, jolloin rikkiraja asetettiin 1 %:in. Uudet säännökset, jotka velvoittavat polttoaineen rikkipitoisuuden olevan 0,1 %, tulevat voimaan 1.1.2015. Euroopan unionin alueella olevissa satamissa tämä 0,1 %:n rikkipitoisuusraja on ollut voimassa tammikuusta 2010 alkaen. Säännös koskee aluksia, jotka viipyvät satamassa yli kaksi tuntia (17). Rikin oksidien vähentämiseksi voidaan vähärikkisen polttoaineen sijasta käyttää rikkipesureita. Rikin oksidipäästöjä rajoittavia määräyksiä valvotaan satamissa muun muassa polttoainenäytteitä ottamalla, tarkastamalla polttoaineen vaihtoajankohta ja -paikka laivapäiväkirjasta sekä tarkastamalla polttoaineen laatutodokset. Yhtenä valvontamahdollisuutena on ilmavalvonta, jolloin valvontakoneeseen asennetaan anturi ja valvontalaite, jotka mittaavat typpi-, rikki-, ja hiilioksidien sekä partikkeleiden pitoisuudet. (18)

Monet eri tahot ovat esittäneet huolensa uusien määräysten investointikustannuksista sekä niiden vaikutuksista merenkulun yleisiin kustannuksiin. Suomelle uuden direktiivin mukaisen polttoaineen käytön on arvioitu aiheuttavan 200 miljoonaa – 1,2 miljard-

dia euroa enemmän polttoainekustannuksia kuin 1,5 % rikkiä sisältävän polttoaineen käytön. Polttoainekustannusten nousun arvioidaan nostavan rahtihintoja 30–50 %:lla. Vienti- ja tuontiteollisuudelle kuljetuskustannusvaikutukset ovat tämän arvion mukaan 600 miljoonaa euroa vuodessa. (17)

Kun uusi rikkidirektiivi astuu voimaan tammikuussa 2015, laivoilla on neljä erilaista tapaa vastata tiukentuviin vaatimuksiin. Laivat voivat käyttää matalarikkistä polttoainetta tai maakaasua. Maakaasu tosin soveltuu lähinnä lähimerenkulun linjaliikenteeseen. LNG:n käyttöä Suomessa ja Itämeren alueella rajoittaa eniten jakeluverkoston puuttuminen. Kolmas vaihtoehto on biopolttoaineiden, metanolin ja muiden vaihtoehtoisten polttoaineiden käyttö. Neljäntenä vaihtoehtona on rikkipesurien asentaminen aluksille. Ongelmana rikkipesureissa on se, etteivät ne sovellu kaikkiin aluksiin. Tehtyjen tutkimusten mukaan rikkipesurin käyttö on taloudellisesti ja teknisesti mahdollista noin kolmasosassa olemassa olevista aluksista. Rikkipesuria käyttämällä saavutetaan kustannussäästö verrattuna matalarikkisen tisleen käyttöön. (17)

7 YHTEENVETO

Työn tarkoituksena oli tutustua IMO:n NO_x-koodiin ja ISO 8178-2-standardiin, ja luoda sen pohjalta ohjeistus päästömittaajille. Ohjeistuksen tarkoituksena on parantaa laivalla tehtävien mittausten tarkkuutta ja raportointia. Työssä käydäänkin läpi NO_x-koodissa esitetyt menetelmät ja ISO 8178-2-standardissa esitetyt vaatimukset. Huomiota kiinnitettiin seuraaviin asioihin:

Sekä koodi että standardi myöntävät, ettei laivalla pystytä yleensä noudattamaan annettuja testikiertoja ja olosuhteita. Esimerkiksi tehoalueen ääripäiden päästömittauksia voi olla vaikeaa toteuttaa laivalla. Samaten mittauspisteiden määrä ja ympäröivät olosuhteet (kuten ilmankosteus) eroavat usein standardissa määritellyistä arvoista. Tästä johtuen testipetimitausten ja laivalla tehtävien mittausten tulokset eivät ole vertailukelpoisia. Laivalla tehtävien mittausten tulokset ovatkin usein vain kyseiselle moottorille ominaisia, eikä niiden voida olettaa pätevän muihin samankaltaisiin laivadiieselihin. Koodi ja standardi ohjeistavat suorittamaan mittaukset mahdollisimman paljon testikiertoa vastaavaksi.

NO_x-koodi ei anna ohjeita hiukkaspäästöjen mittaamiseen ja laskemiseen, joten hiukkaspäästöjä koskeva osuus on kokonaan ISO 8178-2-standardin mukaan kirjoitettu.

Kumpikaan ohje ei myöskään anna esimerkkejä yksittäisten moottoreiden päästömit-
tausten raportoinnille. Liitteissä 1-6 esitetyt raporttipohjat ovat ISO 8178-2-
standardista, joka käsittelee päästömittausten raportointia.

Raportointia lukuun ottamatta tietoa laivojen päästömittauksista ja rikkidirektiivistä
löytyi runsaasti. Teoriaa päästöjen synnystä, vaikutuksista ympäristöön sekä rikkidi-
rektiivistä ja sen vaikutuksista merenkulun kustannuksiin löytyi helposti useista eri
lähteistä. Päästömittaajan käsikirja antoi apua teknisten termien kääntämiseen ja
TRAFI:n koulutusmateriaalista sai kattavan katsauksen päästöjen valvontamahdolli-
suuksiin merialueilla.

Tästä työstä tuli lopulta kirjallisuuskatsaus edellä mainittuihin kahteen direktiiviin ja
NO_x-koodiin. Seuraava käytännöllisempi askel on soveltaa esitettyjä menetelmiä lai-
valla tehtäviin päästömittauksiin. Toinen jatkokehityskohde päästömittauksiin liittyen
on laatia toimiva excel-pohja. Päästömittauksiin liittyy paljon laskemista, joten kysei-
nen excel-pohja säästäisi aikaa.

LÄHTEET

- 1) Merenkululaitos, Päästöt ilmakehään – Laivojen ympäristövaikutukset, 2009
http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:HrPLkhLu1voJ:https://noppa.aalto.fi/noppa/kurssi/kul-24.4410/materiaali/Kul-24_4410_ymparistokurssi_kamarainen.pdf+&cd=3&hl=fi&ct=clnk&gl=fi
[viitattu 26.3.2014].
- 2) Liikenteen turvallisuusvirasto TRAFI, Meriympäristö 2
<http://www.trafi.fi/merenkulku/meriymparisto>
[viitattu 26.3.2014].
- 3) NGK, Exhaust and harmful emissions
<http://www.ngk.de/en/technology-in-detail/lambda-sensors/basic-exhaust-principles/exhaust-and-harmful-emissions/>
[viitattu 25.3.2014].
- 4) Tilastokeskus, Ilman pienhiukkaset merkittävä ongelma, 2008
http://www.stat.fi/artikkelit/2008/art_2008-05-30_007.html?s=0
[viitattu 26.3.2014].
- 5) WHO, 7 million premature deaths annually linked to air pollution, 2014
<http://www.who.int/mediacentre/news/releases/2014/air-pollution/en/>
[viitattu 1.4.2014].
- 6) Aulio, Kai, Tiedebasaari, Rahtilaivojen nopeusrajoitukset vähentäisivät ilmansaasteiden päästöjä alle puoleen, 2012
<https://tiedebasaari.wordpress.com/2012/10/26/rahtilaivojen-nopeusrajoitukset-vahentaisivat-ilmansaasteiden-paastoja-alle-puoleen/>
[viitattu 26.3.2014].
- 7) IMO: NO_x Technical Code 2008, Technical Code of Control of Emissions of Nitrogen Oxides from Marine Diesel Engines 2008

[http://www.imo.org/OurWork/Environment/PollutionPrevention/AirPollution/Documents/Air%20pollution/Resolution%20MEPC.177\(58\)%20NOx%20Technical%20Code%202008.pdf](http://www.imo.org/OurWork/Environment/PollutionPrevention/AirPollution/Documents/Air%20pollution/Resolution%20MEPC.177(58)%20NOx%20Technical%20Code%202008.pdf)

[viitattu 17.12.2013].

- 8) IMO: Brief history of IMO 2014

<http://www.imo.org/About/HistoryOfIMO/Pages/Default.aspx>

[viitattu 16.2.2014].

- 9) DNV: Kansainvälinen merenkulkujärjestö IMO 2012

http://www.dnv.fi/toimialat/meritekniikka/saannot_asetukset/imo/

[viitattu 18.2.2014].

- 10) Meriliitto – Sjöfartsförbundet Ry: IMO – International Maritime Organisation 2014

http://www.meriliitto.fi/?page_id=45

[viitattu 18.2.2014].

- 11) IMO: Structure of IMO 2014

<http://www.imo.org/About/Pages/Structure.aspx>

[viitattu 18.2.2014].

- 12) IMO: Nitrogen Oxides - Regulation 13 2014

[http://www.imo.org/OurWork/Environment/PollutionPrevention/AirPollution/Pages/Nitrogen-oxides-\(NOx\)-%E2%80%93-Regulation-13.aspx](http://www.imo.org/OurWork/Environment/PollutionPrevention/AirPollution/Pages/Nitrogen-oxides-(NOx)-%E2%80%93-Regulation-13.aspx)

[viitattu 18.2.2014].

- 13) Suomen varustamot: Merenkulun typpipäästöt 2011

<http://www.shipowners.fi/fi/ymparisto/ilmansuojelu%20ja%20ilmastonmuutos/merenkulun%20typpipaastot>

[viitattu 4.3.2014].

- 14) Suomen stardarsoimisliitto SFS Ry: Kansainvälinen standardisointi 2014

http://www.sfs.fi/standardien_laadinta/mita_standardisointi_on/standardisoinnin_maailmankartta/kansainvalinen_standardisointi

[viitattu 4.3.2014].

- 15) EN ISO 8178-2, Reciprocating internal combustion engines – Exhaust emission measurement - Part 2 Measurement of gaseous and particulate exhaust emissions at site [viitattu 25.1.2014].
- 16) EN ISO 8178-1, Reciprocating internal combustion engines – Exhaust emission measurement - Part 1: Test-bed measurement of gaseous and particulate exhaust emissions (ISO 8176-1:1996) [viitattu 25.1.2014].
- 17) Suomen varustamot: Merenkulun rikkipäästöt
<http://www.shipowners.fi/fi/ymparisto/ilmansuojelu%20ja%20ilmastonmuutos/merenkulun%20rikkipaastot>
[viitattu 14.3.2014].
- 18) Kämäräinen, Jorma, 2012 Merenkulun ilmansuojelumääräykset
http://www.trafi.fi/filebank/a/1355837278/135dfb76f87ab9adb9cf2b8e36d9e46d/10925-MARPOL_-koulutusta_paastovalvontaviranomaisille_-_ilmansuojelu_10-12-2012.pdf
[viitattu 10.3.2014].
- 19) VTT: Päästömittausten käsikirja, Osa 1 – Päästömittaustekniikan perusteet 2007
<http://www.isy.fi/osa1.pdf>
[viitattu 3.4.2014].

ENGINE		MANUFACTURER:				
		TYPE (MODEL):				
		FAMILY:				
		RATED POWER:				
		RATED SPEED:				
		SERIAL NUMBER:				
APPLICATION ^a		CUSTOMER:				
		FINAL INSTALLATION:				
EMISSIONS TEST RESULTS						
CYCLE						UNIT
NO _x						g/kWh ^b
HC						g/kWh ^b
CO						g/kWh ^b
SO ₂						g/kWh ^b
PT						g/kWh ^b
SMOKE CYCLE						
PEAK (S_p) ^d						m ^{-1 c}
LUG (S_L) ^d						m ^{-1 c}
STEADY STATE (S_s) ^d						m ^{-1 c}
TEST IDENTIFICATION		DATE/TIME :				
		TEST SITE/BENCH :				
		TEST NUMBER :				
TESTING COMPANY						
DATE OF REPORT						
PLACE OF TEST						
MANAGER OF THE TEST						
SIGNATURE						
NOTE						
<p>^a If applicable or if known</p> <p>^b Units other than g/kWh to be indicated</p> <p>^c Units other than m⁻¹ to be indicated</p> <p>^d To be indicated in accordance with the requirements of the applicable smoke cycle</p>						

MANUFACTURER	
ENGINE TYPE (MODEL)	
FAMILY IDENTIFICATION	
SERIAL NUMBER	
RATED SPEED	min ⁻¹
RATED POWER	kW
INTERMEDIATE SPEED	min ⁻¹
MAXIMUM TORQUE AT INTERMEDIATE SPEED	Nm
LOW IDLE SPEED	min ⁻¹
HIGH IDLE SPEED	min ⁻¹
STATIC INJECTION/IGNITION TIMING	° BTDC (BEFORE TOP DEAD CENTRE)
INJECTION/IGNITION TIMING CONTROL	NO YES
BORE	mm
STROKE	mm
DISPLACEMENT PER CYLINDER	cm ³
CYLINDER NUMBER and CONFIGURATION	
AUXILIARIES (SEE ISO 8178-1:1996, ANNEX B)	
MAXIMUM INLET DEPRESSION	kPa
MAXIMUM EXHAUST BACK PRESSURE	kPa
INTERCOOLER SETPOINT ^a	K
COOLING MEDIUM TEMPERATURE SPECIFICATION	K
FUEL TEMPERATURE SPECIFICATION	K
LUBRICATING OIL	
^a If applicable	

ENGINE _____ TEST SITE _____
 RATED SPEED _____ min⁻¹ TEST NUMBER _____
 INTERMEDIATE SPEED _____ min⁻¹ TEST CYCLE _____
 COMMENTS _____

MODE	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	$\Sigma \times W_{te}^a$
TIME AT BEGINNING OF EACH MODE												
AMBIENT DATA												
BAROMETRIC PRESSURE	kPa											xxxxxxx
INTAKE AIR TEMPERATURE	K											xxxxxxx
INTAKE AIR HUMIDITY	g/kg											xxxxxxx
ATMOSPHERIC FACTOR	—											xxxxxxx
ENGINE DATA												
SPEED	min ⁻¹											xxxxxxx
AUXILIARY POWER ^b	kW											
DYNO SETTING	kW											xxxxxxx
POWER ^c	KW											
SPECIFIC FUEL CONSUMPTION	g/kWh											xxxxxxx
FUEL FLOW	d											xxxxxxx
AIR FLOW	d											xxxxxxx
EXHAUST FLOW	d											xxxxxxx
EXHAUST TEMPERATURE	K											xxxxxxx
FUEL TEMPERATURE	K											xxxxxxx
COOLANT TEMPERATURE	K											xxxxxxx
TEMPERATURE INTERCOOLED AIR	K											xxxxxxx
LUBRICANT TEMPERATURE	K											xxxxxxx
INLET DEPRESSION	kPa											xxxxxxx
EXHAUST BACKPRESSURE	kPa											xxxxxxx
^a If applicable. ^b If applicable; calculated value to be used according to ISO 8178-1:1996, 5.3. ^c Other kind of power than mechanical (electrical, thermal, total) to be indicated; uncorrected. ^d Units to be indicated.												

KAASUMAISTEN PÄÄSTÖJEN RAPORTOINTI

Liite 4

ENGINE _____ Raw _____ Dilute _____ TEST SITE _____
 RATED SPEED _____ min⁻¹ TEST NUMBER _____
 INTERMEDIATE SPEED _____ min⁻¹ TEST CYCLE _____
 COMMENTS _____

MODE	^a	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	B ^b
TIME AT BEGINNING OF EACH MODE													
NO _x CONCENTRATION	ppm												
HC CONCENTRATION (C1)	ppm												
CO CONCENTRATION	ppm												
CO ₂ CONCENTRATION	% ^c												
O ₂ CONCENTRATION	% ^c												
NO _x HUMIDITY CORRECTION FACTOR K_h	—												xxxxx
FUEL SPECIFIC FACTOR F_h^c	— ^b												xxxxx
DRY/WET CORRECTION FACTOR K_w	— ^b												xxxxx
DILUTION FACTOR D	— ^b												xxxxx
													$\Sigma \times W_{eq}$
NO _x MASS FLOW ^d	g/h												
NO _x MASS FLOW ^e	g/h												
HC MASS FLOW	g/h												
CO MASS FLOW ^e	g/h												
SO ₂ MASS FLOW ^f	g/h												
CO ₂ MASS FLOW ^e	g/h												
^a w(et) or d(ry) to be indicated. ^b If applicable; B = Background. ^c Units other than % to be indicated. ^d Corrected for humidity (K_h) and to wet conditions (K_w). ^e Corrected to wet conditions (K_w). ^f Calculated.													

HIUKKASPÄÄSTÖJEN RAPORTOINTI

Liite 5

ENGINE _____ PARTIAL/FULL FLOW _____ TEST SITE _____
 RATED SPEED _____ min⁻¹ TEST NUMBER _____
 INTERMEDIATE SPEED _____ min⁻¹ TEST CYCLE _____
 COMMENTS _____

MODE		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	Σ ^a
TIME AT BEGINNING OF EACH MODE													
SAMPLING TIME	s												xxxxxxx
EFFECTIVE W_p ^b	—												xxxxxxx
TUNNEL FLOW ^c	d												b
DILUTION AIR FLOW ^a	d												b
DILUTION RATIO ^a	—												xxxxxxx
DILUTION AIR TEMPERATURE	K												xxxxxxx
EXHAUST TEMPERATURE AT PROBE ^a	K												xxxxxxx
TUNNEL TEMPERATURE	K												xxxxxxx
FILTER FACE TEMPERATURE	K												xxxxxxx
FILTER FACE VELOCITY	cm/s												xxxxxxx
FILTER PRESSURE DROP	kPa												b
PARTICULATE MASS b ^e	mg												b
SAMPLE MASS	kg												b
PARTICULATE CONCENTRATION	d												b
PARTICULATE HUMIDITY CORRECTION FACTOR	—												b
													Σ × W_{fg}
PARTICULATE MASS FLOW	g/h												
PARTICULATE MASS FLOW ^f	g/h												
SMOKE	d												xxxxxxx
LIGHT ABSORPTION COEFFICIENT	1/m												xxxxxxx

^a If applicable.
^b To be filled in, if single filter method is used.
^c $q_{m\dot{x}}^*/q_{v\dot{x}}^*$ or $q_{m\dot{x}}/q_{v\dot{x}}$
^d Units to be indicated.
^e To circle, if background corrected.
^f Corrected for humidity.

POLTTOAINEESEEN LIITTYVIEN PARAMETRIEN RAPORTOINTI

Liite 6

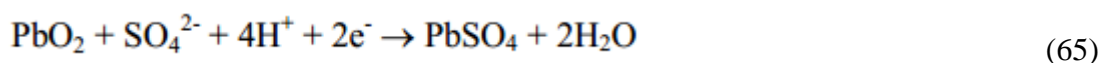
ENGINE _____ TEST SITE _____
 TEST DATE _____
 TEST NUMBER _____
 FUEL TYPE PETROL _____ DIESEL _____ HEAVY OIL _____ CNG _____
 LPG _____ RME _____ METHANOL _____ OTHER _____

PROPERTY	UNIT	METHOD ^a	RESULT	PROPERTY	UNIT	METHOD ^a	RESULT
DENSITY	kg/l	ISO 3675		SULFUR CONTENT	% mass	ISO 4260 ISO 8754	
CLOUD POINT	°C	ISO 3015		LEAD CONTENT	g/l	ISO 3830	
POUR POINT	°C	ISO 3016		WATER CONTENT	% mass	ISO 3733	
FLASH POINT	°C	ISO 2719		ASH CONTENT	% mass	ISO 6245	
CFPP	°C	EN 116		CARBON RESIDUE	% mass	ISO 6615	
VISCOSITY	mm ² /s	ISO 3104		SEDIMENT	% mass	ISO 3735	
p_{Rv}	KPa	ISO 3007		EXISTENT GUM	mg/ml	ISO 6246	
DISTILLATION		ISO 3405	xxx	OXIDATION STABILITY	min	ISO 7536	
IBP	°C			COPPER CORROSION	—	ISO 2160	
10 vol-%	°C			OXYGENATES	% vol.		
50 vol-%	°C			ALUMINIUM/SILICON	mg/kg	ISO 10478	
90 vol-%	°C			VANADIUM	mg/kg	ISO 8691	
FBP	°C			ELEMENTAL ANALYSIS			xxx
RESIDUE	% vol.			CARBON	% mass		
AT 70 °C	% vol.			HYDROGEN	% mass		
AT 100 °C	% vol.			NITROGEN	% mass		
AT 180 °C	% vol.			OXYGEN	% mass		
AT 250 °C	% vol.			<i>LHV</i>	MJ/kg		
AT 350 °C	% vol.			METHANE	% mol		
CETANE No.	—	ISO 5165		ETHANE	% mol		
CETANE INDEX	—	ISO 4264		PROPANE	% mol		
CCAI	—	ISO 8217		BUTANE	% mol		
RON	—	ISO 5164		PENTANE	% mol		
MON	—	ISO 5163		HEXANE	% mol		
SENSITIVITY	—	ISO 5164 ISO 5163		ETHYLENE	% mol		
HYDROCARBONS		ISO 3837		PROPYLENE	% mol		
OLEFINS	% vol.			METHANOL	% mass		
AROMATICS	% vol.			ACID NUMBER	mg/g	ISO 660	
PARAFFINS	% vol.			GLYCERIDES	% mass		
BENZENE	% vol.	EN 238		TOTAL GLYCEROL	% mass		

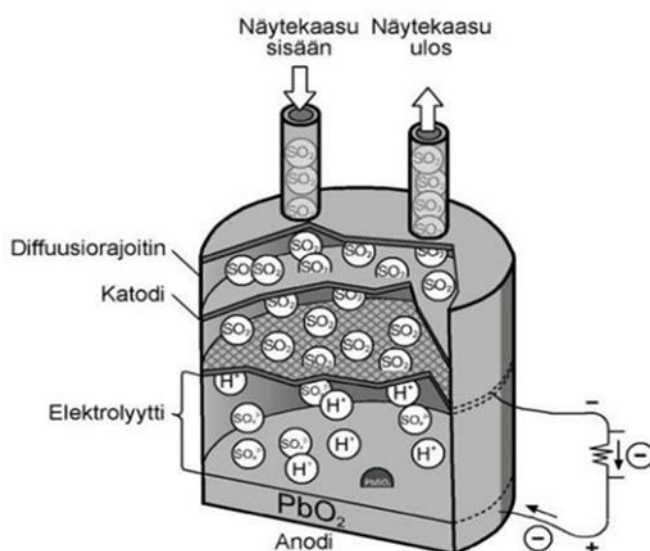
^a Method other than listed here, to be indicated.

Sähkökemiallinen kenno eli ESC

Sähkökemiallista kennoa käytetään eniten hapen, typen, hiilimonoksidin ja rikkidioksidien mittaukseen. Kennot soveltuvat parhaiten lyhytaikaisiin mittauksiin ja hälytyslaitteisiin, koska ne kuluvat käytössä. Sähkökemiallinen kenno perustuu hapetus-pelkistysreaktioon, joka on jokaiselle kaasulle ominainen. Kaavassa 65 on kuvattu SO_2 pelkistysreaktio, ja kaavassa 66 hapetusreaktio.



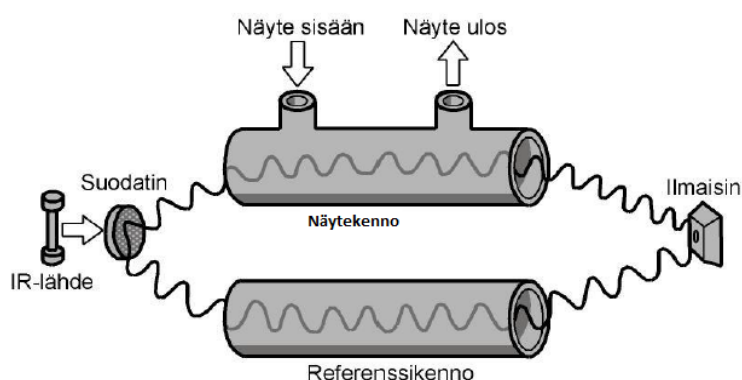
Reaktiosta syntyvä virta on verrannollinen nopeuteen, jolla SO_2 -molekyylit kulkevat diffuusiorajoittimen läpi anodille. SO_2 -molekyylin kulkunopeus diffuusiorajoittimen läpi anodille riippuu mitattavan kaasun SO_2 -pitoisuudesta. Näin ollen kennon tuottama virta on suoraan verrannollinen kaasun rikkipitoisuuteen. Zirkoniumoksidianalysaattori eli ZRDO kuuluu myös näihin sähkökemiallisiin analysaattoreihin. Kuvassa 5 on esitetty perinteisen sähkökemiallisen kennon toimintaperiaate.



Kuva 5. Sähkökemiallisen kennon toimintaperiaate. (19)

Ei-dispersiivinen infrapuna –analysointilaitte eli NDIR

Analysointilaitteen toiminta perustuu kaasujen infrapunasäteilyä absorboivaan vaikutukseen. Jokaiselle kaasulle on määritelty oma aallonpituutensa. Tätä analysointilaitteyyttä ei voida käyttää jalokaasuilla eikä kaksiatomisilla kaasuilla kuten O_2 , N_2 , koska nämä kaasut eivät absorboi infrapunasäteilyä. Ei-dispersiiviset analysointilaitteet ovat yleensä yksikomponenttianalysointilaitteita, jolloin aallonpituus valitaan optista suodatinta käyttäen mitattavalle kaasulle sopivaksi. Kuvassa 6 esitetään yksinkertaistettuna infrapuna-analysointilaitteen toiminta.



Kuva 6. Infrapuna-analysointilaitteen toimintaperiaate (19)

IR-lähteestä tuleva valo kulkee sekä vertailukennon että näytekennon läpi ilmaisimelle. Vertailukennon läpi kulkiessaan, valon energia ei muutu. Vertailukennossa on yleensä joko kaasumaista tyyppiä tai argonia, jotka eivät absorboi valoa. Tutkittava kaasu on näytekennossa, jonka läpi kulkiessaan valo absorboituu kaasuun. Tällöin kennon läpi menevän valon määrä vähenee. Ilmaisim tunnistaa energiaeron, jonka avulla kaasun pitoisuus määritetään. Analysointilaitteiden valmistusvaiheessa otetaan huomioon kaasun lämpötila ja paine, jotka vaikuttavat absorptioon. Huonona puolena tässä analysointitekniikassa on se, että jotkut kaasut absorboivat valoa samalla aallonpituudella kuin mitattava kaasu.

Lämmitetty liekki-ionisaatio eli HFID

Näyte johdetaan liekki-ionisaatioanalysointilaitteessa ilmaisimeen, jossa näytekaasun hiiliatomit palavat yhdessä polttokaasun kanssa. Ionisoituessaan hiiliatomit aiheuttavat sähkövirran, joka mitataan. Pääosat tässä analysointilaitteessa ovat polttokammio ja poltin. Polttokaasuna käytetään joko vetyä tai vetyheliumseosta, joka johdetaan näytekaasun

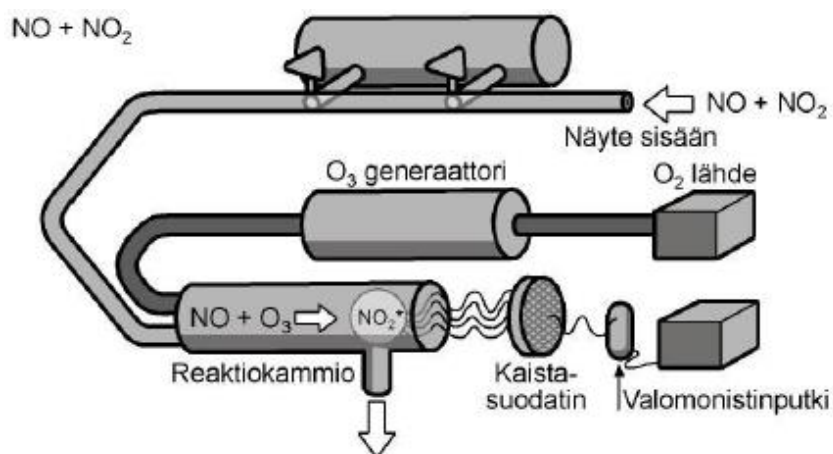
kanssa suuttimen läpi polttokammioon. Vety tuottaa palaessaan vain vähän ioneja, mutta jos näytekaasussa on orgaanisia yhdisteitä, niin niistä syntyy hiili-ioneja. Liekki-ionisaatioilmaisimella on erilaiset vasteet eri orgaanisille yhdisteille. HFID-analysoitsajilla voi olla toisiinsa nähden erilaiset vasteet samalle orgaaniselle yhdisteelle. Tämän takia HFID-analysoitsaja tulee huoltaa ja testata säännöllisesti. Kalibrointikaasuna käytetään propaania.

Kemiluminesenssi eli CLD

Kemiluminesenssia käytetään typen oksidien mittaamiseen. Menetelmä perustuu typimonoksidin ja otsonin reaktioon, joka tuottaa aallonpituudeltaan 500 – 3000 nm infrapunavaloa. Kaavoissa 67 ja 68 on esitetty menetelmässä tapahtuvat reaktiot.

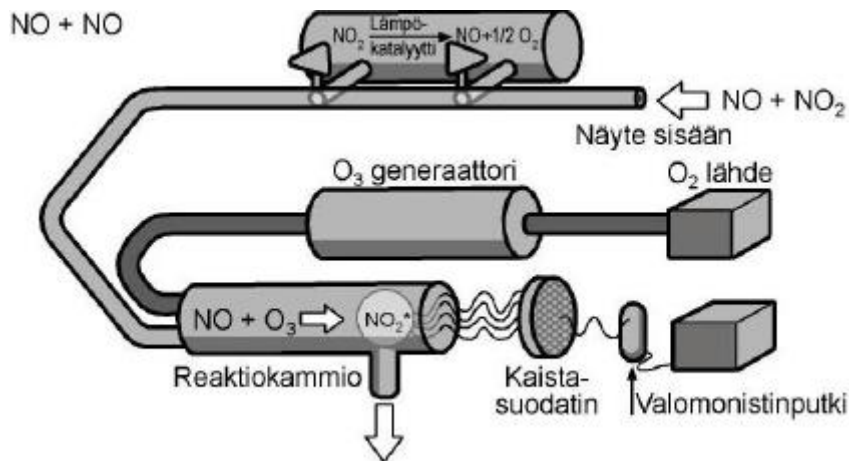


NO-mittauksessa näytekaasu virtaa reaktiokammioon, jolloin NO reagoi otsonin (O_3) kanssa. Reagoinnista muodostunut valo johdetaan optisten suodatinten läpi valomonisteputkelle, jossa analysoitsajan elektroniikka muuntaa vasteen NO-pitoisuudeksi. Kuvassa 7 on NO-mittauksen toimintaperiaate.



Kuva 7. CLD:n toiminta NO-mittauksessa. (19)

NO_x -mittauksessa kaasu johdetaan konvertteriin, jossa NO_2 muuttuu NO :ksi. Tämä kaasuseos johdetaan reaktiokammioon, jossa mitataan NO_x -kokonaispitoisuus. Tässä menetelmässä saadaan NO_2 -pitoisuus vähentämällä NO_x -pitoisuudesta NO -pitoisuus. Kuvassa 8 on esitetty NO_x -pitoisuuden mittaaminen.



Kuva 8. NO_x -mittaus kemiluminesenssimenetelmällä. (19)

Analysaattori voidaan rakentaa kahdella tavalla. Toisessa tavassa käytetään automaattiventtiiliä ohjaamaan kaasu vuorotellen konvertterille ja sen ohi. Analysaattorin ohjelma laskee keskiarvon molemmissa tilanteissa. Toisessa tavassa taas analysaattori varustetaan kahdella eri reaktiokammioilla, jolloin toiseen kammioon kaasu menee konvertterin kautta ja toiseen kammioon suoraan. Viimeiseksi esitettyä rakennetta suositellaan, kun halutaan selvittää nopeita pitoisuuden muutoksia. Tämä rakenne on myös ensimmäisenä esitettyä vaihtoehtoa kalliimpi. Kemiluminesenssianalysaattori voi olla tyypiltään myös lämmitetty eli HCLD (eng. Heated chemiluminescent).

Paramagneettianalysaattori eli PMD

Paramagneettianalysaattorit perustuvat magneettikenttään, joka vetää puoleensa molekyyliä tai lievästi hylkii niitä. Paramagneettisuudessa magneettikenttä vetää puoleensa elektroneja, ja sitä esiintyy molekyyleillä, joilla on pariton määrä elektroneja. Paramagneettisia aineita ovat muun muassa typen oksidit sekä happi. Hapessa on parillinen määrä elektroneja, mutta ne ovat järjestäytyneet niin, että niistä muodostuu kaksi paritonta elektronia. Tämän takia happi onkin voimakkaasti paramagneettinen aine.

Paramagneettianalysointia käytetään lähinnä happipitoisuuden mittaamiseen. Analysointilaitteissa on toisiovaaka, jonka molemmissa päissä on lasipallot. Hapettomissa olosuhteissa lampusta lähtevä valonsäde suuntautuu ilmaisimeen suoraan 90° :n kulmassa. Kun happipitoinen näytekaasu johdetaan analysointilaitteeseen, se muodostaa sähkömagneettisen kentän, jolloin toisiovaaka alkaa kiertyä ja valonsäde ei enää osu suoraan ilmaisimeen. Toisiovaakan kiertymisestä aiheutuva vaikutus kumotaan johtamalla sähkövirta (kompensaatiovirta) lasipallojen ympärillä oleviin johtimiin, jolloin saadaan aikaan sähkömagneettinen kenttä. Sähkömagneettinen kenttä kumoaa happimolekyylien aiheuttaman poikkeaman magneettikentässä. Näytekaasun happipitoisuus on suoraan verrannollinen kompensatiovirtaan. Muiden paramagneettisten aineiden olemassaolo näytekaasussa ei häiritse mittauksia, koska muiden aineiden pitoisuudet ovat pieniä happeen verrattuna.