



Moottorityökoneiden päästö- luokitukset ja luokituksen korottaminen

Oliver Nylund

OPINNÄYTETYÖ
Toukokuu 2022

Ajoneuvotekniikka
Korjaamotekniikka

TIIVISTELMÄ
Tampereen ammattikorkeakoulu
Ajoneuvotekniikka
Korjaamotekniikka

NYLUND OLIVER
Moottorityökoneiden päästöluokitukset ja luokituksen korottaminen

Opinnäytetyö 34 sivua, joista liitteitä 3 sivua
Toukokuu 2022

Opinnäytetyön tavoitteena oli tutkia moottoroitujen työkoneiden pakokaasupäästöjä, päästöjenhallintajärjestelmiä, niihin liittyvää säätelyä sekä tutkia mahdollisuuksia työkoneen alkuperäisen päästöluokituksen korottamiseen.

Työkoneiden stage-luokitus määrää koneen päästöluokan. Stage luokituksen korottaminen osoittautui tällä hetkellä mahdottomaksi, sillä se esimerkiksi vaatii moottorilta tyyppihyväksynnän. Moottorin tyyppihyväksynnän saaminen on raskas prosessi ja sitä voi hakea ainoastaan moottorin valmistaja. Ainakaan tällä hetkellä moottorin valmistajan intressejä ei palvele vanhojen moottoreiden uudelleen luokittaminen.

Päästöjen alentaminen on teknisesti kuitenkin mahdollista. Green deal ja muiden sopimusten puitteissa olisi mahdollista suunnitella paikallista sopimista ja todentamista koneiden päästötasoihin liittyen, mikäli niihin asennetaan jälkiasenteisena päästöjä alentavia laitteistoja. Niin sanottujen retrofit laitteistojen asentaminen on yleistä raskaan liikenteen puolella. Esimerkiksi DPF tai SCR järjestelmien asentaminen jälkepäin myös työkoneisiin olisi mahdollista.

Työ toteutettiin OK-konehuollolle, joka on raskaan kaluston huoltoihin ja varusteluihin erikoistunut yritys. Työn johtopäätöksenä voidaan todeta, että päästöjä voidaan vähentää käyttämällä jälkiasenteisilla päästöjenhallintajärjestelmillä tai vaihtoehtoisia polttoaineita käyttämällä. Yhtenäisen testaus- ja todennuslinjan puuttuessa tämä kuitenkin on haastavaa osoittaa taloudellisesti kannattavaksi.

Työ tehtiin kirjallisuustutkimuksena sekä alan asiantuntijoita haastatteleamalla.

Asiasanat: pakokaasu, diesel, green deal, työkone

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Vehicle Technology
Garage Engineering

NYLUND OLIVER
Work machine emission standards

Bachelor's thesis pages 34, appendices 3 pages
Month 2021

Goal of this thesis is to find out what kind of harmful emissions diesel engines are emitting, what kind of systems there is for reducing these emissions. Main goal for this thesis is to research if it is possible to upgrade older machine to match the newer stage standards.

Stage system is the emission standards for non road diesel operated machines which dictates the emission level of the machine. The upgrade of the official stage that machine has from the factory turned out to be nearly impossible. This is mainly due to the demanding and difficult process of getting validation for the lower emission levels. Most limiting factor turned out to be the need for type approval for the engine. Type approval can only be given if the engine manufacturer is the one who seeks it. There is no interest in this for the engine manufacturers since it is more profitable to make new engines.

Technically it is possible to lower emission levels of machines. This is common practice with heavy transport like buses. It is possible to use retrofit systems like DPF and SCR. It is allowed in the EU green deal agreement to make local agreements about how to validate emissions levels.

Thesis was made for the company OK-Konehulto, which is specialized to servicing and equipping heavy transport and work machines. Result of this thesis is that it is possible to lower emissions that machines produce in many ways. There is no unified policy about validating these lower emissions which makes it difficult to estimate the economical viability of upgrading emission control systems of an older machine.

Thesis was implemented by doing literature research and by interviewing experts in this field.

Keywords: emissions, diesel, greenddeal, workmachine

SISÄLLYS

1	Johdanto	5
2	Pakokaasupäästöt ja niiden hallinta	6
2.1	Dieselmoottorin pakokaasupäästöt	6
2.2	Työkoneiden päästöjenhallinta järjestelmät	7
2.2.1	Diesel-hapetuskatalysaattori	7
2.2.2	Hiukkassuodatin	8
2.2.3	Pakokaasujen takaisinkierätykset	9
2.2.4	Selektiivinen katalyyttinen pelkistäminen	10
2.2.5	ASC	11
3	PÄÄSTÖLUOKITUKSET, NIIDEN SÄÄNNÖSTELY JA TESTAUS	12
3.1	Stage-luokitukset	12
3.2	Päästörajojen kehitys	13
3.3	EU Greendeal	14
3.4	ECE R132	16
3.5	Puhtaan ilman alueet	16
3.6	Päästöjen testaus	17
4	Haitallisten päästöjen alentaminen	20
4.1	Polttoaineet	20
4.1.1	Biodiesel	20
4.1.2	Dimetyylieetteri	21
4.1.3	Uusiutuva Diesel	22
4.2	Jälkiasenteiset päästöjenhallinta järjestelmät	23
4.2.1	Jälkiasenteinen SCR	23
4.2.2	Jälkiasenteinen DPF	23
5	STAGE-LUOKITUKSEN MUUTTAMINEN	26
5.1	Stage-4 korotus	26
5.2	Luokituksen muuttaminen	27
6	POHDINTA	29
	LÄHTEET	32
	Liite 1. Testisekvenssi hiukkaspäästöjä alentavalle laitteelle	35
	Liite 2. Testisekvenssi typenoksidi päästöjä alentavalle laitteelle	36
	Liite 3. Hiukkas- ja typenoksidipäästöjä vähentävän laitteen testisekvenssi	37

1 Johdanto

Suomessa polttomoottorikäyttöisten ajoneuvojen ja koneiden päästöjä säädel-
lään kansallisesti sekä Euroopan laajuisesti. Sääntelyllä pyritään pienentämään
ilmastonmuutokseen ja haitallisesti ihmisten terveyteen vaikuttavien päästöjen
muodostumista. Työkoneiden päästöluokitukset tiukentuvat asteittain polttomoot-
tori- ja polttoaineteknologian kehittyessä.

Tässä työssä perehdytään dieselkäyttöisten moottoroitujen työkoneiden päästö-
jenhallinnan keinoihin sekä sitä koskevaan sääntelyyn. Lisäksi tutkitaan mahdol-
lisuuksia vanhemman konekannan elinkaaren pidentämiselle. Koneen käyttöikää
voitaisiin jatkaa, mikäli siitä aiheutuvia pakokaasupäästöjä saataisiin vastaamaan
uudempia vaatimuksia, eli päästöluokkaa korottamalla.

Työ on toteutettu OK-konehuollolta saadun toimeksiannon johdosta. OK-kone-
huolto on 2016 perustettu yritys, joka on erikoistunut työkoneiden sekä raskaan-
liikenteen huoltoihin ja varusteluihin.

Työssä tutustutaan dieselmootoreiden päästöihin sekä niitä pienentäviin pako-
kaasun jälkikäsitteilyjärjestelmiin. Lisäksi käydään läpi Euroopassa päästöjä sää-
televää stage-luokitusjärjestelmää. Työssä keskitytään koneisiin, joiden moottori
teho on välillä 75–130 kw. Tässä luokassa elinajan pidennykselle olisi arvion mu-
kaan eniten kysyntää. Työssä pyritään myös suunnittelemaan päästöluokan ko-
rottamiseen liittyvät toimenpiteet stage 4-päästöluokan työkoneeseen.

2 Pakokaasupäästöt ja niiden hallinta

2.1 Dieselmoottorin pakokaasupäästöt

Hiilivetyjä sisältävää polttoainetta poltettaessa syntyy aina palamistuotteita. Näitä nimitetään yhdessä pakokaasuiksi. Pakokaasujen merkittävimmät säännellyt osat ovat hiilivedyt (HC), hiilimonoksidi (CO), typenoksidit (NOX) sekä pienhiukkaset (PM). Näiden lisäksi pakokaasun joukossa on ei-säänneltyjä päästöjä. Tällaisia ovat polysykliset aromaattiset hiilivedyt, rikkioksidit, aldehydit, dityppioksidi sekä voiteluaineiden palaessa syntyvät metallioksidit. (Motiva 2021.)

Hiilivedyiksi nimitetään yhteisesti kaikkia pakokaasuissa olevia hiilivetyjä. Pakokaasussa olevat hiilivedyt ovat seurausta epätäydellisestä palamisesta. Diesel ja muut fossiiliset polttoaineet koostuvat lähinnä hiilivedyistä. Pakokaasuissa olevat hiilivedyt ovatkin pääasiassa palamatonta polttoainetta. Osa polttoaineen hiilivetyketjuista krakkauttavat ja polymeroituvat, jolloin pakokaasuissa on myös muita hiilivetyjä. (Lipasto 2022.)

Hiilimonoksidi eli häkä on ihmiselle vaarallinen hajuton, näkymätön sekä miltään maistumaton kaasu. Hiilimonoksidia syntyy hiiltä sisältävän aineen kuten dieselin palaessa epätäydellisesti liian vähäisellä happimäärällä. (Automotive handbook 2018, 535.)

NOX on yhteisnimitys pakokaasuissa esiintyvälle typpimonoksidille (NO) sekä typpidioksidille (NO₂). Näitä terveydelle ja ympäristölle haitallisia yhdisteitä syntyy ilmassa olevan hapen ja typen reagoiessa korkeassa paineessa ja lämpötilassa. (Diesel emissions and their control 2006, 123.)

Pienhiukkasilla tarkoitetaan pakokaasuissa esiintyviä kiinteitä päästöjä. Polttoainepisaran epätäydellinen palaminen aiheuttaa nokiytimen jäljelle jäämisen, jonka pinnalle hiilivety yhdisteitä tiivistyy. Sen pinnalle tiivistyy hiilivety-yhdisteitä. Pienhiukkasia on kaksi pääkategoriaa: PM10 (halkaisijaltaan alle 10 µm) ja PM2,5 (halkaisijaltaan alle 1,5 µm). (Particulate emissions from vehicles 2008.)

2.2 Työkoneiden päästöjenhallinta järjestelmät

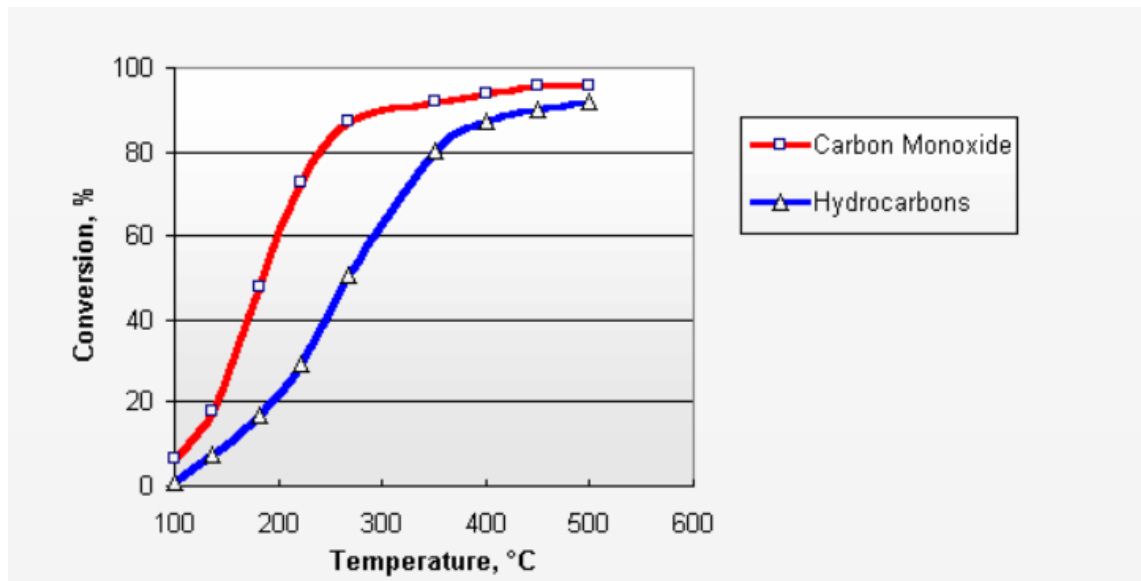
Pakokaasuissa esiintyvillä terveydelle ja ympäristölle haitallisilla yhdisteillä on asetettu yhä tiukempia vaatimuksia erilaisin säädöksin. Tämän vuoksi valmistajat ovat joutuneet keksimään tapoja käsitellä pakokaasuissa olevia yhdisteitä vähemmän haitalliseen muotoon. Palotapahtuman optimoinnilla ja tehokkuuden maksimoinnilla päästään vain tiettyyn puhtauteen saakka. Lisäksi on kehitetty erityisiä pakokaasujen jälkikäsittelyjärjestelmiä, joiden määrä onkin lisääntynyt huomattavasti myös työkoneissa. (Dieselnet 2021.)

2.2.1 Diesel-hapetuskatalysaattori

Diesel-hapetuskatalysaattori DOC (Diesel oxidation catalyst) on pisimpään käytössä ollut päästöjenhallintajärjestelmä. Hapetuskatalysaattoreita on käytetty jo 1970-luvulta saakka. Se tuotiin maanalaisiin kaivoksiin, joiden rajatussa tilassa ilmanlaadulla on erittäin suuri merkitys työntekijöiden terveyteen. (Diesel emissions and their control 2006, 404.)

Katalysaattorissa haitalliset yhdisteet muuttuvat vähemmän haitallisiksi hapetusreaktiossa. Dieselmoottoria käytetään ilmaylijäämällä, se tarjoaa hapetuskatalysaattorille edellytykset tehokkaaseen toimintaan. Katalysaattori koostuu teräksisestä ulkokuoresta, jonka sisällä on kennomainen rakenne. Kenno on yleensä metallia tai keraamista ainetta ja se on pinnoitettu katalyyttisillä metalleilla. (Diesel emissions and their control 2006, 404.)

Katalysaattorissa täytyy vallita tarpeeksi korkea lämpötila, jotta reaktiot ovat tehokkaita. Hapetuksen alkamiseen vaaditaan 200 °C lämpötila ja tehokkaimmillaan katalysaattori toimii yleensä 400 °C lämpötilasta ylöspäin. Siksi se onkin asetettu pakoputkistossa hyvin lähelle pakosarjaa tai turboahdinta. Tehokkaimmillaan katalysaattori vähentää HC- sekä CO-päästöjä jopa 90 % hapettamalla niitä vedeksi sekä hiilidioksidiksi. Kuvassa 1 on esitetty hapetuskatalysaattorin hiilimonoksidin sekä hiilivetyjen hapettamisen tehokkuuden lämpötilan suhteen. (NETT Technologies n.d.)



KUVA 1. Hiilimonoksidin sekä hiilivetyjen hapetus tehokkuus lämpötilan suhteen (NETT Technologies n.d.)

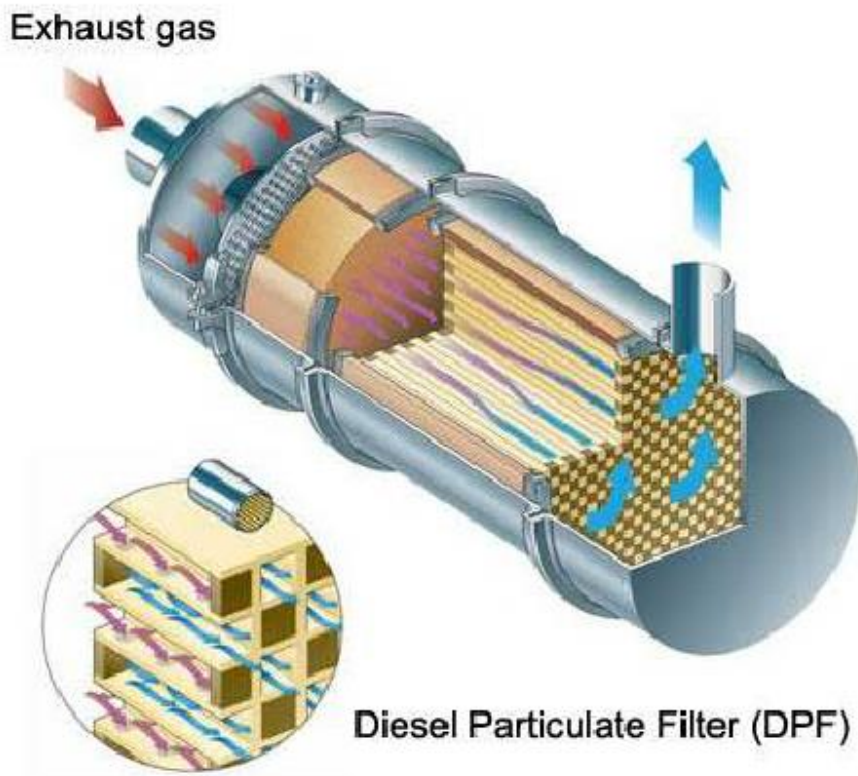
2.2.2 Hiukkassuodatin

DPF (Diesel particulate filter) on pakoputkistoon asennettava suodatin, jonka tarkoituksena on vähentää pakokaasuissa esiintyvää kiinteää osaa eli hiukkasma-
saa. Hiukkassuodatin koostuu metallisesta kuoresta ja sen sisällä olevasta ke-
raamisesta huokoisesta kennosta. (UTI 2019.)

Hiukkasuodattimia löytyy erityyppisiä jaoteltuna suodattimen kennoston raken-
teen perusteella. Osittaisvirtaussuodattimessa kennosto on samanlainen, kun
muissakin katalysaattoreissa eli kanavat ovat suoria. Hiukkaset jäävät huokoi-
seen kennomateriaaliin kiinni sen ohi virratessa. (Diesel emissions and their cont-
rol 2006, 460.)

Poiketen katalysaattoreista useimpien hiukkasuodattimien kennosta ei näe läpi
sillä käytävät ovat päästä suljettuja. Tällaista rakennetta kutsutaan seinämävir-
taussuodatukseksi tai täysvirtaussuodatukseksi. Kuvassa 2 nähdään seinämä-
virtaus suodattimen rakenne. Pakokaasut eivät siis virtaa kanavien lävitse vaan
huokoisten seinämien läpi. Seinämien läpäisyn yhteydessä kaasun kiinteä osuus

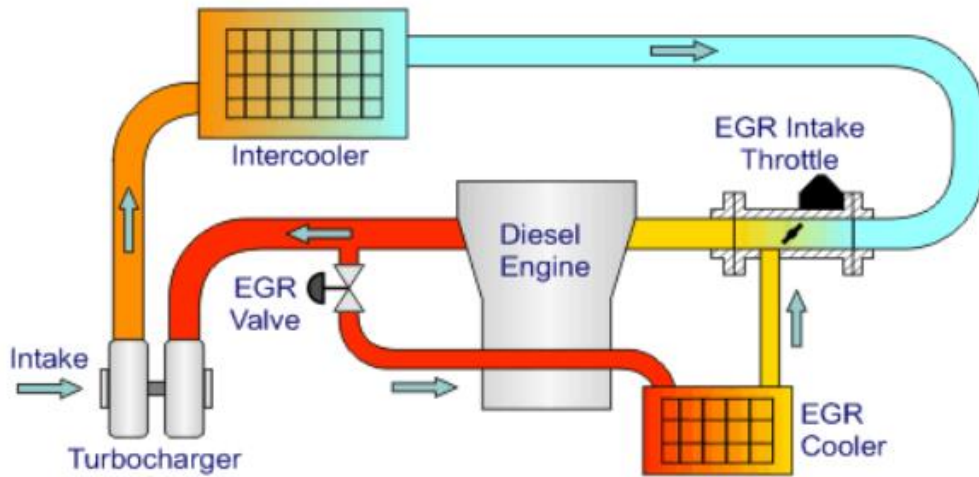
jää seinämiin kiinni. Tällaisia suodattimia käyttämällä hiukkasmäärää saadaan vähennettyä jopa 90 %. Tehokas suodatus aiheuttaa suodattimen tukkeutumista ajan myötä. Valmistajat ovat ratkaisseet tämän vaihtelevin tavoin nostamalla pakolämpötiloja yli 550 asteeseen, jolloin suodattimessa olevat hiukkaset alkavat palaa pois. (Diesel emissions and their control 2006, 460.)



KUVA 2. Hiukkasuodatin (Researchgate 2011.)

2.2.3 Pakokaasujen takaisinkierrätys

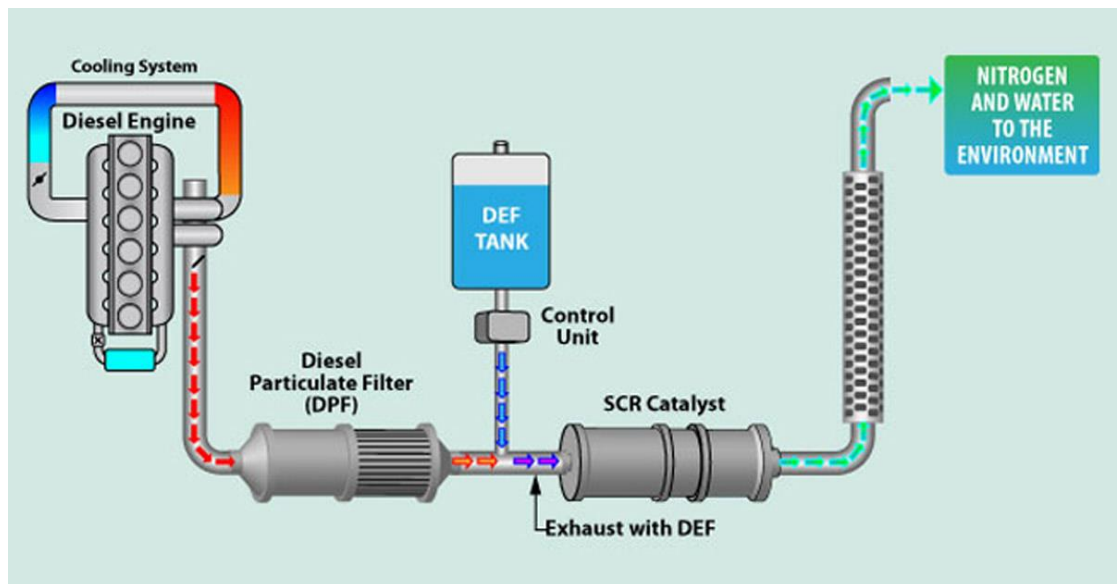
Exhaust gas recirculation eli EGR on järjestelmä, jossa osuus pakokaasuista ohjataan, takasin palotilaan imusarjan kautta uudelleen poltettavaksi. Pakokaasujen uudelleen kierrätyksen tarkoituksena on laskea palotilan lämpötiloja ja vähentää siellä olevaa happea. Tämän seurauksena typpipäästöt saadaan laskemaan. Kuvassa 3 on yleinen EGR konfiguraatio, johon kuuluu EGR-venttiili sekä -jäähdytyn. EGR-venttiili on yhteydessä pakosarjaan ja säätelee imusarjaan päästettävän pakokaasun määrää. (Pakokaasujen jälkikäsittely dieselmootoreissa 2018, 13.)



KUVA 3. EGR konfiguraatio (Dieselnet 2020.)

2.2.4 Selektiivinen katalyyttinen pelkistäminen

SCR (Selective Catalytic Reduction) on tekniikka, jossa pakokaasujen sekaan suihkutetaan urealiuosta, eli pelkistysainetta. SCR järjestelmän tarkoitus on pelkistää typenoksideista vaaratonta typpeä sekä vettä. Pelkistyminen on kemiallinen reaktio, joka vaatii katalyytin sekä pelkistimen. Katalysaattorin kennosto on yleensä pinnoitettu rauta- tai kuparizeoliiteilla. Pinnoitteena voidaan käyttää myös vanadiini- tai volframioksideja. Nämä toimivat reaktiossa katalyyttinä. Lisäksi tarvitaan pelkistin. Urealiuos suihkutetaan oman suuttimensa kautta pakokaasun joukkoon sekoittajan läpi ennen pelkistyskatalysaattoria. Järjestelmää ohjaa yleensä oma ohjausyksikkö, joka säännöstelee liuoksen määrää moottorilta saatavan anturitiedon mukaan. SCR järjestelmällä voidaan tehokkaasti vähentää typenoksideja. Kuvassa 4 näkyy SCR järjestelmään liittyvät komponentit. (BOSCH automotive handbook 2018, 777–778)



KUVA 4. SCR järjestelmä (Sstsensing n.d.)

2.2.5 ASC

ASC on lyhenne englannin kielen sanoista ammonia slip catalyst. Ylijäämä ammoniakikatalysaattori on tarpeen koneissa, joissa on käytössä SCR järjestelmä. Urealiuosta käytettäessä osa ammoniakista pääsee pelkistyskatalysaattorin ohi pakokaasujen mukana. Tämän vuoksi ammoniakikatalysaattori on sijoitettuna pakoputkistoon pelkistyskatalysaattorin jälkeen. Ilman SCR järjestelmää dieselmoottorin ammoniakipäästöt ovat melko pieniä. Jäljelle jäävän ammoniakimäärä riippuu useista tekijöistä kuten pelkistysreaktion tehokkuus ja pelkistyskatalysaattorin koko reaktioon tarjolla olevan ajan kautta. (Zhang, Y 2021.)

3 PÄÄSTÖLUOKITUKSET, NIIDEN SÄÄNNÖSTELY JA TESTAUS

Pakokaasuissa esiintyville haitallisille osille on asetettu raja-arvoja riippuen työkoneen moottoritehosta, tyypistä sekä valmistusvuodesta. Näitä mitataan standardisoiduilla testausmenetelmillä. Työkoneista syntyviä päästöjä säännellään asteittain kiristyvällä stage-luokituksella, joka muistuttaa raskaiden ajoneuvojen euroluokitusta. Raskaasta tieliikenteestä poiketen työkoneisiin ei kohdistu ympäristövaikutusten huomioon ottavaa lainsäädäntöä julkisissa hankinnoissa. Tällaisia vaatimuksia voidaan kuitenkin paikallisesti sopia. On olemassa myös sääntelyä, jota hankintayksiköt voivat vapaaehtoisesti toteuttaa. Eurooppalainen Green-deal on yksi tällainen sopimus. (Motiva 2022.)

3.1 Stage-luokitukset

Stage-luokissa on määritelty työkoneesta syntyvien päästöjen raja-arvot koneen moottoritehosta ja tyypistä riippuen. Sääntely on saanut alkunsa Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivistä vuonna 1997. Päästöluokituksissa asteittain tiukentuva sääntely koskee ympäristölle ja terveydelle haitallisia päästöjä, joista merkittävimpiä ovat typenoksidit (NOX), hiilimonoksidi (CO), hiilivety (HC) ja hiukaspäästöt (pm). Lisäksi viimeisimmissä luokissa on asetettu raja ammoniakkipäästöille. (Motiva 2022.)

Stage-1 oli ensimmäinen voimaan tullut luokitus vuonna 1999. Stage-2 astui voimaan nopeasti tämän jälkeen vuonna 2002. Näiden molempien luokkien testaus suoritetaan käyttäen Non-Road Steady Cycle, NRSC-testiä. 1. luokan raja-arvot tuli saavuttaa ilman pakokaasujen jälkikäsittelyä. Kahden ensimmäisen luokan raja-arvot on esitetty taulukossa 1. (Dieselnet 2021.)

TAULUKKO 1. Stage-1 ja -2. raja-arvot. (Dieselnet 2021.)

Stage 1 raja-arvot g/kWh			
CO	HC	Nox	PM
5,0	1,3	9,2	0,52
Stage 2 raja-arvot g/kWh			
CO	HC	NOx	PM
3,5	1,0	6	0,52

Stage-3 tuli voimaan kahdessa osassa A ja B. Päästöarvojen tiukentumisen lisäksi B-vaiheessa testaamiseen on otettu mukaan myös muuttuvalla kuormituksella suoritettava Non-Road Transient Cycle eli NRTC-testi sykli. B-vaiheessa on asetettu raja-arvot myös ammoniakkipäästöille. Ammoniakkipäästöille asetettu raja on 25 ppm testisyklin aikana. 3A luokassa typenoksidoille sekä hiilivedyille on asetettu yhteinen raja-arvo poiketen muista luokituksista. 3A-päästöille asetetut raja-arvot on esitetty taulukossa 2. Taulukossa 3 on kolmen viimeisen luokituksen raja-arvot. (Dieselnet 2021.)

TAULUKKO 2. Stage-3 A raja-arvot (Dieselnet 2021.)

Stage 3 A raja-arvot g/kWh		
CO	Nox+ HC	PM
5,0	4,0	0,3

TAULUKKO 3. Stage-3B, - 4 ja - 5 raja-arvot (Dieselnet 2021.)

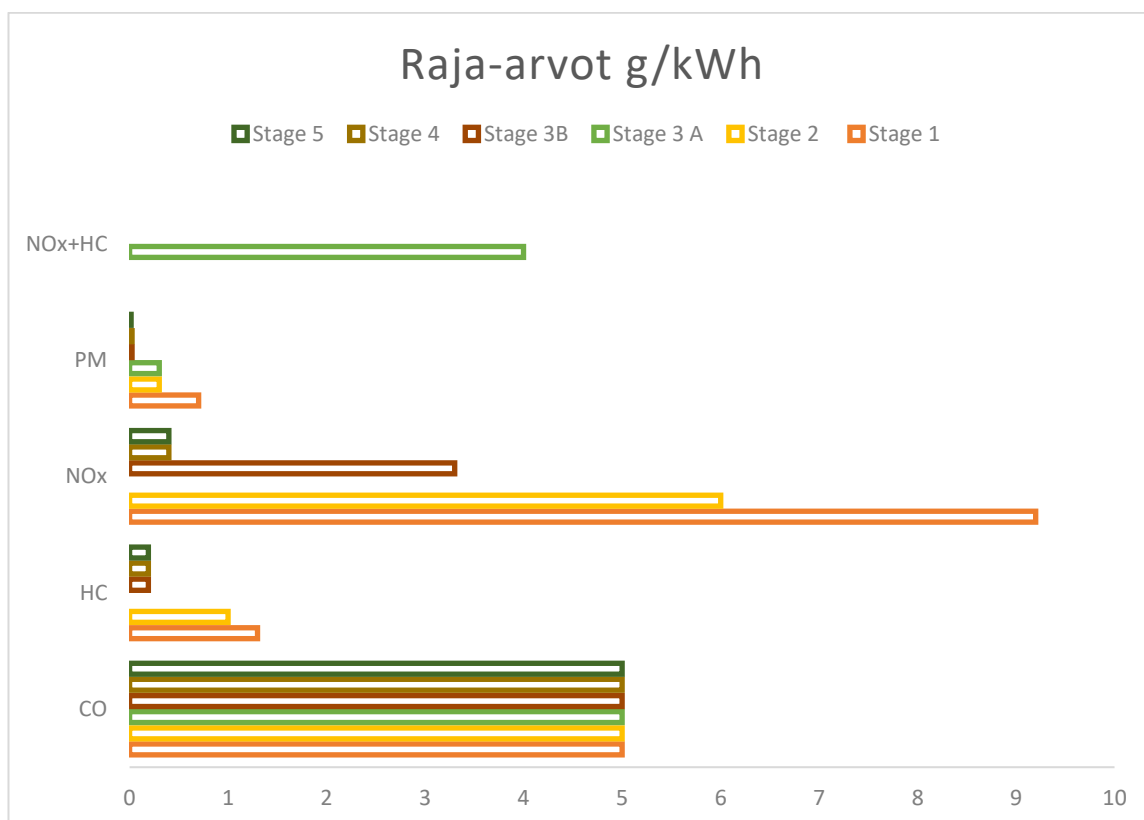
Stage 3 B raja-arvot g/kWh			
CO	HC	NOx	PM
5	0,19	3,3	0,025
Stage 4 raja-arvot g/kWh			
CO	HC	NOx	PM
5	0,19	0,4	0,025
Stage 5 raja-arvot g/kWh			
CO	HC	NOx	PM
5	0,19	0,4	0,015

3.2 Päästörajojen kehitys

Aiemmin esitettyjen taulukoiden raja arvojen pohjalta laaditusta kuviosta 1 voidaan tarkastella päästöjen alenemista eri vaiheissa. Kaaviota tulkitessa on syytä ottaa huomioon, ettei 3A-luokituksen NOx+ HC ole vertailukelpoinen muiden kanssa, sillä muissa luokissa nämä on eritelty omina rajoinaan.

Huomattavia muutoksia on tapahtunut kaikissa haitallisissa päästöissä. Merkille pantavia alenemia ovat kuitenkin pienhiukkaspäästöt sekä typenoksidipäästöt. Hiukkaspäästöt putosivat stage-3B:hen siirryttäessä yhteen kahdestoistaosaan

entisestä. Käytännössä useat konevalmistajat ovat joutuneet tällöin ottamaan käyttöön hiukkasuodattimen eli DPF:n. Suuri pudotus typenoksidipäästöihin tapahtui stage-4 myötä. Sallittu raja putosi noin kahdeksasosaan verrattuna stage-3B rajaan. Tämä on aiheuttanut SCR-järjestelmien yleistymisen. Jotkut konevalmistajat ovat tehostaneet EGR-toimintaa ja näin päässeet tavoitteeseen, mutta suuri osa käyttää yhdessä näitä molempia järjestelmiä. (Dieselnet 2021.)



KUVIO 1. Haitallisten päästöjen raja-arvojen kehitys (Dieselnet 2021.)

3.3 EU Greendeal

EU:n Greendeal sopimuksen tavoitteena on luoda EU:sta moderni, resurssitehokas ja kilpailukykyinen talous, jossa vuoteen 2050 mennessä ei enää aiheuteta kasvihuonekaasujen nettopäästöjä. Lähempänä tavoitteena on nettopäästöjen vähentäminen 55 % vuoden 1990 tasosta vuoteen 2030 mennessä. Sopimusta ja tavoitteiden toteutumista tuetaan vero-, energia- ja liikennepolitiikan uudistuksilla. Lisäksi investoinneissa otetaan huomioon tulevaisuuden ilmastotavoitteet ja rahaa ohjataan vihreänkehityksenohjelmaan yhä enemmän. Työkoneisiin nämä tavoitteet tulevat vaikuttamaan väistämättä erityisesti työmaita koskevien säännösten kautta. (Euroopan komissio 2021.)

Päästötön työmaa -konseptin ehdoissa on asetettu suoraan vaatimuksia tällaisessa projektissa käytettäville työkoneille. Päästön työmaa -konseptin tarkoituksena on kartoittaa, sekä vähentää työmailla syntyviä päästöjä. Suomessa Espoon, Helsingin, Turun ja Vantaan kaupungit sekä Senaatti-kiinteistöt ovat allekirjoittaneet ympäristöministeriön kanssa Päästöttömät työmaat – kestävien hankintojen Greendeal sopimuksen. Sopimuksen tarkemman sisällön siihen liittyvän valvonnan ja toteutuksen saavat hankintayksiköt ja urakoitsijat sopia itsenäisesti. Sopimusta noudattamalla urakoitsijalle voidaan maksaa bonuksia, jotka toimivat sopimuksen toteuttamiseen taloudellisina kannustimina. (6aika 2021.)

Sitamus 2050 -sivustolla on eritelty alakohtaiset Greendeal -sopimuksen sisällöt, sekä niihin sitoutuneet tahot. Sivustolta löytyy myös työkoneisiin kohdistuvia vaatimuksia ja tavoitteita eri aikaikkunalla. Alle listattuna olennaisimmat koneiden päästöihin ja käyttöön liittyvät kohdat. Lopulliset vaatimukset kuitenkin määritellään markkinavuoropuhelulla. (Sitamus2059 n.d.)

Vuoden 2022 loppuun mennessä:

- Hankintayksiköt ovat ottaneet käyttöön sopimuksen määritelmän mukaisen seurantajärjestelmän.
- Työmaat, joissa hankintayksikkö on itse päätoteuttajana ovat fossiilivapaita.
- Viimeistään tavoiteajankohdan jälkeen solmituissa hankintasopimuksissa on määritettävä, että hankintayksikköjen työmailla käytettävät työkoneet ovat päästöiltään vähintään Stage IV ja kuorma-autot Euro VI tasoa tai puhtaampia. (Sitamus2059 n.d.)

Vuoden 2025 loppuun mennessä:

- Hankintayksikön työmailla käytettävistä työkoneista, sekä työmaiden sisäisissä kuljetuksissa käytettävistä ajoneuvoista 100 prosenttia toimii fossiilivapailta polttoaineilla, joista vähintään 20 prosenttia toimii sähköllä, biokaasulla tai vedyllä.
- Hankintayksikön työmaat ovat fossiilivapaita. (Sitamus2059 n.d.)

Huomattavimpia kohtia sopimuksessa ovat siis 2022 loppuun mennessä edellytys käyttää stage 4 tai stage 5 koneita sekä vaatimus työmaan fossiilivapaudesta. Vuonna 2020 tehdyn selvityksen mukaan ainoastaan 10–15 % täyttää välivaatimukset, joten vanhoja käyttökelpoisia koneita on vaarassa pudota kilpailutuksista pois suuri määrä. (Infra ry, 2020)

3.4 ECE R132

ECE R132 (Yhdistyneiden kansakuntien Euroopan talouskomission sääntö numero 132) on säännöstö, jossa määritellään yhdenmukaiset vaatimukset Retrofit-päästöjenhallintajärjestelmien hyväksynnälle ja luokittelulle. Järjestelmän luokitus riippuu alentuvista päästöistä sekä vähennystehokkuudesta. Esimerkiksi typenoksidi päästöjä alentava järjestelmä on eri luokassa, kun hiukkaspäästöjä alentava laite. Vähennystehokkuus ilmaisee kuinka paljon laite alentaa tarkoituksenmukaisia päästöjä. Vähennystehokkuus lasketaan kaavalla 1. Säännöstössä on määritelty vaatimuksia vähennystehokkuuden lisäksi esimerkiksi kestävyys ja asennettavuuden suhteen. Liitteissä 1–3 on ECE R132 mukaiset testisekvenssit hiukkaspäästöjä sekä typenoksidipäästöjä alentaviin laitteisiin liittyen. (Eur-lex 2018.)

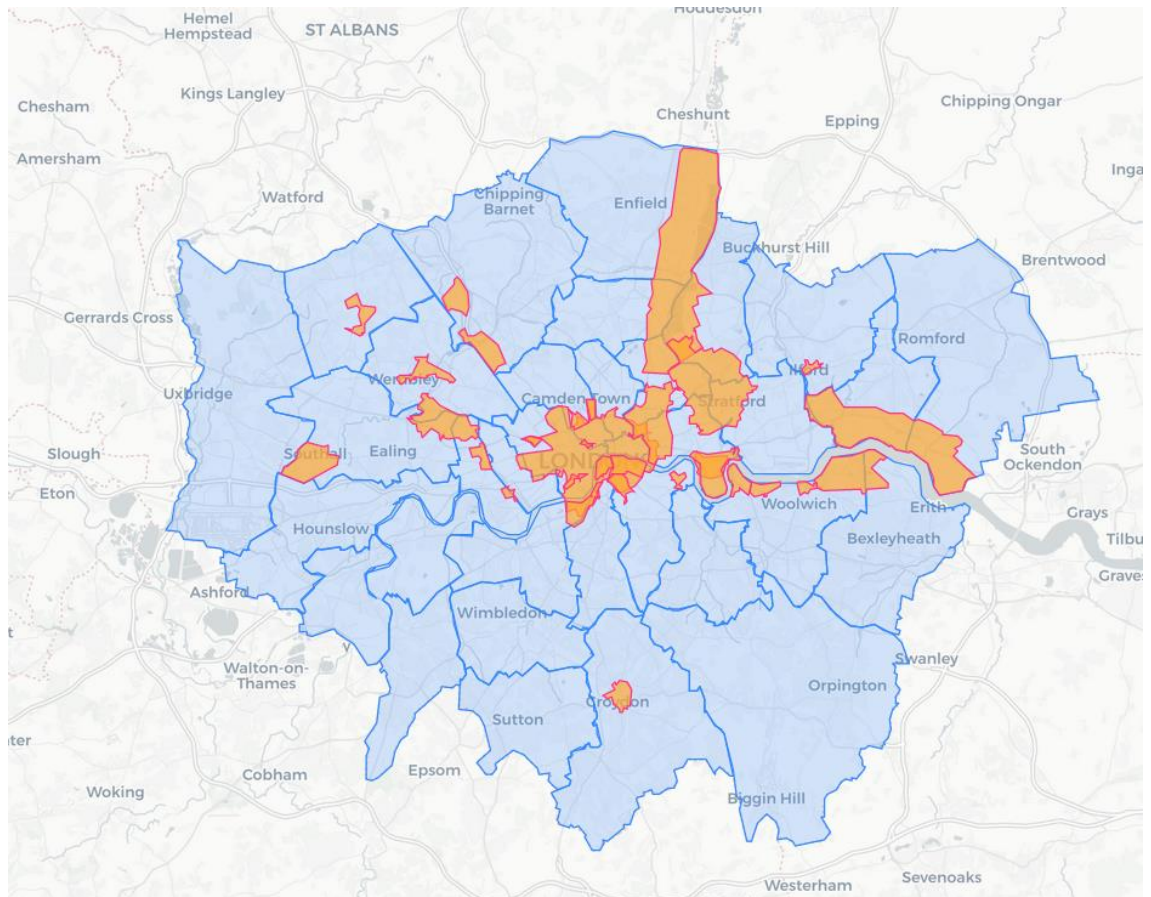
$$\text{vähennystehokkuus (\%)} = (1 - (E_{\text{REC}}/E_{\text{Base}})) \times 100$$

Kaava 1. Jossa E_{REC} on päästöt jälkikäsittelylaitteen jälkeen ja E_{Base} päästöt laitetta ennen.

3.5 Puhtaan ilman alueet

Puhtaan ilman -alueita on suurissa kaupungeissa ympäri Eurooppaa. Suurimmat alueet löytyvät Lontoosta. Kuvassa 5 on kartta, jossa oranssilla merkityt alueet ovat keskusalueita, joissa koneilta vaaditaan vähintään stage-4 luokitusta. Kartalla loppuilla sinisillä merkityillä alueilla työkoneilta vaaditaan vähintään stage-3B luokitusta. Alemman päästöluokan koneita on mahdollista käyttää alueilla, mikäli niiden päästöt on saatu vastaamaan vaadittua tasoa. Jälkiasenteiset järjestelmät ovat siis tehty mahdollisiksi. Järjestelmän tulee kuitenkin CVRAS hyväksyty, jotta kone, johon se on asennettu, voidaan hyväksyä. CVRAS prosessia on käsitelty alempana. Kun hyväksyntä järjestelmälle saadaan, lisätään se listaan, jota hallinnoin Energy saving trust. Heidän sivustoltaan löytyy listattuna hyväksytyt järjestelmät erilaisiin koneisiin. Kun koneeseen on asennettu, järjestelmä täytyy se

vielä hyväksyttävä ja lisätä netissä olevaan tietokantaan. Tietokannasta löytyy koneet päästöluokkineen sekä mahdollisine jälkiasennusjärjestelmineen. Täältä tietokannasta hankkijat pystyvät tarkastelemaan koneita helposti. (Mayor of London 2020.)



KUVA 5. Matalapäästöiset alueet Lontoossa (Mayor of London 2020.)

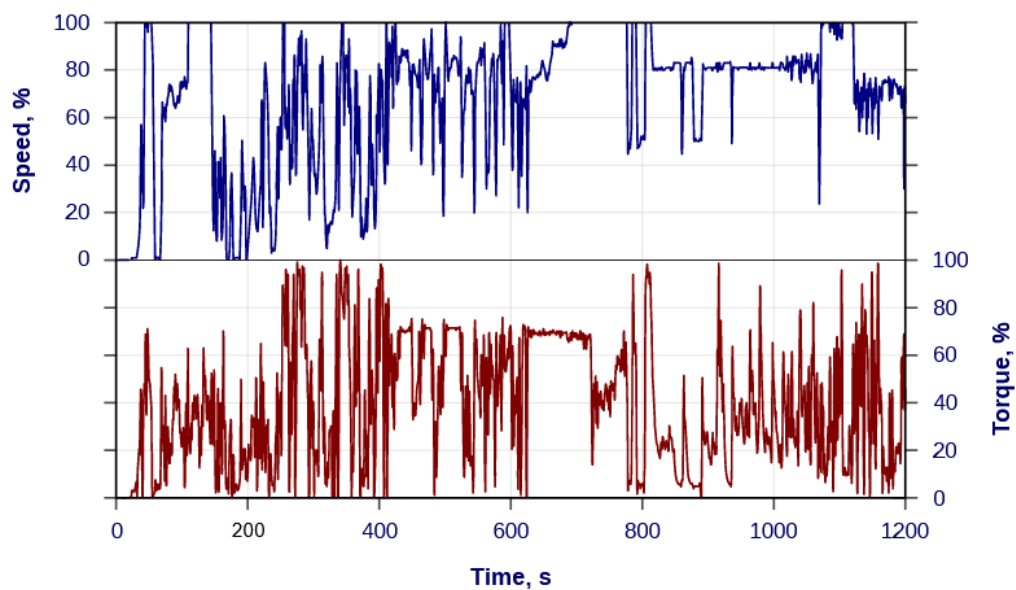
3.6 Päästöjen testaus

Päästöluokituksen määrittämiseksi moottorin tuottamat yhdisteet on analysoitu. Stage -luokitusta määritettäessä testeinä ovat Non-Road Steady Cycle eli NRSC tai Nonroad Transient Cycle NRTC riippuen valmistusajankohdasta. (Dieselnet 2021.)

NRSC tarkoittaa testisykliä, joka ajetaan moottoridynamometrillä. Se koostuu useista tasaisena pidettävistä kuormituspisteistä ja pyörintänopeuspisteistä.

Näitä pisteitä painotetaan ennalta määritetyn kaavan mukaisesti riippuen moottorin tyypistä. (Dieselnet 2021.)

NRTC puolestaan on moottoridynamometrillä suoritettava testisykli, jossa kuormitusta ja pyörintänopeutta muutetaan jatkuvasti. Se kuvaakin paremmin oikeita työskentelyolosuhteita ja sen vuoksi myös testitulokset vastaa paremmin koneen tuottamia todellisia päästöjä. NRTC on tullut aiemman NRSC rinnalle 3B-luokituksen myötä. Tämän jälkeisissä luokituksissa moottorille tehdään molemmat testisyklit rinnakkain ja niitä painotetaan ennalta määrättyllä tavalla. Kuvassa 6 on NRTC testissä tapahtuva moottorin kuormitus pyörintänopeutena sekä vääntömomenttina. (Dieselnet 2021.)

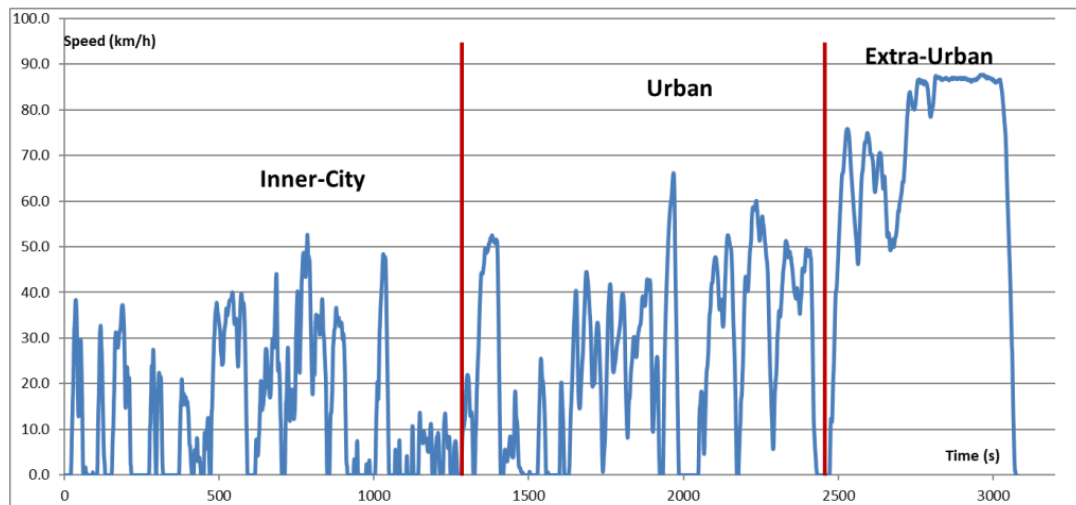


KUVA 6. NRTC moottorin kuormitus (Dieselnet 2021.)

CVRAS lyhenne tulee englanninkielisistä sanoista Clean Vehicle Retrofit Accreditation Scheme. Se on validointimenetelmä, joka on kehitetty todentamaan jälkiasenteisten päästöjenhallinta laitteiden tehokkuutta ja näin ollen mahdollistaa niiden käytön Puhtaan ilman -alueilla. Niissä vaaditaan tiettyjä päästötasoja esimerkiksi Euro 6 -luokitusta dieselmoottorillisilta pakettiautoilta ja Euro 4 -luokitusta linja-autoilta. Testaus suoritetaan alustadynamometrillä. Se koostuu kolmesta vaiheesta, jotka kuvastavat ajoa kaupunkialueella. Kuvassa 7 testisykli,

jolla kuorma-autoja testataan. Vastaavanlaiset testit tehdään työkoneiden päästöjenkäsittelyjärjestelmiin.

(Hayes 2021.)



KUVA 7. CVRS testisykli (Low carbon vehicle partnership 2018.)

PEMS on lyhenne englannin kielen sanoista Portable Emission Measurement System. Aiemmistä vaihtoehdoista poiketen mittalaitteisto asennetaan ajoneuvoon ja päästöt mitataan ajoneuvon normaalin käytön yhteydessä. Mittalaitteisto on siis liikuteltava ja mahdollista tuoda ajoneuvon luokse muista mittauksista poiketen. Tällaisia mittauksia käytetään vielä vähän, mutta esimerkiksi Saksassa jälkiasenteisia pakokaasujen käsittelylaitteistoja hyväksytetään käyttäen PEMS-testausta. (Millbrook n.d.)

4 Haitallisten päästöjen alentaminen

Päästöjen alentamiseen on useita keinoja ja tarvittavat toimet riippuvat lähtötilanteesta ja tasoista, joita tavoitellaan. Helppoutta ajatellen yksinkertaisinta olisi käyttää koneessa olemassa olevia järjestelmiä ja mahdollisesti tehostaa niitä. Tehostaminenkaan ei ole täysin yksinkertaista, sillä järjestelmät ovat linkittyneitä toisiinsa. Tällöin järjestelmään muutoksia tehtäessä on otettava huomioon, että muut järjestelmät toimivat kuten kuuluukin. Muutoin lopputulos ei ole välttämättä toivottu välittömien päästöjen hallinnan suhteen. Puutteellisen testaamisen tai suunnittelun myötä koneessa saattaa esiintyä aiempaa useammin teknisiä ongelmia. Tämän vuoksi uuden järjestelmän asentaminen ja suunnittelu vaatisi kattavaa testaamista. Päästötason korotus ei saisi lisätä koneen huoltotarvetta tai laskea sen toimintavarmuutta merkittävästi. Muutosta suunniteltaessa tulisi myös huomioida sen taloudellinen kannattavuus. (Energy saving trust 2017)

4.1 Polttoaineet

Yksinkertainen tapa alentaa työkoneen päästöjä olisi käyttää vaihtoehtoisista polttoainetta. Tällöin päästöjen alenemista voitaisiin saavuttaa ilman, että koneen järjestelmiin tarvitsisi tehdä suuria muutoksia. Fossiilisen dieselin rinnalle on kehitetty uusiutuvista lähteistä valmistettuja polttoaineita. Osaa voidaan käyttää fossiilisen polttoineen tapaan, mutta jotkin, kuten biokaasut, vaativat mittavampia muutostöitä

4.1.1 Biodiesel

Biodieselillä tarkoitetaan kasviöljyistä, eläinperäisestä rasvasta tai näiden yhdistelmästä valmistettua polttoainetta. Biodieselistä käytetään lyhenteitä FAME (Fatty Acid Methyl Ester) ja RME (Rapeseed Methyl Ester). Yleensä se valmistetaan auringonkukka-, kookos-, rypsi- tai soijaöljyistä. Biodiesel on uusiutuva energian lähde. Siitä aiheutuvat hiilidioksidipäästöt kuuluvat luontaiseen kiertoon, eivätkä näin ollen vaikuta negatiivisesti hiilidioksidin lisääntymiseen ilmakehässä. (Diesel emissions and their control 2006)

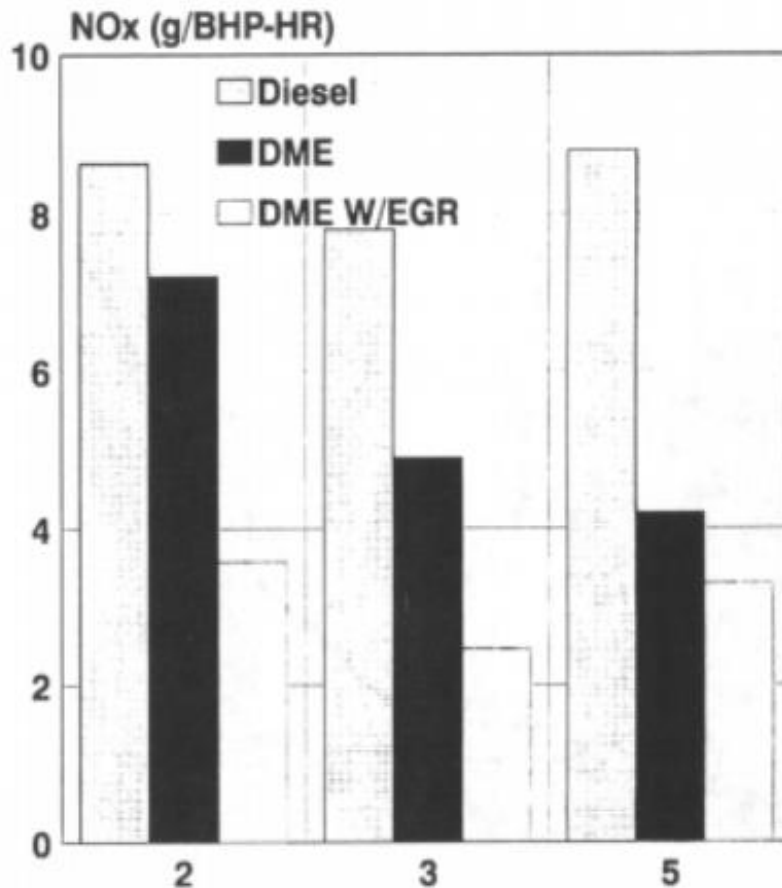
Biodieselin vaikutusta pakokaasupäästöihin on tutkittu paljon, mutta tuloksissa on vaihtelua, eikä täysin yhtenäistä linjaa ole. Yhtenäistä on kuitenkin se, että välittömät päästöt pois lukien typenoksidipäästöt laskevat biodieseliä käytettäessä. Typenoksidipäästöjen on havaittu kasvavan jopa 10 %. Syyksi on arvioitu polttoaineen sisältämää happea, jota fossiilinen diesel ei sisällä. Käyttämällä biodieseliä muita päästöjä voidaan alentaa jopa 50 %. (Diesel emissions and their control 2006, 250.)

Huonoina puolina biodieselin tai sen sekoituksissa on havaittu suurempi ominaiskulutus, kalliimpi hinta sekä mahdolliset ongelmat moottorin järjestelmien kanssa. Esimerkiksi eräänlaisen levän muodostuminen polttoainetankkiin aiheuttaa polttoainejärjestelmän tukkeutumista. Ongelmana on myös tiivisteiden haurastuminen ja turpoaminen. (Pennstate extension 2006.)

4.1.2 Dimetyylieetteri

DME (Dimethyl Ether) on yksinkertainen eetteri, jota voidaan käyttää polttoaineena. Dimetyylieetteriä valmistetaan usein maakaasusta. Dimetyylieetteri on huoneenlämmössä kaasu, mutta nesteytyy melko matalissa paineissa. Sen korkea setaaniluku mahdollistaa polttoaineena käytön puristesytytteisessä moottorissa. Sen kemiallisten ominaisuuksien vuoksi dimetyylieetteriä polttaessa syntyy hiukkaspäästöjä hyvin vähän, jos ollenkaan. Kuvassa 8 on verrattuna typenoksidi päästöjä dimetyylieetterin ja dieselin välillä. Huomion arvoista on, että pakokaasujen uudelleenkierrätystä käyttäessä päästöt on saatu hyvin alhaisiksi. (Diesel emissions and their control 2006, 258.)

Heikkoutena fossiiliseen dieseliin verrattuna on huonot voiteluominaisuudet. Huonojen voiteluominaisuuksien vuoksi moottorin polttoainesuihkutus järjestelmään on tehtävä muutoksia. Lisäksi moottorin optimaalisen toimimisen kannalta tarvitaan mekaanisia muutoksia palotilan sekä kanavien muotoihin. (Wiesemayer, P 2020.)



KUVA 8. Dimetyylieetterin ja dieselin typpioksidipäästöt (Fleisch, T 1995)

4.1.3 Uusiutuva Diesel

Uusiutuva diesel eroaa biodieselistä sekä ominaisuuksiensa että valmistusmenetelmien ja raaka-aineiden puolesta. Uusiutuvaa dieseliä myyvät Suomessa ST1 HVO (Hydrotreated Vegetable Oil) nimikkeellä sekä Neste Oy Neste MY Uusiutuva Diesel -nimikkeellä. Nämä korkealaatuiset uusiutuvat polttoaineet valmistetaan usein jätteistä tai tähteistä. Uusiutuvat dieselit sopivat käytettäväksi myös autoissa, joihin ei suositella käytettävän perinteistä biodieseliä. Tämä johtuu siitä, ettei sen käytön yhteydessä esiinny mikrobikasvustoa, jollaista biodieseliä käytettäessä saattaa esiintyä. Setaaniluku on korkeampi kuin perinteisessä biodieselissä, joka antaa hyvät kylmäkäynnistys- ja käyntiominaisuudet sekä osaltaan auttaa vähentämään pakokaasuissa olevia haitallisia päästöjä. Biodieselin käytössä tapahtuva typpioksidipäästöjen kasvu ei myöskään ole ongelma uuden sukupolven uusiutuvissa dieselissä, sillä ne eivät sisällä lainkaan happea. (Neste 2006.)

4.2 Jälkiasenteiset päästöjenhallinta järjestelmät

Jälkeenpäin asennettavista laitteistoista käytetään yhteistä nimitystä Retrofit -järjestelmät. Tällaisia yleisimmin raskaaseen kalustoon asennettavia järjestelmiä ovat aiemmin esitellyt DPF sekä SCR. Pakokaasujen jälkikäsitteily on toimiva tapa vähentää pakokaasujen haitallisia päästöjä merkittävästi. Jälkiasenteisilla järjestelmillä on mahdollista alentaa päästöt vastaamaan uudempia koneita. Työkoneisiin jälkiasenteisia valmiita järjestelmiä ei ole juurikaan tarjolla, eikä niiden asennus ole tänä päivänä yleistä.

4.2.1 Jälkiasenteinen SCR

Urearuiskutuksella typenoksidipäästöt saadaan tehokkaasti pienemmiksi. Parhaimmillaan selektiivisen katalyyttisen pelkistyksen tehokkuus on jopa yli 90 %. Tällaisen järjestelmän asentaminen on yleistä esimerkiksi linja-autoihin ja kuorma-autoihin. Järjestelmä on yleensä itsenäisesti toimiva lisäosa, joka tulee olemassa olevien rinnalle. Tärkeimmät komponentit ovat pelkistyskatalysaattori, ureasäiliö, suutin ja ohjussyksikkö. Näiden lisäksi tarvitaan urealiuokselle putkistoa, pakoputkistoon tarvittavat muutokset, mahdolliset lisäanturoinnit ja kaapeloinnit. SCR järjestelmän asentaminen työkoneisiin on vielä harvinaista. Järjestelmä on monimutkainen, jos sitä verrataan yleisempään hiukkassuodattimeen. Ruiskutettavan pelkistysaineen määrä täytyy olla tarkkaan annosteltu, jotta toiminta olisi tehokasta. Oikean määrän määrittämiseen tarvitaan tietoa moottorin tilasta. Tämä tekee jälkikäteen asentamisesta huomattavan haasteellista ja kallista. (Günther, H 2018, 50–55.)

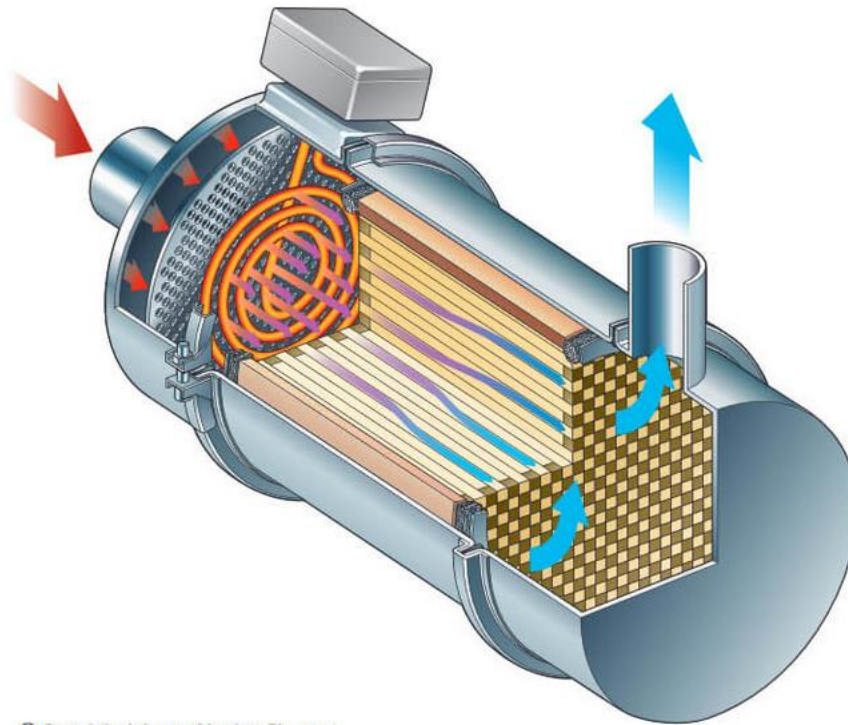
4.2.2 Jälkiasenteinen DPF

Hiukkassuodattimen jälkiasennus on työkoneisiin yleisempään, kun SCR järjestelmän sen yksinkertaisuuden vuoksi. Hiukkassuodatin on joissakin tapauksissa

mahdollista asentaa pakoputkistoon itsenäisenä komponenttina, eikä se välttämättä vaadi minkäänlaista ohjausta tai anturointia. (Günther, H 2018 28–35.)

Hiukkassuodattimeen kertyvä hiukkasmassa täytyy ajoittain saada suodattimesta poistettua, sillä ajan myötä siihen jäävä hiukkasmassa alkaa tukkia suodatinta ja haitata pakokaasun virtaamista. Tämä toteutetaan yleensä regeneroinnilla, jonka ideana on nostaa hiukkassuodattimessa vallitsevaa lämpötilaa niin korkeaksi, että hiukkasmassa palaa pois. Palamiseen vaadittava pakolämpötila on 500–600 °C. Useimmissa tehdasasenteisissa hiukkassuodattimissa regenerointi tehdään aktiivisesti nostamalla pakolämpötilaa vaihtelevin keinoin. Yleensä tämä toteutetaan ohjelmistollisesti. Hiukkassuodattimen molemmissa päissä olevat paineanturit käynnistävät regeneroinnin tietyssä paine-eron raja-arvossa. Pakolämpöjä nostetaan myöhäistämällä polttoaineen suihkutusta niin paljon, että osa siitä kulkeutuu palamattomana pakosarjaan. Kuumassa pakosarjassa polttoaineen palaessa pakolämpötilat kasvavat. Joissakin moottoreissa hiukkassuodattimelle voi myös olla pakoputkessa oma erillinen polttoainesuutin. (Günther, H 2018 28–35.)

Joissakin kokoonpanoissa regenerointi on puolestaan toteutettu sähköllä toimivalla vastuksella. Vastuksen läpi kulkeutuessaan pakokaasun lämpötila saadaan kasvamaan tarpeeksi suureksi. Tällainen ratkaisu on erityisen hyödyllinen, kun hiukkasuodatin asennetaan jälkeinpäin. Tällöin moottorin ohjaukseen ei vaadita hankalia muutoksia. Kuvassa 9 hiukkasuodatin, jonka edustalla erillisesti ohjattu sähköinen vastus. (Bisaf 2012.)



KUVA 9. Hiukkassuodatin sähkövastuksella (Bisaf 2012.)

Hiukkassuodatin voi olla myös passiivisesti regeneroituva. Tällöin suodatin joudutaan asettamaan niin lähelle pakosarjaa, että pakolämpötila on ajoittain luonnollisesti niin suuri, ettei hiukkassuodatin pääse tukkeutumaan. Suodattimissa saattaa olla myös erillinen kenno, joka pestään tai vaihdetaan sen tukkeutessa. (Günther, H 2018 28–35.)

5 STAGE-LUOKITUKSEN MUUTTAMINEN

5.1 Stage-4 korotus

OK-konehuollolle esimerkkitapauksena tässä työssä käsitellään Stage-4 koneeseen vaadittavia muutostöitä, jotta se vastaisi päästöiltään stage-5 raja-arvoja.

Aiemmin esitetyistä raja-arvoista (taulukko 3) voidaan huomata, että ainoa muuttuva arvo on hiukkaspäästöjen sallittu arvo. Sallitut hiukkaspäästöt ovat pudonneet 0,025 ppm:stä 0,015 ppm arvoon. Muiden säänneltyjen päästöjen suurimmat sallitut määrät pysyvät samana.

Tutkimalla olemassa olevien koneiden teknisiä toteutuksia huomataan, että erilaisia ratkaisuja hiukkaspäästöjen suhteen on käytetty stage-4 vaiheessa. Osaan koneista ei ole asennettu hiukkasuodatinta ollenkaan vielä 4. luokan kohdalla. Tästä esimerkkinä mainittakoon kaivinkone Isuzu AR-4JJ1X, jonka stage-4 koneessa ei ole käytetty DPF:ää vaan aiempiin luokituksiin on päästy käyttämällä muita jälkikäsittelyjärjestelmiä, jotka tässä koneessa ovat: vesijäähdytetty EGR, SCR sekä DOC. Useat Doosanin valmistamat stage-4 koneet on myös toteutettu ilman hiukkasuodatinta. Alhaisiin hiukkapäästöihin on päästy tehokkaalla EGR-järjestelmällä. (Isuzuengines 2022.)

Tällaisiin koneisiin vaadittaisiin hiukkasuodattimen asennus. Kuten aiemmin on käsitelty, voidaan DPF:n asentaminen toteuttaa monilla eri tavoilla. Passiivisesti regeneroituva hiukkasuodatin vaatii ainoastaan sen asentamisen pakoputkistoon. Haasteena tällöin on asennustilan puute. Etenkin käytettäessä hiukkasuodatinta ilman aktiivista regenerointia on suodatin saatava melko lähelle pakosarjan alkupäätä, jotta lämpötilat ovat ajoittain tarpeeksi korkeita hiukkasmassan palamiseen.

Suuret moottorivalmistajat, kuten Volvo, ovat käyttäneet täysvirtaussuodattimia jo stage-4 rajoihin päästäkseen. Esimerkiksi Volvon valmistamista moottoreista suodatin löytyy jo stage-4 vaiheen moottoreista. Tällöin mitään lisäasennuksia tai muutostöitä ei välttämättä vaadittaisi. Mikäli on käytetty osittaisvirtaussuodatinta,

täytyy se korvata täysvirtaussuodattimella. Korvaaminen olisi tällöin kuitenkin huomattavasti yksinkertaisempaa, sillä se voitaisiin asentaa pakoputkistoon vanhan tilalle. (Volvopenta 2022.)

5.2 Luokituksen muuttaminen

Osuutta varten on haastateltu kahta alan asiantuntijaa Arno Amberlaa Proventialta sekä nimetöntä edustajaa VTT:ltä. Stage-5 virallisen luokituksen saamiseksi moottorin päästöjen tarvitsee olla raja-arvoissa moottoridynamometrilla suoritettavien NRSC ja NRTC testisykliä aikana. Jälkiasentamalla täysvirtaushiukkas-suodatin päästöihin on mahdollista päästä. Ongelmaksi muodostuu kuitenkin hyväksynnän saaminen. Nykyisellään päästöluokan virallinen muutos vaatii toimia moottorin valmistajan puolelta. Moottori tarvitsee siis tietyn tyyppihyväksynnän. Tätä hyväksyntää voi hakea vain moottorin valmistaja. Moottorin valmistajille tämä olisi työläs prosessi ja ymmärrettävästi kiinnostus on uusien tuotteiden suunnittelussa ja myynnissä. Päästöjen hallintalaitteet tulee hyväksyä ECE R132 säännösten mukaisesti, joka on raskas sekä kallis prosessi. Tämä sulkee pois mahdollisuuden rakentaa yksittäiseen koneeseen päästöjä alentavia laitteistoja. (VVT, Amberla a 2022)

Proventia on yritys, joka on erikoistunut päästöjenhallintalaitteisiin sekä niiden testaamiseen. Amberlan mukaan yksittäisiäkin päästöluokan korotuksia on toteutettu. Näissä työn tilaajan suhtautuminen muutokseen on kuitenkin tapauskohtaista. Työn tilaajalle voi riittää laitteiston valmistajan vakuudet testituloksien tuetuina. Yleistä linjausta asiasta ei kuitenkaan ole. Työn tilaajilla useissa hankkeissa on kuitenkin velvollisuus ottaa päästöt ja kestävä kehitys näkökulmat huomioon hankintoja tehdessä. Tarkkoja määritelmiä työkoneiden päästöjen suhteen ei vielä ainakaan ole vaan mahdollisten urakoitsijoiden kanssa käydään markkinavuoropuhelua, jonka pohjalta tehdään tarkemmat realistiset vaatimukset hankkeen koneiden ja niiden päästötasojen suhteen. (Amberla, A 2022)

Raskaan liikenteen puolella liikennöitsijällä saattaa olla suuri määrä samanlaisia linja-autoja, jolloin jälkiasennettavia järjestelmiä saattaa olla valmiina tarjolla. Mikäli valmiita ei ole, voidaan tällaisia järjestelmiä tuottaa sarjana. Lisäksi testaus

pystytään järjestämään myös sarjalle busseja, eikä jokaista autoa tarvitse erikseen testauttaa. Esimerkiksi Helsingin seudun liikenteellä on käytössään 21 kappaletta Volvo 7000 Euro 2 -luokan linja-autoa. Tällaiselle määrälle autoja järjestelmien yksittäishinta sekä testauksesta syntyvä hinta saadaan järkeväksi. Euro 2 -luokan ajoneuvoon SCR-järjestelmän asentaminen tuo merkittäviä päästöjen alentumisia ja päästöt saadaan käytännössä uudempien autojen tasolle ilman kaluston uusintaa. Tällöin taloudelliset sekä ympäristölliset edellytykset ovat olemassa ja muutos on järkevää suorittaa. (Vasara, T 2021).

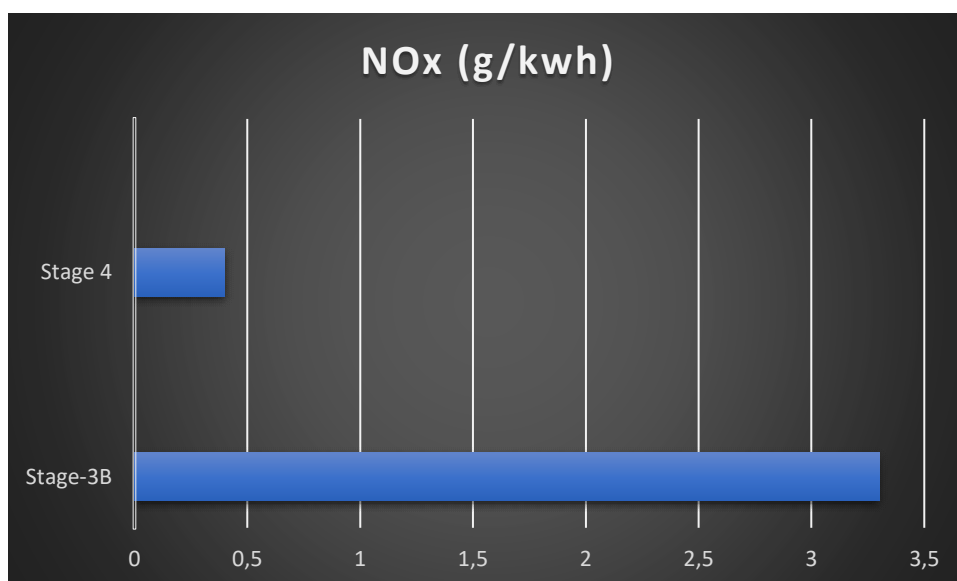
Tällaisia sarjoja samanlaisia työkoneita ei Suomessa juurikaan ole. Lisäksi koneiden testaus nykyisillä menetelmillä on vaikea järjestää. Testaukset ovat lähes poikkeuksetta alustadynamometrillä tehtäviä testejä. Työkoneita testattaessa yksinkertaisinta olisi hyödyntää PEMS-testausta koneen normaalissa ympäristössä ja käytössä. Silloin testaus voitaisiin viedä koneen luokse. Nykyään testaus on mahdollista saada läpinäkyväksi ja luotettavaksi myös tällä tavoin. Amberla kertoo, että käytönaikaisten päästöjen mittaaminen on mahdollista ja Proventialla on tälläkin hetkellä kyky tehdä tällaista testaamista. Tämä voisi mahdollistaa muutosten lopputuloksen arvioimisen myös yksittäistapauksissa kustannustehokkaasti. (Amberla, A 2022.)

6 POHDINTA

Yksittäisen koneen alkuperäistä stage-luokitusta ei tässä tutkimuksessa todettu olevan mahdollista muuttaa. Päästöjen alentaminen vaaditulle tasolle on mahdollista saavuttaa, mutta tarvittavia hyväksyntöjä ei voida etenkin yksittäisille koneille tällä hetkellä saada.

Pakokaasujen jälkikäsittely on toimiva tapa vähentää haitallisia päästöjä merkittävästi. Raskaanliikenteen puolella jälkiasenteiset järjestelmät ovat yleinen tapa laskea olemassa olevan kaluston päästöjä. Työkoneisiin päästöjenhallintajärjestelmien asentaminen jälkikäteen ei ole kuitenkaan vielä yleistä ainakaan kaikilta osin. Hiukkasuodatin löytyy jo useasta koneesta maailmalla myös jälkiasenteisena, mutta SCR-järjestelmiä ei työkoneisiin juurikaan asenneta. Merkittävää ympäristön ja terveyden kannalta olisi hiukkaspäästöjen lisäksi hillitä typenoksidipäästöjä. Ympäristön kannalta edullista olisi asentaa myös työkoneisiin SCR-järjestelmiä raskaan liikenteen puolella tehdään.

Stage-3B ikäisiä koneita on olemassa edelleen paljon esimerkiksi teiden kunnossapitoon liittyvissä toimissa. Tästä seuraavien vaiheiden koneet ovat huomattavasti puhtaampia erityisesti typenoksidi päästöjen osalta. Typenoksidi päästöjen raja-arvojen ero on vielä esitetty kuviossa 2, stage-3B päästöt ovat yli kahdeksankertaiset verrattuna seuraavan stage-4 luokan koneen tuottamiin typenoksidi päästöihin. (Väylävirasto 2021.)



KUVIO 2. NO_x päästöjen erot (Dieselnet 2021.)

Suomen työkonekanta on hyvin moninainen. Yksittäisten koneiden laajan kirjon vuoksi olisi haasteellista saada laitteiden suunnittelu, valmistaminen ja testaus taloudellisesti kannattavaksi nykyisten virallisten säädösten mukaan. Jälkiasennettavien laitteiden hyväksyminen tapahtuu ECE R132 -säännösten mukaisesti. Prosessi on kallis ja aikaa vievä, eikä siten sovellu yksittäisiin päästöluokan muutoksiin. Jotta säännösten mukainen laitteisto voidaan valmistaa ja asentaa, täytyisi koneita olla paljon.

Päästöjä alentavien järjestelmien asentaminen olisi perusteltua. Tällä hetkellä suurempia koneita ei ole vielä nykyisellä teknologialla sähköisinä näköpiirissä. Kevyempi liikenne vaikuttaa sähköistyvän vauhdilla. Täyssähköisten henkilöautojen määrä liikenteessä vuodesta 2015 oli kasvanut 37 kertaiseksi jo vuonna 2021. (Autoalan tilastokeskus 2022.)

Raskaan liikenteen tai etenkin työkonepuolen kehitys ei kuitenkaan ole yhtä nopeaa ja dieselmoottori on edelleen pääasiallinen voimanlähde. Työkonekannan uusiutuminen on hitaampaa pidemmän käyttöiän ja joissain tapauksissa vähäisemmän käyttöasteen vuoksi. Tämän takia tilanne voimalähteiden suhteen tulee säilymään samanlaisena todennäköisesti vielä tulevaisuudessakin. Jälkiasenteisille järjestelmille voisi olla siis tarvetta tulevaisuudessa yhä enemmän.

Muutosten mahdollistamiseksi tarvittaisiin yhtenäistä linjaa ja ohjeistusta asiaan liittyen. Urakoitsijan ei ole järkevää ostaa tai asentaa laitteistoa, jollaista tilaaja ei hyväksy työmaalleen. Mallia voitaisiin ottaa esimerkiksi Lontoon puhtaanilman-alueita varten kehitetystä säännöstöstä, joita on käsitelty työssä aiemmin. Lontoon puhtaanilman-alueita varten tehtäviä muutoksia myös tuetaan taloudellisesti englantilaisen Energy Saving Trust -järjestö toimesta. Vaikka puhtaanilman-alueiden CVRAS on edelleen melko raskas sekä kallis prosessi, antaa se selkeät vaatimukset asennettaville järjestelmille ja koneiden päästöille. Tästä olisi varmasti tehtävissä versio puhtaasti työkoneita varten, joka selkeyttäisi prosessia ja lisäisi

kiinnostusta koneiden päästötasojen alentamiseen jälkiasenteisilla järjestelmillä. Vastaava tietokanta, jollainen Englannissa on käytössä puhtaan ilman alueisiin liittyen koneista, olisi hyvä saada tulevaisuudessa myös Suomeen. Tämä helpottaisi hankkijoita valtavasti, sillä kaikkia koneita ei tarvitsisi käsitellä yksittäin. Se antaisi myös reaaliaikaisen kuvan käytettävissä olevasta konekannasta.

Yksittäisiin koneisiin laitteiden asentaminen tulisi saattaa mahdolliseksi. Se voisi onnistua panostamalla PEMS-testauksen kehittämiseen ja yleistämiseen. Käytönaikaisia päästöjä tutkimalla voitaisiin yksittäisiin koneisiin mahdollisesti asentaa ja valmistaa laitteistoja pienemmällä kynnyksellä. Toki laajat vaatimukset ja säännöt tarjoavat tuotteille korkean laadun sekä luotettavuuden, eikä täysin ilman säännöstelyä laitteistoja voida alkaa asentamaan. Päästöjen alentaminen on kuitenkin relevantti aihe ja sen saavuttamiseksi tutkitaan uusia mahdollisuuksia. Työkoneen elinkaaripäästöt huomioon ottaen jälkiasenteisten järjestelmien laajemman käytön mahdollisuuksien tutkiminen voisi hyvinkin tulla kyseeseen tulevaisuudessa.

LÄHTEET

6aika 2021, Päästöttömät työmaat green deal – työmaakonsepti. Luettu 12.4.2022. <https://6aika.fi/paastottomat-tyomaat-green-deal-tyomaakonsepti/>

Autoalantilastokeskus, https://www.aut.fi/tilastot/autokannan_kehitys/sahkoautojen_maaran_kehitys

Bisaf 2012, Johnson Matthey Retrofit Diesel Particulate Filters (DPFs) For Construction Machinery. Luettu 23.4.2022. <https://bisaf.co.uk/johnson-matthey-range/>

Dieselnet 2020, Exhaust Gas Recirculation, Luettu 4.4.2022. https://dieselnet.com/tech/engine_egr_sys.php

Dieselnet 2021, Engine Emission Control, Luettu 4.4.2022. https://dieselnet.com/tech/engine_emission-control.php

Dieselnet, Emission standards, 2021, Luettu 21.3.2022, <https://dieselnet.com/standards/eu/nonroad.php>

Eastwood, S. 2008. Particulate emissions from vehicles. West Sussex: John Wiley & sons ltd,

Energy saving trust, 2017. NRMM retrofit and emission reduction system certification. Luettu 2.3.2022. <https://clec.uk/sites/default/files/Retrofit%20technology%20and%20certification.pdf>

Eur-lex 2018, Yhdistyneiden kansakuntien Euroopan talouskomission (UNECE) sääntö nro 132 – Yhdenmukaiset vaatimukset, jotka koskevat puristusytymöottorilla varustettuihin raskaisiin hyötyajoneuvoihin, maatalous- ja metsätraktoreihin ja liikkuviin työkoneisiin jälkiasennettävien päästöjenrajoituslaitteiden hyväksyntää 2018/630. Luettu 1.5.2022. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/PDF/?uri=CELEX:42018X0630&from=EN>

Euroopan komissio 2021, Euroopan vihreän kehityksen ohjelma. Luettu 7.4.2022. https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal_fi

Fleisch, T., McCarthy, C., Basu, A., Udovich C., Charbonneau, P., Warren, A., Mikkelsen, S & McCandless, J. 1995. A New Clean Diesel Technology: Demonstration of ULEV Emissions on a Navistar Diesel Engine Fueled with Dimethyl Ether, SAE international. Luettu 3.4.2022. <https://www-jstor-org.lib-proxy.tuni.fi/stable/44615063?seq=5>

Ginström, A & Syväoja S. 2020. Ensimmäinen julkisen sektorin green deal -sopimus tuo tiukat ehdot työkoneille, Infra ry, Luettu 16.4.2022. <https://www.rakenusteollisuus.fi/INFRA/Ajankohtaista/tiedotteet2-kansio/2020/ensimmainen-julkisen-sektorin-green-deal--sopimus-tuo-tiukat-ehdot-tyokoneille/>

Günther, H. 2018, Pakokaasujen jälkikäsittely dieselmootoreissa, krafthand medien GmbH, Bad Wörishofen

Hayes, D. 2021. The Clean Vehicle Retrofit Technology Guide, Zemo partnership. Luettu 16.4.2022. [Clean Vehicle Retrofit Accreditation Scheme \(CVRAS\) - The Freight Portal](#)

<https://www.neste.com/fi/mita-eroa-uusiutuvalle-dieselilla-ja-perinteisella-bio-dieselilla-vai-onko-mitaan>)

Majewski, A. & Khair, M. 2006. Diesel emissions and their control. Warrendale: SAE international

Mayor of London 2020, Non-Road Mobile Machinery (NRMM). Luettu 11.3.2022. <https://www.london.gov.uk/what-we-do/environment/pollution-and-air-quality/nrmm>

Millbrook n.d. Real Driving Emissions and PEMS Testing. Luettu 12.4.2022. <https://www.millbrook.co.uk/services/propulsion-systems-testing/vehicle-emissions-testing/pems-testing-and-real-driving-emissions/>

Motiva, Työkoneet, 2021, Luettu 10.3.2022, https://www.motiva.fi/julkinen_sektori/kestavat_julkiset_hankinnat/tietopankki/tyokoneet

NETT Technologies n.d. What Is a Diesel Oxidation Catalyst? Luettu 1.2.2022. <https://www.nettinc.com/information/emissions-faq/what-is-a-diesel-oxidation-catalyst>

Pennstate extension 2006. Using Biodiesel Fuel in Your Engine. Luettu 20.4.2022. <https://extension.psu.edu/using-biodiesel-fuel-in-your-engine>

Päästöttömät työmaat green deal– työmaakonsepti. 2021, 6 aika. Luettu 10.4.2022, <https://6aika.fi/paastottomat-tyomaat-green-deal-tyomaakonsepti/>

Researchgate 2011, Catalytic Technologies for Diesel Engines Exhausts Gas Cleaning, Luettu 9.4.2022. https://www.researchgate.net/figure/Diesel-Particulate-Filter-DPF-technology-channels-are-sealed-at-the-inlet-in-a_fig2_269632291

Sitomus2050 n.d, Työkonealan green deal -sopimus. Luettu 2.4.2022. <https://sitomus2050.fi/tyokone#/>

Sstsensing n.d, SCR (Selective Catalytic Reduction) Emissions System, what sensor do I need? Luettu 9.4.2022. <https://sstsensing.com/scr-emissions-system/>

UTI 2019, Everything You Need to Know About Diesel Particulate Filters, Luettu 1.4.2022. <https://www.uti.edu/blog/diesel/diesel-particulate-filters>

Vasara, T. 2021. Stadin kalusto. Luettu 20.4.2022. <https://www.stadinkalusto.fi/>

Volvopenta 2022. Stage IV Emission Technology. Luettu 12.3.2022. <https://www.volvopenta.com/industrial/benefits/emission-technology/stage-iv/>

Väylävirasto 2021, Kunnossapitourakoiden kaluston ympäristökriteerien kehittäminen. Luettu 7.3.2022. https://julkaisut.vayla.fi/pdf12/vj_2021-06_kunnossapitourakoiden_kaluston_web.pdf

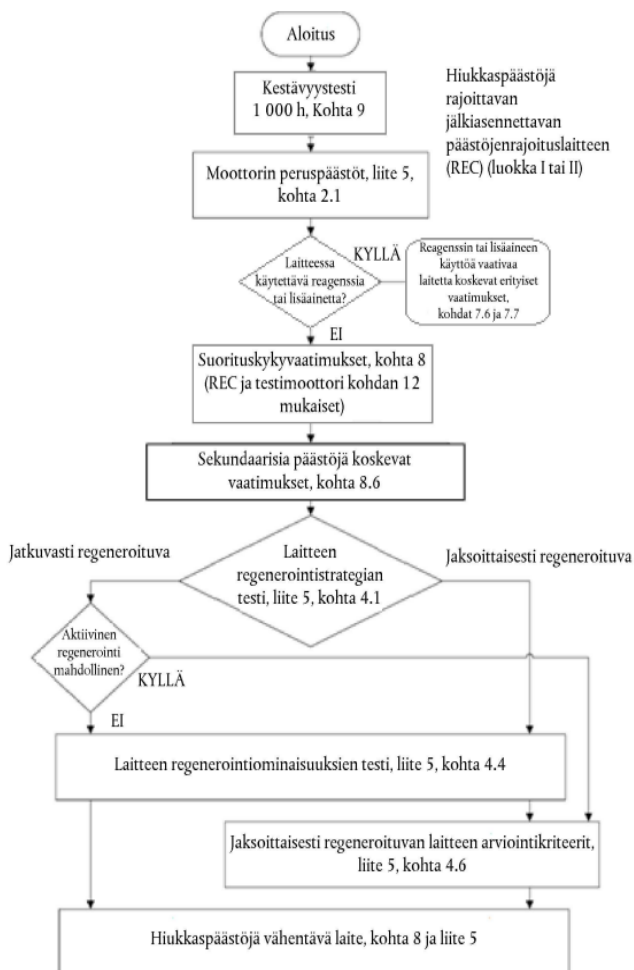
Wiesmayer, P. 2020. Dimethyl ether instead of diesel – how trucks can become cleaner. Innovation origins. Luettu 11.4.2022. <https://innovationorigins.com/en/dimethyl-ether-instead-of-diesel-how-trucks-can-become-cleaner/>

Zhang, Y., Lou, L., Tan, T., Hu, Z & Fang, Z., 2021, Effect of SCR downsizing and ammonia slip catalyst coating on the emissions from a heavy-duty diesel engine, Science direct, Luettu 10.4.2022. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352484721014475?via%3Dihub>)

Liite 1. Testisekvenssi hiukaspäästöjä alentavalle laitteelle

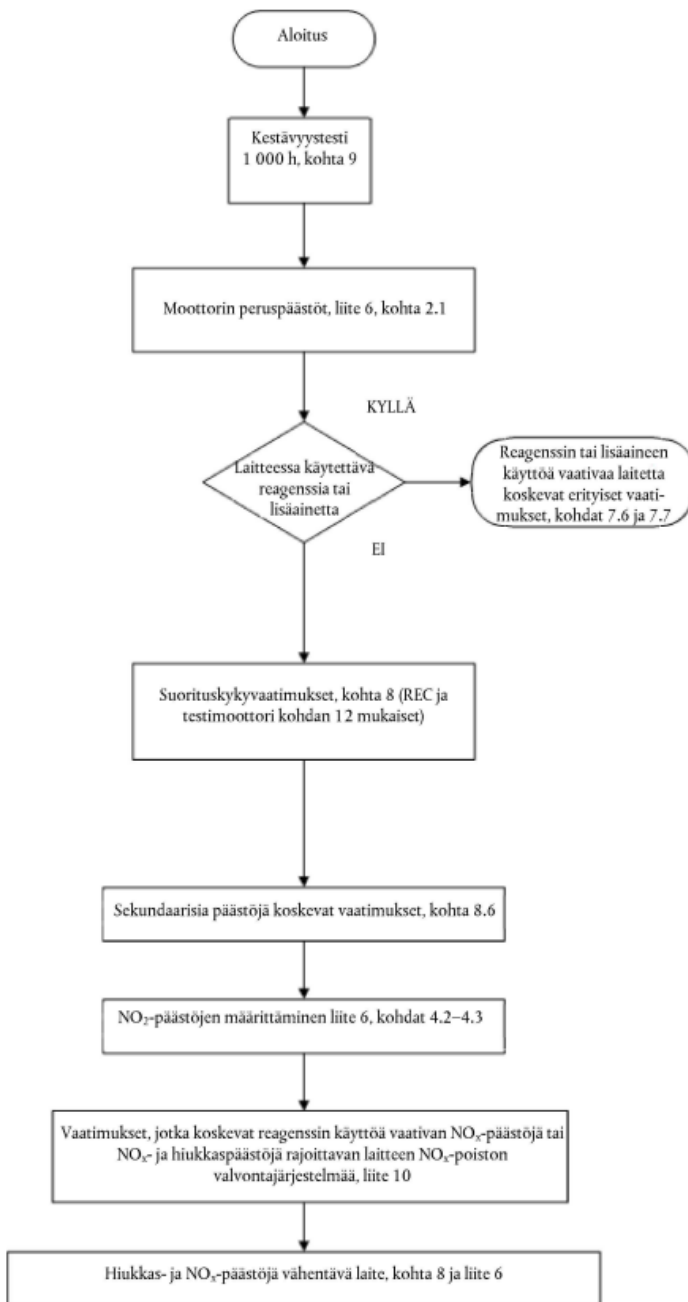
TESTISEKVENSSIT

1. HIUKKASPÄÄSTÖJÄ VÄHENTÄVÄÄN JÄLKIASENNETTAVAAN PÄÄSTÖJENRAJOITUSLAITTEeseen SOVELLETTAVA TESTISEKVENSSI



Liite 2. Testisekvenssi typenoksidi päästöjä alentavalle laitteelle

2. NO_x-PÄÄSTÖJÄ VÄHENTÄVÄÄN JÄLKIASENNETTAVAN PÄÄSTÖENRAJOITUSLAITTEeseen SOVELLETTAVA TESTISEKVENSSI



Liite 3. Hiukkas- ja typenoksidipäästöjä vähentävän laitteen testisekvenssi

3. HIUKKAS- JA NO₂-PÄÄSTÖJÄ VÄHENTÄVÄÄN JÄLKIASENNETTAVAAAN PÄÄSTÖJENRAJOITUSLAITTEESEEN SOVELLETTAVA TESTISEKVENSsi

