

Heikki Rivinen

**Pakokaasujen jälkikäsittelyjärjestelmät dieselmootoreis-  
sa**

Opinnäytetyö

Kevät 2014

Tekniikan yksikkö

Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma



SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU

## Opinnäytetyön tiivistelmä

Koulutusyksikkö: Tekniikka

Koulutusohjelma: Kone- ja tuotantotekniikka

Suuntautumisvaihtoehto: Auto- ja työkonetekniikka

Tekijä: Heikki Rivinen

Työn nimi: Pakokaasujen jälkikäsitteilyjärjestelmät dieselmootoreissa

Ohjaaja: Hannu Ylinen

Vuosi: 2014

Sivumäärä: 37

Liitteiden lukumäärä: 0

---

Työssä tutkittiin dieselmootoreiden pakokaasupäästöjä sekä niiden jälkikäsitteilyjärjestelmiä. Päästönormit kiristyvät entisestään, joten aihe on hyvinkin ajankohtainen. Työ toteutettiin perehtymällä materiaaleihin niin päästönormeista kuin pakokaasujen jälkikäsitteilyjärjestelmistä.

Ensimmäisenä työssä esitellään dieselmootoreiden aiheuttamat päästöt. Sen jälkeen esitellään liikkuvan ajoneuvokaluston EURO-päästörajoitukset. Lisäksi käsitellään työkoneiden eurooppalaiset STAGE-päästörajoitukset sekä niitä vastaavat amerikkalaiset Tier-päästörajoitukset. Tämän jälkeen käydään läpi kolme käytössä olevaa pakokaasun jälkikäsitteilyjärjestelmää: DOC eli hapetuskatalysointilaite, DPF eli hiukkassuodatin sekä SCR eli pakokaasujen puhdistusta pelkistysaineen avulla.

Työn tuloksena syntyi suunnitelma pakokaasujen jälkikäsitteilyjärjestelmistä Seinäjoen ammattikorkeakoulun Auto- ja työkonetekniikan laboratoriossa olevaan AGCO Powerin testimoottoriin sekä Avantin pienkuormaajaan.

Avainsanat: Päästörajoitukset, DPF, DOC, SCR, työkone, kuorma-auto.

SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

## **Thesis abstract**

Faculty: School of Technology

Degree programme: Mechanical and Production Engineering

Specialisation: Automotive and Work Machine Engineering

Author: Heikki Rivinen

Title of thesis: Diesel engine gas treatment systems

Supervisor: Hannu Ylinen

Year: 2014

Number of pages: 37

Number of appendices: 0

---

The thesis investigated the diesel engine exhaust emissions and their after-treatment systems. The emission limits are tightening all the time so the topic was relevant. The thesis was carried out by studying the materials about the emission limits and diesel engine after-treatment systems.

At first the thesis presents those exhaust emission that diesel engine produces. Then the thesis presents the on-road Euro emission limits and non-road emission limits, the Stage emission standards according to the Europe and American Tier emission standards. After that the thesis covers three after-treatment systems. DOC is diesel oxidation catalyst, DPF is a diesel particular filter and SCR is a selective catalytic reaction.

The result of the thesis is planning the after-treatment systems the automotive and work machine laboratory of School of Technology of Seinäjoki University of Applied Sciences. There is the AGCO Power test engine and Avant compact loader which need the exhaust emission update.

Keywords: Emission limits, DPF, DOC, SCR, work machine, truck.

## SISÄLTÖ

Opinnäytetyön tiivistelmä.....	2
Thesis abstract.....	3
SISÄLTÖ.....	4
Kuvio- ja taulukkoluetelo.....	6
Käytetyt termit ja lyhenteet .....	7
1 JOHDANTO .....	8
2 HAITALLISET PÄÄSTÖT .....	9
2.1 Hiilimonoksidi (CO) .....	10
2.2 Hiilivedyt (HC) .....	10
2.3 Typpioksidit (NO <sub>x</sub> ).....	10
2.4 Oksidantit.....	10
2.5 Partikkelit (PM).....	11
2.6 Rikkidioksidit (SO <sub>2</sub> ).....	11
3 EURO-PÄÄSTÖRAJOITUKSET RASKAASSA KALUSTOSSA.....	12
3.1 Päästömääräysten tiukentuminen .....	12
3.2 Käytönaikainen päästöjen mittaaminen.....	13
4 TYÖKONEIDEN PÄÄSTÖRAJOITUKSET .....	15
4.1 Stage-normit .....	15
4.2 Tier-normit.....	17
5 HAPETUSKATALYSAATTORI (DOC) .....	19
6 HIUKKASSUODATIN (DPF) .....	21
6.1 Rakenne.....	21
6.2 Toiminta .....	21
6.3 Puhdistus .....	22
6.4 Ongelmat .....	23
7 SCR-JÄRJESTELMÄ .....	24
7.1 Rakenne ja toiminta .....	24
7.2 Pelkistysaine AdBlue.....	25
8 AGCO POWER -MOOTTORIN PÄÄSTÖJEN PIENENTÄMINEN .	27

8.1 Päästönormipäivitys .....	27
8.2 Moottorista riippumaton järjestelmä .....	27
8.3 Proventia NOxBUSTER .....	28
8.4 Kennojen mitoitus.....	29
8.5 Laitteiston asennus .....	29
8.6 Laitteiston hinta.....	30
<b>9 AVANT-PIENKUORMAAJAN DPF-JÄRJESTELMÄ.....</b>	<b>31</b>
9.1 EHC-pakokaasusuodattimet .....	31
9.2 EHC HT -suodattimet .....	31
9.2.1 Suodattimen toimitussisältö .....	32
9.2.2 Laitteiston tekniset tiedot.....	32
9.3 EHC PF .....	33
<b>10 YHTEENVETO.....</b>	<b>35</b>
<b>LÄHTEET .....</b>	<b>36</b>

## Kuvio- ja taulukkoluetelo

Kuvio 1. Haitalliset päästöt.....	9
Kuvio 2. Raskaan kaluston dieselmoottojen päästöjen alentaminen. ....	13
Kuvio 3. Hapetuskatalysaattori.....	20
Kuvio 4. Kennomainen rakenne.....	21
Kuvio 5. Suodatinkanavat. ....	22
Kuvio 6. SCR-järjestelmä.....	25
Kuvio 7. NOxBUSTER-laitteisto.....	30
Kuvio 8. YTM HC -suodatin Toyotan haarukkatrukissa.....	32
Kuvio 9. EHC PF asennettuna JCB:n kuormaajaan.....	34
Taulukko 1. Euro-päästörajoitukset raskaassa kalustossa. ....	12
Taulukko 2. Stage-päästörajat. ....	16
Taulukko 3. Tier 4 -päästörajat. ....	17
Taulukko 4. Tier 1–3 -päästörajat. ....	18

## Käytetyt termit ja lyhenteet

<b>DOC</b>	Diesel Oxidation Catalyst eli hapetuskatalysaattori
<b>DPF</b>	Diesel Particular Filter eli hiukkassuodatin
<b>SCR</b>	Selective Catalytic Reduction eli pakokaasujen puhdistus lisäaineella
<b>AdBlue</b>	32,5-prosenttinen urea-vesiliuos
<b>CO</b>	Hiilimonoksidi
<b>HC</b>	Hiilivety
<b>SO<sub>2</sub></b>	Rikkidioksidi
<b>NO<sub>x</sub></b>	Typpioksidi
<b>PM</b>	Partikkelipäästöt

# 1 JOHDANTO

Kiristyvät päästörajoitukset asettavat moottorinvalmistajille uusia haasteita. Käyttäjät vaativat moottoreilta entistä parempaa suorituskykyä, ja samalla kiristyvät päästörajoitukset asettavat valmistajat tilanteeseen, jossa moottorin suorituskyky täytyy säilyttää ja pakokaasupäästöjen pitää pienentyä. Tämän vuoksi pakokaasujen jälkikäsittelyjärjestelmiä kehitetään jatkuvasti eteenpäin.

Työssä esitellään dieselmootoreiden aiheuttamat päästöt sekä maantieliikenteen ajoneuvokaluston EURO-päästörajoitukset sekä työkoneiden STAGE- ja TIER-päästörajoitukset. Lisäksi käydään lävitse kolme pakokaasujen jälkikäsittelyjärjestelmää: DOC, DPF sekä SCR. DOC on hapetuskatalysaattori, DPF on hiukkas-suodatin ja SCR on pakokaasujen puhdistamista AdBlue-lisäaineen avulla.

Työssä myös perehdytään Seinäjoen ammattikorkeakoulun auto- ja työkonetekniikan laboratoriossa oleviin laitteistoihin ja niiden pakokaasupäästöihin. Testimootorina olevaan AcgoPowerin dieselmootoriin suunnitellaan päästörajoituspäivitys nykyiselle tasolle.

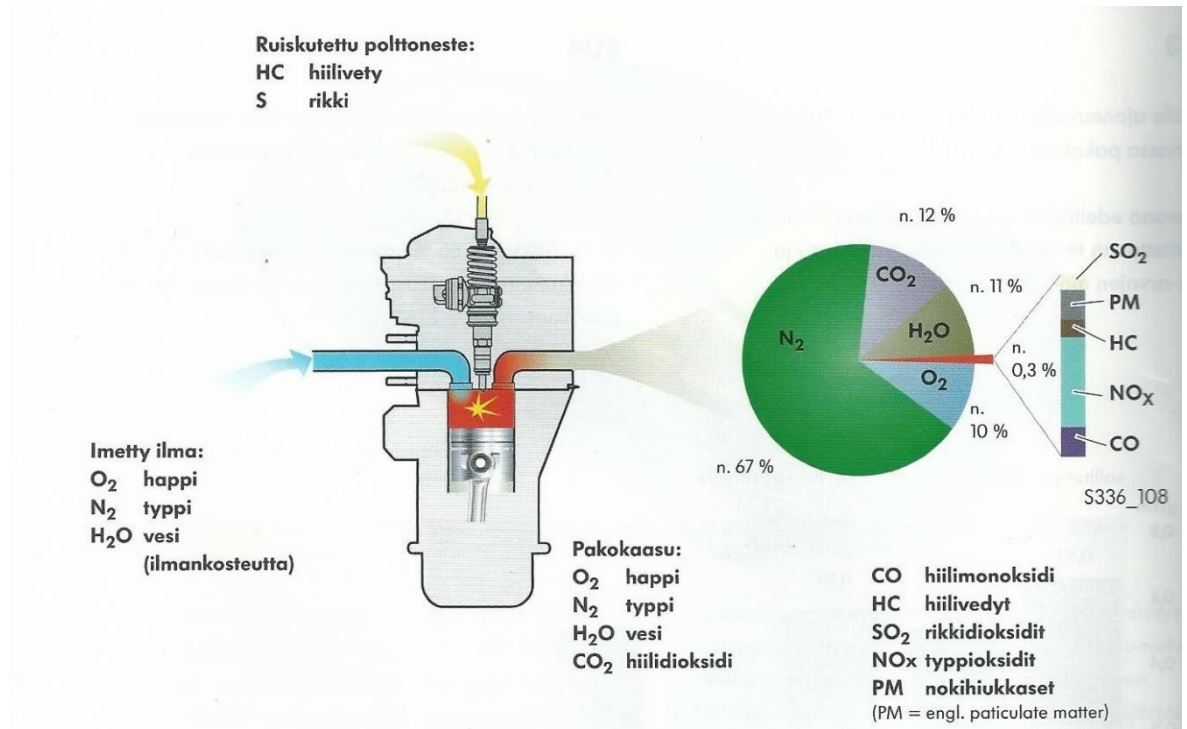
Viimeisenä tutustutaan Avant 520 -pienkuormaajaan ja pohditaan siihen mahdollista pakokaasujen jälkikäsittelyjärjestelmää.

Opinnäytetyön toimeksiantajana toimii Seinäjoen ammattikorkeakoulun auto- ja työkonetekniikan laboratorio.



## 2 HAITALLISET PÄÄSTÖT

Dieselmoottorin polttoprosessi aiheuttaa haitta-aineiden syntymistä, erityisesti nokihiukkapäätöjä. Se riippuu useista rakenteellisista, polttonesteen ja ilmakehän tekijöistä. (Volkswagen 336 2005.)



Kuvio 1. Haitalliset päästöt.  
 (Volkswagen 336 2005.)

Hiukkaset on yleisnimi kaikille pienille osille, niin kiinteille kuin nestemäisillekin osille, jotka muodostuvat hankauksesta, pirstoutumisesta, eroosion vaikutuksesta, kondensaatiosta sekä epätäydellisestä palamisesta. Hiukkasista tulee ilmalle haitallisia aineita, sillä ne pystyvät pienen kokonsa vuoksi leijumaan kaasuissa ja näin vaurioittamaan elimistöä. (Volkswagen 336 2005.)

Dieselmoottorin pakokaasu sisältää eri tavoin luokiteltuja ainesosia. Ei-haitallisiksi luokitellaan jo ilmakehässä olevat happi, typpi ja vesi. Hiilidioksidikin on luonnollisena aineena ilmakehässä, mutta dieselmoottorin päästöissä se on raja-alueella. Kuvio 1. havainnollistaa dieselmoottorin pakokaasupäästöt. (Volkswagen 336 2005.)

## 2.1 Hiilimonoksidi (CO)

Hiilimonoksidi on kaasu, joka on väritön, hajuton sekä mauton. Ihmiselle hiilimonoksidi on haitallinen aine, sillä se heikentää veren hapenottokykyä ja näin aiheuttaa elimistölle myrkytystilan. Liiallinen määrä hiilimonoksidia hengitysilmassa voi aiheuttaa nopeankin kuoleman. (Autoteknillinen taskukirja 2003.)

## 2.2 Hiilivedyt (HC)

Pakokaasut pitävät sisällään useita eri hiilivetyjä. Niiden koostumus vaihtelee, osa ovat lähes hajuttomia kun taas osalla on ominaisuutena selvästi tuntuva haju. Ihmisen terveyden kannalta hiilivedytkin aiheuttavat terveydelle haittaa, sillä niiden on todettu osittain aiheuttavan syöpää. (Autoteknillinen taskukirja 2003.)

## 2.3 Typpioksidit (NO<sub>x</sub>)

Typpimonoksidi (NO) on väritön, hajuton sekä mauton kaasu. Hapen läsnä ollessa typpimonoksidi muuttuu hiljalleen typpioksidiksi, joka on väriltään punaruskeaa, hajultaan pistävä sekä myrkyllinen kaasu. Suurina määrinä hengitysilmassa se voi aiheuttaa ihmiselle limakalvoärsytystä. Ympäristön kannalta typpioksidit ovat myös haitallisia, sillä typpioksidit ovat osasyynä happosateisiin sekä aikaansaavat yhdessä hiilivetyjen kanssa savusumua. (Autoteknillinen taskukirja 2003.)

## 2.4 Oksidantit

Auringonvalon vaikutuksesta pakokaasujen mukana tulevista hiilivedyistä ja typpenoksideista muodostuu oksidantteja:

- orgaanisia peroksiideja
- otsonia
- peroksisyylintraatteja.

Otsoni on ihmiselle elintärkeää normaaleina määrinä, mutta liian suurina määrinä se voi aiheuttaa kurkun ja nielun ärtymistä sekä silmien kirvelyä. (Autoteknillinen taskukirja 2003.)

## **2.5 Partikkelit (PM)**

Partikkelit eli hiukkaset ovat yleisnimitys kaikille pienille osille, kiinteille tai neste-mäisille. Hiukkasista tulee elimistölle vaarallista ainetta, mikäli ne ovat niin pieniä, että kykenevät leijumaan kaasuisissa. Epätäydellisen palamisen yhteydessä dieselmoottoreiden pakokaasuihin muodostuu nokihiukkasia. Hiukkasten muodostuminen on siis riippuvainen dieselmoottorin palotapahtumaan vaikuttavista tekijöistä, kuten ilmantulosta, ruiskutuksesta ja liekin leviämisestä. Palamislaatu on riippuvainen ilman ja polttonesteen seoksesta. (Volkswagen 336 2005.)

## **2.6 Rikkidioksidit (SO<sub>2</sub>)**

Rikkidioksidia muodostuu rikkiä sisältävän polttonesteen palamisesta. Nykyisin rikin osuus polttoaineissa on kuitenkin koko ajan alhaisempi. Kaasuna rikkioksidi on väritön, mutta haju on pistävä. (Volkswagen 336 2005.)

### 3 EURO-PÄÄSTÖRAJOITUKSET RASKAASSA KALUSTOSSA

Euroopan Unionin säätämät päästömääräykset merkitään yleisesti Euro-numerotunnuksilla, esimerkiksi Euro 4 tai Euro 5. Vaihtoehtoisesti niitä merkitään roomalaisin numeroin, esimerkiksi Euro IV tai Euro V. Dieselmoottorin pakokaasuista mitataan häkä- (CO), hiilivety- (HC), typenoksidi- (NOx) sekä hiukkas- (PM) määriä. Näille päästöille on Euro-normeilla määrätty raja-arvot. Vuonna 2014 siirryttiin uuteen, Euro 6 -päästönormiin. Euro 6 -normia tulee noudattaa kaikissa uusissa raskaissa kuorma-autoissa 1.1.2014 alkaen. Taulukossa 1. on esitelty päästönormit.

Taulukko 1. Euro-päästörajoitukset raskaassa kalustossa.  
(DieselNet 2013.)

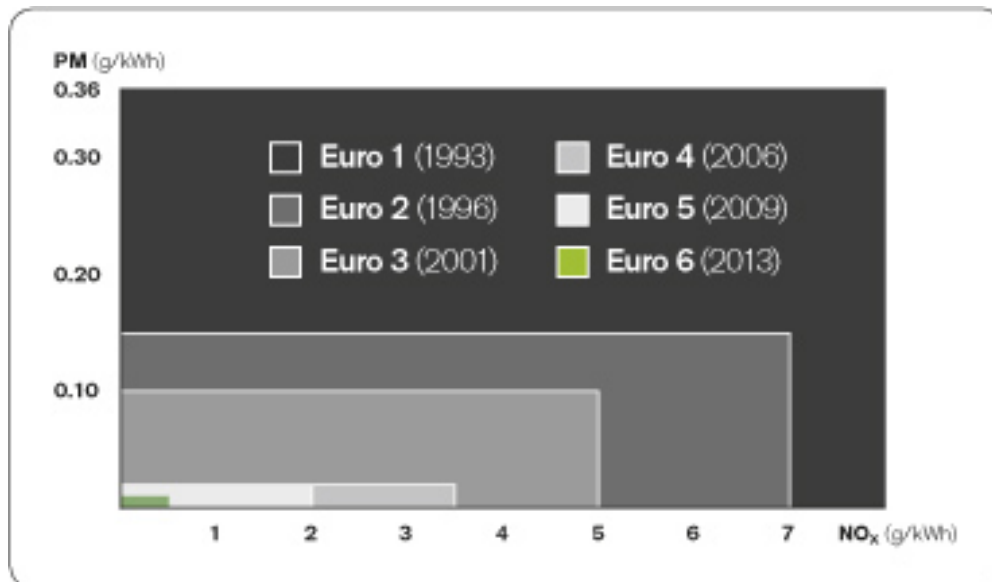
	CO (g/kWh)	HC (g/kWh)	NOx (g/kWh)	Partikkelit (g/kWh)
Euro 1	4,5	1,1	8,0	0,36
Euro 2	4,0	1,1	7,0	0,15
Euro 3	2,1	0,66	5,0	0,1
Euro 4	1,5	0,46	3,5	0,02
Euro 5	1,5	0,46	2,0	0,02
Euro 6	1,5	0,13	0,4	0,01

#### 3.1 Päästömääräysten tiukentuminen

Päästömääräysten tiukentumisen vuoksi päästöjä onkin saatu vähenemään huomattavasti. Esimerkiksi Euro 3:n ja Euro 4:n päästömääräysten välillä ero on jo huomattava. Typpioksidien (NOx) päästöjä leikataan 5:stä 3,5:een g/kWh. Tämä tarkoittaa typpioksidipäästöjen alenemista 30 prosentilla. Partikkelipäästöjen (PM) leikkaus on 0,1 g/kWh:sta 0,02 g/kWh:iin, jolloin aleneminen on peräti 80 prosenttia. (Motiva 2006.)

Siirtyminen Euro 5:stä Euro 6:een tarkoittaa typpioksidien sekä partikkelipäästöjen leikkaamista edelleen. Kuten taulukosta 1. voidaan havaita, typpioksidipäästöt tip-

puvat 2,0 g/kWh:sta 0,4 g/kWh:aan, jolloin päästöjen alentuminen on 80 prosenttia. Partikkelipäästöt taas tippuvat 0,02 g/kWh:sta 0,01 g/kWh:aan, jolloin päästöjen aleneminen on 50 prosenttia. Alla olevasta kuvasta (Kuvio 2.) voidaan nähdä partikkeli- sekä typenoksidipäästöjen leikkaukset Euro-normeissa. (DieselNet 2013.)



Kuvio 2. Raskaan kaluston dieselmootoreiden päästöjen alentaminen. (Volvo Trucks Finland 2013.)

### 3.2 Käytönaikainen päästöjen mittaaminen

Dieselmootorilla varustetun ajoneuvon käytönaikaiset pakokaasupäästöt tarkastetaan mittaamalla kuormaamattoman moottorin savutus vapaassa kiihdytyksessä. Vapaa kiihdytys suoritetaan painamalla kaasupoljin pohjaan nopeasti ja portaattomasti. Moottorin tulee olla joutokäynnillä ennen kaasupolkimen pohjaan painamista, ja ennen uutta vapaata kiihdytystä tauon tulee olla 10 sekunnin verran. (Trafi 2011.)

Savutusmittauksessa mitataan absorptio- eli k-kertoimien sallitut arvot. Nämä arvot määräytyvät sen mukaan, onko kyseessä ahdettu vai vapaasti hengittävä dieselmoottori. Ahdetun moottori k-kertoimen raja-arvo on  $k \leq 3,0 \text{ m}^{-1}$  ja vapaasti hengittävän moottorin raja-arvo  $k \leq 2,5 \text{ m}^{-1}$ . (Trafi 2011.)

Päästömittauksessa ajoneuvo on hylättävä, mikäli savutusmittauksen 3 peräkkäistä vapaata kiihdytystä antavat keskiarvoltaan liian suuren moottorityypille sallitun raja-arvon. Keskiarvon laskennassa käytettyjen kolmen peräkkäisen mittauksen arvot saavat poiketa keskiarvosta enintään  $0,5 m^{-1}$ . (Trafi 2011.)

## 4 TYÖKONEIDEN PÄÄSTÖRAJOITUKSET

Eurooppalaiset Stage-normit sekä pohjoisamerikkalaiset Tier-normit ovat asettaneet päästörajoituksia myös ei-tieliikennekäyttöisille dieselmootoreilla varustetuille työkoneille. Stage-normit astuivat voimaan vuonna 1999, kun pohjoisamerikkalaiset normit astuivat voimaan jo vuonna 1996. Päästörajat ovat toisiaan vastaavat, mutta säädöksissä on myös merkittäviä eroja. (Ponsse Oyj 2012.)

Päästöluokitukset asettavat rajoituksia typpioksideille (NO<sub>x</sub>), partikkeleille (PM), hiilimonoksideille (CO) sekä hiilivedyille (HC). Vuoden 2006 3. tasot saavutettiin säätämällä moottorin palotapahtumaa sekä polttoaineen syöttöä. Ratkaisut kuitenkin söivät moottorin hyötysuhdetta sekä suorituskykyä. (Ponsse Oyj 2012.)

Vuonna 2011 voimaan astuneet Stage 3b- sekä Tier 4i -tasot kiristivät moottoreiden päästöjä jo huomattavasti. Aiempiin Stage 3- sekä Tier 3 -tasoihin nähden typpioksidipäästöt laskivat 50 prosenttia ja partikkelipäästöt laskivat 90 prosenttia. (Ponsse Oyj 2012.)

### 4.1 Stage-normit

Stage-normit ovat Euroopassa käytössä olevat standardit työkoneiden päästöluokituksille. Ensimmäiset Stage 1 -tason päästöluokitukset otettiin käyttöön vuonna 1999 ja Stage 1 -tason päästöluokista on siirrytty koko ajan kohti tiukempia rajoituksia. Tämänhetkinen päästöluokka on Stage 4. Taulukosta 2. voidaan havaita, kuinka päästörajat ovat tiukentuneet. (DieselNet 2013.)

Taulukko 2. Stage-päästörajat.  
(DieselNet 2013.)

	<b>Teho (kw)</b>	<b>Voimaantulo</b>				
<b>Stage 1</b>			<b>CO</b>	<b>HC</b>	<b>NOx</b>	<b>PM</b>
<b>A</b>	130-560	1999	5,0	1,3	9,2	0,54
<b>B</b>	75-130	1999	5,0	1,3	9,2	0,70
<b>C</b>	37-75	1999	6,50	1,3	9,2	0,85
<b>Stage 2</b>			<b>CO</b>	<b>HC</b>	<b>NOx</b>	<b>PM</b>
<b>E</b>	130-560	2002	3,5	1,0	6,0	0,2
<b>F</b>	75-130	2003	5,0	1,0	6,0	0,3
<b>G</b>	37-75	2004	5,0	1,3	7,0	0,4
<b>D</b>	18-37	2001	5,0	1,5	8,0	0,8
<b>Stage 3A</b>			<b>CO</b>	<b>NOx +HC</b>	<b>PM</b>	
<b>H</b>	130-560	2006	3,5	4,0	0,2	
<b>I</b>	75-130	2007	5,0	4,0	0,3	
<b>J</b>	37-75	2008	5,0	4,7	0,4	
<b>K</b>	19-37	2007	5,0	7,5	0,6	
<b>Stage 3B</b>			<b>CO</b>	<b>HC</b>	<b>NOx</b>	<b>PM</b>
<b>L</b>	130-560	2011	3,5	0,19	2,0	0,025
<b>M</b>	75-130	2012	5,0	0,19	3,3	0,025
<b>N</b>	56-75	2012	5,0	0,19	3,3	0,025
<b>P</b>	37-56	2013	5,0	HC+NOx 4,7		0,025
<b>Stage 4</b>			<b>CO</b>	<b>HC</b>	<b>NOx</b>	<b>PM</b>
<b>Q</b>	130-560	2014	3,5	0,19	0,4	0,025
<b>R</b>	56-130	2014	5,0	0,19	0,4	0,025



## 4.2 Tier-normit

Tier-normit dieselmootoreille ovat pohjoisamerikkalainen vastine Euroopassa ole-ville Stage-normeille. Ensimmäinen Tier-normi, Tier 1, otettiin kuitenkin käyttöön jo aikaisemmin kuin vastaava eurooppalainen. Tier 1 otettiin käyttöön jo vuonna 1994. Nykyinen käytössä oleva taso uusille työkoneille on Tier 4 ja sen voimaantu- lo on riippuvainen moottorin tehoista. Taulukoista 3. ja 4. voidaan nähdä päästöra- jien tiukentuminen Tier-normeissa eritehoisille dieselmootoreille.

Taulukko 3. Tier 4 -päästörajat.  
(DieselNet 2013.)

Teho (kW)	Voimaantulo	CO	HC	NMHC+NO <sub>x</sub>	NO <sub>x</sub>	PM
8 kW	2008	8,0	-	7,5	-	0,4
8 kW - 19 kW	2008	6,6	-	7,5	-	0,4
19 kW - 37 kW	2008	5,5	-	7,5	-	0,3
	2013	5,5	-	4,7	-	0,03
37 kW - 56 kW	2008	5,0	-	4,7	-	0,3
	2013	5,0	-	4,7	-	0,03
56 kW - 130 kW	2012-2014	5,0	0,19	-	0,4	0,02
130 kW - 560 kW	2012-2014	3,5	0,19	-	0,4	0,02

Taulukko 4. Tier 1–3 -päästörajat.  
(Dieselnet 2013.)

Tier	Voimaantulo	CO	HC	NMHC+NOx	NOx	PM
Tier 1	2000	8,0	-	10,5	-	1,0
Tier 2	2005	8,0	-	7,5	-	0,8
Tier 1	2000	6,6	-	9,5	-	0,8
Tier 2	2005	6,6	-	7,5	-	0,8
Tier 1	1999	5,5	-	9,5	-	0,8
Tier 2	2004	5,5	-	7,5	-	0,6
Tier 1	1998	-	-	-	9,2	-
Tier 2	2004	5,0	-	7,5	-	0,4
Tier 3	2008	5,0	-	4,7	-	*
Tier 1	1997	-	-	-	9,2	-
Tier 2	2003	5,0	-	6,6	-	0,3
Tier 3	2007	5,0	-	4,0	-	*
Tier 1	1996	11,4	1,3	-	9,2	0,54
Tier 2	2003	3,5	-	6,6	-	0,2
Tier 3	2006	3,5	-	4,0	-	*
Tier 1	1996	11,4	1,3	-	9,2	0,54
Tier 2	2001	3,5	-	6,4	-	0,2
Tier 3	2006	3,5	-	4,0	-	*
Tier 1	1996	11,4	1,3	-	9,2	0,54
Tier 2	2002	3,5	-	6,4	-	0,2
Tier 3	2006	3,5	-	4,0	-	*
Tier 1	2000	11,4	1,3	-	9,2	0,54
Tier 2	2006	3,5	-	6,4	-	0,2

\* - merkityty täytyy olla Tier 2 tasolla

## 5 HAPETUSKATALYSAATTORI (DOC)

DOC eli Diesel Oxidation Catalyst vähentää tehokkaasti hiilimonoksidin (CO) ja hiilivetyjen (HC) osuutta pakokaasuista. Lisäksi hiukkaskoko pienenee, kun nokihiukkasen pintaan kondensoitunut helposti palava hiilivety hapettuu. (Autoteknillinen taskukirja 2003.)

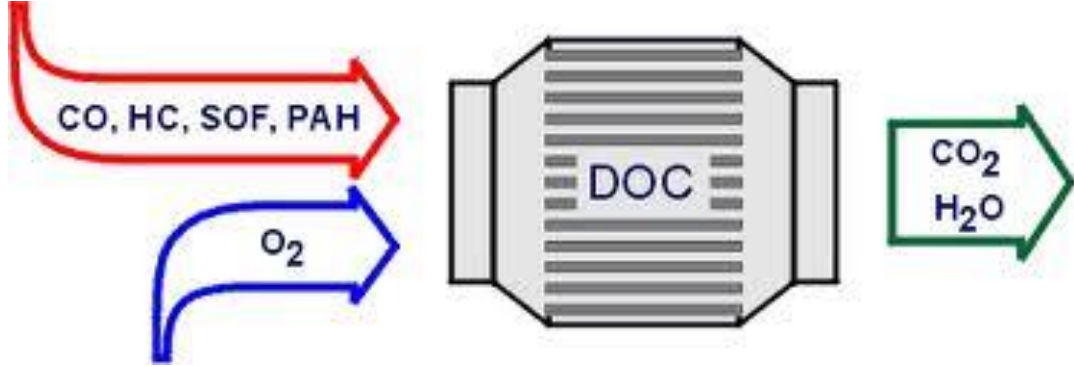
Hiilimonoksidi sekä hiilivety hapettuvat hapetuskatalysaattorissa hiilidioksidiksi sekä vesihöyryksi. Hapettuminen tapahtuu tietyistä rajalämpötilasta alkaen täydellisesti, yleisesti tämä rajalämpötila on 170–200 celsiusasteen välillä. Rajalämpötilaan vaikuttavat niin virtausnopeudet kuin pakokaasujen koostumuksetkin. (Bosch 2010.)

Rakenteeltaan hapetuskatalysaattori vastaa bensiinimoottorin kolmitoimikatalysaattoria. Päästöjen hapetuskatalyytteinä käytetään jalometalleja, kuten platinaa ja palladiumia. Dieselmoottoriin suunniteltu hapetuskatalysaattori alentaa jopa 90 prosenttia hiilimonoksidi- (CO) ja hiilivety- (HC) päästöjä. Näiden lisäksi hapetuskatalysaattori hapettaa hiukkasissa olevia polttoaine- ja voiteluöljyperäisiä hiilivetyjä. Tällöin hiukkasten kokonaismäärä vähenee muutamia kymmeniä prosentteja. (Neste Oil Oyj 2007.)

Tehokkaasti toimiva hapetuskatalysaattori hapettaa myös dieselmoottorista tulevaa rikkidioksidia (SO<sub>2</sub>) sekä rikkiatrioksidia (SO<sub>3</sub>). Nämä edelleen reagoivat vesihöyryn kanssa lisäten hiukkasmassaa. Tästä syystä katalysaattorilla varustettu dieselmoottori voi muodostaa huomattavasti suuremmat hiukkaspäästöt kuin ilman katalysaattoria oleva dieselmoottori silloin, kun moottori käy suurella kuormalla. Rikitön polttoaine kuitenkin estää rikkidioksidi (SO<sub>2</sub>) + rikkiatrioksidi (SO<sub>3</sub>) reaktion syntymisen. Rikittömän polttoaineen sijaan tämä reaktio voidaan estää myös heikompitehoisella katalysaattorilla, mutta tällöin hiilimonoksidin (CO) sekä hiilivedyn (HC) puhdistuskyky heikkenee. Kuviossa 3. on nähtävillä hapetuskatalysaattorin toiminta. (Neste Oil Oyj 2007.)

Katalysaattorin rakenteen tärkeimmät parametrit ovat kanavatiheys, yksittäisten kanavien seinämävahvuus sekä katalysaattorin ulkomitat. Kanavatiheys sekä kanavien seinämävahvuudet vaikuttavat suoraan katalysaattorin kestävyyteen, lisäk-

si myös sen lämpenemisominaisuuksiin sekä pakokaasun vastapaineeseen.  
(Bosch 2010.)



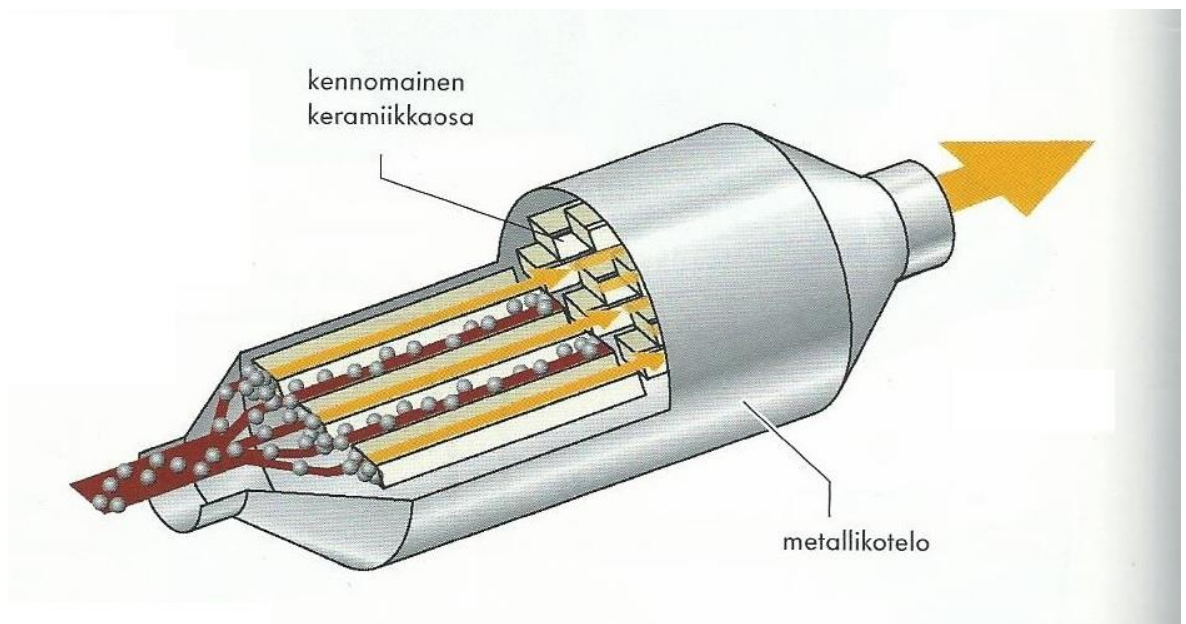
Kuvio 3. Hapetuskatalysaattori.  
(DieselNet 2013.)

## 6 HIUKKASSUODATIN (DPF)

DPF eli Diesel Particular Filter tarkoittaa uudemmissa diesel-autoissa olevaa hiukkassuodatinta. Sen tarkoituksena on kerätä pakokaasuista partikkeleita eli nokea, joka sisältää jämiä moottoriöljystä sekä polttoaineesta ja polttaa noen sisältämät saasteet korkeassa lämpötilassa tuhaksi. Hiukkassuodatin toimii pakokaasujen jälkikäsittelyssä katalyysaattorin lisänä eikä näin ollen korvaa sitä. (Hestec 2009.)

### 6.1 Rakenne

Diesel-hiukkassuodatin muodostuu kennomaisesta, piikarbidista valmistetusta keramiikkaosasta, joka on sijoitettu metallikuoren sisään. Kennomainen keramiikkaosa on jaettu useaan yhdensuuntaiseen kanavaan, joita suljetaan vuorotellen. Tulo- ja poistokanavat on eroteltu suodatinseinämällä. (Volkswagen 336 2005.)

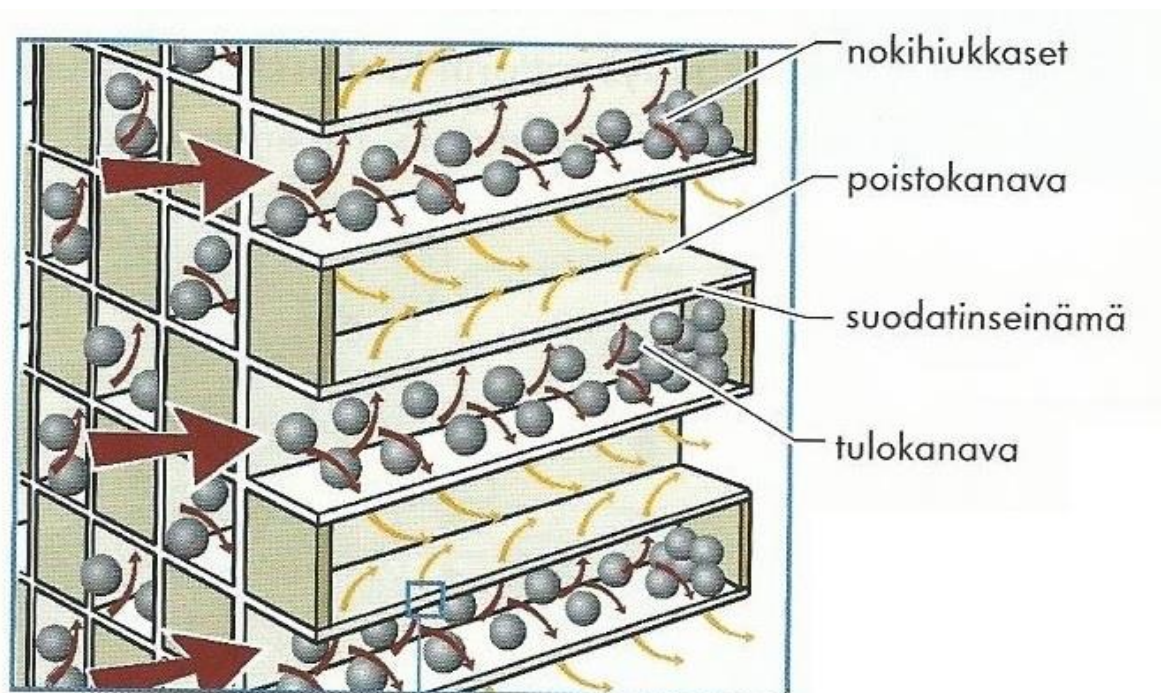


Kuvio 4. Kennomainen rakenne.  
(Volkswagen 336 2005.)

### 6.2 Toiminta

DPF-suodattimen vierekkäisten kanavien vastakkaiset päät ovat tulpattuja, joten pakokaasut joutuvat virtaamaan kanavien huokoisten, piikarbidista valmistettujen

seinämien läpi. Nokihiukkaset jäävät tulokanaviin, toisin kuin kaasumaiset ainesosat. (Volkswagen 336 2005.)



Kuvio 5. Suodatinkanavat.  
(Volkswagen 336 2005.)

### 6.3 Puhdistus

DPF-suodattimen suurin ongelma ei ole hiukkasten suodatus ja pysäyttäminen, vaan suodattimeen kertyvän noen pois polttaminen. Poispolttamista kutsutaan regeneroinniksi. Suodattimen noen määrän kasvaessa moottorin pakokaasujen vastapaine kasvaa. Vastapaineen kasvun myötä moottorin taloudellisuus ja suorituskyky laskee. (Autoteknillinen taskukirja 2003.)

Passiivinen puhdistus tapahtuu itsestään, ilman moottorinohjauksen toimintaa. Esimerkiksi pitkää matkaa ajettaessa pakokaasujen lämmöt nousevat 350–500 celsiusasteeseen ja hiukkassuodatin sijaitsee moottorin lähellä. Tällöin nokihiukkaset muuttuvat hiilidioksidiksi reagoiessaan typpioksidin kanssa. Reaktio tapahtuu hitaasti ja jatkuvasti katalysaattorina toimivan platinapinnoitteen kautta. (Volkswagen 336 2005.)

Aktiivinen puhdistus taas polttaa nokihiukkasia moottorinohjausyksikön käskystä. Moottorinohjaus nostaa tarkoituksenmukaisesti pakokaasun lämpötilaa, jolloin nokihiukkaset saadaan palamaan. Tämä on keino saada polttotapahtuma aikaan esimerkiksi taajama-ajossa, jossa moottorin kuormitus on pientä ja näin ollen pakokaasujen lämmöt eivät nouse tarvittavan korkealle. Suodattimen nokikuormituksen kasvaessa riittävän suureksi moottorinohjaus käynnistää automaattisesti aktiivisen puhdistuksen. Tällöin nokihiukkaset poltetaan hiilidioksidiksi pakokaasun lämpötilassa 600–650 °C. (Volkswagen 336 2005.)

#### **6.4 Ongelmat**

Hiukkassuodattimen yleisenä ongelmana on sen tukkeutuminen; etenkin lyhyet ajomatkat ja talviolosuhteet saavat suodattimen tukkeutumaan. Regenerointi vaatii muutaman kymmenen kilometrin yhtämittaisen ajon, että polttotapahtuma ehtii toteutua täydellisesti. Useampi peräkkäinen regeneroinnin epäonnistuminen aiheuttaa suodattimen tukkeutumisen niin, ettei tarvittavaa lämpötilaa enää saavuteta, jotta regenerointi onnistuisi. Tämä aiheuttaa sen, että regenerointi ei enää onnistu ilman asianmukaisia testilaitteistoja, joten korjaamokäynti on välttämätön. (Kuusjärvi 2012.)

## 7 SCR-JÄRJESTELMÄ

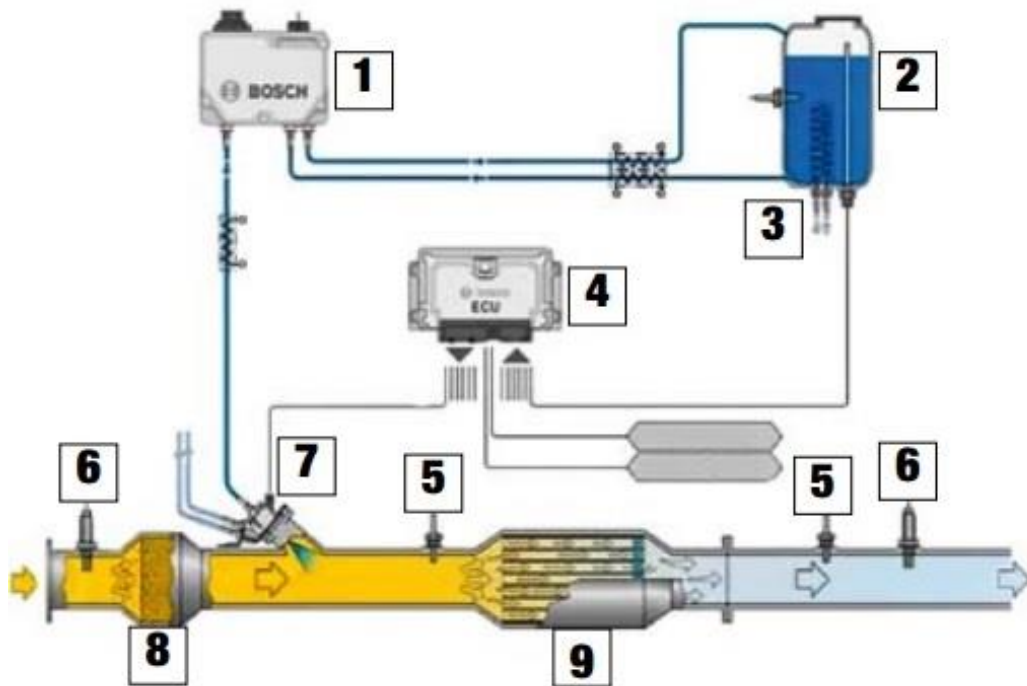
Selective Catalytic Reductionin (SCR) tarkoitus on poistaa pakokaasuista typpioksidit. Tekniikka on ollut käytössä jo pitkään esimerkiksi voimalaitoksissa. Nyt sitä on ryhdytty hyödyntämään myös ajoneuvoihin asetettujen päästövaatimusten saavuttamiseksi. SCR-järjestelmä ruiskuttaa pakokaasujen sekaan AdBlue-nimistä pelkistysainetta, joka on urean ja veden seos. (Volvo Trucks Finland 2013.)

### 7.1 Rakenne ja toiminta

Järjestelmän komponentit ovat esitelty alla olevassa kuviossa 6.

1. AdBlue-pumppu
2. AdBlue-säiliö
3. AdBlue-liuoksen lämmitysputket
4. Moottorin ohjausyksikkö
5. Lämpötila-anturi
6. NOx-anturi
7. AdBlue-suutin
8. Hapetuskatalysaattori
9. SCR-katalysaattori





Kuvio 6. SCR-järjestelmä.  
(Koneviesti 2012.)

Järjestelmän AbBlue-pumppu- ja ruiskutusjärjestelmä sopeuttaa ruiskutetun lisäaineen määrän moottorin kuormitukseen. Tieto annostuksen määrästä saadaan pakolinjaan sijoitettujen antureiden avulla. AdBlue-suutin on sijoitettu järjestelmässä SCR-katalysaattorin etupuolelle, jotta pelkistysaine sekoittuu pakokaasuihin ennen niiden saapumista katalysaattoriin. (Koneviesti 2012.)

SCR-katalysaattorissa haitalliset typpioksidit muuttavat reaktiossa vaarattomiksi typpikaasuiksi sekä vedeksi. Mahdolliset ammoniakkijäätymät muutetaan takaisin typpioksideiksi puhdistuskatalysaattorissa. NOx-anturin tehtävänä on kertoa valvontajärjestelmälle typpioksidien määrä katalysaattorin jälkeisissä pakokaasuissa. AdBlue-järjestelmän lämmittäminen on myös tärkeää, sillä liuos jäätyy jo  $-11\text{ }^{\circ}\text{C}$ :ssa. Järjestelmän lämmitys toteutetaan moottorin nestekiertoa liitetyn putkiston avulla. (Koneviesti 2012.)

## 7.2 Pelkistysaine AdBlue

AdBlue on urea-vesiliuos, jonka ureapitoisuus on 32,5 prosenttia. Pelkistysaineen huonoksi puoleksi voidaan lukea huono pakkaskestävyys, sillä liuos alkaa hyytyä

jo lämpötilan laskiessa alle -11 celsiusasteen. Tämä ei kuitenkaan vaikuta moottorin kylmäkäynnistysominaisuuksiin. Pakkaskäynnistyksissä AdBlue-säiliössä oleva neste sulatetaan moottorin nestekierron avulla, sulatusvaiheessa moottori toimii normaalisti, joten ajon voi aloittaa jo ennen kuin AdBlue-järjestelmä aloittaa toimintansa. Ajon aikana nestekierto myös huolehtii, että järjestelmä pysyy sulana. Putkistoihin ei jää liuosta, kun moottori sammutetaan, koska pumppu imee liuksen putkistoista takaisin säiliöön, joten AdBlue-linjasto ei pääse jäätymään ajoneuvon seisoessa. (Koneviesti 2012.)

## **8 AGCO POWER -MOOTTORIN PÄÄSTÖJEN PIENENTÄMINEN**

Seinäjoen ammattikorkeakoulun auto- ja työkonetekniikan laboratoriossa on opetuskäytössä Agco Power -dieselmoottori. Moottori on opetuskäytössä eri laboratorioissa. Moottoriin olisi tarkoitus saada nykyaikainen pakokaasujen jälkikäsitteilyjärjestelmä, jolloin oppilaiden laboratoriotyössä olisi käytettävissä nykyaikaista teknologiaa pakokaasujen puhdistukseen. Laboratoriossa jo olevilla pakokaasutestauslaitteilla voidaan mitata päästöjä ja näin myös havaita käytössä olevien puhdistusjärjestelmien vaikutus päästöihin.

### **8.1 Päästönormipäivitys**

Koululla olevan Agco Power -moottorin pakokaasupäästöjen alentaminen jälkikäsitteilyjärjestelmiä käyttäen ei ole mahdollista moottorin valmistajan laitteistoilla. Kyseinen moottori on jo vanhentunutta mallia, ajalta jolloin jälkikäsitteilyjärjestelmien käyttö ei ollut tarpeellista. Kyseessä on Tier 3A -päästöluokan moottori. Kyseisen moottorin ohjausyksiköltä ei saada tarvittavia tietoja ohjaamaan järjestelmiä. Lisäksi kyseistä moottoria uudemmat moottorit ovat ohjausjärjestelmän lisäksi muuttuneet huomattavasti: niiden turboahtimet, ruiskutuslaitteet sekä niiden ohjaus on muuttunut. Moottorin valmistajalta olisi vaatinut suuren työmäärän ryhtyä suunnittelemaan pakokaasujen jälkikäsitteilyjärjestelmää kyseiseen moottoriin, koska kyseessä on vanha, valmistuksesta jo poistunut moottorityyppi ja muutokset olisivat tarvinneet suunnittelun kyseistä moottoria varten.

### **8.2 Moottorista riippumaton järjestelmä**

Koska moottoriin ei voida asentaa valmistajan nykyisin käyttämiä järjestelmiä, ai-noaksi jälkikäsitteilyjärjestelmän rakennusmahdollisuudeksi moottorin valmistaja mainitsi moottorista riippumattoman, kokonaan moottorin ulkopuolella toimivan järjestelmän.

Suomessa, Oulunsalossa toimiva Proventia Oy tarjoaa jälkiasennusratkaisuja lähinnä linja-autoliikenteeseen. Järjestelmän sovittaminen on mahdollista myös työ-

konemoottoreihin suodatinkokoa pienentämällä, koska moottoritehot ovat matalampia.

### 8.3 Proventia NOxBUSTER

NOxBUSTER järjestelmä pitää sisällään sekä DPF- että SCR-järjestelmän. Järjestelmän DPF on passiivinen järjestelmä ja SCR-järjestelmä toimii ilma-avusteisesti. Linja-autoliikenteessä laitteiston avulla Euro 2- ja Euro 3 -päästöluokan ajoneuvot saadaan päivitettyä Euro 5 -päästöluokkaan.

NoxBUSTER laitteiston toimitussisältö:

- Hiukkassuodatin DPF
- SCR-vaimennin
- DPF- ja SCR-väliputki
- Poistoputki
- SCR-pumppu
- Ureasäiliö
- Järjestelmän vikanäyttö
- Dataloggeri (optio)
- Ilmamassa-anturi
- NOx-anturit (2 kappaletta)
- Lämpötila-anturit (2 kappaletta)
- Tankkiyhde
- Lämmityssolenoidi
- Johtosarja
- Urealinjastot
- Lämmityslinjat
- Paineilmaletku.

Toimitussisältö ei pidä sisällään:

- sulakerasioita
- komponenttien kiinnityspultteja
- T-yhdyskappaleita lämmityslinjojen yhdistämiseen ajoneuvon nestekierto-
- toon

- letkujen ja johtojen mahdollisesti tarvitsemia suoja
- läpivientikumeja johdoille ja letkuille mikäli niitä tarvitaan.

#### **8.4 Kennojen mitoitus**

Järjestelmän suodattimien kennojen mitoitukselle ei ole yksiselitteistä kaavaa, jonka mukaan laitteisto rakennetaan. Valmistajalle, tässä tapauksessa Proventia Oy:lle, on vuosien aikana kertynyt kokemus laitteistojen rakentamisessa ja heidän, kuten muidenkin toimittajien käyttämä, kennostojen valintaperusteet ovat liikesalaisuuksia. Kennojen valintaan vaikuttavia tekijöitä on useita:

- kennoilta vaadittu tehokkuus sekä käyttöikä
- käytettävät tilat
- tarvittavien komponenttien saatavuus ja hinta
- mahdolliset hyväksynnät mitä kohde vaatii
- pakoputkiston vastapaine.

Koulun testipenkissä olevan moottorin tilat eivät ole ongelma, vaan se antaa vapautta laitteiston koolle.

#### **8.5 Laitteiston asennus**

Laitteiston asennukseen vaadittavat tilat vaativat työkonemoottoreissa suurta suunnittelua tilojen ahtauden vuoksi. Seinäjoen ammattikorkeakoulun auto- ja työkonetekniikan laboratoriossa oleva testimoottori antaa kuitenkin vapauksia laitteiston asentamisen suhteen. Moottori apulaitteineen on kiinnitettynä rullien päällä olevaan testipenkkiin. Näin ollen on järkevää sijoittaa NOxBUSTER-testilaitteisto omaan renkailla olevaan testipenkkiin moottorin rinnalle, jolloin testauslaitteisto saadaan tarvittaessa myös irrotettua moottorista helposti.



Kuvio 7. NOxBUSTER-laitteisto.  
(Konepörssi 2013.)

Suunnitelman mukainen laitteisto on esiteltyä Kuviossa 7. Laitteisto olisi hyvä sijoittaa vastaavanlaiseen, renkailla olevaan telineeseen. Suodattimet apulaitteiden saadaan sijoitettua järkevästi laitteen läheisyyteen eikä laitteisto vaadi näin liikaa tilaakaan laboratorion työtiloista. Moottorin mukana liikuttelu sujuu myös vaivattomasti.

## 8.6 Laitteiston hinta

Proventia Oy:n hinta-arvio toimitettavalle NOxBUSTER laitteistolle on noin 14 500 €. Hinta sisältää osaluettelon tuotteet ilman asennusta. Lisäksi lainaksi on saatavilla ohjelmointityökalu, millä voidaan säätää moottorin NOx-alenemaa halutuksi.

## **9 AVANT-PIENKUORMAAJAN DPF-JÄRJESTELMÄ**

Seinäjoen ammattikorkeakoulun auto- ja työkonetekniikan laboratoriolla on käytävissä Avantin pienkuormaaja. Opetustyössä käyttäminen vaatii myös usein sen käyttämistä sisätiloissa, jolloin pakokaasuista voi aiheutua suuriakin haittoja sen läheisyydessä työskenteleville. DPF-järjestelmän avulla pyritään poistamaan sen pakokaasuista haitallisia partikkeleita.

### **9.1 EHC-pakokaasusuodattimet**

Suomalainen YTM-Industrial Oy toimittaa EHC-pakokaasusuodattimia erilaisiin koneisiin ja kalustoihin rakennettaviin ratkaisuihin. Pääpainona on suodattimet niille, jotka joutuvat käyttämään koneita suljetuissa tiloissa, jolloin työntekijät altistuvat vaarallisille pakokaasupäästöhiukkasille. Tässä tapauksessa Seinäjoen ammattikorkeakoulun auto- ja työkonetekniikan laboratorion Avant-pienkuormaajaa voidaan hyvin verrata varastoissa työskenteleviin haarukkatrukkeihin.

Suodattimia on saatavilla niin kiinteään asennukseen kuin pakoputken päähän tilapäisesti asennettavaa mallia. Seinäjoen ammattikorkeakoulun auto- ja työkonetekniikan laboratorion tarpeisiin paras vaihtoehto on kiinteästi asennettava, pitemmän käyttöikä malli. Tilapäiseen asennukseen tarkoitettujen suodattimien käyttöikä on huomattavasti lyhyempi.

### **9.2 EHC HT -suodattimet**

HT-suodatinmallit on suunniteltu käytettäväksi pysyvästi dieselmootoreissa. Valmistajan suosituksena on käyttää juurikin EHC HT -suodatinta, mikäli konetta käytetään sisätiloissa, missä kuljettaja sekä ympärillä olevat ihmiset altistuvat pakokaasuille. Suodattimien käyttöä sisätiloissa puoltaa niiden toimivuus heti moottorin käynnistyksen jälkeen.



Kuvio 8. YTM HC -suodatin Toyotan haarukkatrukissa. (YTM-Industrial 2013.)

### 9.2.1 Suodattimen toimitussisältö

Suodattimen osat ovat:

- suodatin
- lauhdoksen poistohana
- tulo- ja poistoaukon laipat
- jalat
- kansi lukolla (suodattimen vaihto on helppoa)
- jalat
- lämpökilpi
- painekeytkin, joka ohjaa painetta suodattimen kotelossa
- varoitusvalo sekä äänimerkki, jotka varoittavat kuljettajaa suodattimen vaihdon tarpeellisuudesta.

### 9.2.2 Laitteiston tekniset tiedot

Laitteiston puhdistuskyky halkaisijaltaan 0,4 µm isommista hiukkasista on 95 %. Suodatin virtaa poistoilmaa 10–30 m<sup>3</sup>/min riippuen suodattimen koosta. Suodattamien koko optimoidaan moottorin koon sekä koneen käyttötarpeen mukaan.



Suodattimien käyttöikä vaihtelee jokaisen moottorin kohdalla, ja myös moottorin senhetkinen kunto vaikuttaa suodattimen kestoikään. Suodattimen koosta riippuen sen kestoikä vaihtelee 100 tunnista aina 600 tuntiin saakka.

### 9.3 EHC PF

EHC PF on katalysaattori hiukkassuodattimella ja se on myös tarkoitettu dieselmoottoreilla varustettujen koneiden kiinteään asennukseen. EHC PF puhdistaa pakokaasuista hiukkaset sekä hajuhaitat, lisäksi se puhdistaa kaasumaiset epäpuhtaudet kuten hiilimonoksidit ja hiilivedyt. Hiukkaset erotetaan silikonikarbidisuodattimessa ja regeneroidaan automaattisesti, kun oikea lämpötila on saavutettu. Vaikka EHC PF -suodatin on mitoiltaan suhteellisen kookas, se on rakenteeltaan kevyt, sen paino on alkaen 10 kg liittimiseen.

EHC PF on suunniteltu kuitenkin raskaaseen ajoon ja näin ollen kevyessä Seinäjoen ammattikorkeakoulun auto- ja työkonetekniikan laboratorion käytössä sen toimivuus ei välttämättä ole taattu, regenerointi vaatii +300 celsiusasteen lämpötilan.

Suodattimen erotuskyky:

- Hiukkaset >95 %
- Hiilimonoksidi >85 %
- Hiilivety >85 %
- Lisäksi äänenvaimennus >15 %.



Kuvio 9. EHC PF asennettuna JCB:n kuormaajaan.  
(YTM Industrial 2013.)

## 10 YHTEENVETO

Tavoitteena työssä oli tarkastella pakokaasujen jälkikäsittelyjärjestelmiä ja niiden toimivuutta dieselmootoreissa. Työssä käydään läpi dieselmootoreiden tuottamat päästöt, niille asetetut rajat sekä niiden alentamista varten kehitellyt DOC-, DPF- ja SCR-jälkikäsittelyjärjestelmät. Dieselmootoreiden pakokaasujen jälkikäsittelyjärjestelmät ovat ajankohtainen aihe ja niistä onkin tarjolla hyvin tietoa. Päästörajojen tiukentuminen on aiheuttanut moottorinvalmistajille paineen rakentaa taloudellinen ja vähäpäästöinen moottori tinkimättä moottorin tehosta.

Järjestelmien vaatima tila aiheuttaa ongelmia varsinkin työkonepuolella. Jokainen suodatin vaatii oman tilansa ja siksi niiden sijoittelu onkin välillä ongelmallista. Vain harvoin ne saadaan sovitettua suojafeltien alle. Järjestelmät kuitenkin kehittyvät koko ajan, tulevaisuudessa niitä varmasti saadaan asennettua entistäkin pienempään tilaan.

Järjestelmät aiheuttavat varmasti ongelmia etenkin Suomen olosuhteissa. Etenkin SCR-järjestelmä voi aiheuttaa ylimääräisiä ongelmia heikon pakkaskestävyyden vuoksi. Tällä hetkellä päästönormeihin päästään käyttämällä jälkikäsittelyjärjestelmiä, mutta tulevaisuudessa eteen tulevat entistäkin tiukemmat rajoitukset ajavat moottorivalmistajat käyttämään jälkikäsittelyjärjestelmien rinnalla myös jo pitkään käytössä ollutta pakokaasujen takaisinkierrätysjärjestelmää.

Työn tekemisen yhteydessä ongelmia koitui tiedonsaannin kanssa tarvittavien laitteiden toimittajilta. Laitteita toimittavista yrityksien kanssa oli yhteysongelmia, mutta hieman odottelua sekä uusintakyselyä, niin laitteistoista saatiin tarvittavaa informaatiota.

## LÄHTEET

- Autoteknillinen taskukirja. 2003. Suomentaja Autoalan Koulutuskeskus Oy. 6. Painos. Jyväskylä: Gummerus Oy.
- Bosch. 2010. Dieselmoottorin ohjausjärjestelmät.
- DieselNet. 2013. [verkkodokumentti]. [viitattu 10.11.2013]. Saatavana: <http://www.dieselnet.com/standards/>
- Hestec. 2009. DPF-partikkelisuodatin. [verkkodokumentti]. [viitattu 7.11.2013]. Saatavana: <http://www.hestec.fi/chiptuning/dpf.php>
- Konepörssi. 2013. Proventia-puhdistimia Ruotsiin. [verkkodokumentti]. [viitattu 29.4.2014]. Saatavana: <http://www.koneporssi.com/uutiset/proventia-puhdistimia-ruotsiin/>
- Koneviesti. 2012. Päästöt yhä tiukempaan kuriin. Koneviesti (2), 42.
- Kuusjärvi, J. 2012. DPF puhtaaksi Fortella – Hiukkassuodattimen puhdistusaine kokeessa. [Verkkodokumentti]. [Viitattu 8.11.2013]. Saatavilla: <http://www.ammattiautot.fi/uutiset/dpf-puhtaaksi-fortella-hiukkassuodattimen-puhdistusaine-kokeessa/>
- Motiva Oy. 2006. Vaihtoehtoiset polttoaineet ja ajoneuvot. [verkkodokumentti]. [viitattu 9.11.2013]. Saatavana: [http://www.cleanvehicle.eu/fileadmin/downloads/Finland/6\\_Vaihtoehtoiset\\_polttoaineet\\_ja\\_ajoneuvot.pdf](http://www.cleanvehicle.eu/fileadmin/downloads/Finland/6_Vaihtoehtoiset_polttoaineet_ja_ajoneuvot.pdf)
- Neste Oil Oyj. 2007. Dieselpolttoaineopas.
- Ponsse Oyj. 2012. Ponsse-metsäkoneet ja SCR-moottoritekнологia. [Verkkodokumentti]. [Viitattu 9.11.2013]. Saatavana: <http://www.ponsse.com/fi/media-arkisto/esitteet/product-brochures/other-products/scr-system/ponsse-scr-vihko-fin>
- Trafi. 2011. Dieselkäyttöisten autojen katsastukseen liittyvä pakokaasupäästöjen tarkastus. [Verkkodokumentti]. [viitattu 29.4.2014]. Saatavana: <http://www.trafi.fi/filebank/a/1325147177/4f054c74fd58a71db9f1d34c18d91521/4716-Dieselkayttoistenpakokaasupaastojentarkastus.pdf>

Volkswagen 336. 2005. Katalyyttisesti pinnoitettu dieselhiukkassuodatin. Itseopiskeluohjelma.

Volvo Trucks Finland. 2013. [verkkodokumentti]. [viitattu 10.11.2013]. Saatavana: <http://www.volvotrucks.com/TRUCKS/FINLAND-MARKET/FI-FI/TRUCKS/ENVIRONMENT/Pages/Euro6.aspx>

YTM-Industrial Oy. 2013. EHC-pakokaasusuodattimet. [verkkodokumentti]. [viitattu 5.5.2014]. Saatavana: [http://www.ytm.fi/files/ym/pdf/teamsystems/YTM\\_EHC-pakokaasusuodattimet.pdf](http://www.ytm.fi/files/ym/pdf/teamsystems/YTM_EHC-pakokaasusuodattimet.pdf)