

Opinnäytetyö (AMK )

Auto- ja kuljetustekniikka

Autotekniikka

Kesäkuu 2016

Petteri Peltovirta

# VOLKSWAGEN AG:N PÄÄSTÖHUIJAUS

OPINNÄYTETYÖ (AMK) | TIIVISTELMÄ

TURUN AMMATTIKORKEAKOULU

Auto- ja kuljetustekniikka

Kesäkuu 2016 | 44 sivua

Ohjaaja: Markku Ikonen

Petteri Peltovirta

## VOLKSWAGEN AG:N PÄÄSTÖHUIJAUS

Tämän opinnäytetyön aiheena on Volkswagen AG:n syyskuussa 2015 paljastunut laajamittainen päästöhuijaus, joka koskettaa Suomessakin yli 70 000:ta dieselautoa. VW järkytti maailmaa myöntämällä asentaneensa dieselautoihinsa huijausohjelman, joka pystyy tunnistamaan tyyppi-hyväksynnässä käytettävän testitilanteen ja säätämään auton tuottamat päästöt niin, että ne alittavat lainsäätäjän asettamat haittapäästöjen raja-arvot. Autot tuottavat liikenteessä jopa kahdeksankertaiset määrät typen oksideja kuin niitä koskeva Euro 5 -standardi sallii. Tapaus koskettaa 11:ta miljoonaa autoa maailmanlaajuisesti ja se on ehkä autoteollisuuden suurin järjestelmällinen petos.

Työssä käydään kronologisesti läpi huijaukseen johtaneita tapahtumia ja sen syitä ja seurauksia yleisellä tasolla. Lisäksi tutustutaan pikaisesti liikenteen päästökseen ja niiden sääntelyyn Pohjois-Amerikassa ja Euroopassa typen oksidien kohdalta. Aiheeseen liittyen perehdytään myös nykyaikaisten dieselautojen päästöjen hallintaan.

Tämä tutkimus tehtiin perehtymällä lukuisiin autoteollisuuden yhdistysten ja alan ammattijulkaisujen kirjoituksiin sekä saatavilla oleviin yliopistojen, järjestöjen ja ympäristö- ja liikenneviranomaisten tutkimuksiin. Tapauksen tuoreuden takia suurin osa lähdemateriaalista on internetistä poimittua. Lopullisiksi lähteiksi valittiin mahdollisimman neutraalit ja yleisesti tunnetut tietolähteet, mutta joissakin tapauksissa joidenkin lähteiden tietoja piti täydentää yhdellä tai useammalla muulla.

Autojen takaisinkutsut ovat tätä kirjottaessa käynnissä Euroopassa Volkswagenin ja Audin osalta, mutta Škodan ja Seatin tyyppihyväksyntäviranomaiset ei ole vielä antanut lupaa takaisinkutsujen aloittamiseen. Euroopassa suursijoittajat vaativat korvauksia osakkeenarvon romahduksesta ilman tulosvaroitusta ja kuluttajat ovat nostaneet joukkokanteita.

Yhdysvalloissa on meneillään suuri yhteinen oikeudenkäynti, jossa autojen omistajat, oikeushallinto, kilpailu- ja kuluttajavirasto, sekä liittovaltion ja Kalifornian ympäristöviranomaiset vaativat korvauksia ja sakkoja. Alustavassa sopimuksessa VW suostui ostamaan puoli miljoonaa autoa takaisin tai omistajan toivomuksesta korjata ne. Tämän lisäksi se joutuu perustamaan rahaston päästöhuijauksen ympäristövaikutusten ja asiakkaiden kompensatioille. Lopullisten sovintoratkaisujen on oltava valmiit 21. kesäkuuta. Volkswagen AG ei ole julkistanut tuloksia sen sisäisestä tutkinnasta asiaan.

Koska asian eteneminen on edelleen jatkuva prosessi, oli tälle tutkielmalle pakko valita loppumääräaika toukokuun 2016 puoliväliin, jonka jälkeen uutta tietoa ei enää kerätty.

ASIASANAT:

Volkswagen, päästöhuijaus

BACHELOR'S THESIS | ABSTRACT

TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Automotive and Transportation Engineering

June 2016 | 44 pages

Instructor: Markku Ikonen

Petteri Peltovirta

## VOLKSWAGEN EMISSIONS FRAUD

The topic of this thesis is the extensive Volkswagen emissions fraud that was discovered in September 2015 and which affects over 70 000 diesel cars even in Finland. VW shocked the world admitting having supplied their diesel vehicles with a defeat device that can identify a homologation test and adjust its emissions so they do not exceed limits set by the local legislator. On the road the affected cars emit nitrogen oxides up to eight times the limit set in the Euro 5 emission standard. This case affects 11 million cars worldwide and it is possibly the largest systematic deception in the automotive industry.

In this thesis, the focus is on the events leading to the disclosure as well as the causes and effects of the deception on a general level. Additionally, road traffic emissions are briefly discussed and comparisons of regulations on nitrogen oxides are made between North America and Europe. Finally, the emission control systems on modern diesel vehicles are listed and their operation explained.

The research started by studying numerous reports and publications of different automotive associations, universities, organizations and legislators. Because of the recent nature of this topic, the source material is mostly from the internet. Only the most neutral and commonly known sources were used, but in some cases multiple sources had to be used in combination.

As of right now, vehicle recalls for the Volkswagen and Audi brands have begun in Europe. For the Škoda and Seat brands however, permission for recall has not yet been granted by their respective type approval authorities. Institutional investors in Germany have filed suit against VW for not issuing a profit warning when the stock collapsed. Also multiple class action lawsuits have been filed by customers.

In the U.S., comprehensive multidistrict litigation is ongoing, where vehicle owners, the U.S. Justice Department, Federal Trade Commission, Environmental Protection Agency and the state of California are claiming penalties and other corrective measures. In a framework settlement VW agreed to buy back or fix about half a million cars as well as set up environmental and consumer funds. The deadline for final proposed settlements is June 21. Volkswagen AG has not issued any statement about its internal investigation into the matter.

Because the issue is still in progress, a deadline in mid-May had to be made, when no more information was collected.

KEYWORDS:

Volkswagen, emissions, fraud

# SISÄLTÖ

<b>KÄYTETYT LYHENTEET</b>	<b>6</b>
<b>1 JOHDANTO</b>	<b>7</b>
<b>2 VOLKSWAGEN-KONSERNIN HISTORIAA</b>	<b>9</b>
2.1 Strategia 2018	9
2.2 Operatiivinen toiminta	10
<b>3 LIIKENTEEN PÄÄSTÖT LYHYESTI</b>	<b>12</b>
<b>4 DIESELMOOTTORIN PÄÄSTÖJEN HALLINTA</b>	<b>14</b>
4.1 Moottorin sisäiset keinot	14
4.1.1 Seoksen muodostus	15
4.1.2 Pakokaasujen takaisinkierätyk	16
4.1.3 Ruiskutuksen ajoitus	16
4.2 Pakokaasujen jälkikäsittely	18
4.2.1 Dieselhapetuskatalysaattori	19
4.2.2 Hiukkassuodatin	20
4.2.3 Typen oksidien jälkikäsittely	23
<b>5 HUIJAUKSEN PALJASTUMINEN</b>	<b>27</b>
5.1 Tapahtumien kulku	27
5.2 Huijauksen laajuus	29
5.3 Huijauslaitteen toimintaperiaate	31
<b>6 PAKOKAASULAINSÄÄDÄNNÖT</b>	<b>32</b>
<b>7 HUIJAUKSEN SEURAUKSET</b>	<b>35</b>
7.1 Taloudelliset vaikutukset	35
7.2 Takaisinkutsuoperaatio Yhdysvalloissa	36
7.3 Takaisinkutsut Euroopassa	37
<b>8 LOPUKSI</b>	<b>39</b>
<b>9 YHTEENVETO</b>	<b>41</b>
<b>LÄHTEET</b>	<b>42</b>

## **KAAVAT**

Kaava 1. Termolyysi (Dietsche ym. 2007, 124).	25
Kaava 2. Hydrolyysi (Dietsche ym. 2007, 124).	25
Kaava 3. Ensimmäinen yhtälö (Dietsche ym. 2007, 125).	25
Kaava 4. Toinen yhtälö (Dietsche ym. 2007, 125).	25
Kaava 5. Kolmas yhtälö (Dietsche ym. 2007, 125).	25

## **KUVAT**

Kuva 1. VOW3 -osakkeen hintakehitys 19.5.2015-19.5.2016 (VW AG 2016b).	36
--	----

## **KUVIOT**

Kuvio 1. Keskimääräiset typenoksidipäästöt maantieajossa (Thompson ym. 2014).	28
---	----

## **TAULUKOT**

Taulukko 1. Huijausohjelmalla varustetut autot Euroopassa.	29
Taulukko 2. Huijausohjelmalla varustetut autot Pohjois-Amerikassa. (New York Times 2015b)	30
Taulukko 3. Päästörajavertailu	32
Taulukko 4. Ajosyklien vertailu. (Dietsche ym. 2011, 503)	33

## KÄYTETYT LYHENTEET

ACEA	Association des Constructeurs Européens d'Automobiles, eurooppalaisten ajoneuvovalmistajien yhdistys
AECD	Auxiliary Emissions Control Device, laite, jolla ohitetaan ajoneuvon päästöttestaus (ICCT 2016a)
CARB	California Air Resources Board, Kalifornian ilmastonsuojeluviranomainen
CDPF	Catalyzed Diesel Particulate Filter, katalyyttinen dieselhiukkassuodatin
CR	Common Rail, yhteispaineruiskutus
CRT	Continuously Regenerating Trap, jatkuvasti regeneroituva hiukkassuodatin
DOC	Diesel Oxidation Catalyst, dieselhapetuskatalyysaattori
DPF	Diesel Particulate Filter, dieselhiukkassuodatin
EDC	Electronic Diesel Control, elektronisesti ohjattu dieseljärjestelmä
EPA	Environmental Protection Agency, Yhdysvaltain ympäristönsuojeluvirasto
FTP	Federal Test Procedure, EPA:n laatima ajoneuvojen testausohje
ICCT	The International Council on Clean Transport, kansainvälinen puhdasta liikennettä edistävä järjestö
LNT	Lean NO <sub>x</sub> Trap, varaava NO <sub>x</sub> -katalyysaattori
NSC	NO <sub>x</sub> Storage Catalyst, kts. LNT
PEMS	Portable Emissions Measurement System, siirrettävä pakokaasujen mittauslaitteisto
SCR	Selective Catalytic Reduction, selektiivinen katalyyttinen pelkistys

# 1 JOHDANTO

Opinnäytetyön aiheeksi valittiin hyvin ajankohtainen Volkswagen AG:n paljastunut dieselautojen päästöhuijaus, joka tuli julkisuuteen 2015 syksyllä. Työssä käydään kronologisesti läpi huijaukseen johtaneita tapahtumia ja sen syitä ja seurauksia yleisellä tasolla. Lisäksi tutustutaan pikaisesti liikenteen päästökomponentteihin ja niiden säännöstelyyn Pohjois-Amerikassa ja Euroopassa typen oksidien kohdalta. Aiheeseen liittyen perehdytään myös nykyaikaisten dieselautojen päästöjen hallintaan.

Jo vuosia on mediassa voinut seurata keskusteluja siitä, että henkilöautojen tyyppitestien perusteella ilmoitetut kulutus- tai päästölukemat eivät vastaa todellisuutta autoilijoiden normaalissa käytössä. Asia on täysin ymmärrettävissä, sillä päästömittaukset tehdään laboratorio-olosuhteissa määrättyjen standardien mukaan.

Maailmalla on nykyään entistä enemmän pyritty lainsäädännön keinoin vähentämään autoilun aiheuttamia ympäristölle ja ihmisille haitallisia päästöjä. Lähes kaikissa maissa ja isommillakin alueilla on laadittu direktiivit, jotka sanelevat rekisteröitäville autoille tarkat päästörajat sekä tietyt testisyklit, joilla autojen päästöt mitataan. Myyntiluvan saamiseksi, automallin tai -tyypin on läpäistävä nämä, sekä monet muut testit, jotka tyyppihyväksyntälaitos suorittaa joko omilla tai autovalmistajan laitteilla. Tyyppihyväksyntälaitos on valtion nimittämä riippumaton sertifiointipalveluja tarjoava yritys, jolle autovalmistaja maksaa suoraan autojen testaamisesta, mikä sinällään on eturistiriita.

USA:n alueella ovat erityisesti typen oksidien (NO<sub>x</sub>) päästörajat olleet jo vuosia huomattavasti tiukemmat kuin EU:n alueella. USA:ssa rajojen ylittämisestä seuraa sanktioita, kuten myöhemmässä tekstissä tulee ilmi. EU:ssa rajat on määrätty, mutta sanktiot määrittää jäsenvaltio katsomallaan tavalla. Rangaistukset vaihtelevat tyyppihyväksynnän mitätöinnistä ja korvausvelvoitteesta sakkoihin tai jopa vankeuteen.

Testit suoritetaan lainsäätäjän antamien testiohjeiden mukaisesti laboratoriokokeilla. Juuri nämä määrätyt testausmenetelmät ovat antaneet autonvalmistajille mahdollisuuden kehittää huijausohjelmia, jotka tunnistavat testitilanteen ja antavat siinä hyväksytyt tulokset. Mahdollisesti VW:n tapauksessa strategian mukainen markkinoiden laajentaminen Yhdysvaltoihin ja yritys tuoda siellä dieselmoottorit yleiseen käyttöön myös henkilöautoissa, asetti suunnittelijoille niin kovan paineen, että rajojen alittamiseksi kehitettiin huijauskeino. Huhuja autotehtaiden testihuijauksista on ollut liikkeellä aiemminkin,

mutta vasta pohjoisamerikkalaisen tutkijan kiinnostuksen ja seuraavien toimenpiteiden jälkeen totuus tuli ilmi ja myönnettiin.

Päästöhuujauksen seuraukset sekä korjaus- että korvaustoimien käsittely ovat edelleen kesken toukokuussa 2016. Kaikkea ei vielä tiedetä. Sitä kuvaa esimerkiksi se, että Volkswagen -konsernissa on edelleen käynnissä sisäinen tutkinta, josta ei toistaiseksi mitään ole julkisuuteen tiedotettu. Kyseessä on niin iso asiakokonaisuus, että lopullisia tuloksia ja ratkaisuja ongelman selvittämiseksi joudutaan vielä odottamaan kauan. Näin ollen jatkotutkimukselle aiheen piirissä tulee olemaan tarvetta tulevaisuudessa autoteknologian lisäksi myös kaupallisissa, kuluttajakäyttäytymisen, yritysjohdon etiikan yms. tutkimuksissa eri tieteenaloilla.

Tämä tutkimus tehtiin perehtymällä lukuisiin autoteollisuuden järjestöjen julkaisuihin ja alan ammattijulkaisujen kirjoituksiin sekä saatavilla oleviin yliopistojen tutkimuksiin. Internetissä tietoa oli saatavilla useilla eri kielillä ja eri sivuilla. Niistä valittiin lopullisiksi lähteiksi mahdollisimman neutraalit ja yleisesti tunnetut tietolähteiden sivut ja vertailtiin myös eri lähteiden tietoja keskenään. Joissakin tapauksissa joidenkin lähteiden tietoja piti täydentää toisen lähteen tiedoilla. Menetelmä oli työläs ja aikaa vievä, mutta vertailemalla pystyi päättämään tietojen luotettavuuden. Sosiaalisen median ”tietoihin” ei perehdytty lainkaan. Dieselmoottorin päästöjen hallinnan teoriakappaleessa lähteinä olivat pääosin Robert Bosch GmbH:n julkaisut.

Koska asian eteneminen on edelleen jatkuva prosessi, oli tälle tutkielmalle pakko valita loppumääräaika toukokuun 2016 puoliväliin, jonka jälkeen ei uutta tietoa enää kerätty.



## 2 VOLKSWAGEN-KONSERNIN HISTORIAA

Volkswagenin historia alkoi vuoden 1937 Saksasta, jossa Deutsche Arbeitsfront -niminen yhtiö sai tehtäväkseen valmistaa jokaiselle tavalliselle työssäkäyvälle saksalaiselle auton, jonka he pystyisivät hankkimaan. Pian sen jälkeen toisen maailmansodan aikana tuli tehtaalle muuta tarvetta ja keskityksleireille joutuneet rakensivat yhtiön nimissä ajoneuvoja Saksan armeijalle. Sodan jälkeen Britannian armeija otti tehtaas haltuunsa ja alkoi valmistaa Volkswagenia, eli "kansanautoa". Kymmenen vuoden kuluessa yhtiön hallinta siirtyi saksalaisille ja niin sanottu VW Kupla -malli lisäsi suosiotaan jatkuvasti. (Blackwelder ym. 2016, 2.)

Seuraavien 70 vuoden kuluessa VW laajeni ja osti monia yrityksiä. Ekspansiivisen strategiansa vuoksi yhtiö oli mukana monissa riitatilanteissa oikeussaleissa. Kuluneiden vuosikymmenten ja laajenemisen tuloksena VW:sta tuli autoalan "imperiumi", johon kuuluu 12 maailmalla hyvin tunnettua merkkiä: Audi, Bentley, Bugatti, Lamborghini, Porsche, Ducati, Seat, Škoda, Scania, Man, VW:n hyötyajoneuvot ja Volkswagen. Vuonna 2014 se oli yksi maailman suurimmista autonvalmistajista 13 prosentin osuudellaan maailman henkilöautomarkkinoilla. Sen 119 tehtaasta valmistui 41 000 ajoneuvoa jokaisena viikon päivänä. Saman vuoden aikana yhtiö myi yhteensä 10,2 miljoonaa ajoneuvoa 153 eri valtioon. (VW AG 2015a.)

### 2.1 Strategia 2018

Joulukuussa 2007 toimitusjohtaja Martin Winterkornin aloitteesta Volkswagen Group loi varsin kunnianhimoisen kasvustrategian: "Strategy 2018". Strategian tavoitteena oli tehdä Volkswagenista maailman johtava autoteollisuuden toimija seuraavien neljän pääkohdan mukaisesti:

- Volkswagen aikoo hyödyntää älykkäitä innovaatioita ja teknologioita ollakseen maailman paras yhtiö asiakastytyvyydessä sekä tuotteidensa laadussa.
- Päämäärä on lisätä myytyjen ajoneuvojen määrä yli 10 miljoonaan yksikköön vuosittain panostamalla erityisesti kehittyviin markkina-alueisiin.
- Volkswagenin tavoitteena on jatkuva vähintään 8 %:n katetuotto yhtymän vakaan taloudellisen aseman varmistamiseksi sekä toiminnan jatkumiseksi myös vaikeissa markkinaolosuhteissa.

- Volkswagen haluaa kehittyä parhaaksi työnantajaksi kaikkien ajoneuvomerkkien, yhtiöiden ja alueiden välisessä vertailussa.

Strategia 2018:n päämäärä on luoda Volkswagen Groupista maailman kannattavin ja ympäristöystävällisin autonvalmistaja. Silloisen toimitusjohtaja Winterkornin mukaan "Maailman kannattavin, houkuttelevin ja ympäristöystävällisin autonvalmistaja, jolla on lisäksi maailman tyytyväisimmät asiakkaat ja työntekijät" (VW AG 2015b; Blackwelder ym. 2016, 3). Vuoden 2015 lokakuuhun asti Volkswagen tuntui saavuttavan tavoitteensa, kun se oli saavuttanut yli 10 miljoonan ajoneuvon myyntiluvut edellisenä vuonna. Myydyistä autoista yli puolet oli Volkswagen -henkilöautoja. Lokakuussa 2015 Toyotan myyntimäärät kuitenkin taas ohittivat VW AG:n vastaavat. (Schmitt 2016.)

## 2.2 Operatiivinen toiminta

Volkswagen Group käsittää kaksi pääosaa: Automotive Division (ajoneuvojaos), josta konserni yleisesti tunnetaan sekä Financial Services Division (rahoituspalvelujaos), joka vastaa yhtiön rahoituksesta, leasing -toiminnoista, vakuutuksista ja yhtiön muista pankkiasioista. Jälkimmäinen vastaa myös asiakkaille ja jälleenmyyjille tarjottavista rahoituspalveluista ja lainoista.

Automotive Division, joka tuotti 85 % konsernin liikevoitosta vuonna 2014, on jaettu henkilöauto-osastoon sekä hyötyajoneuvo- ja moottoriosastoon. Henkilöauto-osasto vastasi 94 % konsernin ajoneuvotoimituksista, joista Volkswagen oli suosituin merkki 61 %:n osuudellaan vuonna 2014, Audin ollessa selkeä kakkonen (15 %) ja Škoda kolmas (8 %). Noin 43 % autojen myyntimäärästä tuli Euroopasta, 40 % Aasian ja Tyynenmeren alueilta, 9 % Pohjois-Amerikasta ja 8 % Etelä-Amerikasta. (VW AG 2016a, 23.)

## Tuotekehitys

Volkswagen käytti tutkimus- ja kehittämistoimintaan vuonna 2015 13,6 miljardia euroa ja 13,1 mrd. € sitä edeltävänä vuonna. Se on eniten maailmassa ja enemmän kuin Ford ja General Motors yhteensä. (VW AG 2016a, 139; Strategy& 2015, 14.)

Innovointi on tärkeä osa Volkswagenin strategiaa. Esimerkiksi vuonna 2012 Volkswagen otti käyttöön MQB -pohjalevyn (Modularer Querbaukasten, Modular Transveral Toolkit), jonka avulla yhtiö pystyy rakentamaan eri autoja samoista moduuleista. Käyttämällä

MQB:tä yhtiö pystyy lopulta tuottamaan kaikki henkilöautomallinsa vain neljästä “perusrakennussarjasta”, joista voi asiakaskysynnän mukaan valmistaa bensiini-, diesel-, hybridi- tai sähkökäyttöisiä versioita. Transversal viittaa moottorin poikittaiseen asennussuuntaan auton pitkittäisakseliin nähden, jolloin vetotapa on aina etuveto tai tarvittaessa neliveto. (VW AG 2012.)

Vastaava pohjalevyratkaisu pitkittäismoottorisille autoille on nimeltään MLB (Modularer Längsbaukasten, Modular Longitudinal Toolkit) ja ne voivat olla etu-, taka- tai nelivetoisia. Tuotannon tehostamisella Volkswagen uskoo pystyvänsä vähentämään tuotantoon tällä hetkellä tarvittavaa työaika 30 %:lla. Näin yksittäisten autojen tuotantokustannukset vähenevät merkittävästi. Volkswagen on ilmoittanut myös syventävänsä yhteistyötä Daimler AG:n kanssa jakeluautojen kehittämisessä. (VW AG 2012; Blackwelder ym. 2016, 3-4.)

### 3 LIIKENTEEN PÄÄSTÖT LYHYESTI

Liikenne aiheuttaa erilaisia haittavaikutuksia sekä ihmisiin että ympäristöön. Haitat ovat paikallisia, alueellisia sekä maailmanlaajuisia. Suurin haitallisten päästöjen tuottaja on tieliikenne. Motivan mukaan saasteet, melu, onnettomuudet ja liikennemuutokset maksavat esimerkiksi Euroopan unionille vuosittain noin yhden bruttokansantuloosaston verran. (Motiva 2016a.)

Liikenteen on laskettu aiheuttavan kolmasosan koko maailman ilmastonmuutosta kiihdyttävistä hiilidioksidipäästöistä ja Suomessakin noin 20 prosenttia. Liikenteestä pääsee vesistöihin, pohjavesiin ja maaperään monia vahingollisia aineita, kuten tiesuolaa, öljyä ja liuottimia. Yli puolet teollisuusmaiden ilmansaasteista aiheutuu liikenteestä. Suomessa liikenteen osuus ilmansaasteista on vähän pienempi. Autoliikenteen päästöt ovat erityisen pahoja, koska ne pääsevät ilmaan suurin piirtein ihmisten hengityskorkeudella. (Motiva 2016a.)

Motivan julkaisujen mukaan päästösääntelyn ja -rajojen asettamisen ansiosta terveydelle haitallisten päästöjen määrää on onnistuttu vähentämään tuntuvasti. Liikenteen osuus päästöistä on kuitenkin edelleen merkittävä – yli puolet Suomen hiilimonoksidi- eli häkäpäästöistä (CO) ja noin puolet hiilivety- ja typenoksidipäästöistä (HC ja NO<sub>x</sub>) on peräisin liikenteestä. (Motiva 2016a.)

Suurimpana ongelmana pidetään kuitenkin hiilidioksidipäästöjä (CO<sub>2</sub>), jotka eivät ole vähentyneet muiden pakokaasupäästöjen tavoin. Hienoinen käänne Suomessa (4,3 %) tapahtui vuosien 2010-2013 aikana. Siihen päästiin lähinnä biopolttoaineiden lisääntyneen käytön ansiosta ja osittain myös henkilöautojen moottorien parantuneesta energiatehokkuudesta. Saman tutkimusaikajakson aikana liikenteen määrä pysyi jokseenkin samalla tasolla. (Motiva 2016a.)

Euroopan unionin alueella liikenteen osuus on 21 prosenttia kasvihuonepäästöistä. Siitä 93 prosenttia on peräisin tieliikenteestä. Laskelmasta puuttuvat kansainvälinen lento- ja meriliikenne. Nopeimmassa kasvussa ovat kansainvälisen lentoliikenteen päästöt. (Motiva 2016a.)

## Päästöjen ainesosat

Täydellinen polttomoottori ihanteellisissa olosuhteissa tuottaisi pakokaasuina vain hiilidioksidia ja vesihöyryä. Tämä ei ole käytännön olosuhteissa mahdollista, vaan moottorit kuitenkin tuottavat myös osittain palaneita tai palamattomia polttoaineosia sekä palamisen sivutuotteita, kuten typen oksideja. (Motiva 2016b.)

Hiilivetyä sisältävän polttoaineen palaessa epätäydellisesti syntyy hiilimonoksidia eli häkää. Tällöin polttoaineen hiili ei siis hapetu kokonaan hiilidioksidiksi. Häkä on hajuttomuudesta ja värittömyydestä huolimatta myrkyllinen kaasu, sillä se vähentää punasolujen hapenkantokykyä (European Environment Agency 2016, 9). Pakokaasuissa voi olla tietyissä tilanteissa, kuten kylmäkäynnistyksessä tai vikatilanteissa, paljonkin häkää. Epätäydellinen palaminen saa aikaan myös aldehydejä, ketoneita ja erilaisia happoja. (Motiva 2016b.)

Hiilivetypäästöt syntyvät, kun osa polttoaineesta kulkeutuu palamattomana tai osittain palaneena moottorin läpi. Hiilivety-yhdisteet ovat haitallisia ihmisen terveydelle, mutta erityisen haitallista on alailmakehän otsoni, joka syntyy haihtuvien orgaanisten yhdisteiden (VOC) yhdessä typen oksidien reagoitessa keskenään auringonvalossa (European Environment Agency 2016, 9). Pakokaasut sisältävät jokseenkin samoja hiilivetyjä kuin polttoaine. Polttoaineen hiilivetyketjut tapana on katkeilla (krakkautua) ja yhdistyä (polymeroitua), mikä synnyttää pakokaasuihin myös muita hiilivety-yhdisteitä kuin polttoaineessa on. (Motiva 2016b.)

Suurin osa pakokaasupäästöistä on kaasumaisia, mutta dieselmoottorin pakokaasuissa on runsaasti myös kiinteitä aineita. Hiukkasia (partikkeleita) syntyy, kun polttoainepisara palaa epätäydellisesti ja jättää jälkeensä nokiytimen. Sen pinnalle tiivistyvät hiilivety-yhdisteet (Motiva 2016b). Hiukkaset ovat niin pieniä, että ne kulkeutuvat syvälle hengityselimistöön ja ne voivat aiheuttaa keuhkosairauksia ja syöpää. (European Environment Agency 2016, 9.)

Palamisen sivutuotteista suurin osa on typen oksideja (NO, NO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O). Niistä käytetään usein yhteisnimitystä NO<sub>x</sub>. Typen oksidit happamoittavat maaperää ja vesistöä. Typen oksidit edesauttavat myös vesistöjen rehevöitymistä. Muun muassa liikenteestä peräisin olevan, ilman kautta kulkeutuvan typen osuus on lähes viidennes Suomenlahtea kuormittavasta typpikuormituksesta. (Motiva 2016a.)

## 4 DIESELMOOTTORIN PÄÄSTÖJEN HALLINTA

Dieselmoottori henkilöauton voimalähteenä on kasvattanut suosiotaan tasaisesti 90-luvulta lähtien. Dieselmoottorin perinteiset vahvuudet ovat taloudellisuus ja luotettavuus sekä hyvät vääntömomenttiominaisuudet, minkä ansiosta dieselmoottori on monien vuosikymmenien ajan ollut hyötyajoneuvojen voimanlähde. Moottorin jatkuva kehittyminen ja erityisesti suoraruiskutusmoottorin sekä korkeapaineisten ruiskutusjärjestelmien nopea kehittyminen ovat tuoneet mukanaan paremmat teho- ja kulutusominaisuudet. Lisäksi dieselauton ajo-ominaisuudet ovat parantuneet ja haittapäästöt pienentyneet huomattavasti. Tämän myötä dieselistä on tullut yhä mieluisampi vaihtoehto myös henkilöauton moottorina (Dietsche ym. 2007, 3). Tällä hetkellä dieleseiden osuus ensirekisteröitävistä henkilöautoista on Euroopassa noin 53 % ja Yhdysvalloissa noin 3,4 %. (ACEA 2014; Hybridcars.com ja Baum & Associates 2016.)

### 4.1 Moottorin sisäiset keinot

Dieselmoottorin palotapahtuman kulku ja siten moottoriteho, polttonestekulutus, pakokaasujen koostumus ja palamismelu riippuvat ratkaisevasti ilman ja polttonesteen seoksen esikäsitteystä. Dieselmoottorin meluun ja pakokaasupäästöihin voidaan vaikuttaa huomattavan paljon moottorin sisäisillä keinoilla, eli ohjaamalla palamisen kulkua. (Dietsche ym. 2007, 48.)

1980-luvulle saakka syöttömäärää ja ruiskutuksen alkuhetkeä säädettiin mekaanisesti ajoneuvomoottoreissa. Nykyisten pakokaasumääräysten täyttäminen vaatii kuitenkin hyvin tarkat, moottorin käyttötilanteelle sovitettut ruiskutusparametrit esi- ja pääruiskutuksen ruiskutusmäärän, -hetken ja -paineen suhteen. Tämä onnistuu vain elektronisella säätöjärjestelmällä, joka määrittää ruiskutuksen suureet huomioiden lämpötilan, pyörintänopeuden, kuorman, korkeuden merenpinnasta jne. Nykyään dieselajoneuvoissa käytetään yksinomaan elektronisesti ohjattuja dieseljärjestelmiä (EDC: Electronic Diesel Control). (Dietsche ym. 2007, 48.)

#### 4.1.1 Seoksen muodostus

Todellisen ilma- ja polttonesteseoksen poikkeama stökiometrisestä massasuhteesta ilmoitetaan ilmakertoimella  $\lambda$  (lambda). Ilmakerroin ilmaisee todellisen imetyn ilmamassan suhteen stökiometrisessä palamisessa vaadittuun ilmamassaan. Stökiometrinen suhde ilmoittaa kuinka monta kilogrammaa ilmaa tarvitaan yhden polttonestekilon täydelliseen palamiseen. Dieselpolttonesteellä luku on 14,5 ja bensiinillä 14,7. Ilmakertoimen ollessa alle 1, vallitsee ilma-alimäärä, jolloin seos on rikas. Vastaavasti ilmakertoimen ollessa yli 1, vallitsee ilmaylimäärä, jolloin seos on laiha. (Dietsche ym. 2007, 48.)

Palamisessa syntyvä noki johtuu paikallisista rikkaista seosalueista. Päinvastoin kuin otomoottori, dieselmoottorin on koko käyttöalueella toimittava ilmaylimäärällä, jotta ei synnyisi liikaa rikkaita seosalueita. Ahdetuilla dieselmoottoreilla lambda-arvot ovat täyskuormalla noin  $\lambda = 1,15-2,0$ . Joutokäynnillä ilman kuormaa arvot nousevat alueelle  $\lambda > 10$ . Nämä ilmakertoimet ilmaisevat sylinterissä olevan ilman ja polttonesteen kokonaissuhteen. Itsesytytyksen ja päästöjen kannalta ratkaiseva merkitys on kuitenkin paikallisilla lambda-arvoilla, jotka vaihtelevat suuresti palotilassa. (Dietsche ym. 2007, 48-49.)

Dieselmoottori toimii heterogeenisellä sisäisellä seoksenmuodostuksella ja itsesytytysperiaatteella. Ruiskutetun polttonesteen ja ilman täysin homogeeninen seos ei ole mahdollinen ennen palamista tai tämän aikana. Dieselmoottorin heterogeenisessä seoksessa paikalliset ilmakertoimet ovat alkaen  $\lambda = 0$  (pelkkää polttonestettä suutinkärjen lähellä keskellä polttonestesuihkua) äärettömään asti  $\lambda = \infty$  (pelkkää ilmaa polttonestesuihkun ulkopuolella). Yksittäisen polttonestepisaran reuna-alueella (höyrystymiskerroksessa) esiintyy paikallisia syttymiskelpoisia lambda-arvoja  $\lambda = 0,3-1,5$ . Tämän vuoksi hyvällä polttonesteen sumutuksella, suurella kokonaisilmaylimäärällä ja täytöksen tarkalla hallinnalla syntyy runsaasti paikallisia laihoja syttymiskelpoisia alueita. Tämän ansiosta palamisessa syntyy vähän nokea, jolloin pakokaasujen takaisinkierrätystä voidaan lisätä  $\text{NO}_x$ -päästöjen vähentämiseksi. (Dietsche ym. 2007, 49.)

Hyvä polttonesteen sumutus aikaansaadaan korkeilla ruiskutusaineilla. Korkeimmillaan paineet ovat pumppusuutinjärjestelmissä 2200 bar. Yhteispaineruiskutusjärjestelmässä korkeimmat paineet ovat 2000 bar. Korkealla ruiskutusaineella polttonesteen suhteellinen nopeus sylinterissä olevaan ilmaan nähden on suuri, jolloin polttonestesuihku hajailee tehokkaasti. (Dietsche ym. 2007, 49.)

#### 4.1.2 Pakokaasujen takaisinkierätyks

Pakokaasujen takaisinkierätyks (EGR, Exhaust Gas Recirculation) on tehokas tapa alen-taa palamisliekin lämpötilaa palotilassa ja täten NO<sub>x</sub>-päästöjä. Kuuma pakokaasu kerä-tään ja jäähdytetään EGR-jäähdyttimessä alle 150 °C:n lämpötilaan, jonka jälkeen se sekoitetaan moottorin imuilman kanssa. Vähentynyt imuilman hapen määrä sekä pako-kaasun sisältämien H<sub>2</sub>O ja CO<sub>2</sub>-komponenttien korkeiden lämpökapasiteettien ansiosta palotilan lämpötila laskee useita satoja asteita. Moottorinohjain säättää takaisinkierätyk-sen määrää EGR-venttiilillä. (Dietsche ym. 2011, 403.)

Korkean lämpötilan ja pakokaasujen sisältämien likapartikkeleiden takia takaisinkierä-tysmäärää on vaikea mitata. Tästä syystä säätö tapahtuu epäsuorasti ilmamassamitta-rilla, joka sijaitsee raitisilmavirtauksessa. Tämän mittaamaa arvoa ohjainlaite vertaa moottorin teoreettiseen ilmantarpeeseen, joka määräytyy eri suureiden perusteella (esim. moottorin pyörintänopeus). Mitä pienempi todellinen mitattu ilmamassa on verrat-tuna teoreettiseen ilmantarpeeseen, sitä suurempi on takaisinkierätetyn pakokaasun osuus (Dietsche ym. 2007, 107). Tyypillinen takaisinkierätysmäärä on 25-40 % sylinterin täytöstilavuudesta ja typen oksidipäästöjä voidaan vähentää jopa yli 40 %:lla. (Manufac-turers of Emission Controls Association 2007, 22.)

Turboahdetuissa moottoreissa EGR voidaan toteuttaa kahdella eri tavalla, yhdessä tai erikseen. Matalapainetakaisinkierätyksessä pakokaasu kerätään turbiinin jälkeen, jääh-dytetään ja syötetään kompressorille. Korkeapainetakaisinkierätyksessä pakokaasu ke-rätään ennen turbiinia, jäähdytetään ja syötetään suoraan imusarjaan. Tällöin kompres-sori säästyy likaantumiselta sekä ylimääräiseltä lämpökuormitukselta. Matalapaine-EGR on kuitenkin käytännöllinen dieselmootoreissa, joissa pakokaasu voidaan kerätä hiuk-kassuodattimen jälkeen. (Dietsche ym. 2011, 403.)

#### 4.1.3 Ruiskutuksen ajoitus

Ruiskutuksen alkuhetki vaikuttaa suuresti ilma- ja polttonesteseoksen palamisen käyn-nistymiseen ja siten palamismeluun, polttonestekulutukseen ja päästöihin. Ruiskutuksen alku ilmoittaa hetken, jolloin suutin avautuu ja polttonesteen ruiskutus moottorin paloti-laan alkaa kampiakselin kulmana ennen yläkuoloa (YKK). Männän hetkellinen



asento yläkuolokohtaan nähden vaikuttaa palotilassa olevan ilman liikkeeseen, lämpötilaan ja tiheyteen. Tämän vuoksi ruiskutus hetki vaikuttaa päästöihin, kuten hiilimonoksidin, palamattomien hiilivetyjen, noen ja typen oksidien muodostukseen. (Dietsche ym. 2007, 50.)

Ruiskutuksen alkuhetken ohjearvo vaihtelee moottorin pyörintänopeuden, kuormituksen ja lämpötilan mukaan. Optimaaliset moottorikohtaiset arvot määritellään ottaen huomioon vaikutukset polttonestekulutukseen sekä melu- ja pakokaasupäästöihin. Määritellyt arvot tallennetaan ruiskutuksen alkuhetken käyrästön. Kuormituksesta riippuva ruiskutusennakon säätö tapahtuu käyrästön perusteella. Nokkakäyttöisiin järjestelmiin nähden, yhteispaineruiskujärjestelmä tarjoaa vapaamman mahdollisuuden valita ruiskutusten ajankohdat ja määrän sekä ruiskutuspaineen. Tämän mahdollistaa erillinen painetta kehittävä korkeapainepumppu sekä moottorinohjausjärjestelmä, joka sovittaa paineen käyttötilanteelle sopivaksi ja ohjaa ruiskutustapahtumaa ohjaamalla magneettiventtiiliä tai pietsoelementtiä. (Dietsche ym. 2007, 50.)

Ruiskutustapahtuman aikana ruiskutus paine on lähes vakio. Ruiskutettu polttonestemäärä tietyllä paineella on suoraan verrannollinen ruiskutusventtiilin ohjauksen keston, eikä riipu moottorin tai pumpun pyörintänopeudesta. Tästä seuraa miltei suorakaiteen muotoinen ruiskutus käyrä, joka lyhyemmän ruiskutusajan ja lähes vakiona pysyvän suihkun nopeuden ansiosta hyödyntää käytettävissä olevan ilman tehokkaasti täyskuormalla, mahdollistaen näin korkeamman ominaistehon. (Dietsche ym. 2007, 54-55.)

Elektronisella dieseljärjestelmän ohjauslaitteella (EDC +) ruiskutuksen alku ja kesto sekä ruiskutus paine voidaan moottoriapplikaatiossa sovittaa vapaasti moottorin eri käyttötilanteisiin. IMA-koodauksen avulla EDC-ohjainlaite tasaa yksittäisissä ruiskutusventtiileissä esiintyvät syöttömääräerot. Nykyaikaiset pietsotoimiset yhteispaineruiskutusjärjestelmät sallivat useamman esi- ja jälkiruiskutuksen käytön. (Dietsche ym. 2007, 55.)

## **Esiruiskutus**

Sylinterin lämpötila ja paine saadaan nostettua korkeammaksi polttamalla pieni polttonestemäärä (n. 1 mg) puristustahdin aikana ennen pääruiskutusta. Tällöin pääruiskutuksen syttymisviive lyhenee vähentäen samalla palamismelua, koska esisekoittuneen polttonesteen määrä on pienempi syttymishetkellä. Seurauksena palamisen laadussa esiin-

tyy kuitenkin suurempaa hajontaa samassa palamistapahtumassa. Tämän sekä palotilan korkeamman lämpötilan takia noki- ja NO<sub>x</sub>-päästöt lisääntyvät. Sovittamalla esi- ja pääruiskutusten ajallinen etäisyys sekä esiruiskutusmäärä käyttötilanteeseen saavutetaan otollinen kompromissi palamismelun ja NO<sub>x</sub>-päästöjen välillä. (Dietsche ym. 2007, 56.)

### **Jälkiruiskutus**

Yhteispaineruiskutusjärjestelmä mahdollistaa jälkiruiskutuksen välittömästi pääruiskutuksen jälkeen palotapahtuman aikana. Toiminnon avulla nokipartikkelit voidaan jälkipolttaa, mikä vähentää nokipäästöjä 20-70 %. (Dietsche ym. 2007, 56.)

Myöhäisessä jälkiruiskutuksessa polttoneste ei pala, vaan höyrystyy pakokaasujen jäännöslämmön vaikutuksesta. Jälkiruiskutus tapahtuu pääruiskutuksen jälkeen työ- tai poistotahdin aikana jopa 200° YKK:n jälkeen. Toiminnolla annostellaan tarkasti tietty polttonestemäärä pakokaasujen joukkoon, jolloin pakokaasun ja polttonesteen seos virtaa poistotahdissa avoimen pakoventtiilin kautta pakojärjestelmään. Tällä pyritään pääsääntöisesti tuomaan hiilivetyjä hapetuskatalysaattoriin, jossa näiden hapettuminen saa pakokaasujen lämpötilan nousemaan. Toimenpidettä tarvitaan pakokaasujen jälkikäsitteilymenetelmien, kuten hiukkassuodattimen tai varaavan NO<sub>x</sub>-katalysaattorin regeneroinnissa. (Dietsche ym. 2007, 56.)

#### **4.2 Pakokaasujen jälkikäsitteily**

Ennen dieselmoottorin päästöjä vähennettiin moottorin sisäisillä keinoilla. Nykyään dieselajoneuvon moottorin tuottamat raakapäästöt ylittävät mm. Euroopan, Yhdysvaltojen ja Japanin päästöraja-arvot. Vaadittava korkea päästöjen vähennysaste voidaan saavuttaa vain yhdistelemällä moottorin sisäisiä keinoja ja jälkikäsitteilymenetelmiä. (Dietsche ym. 2007, 120.)

#### 4.2.1 Dieselhapetuskatalysaattori

1980-luvulla bensiiniajoneuvoihin tuli kolmitoimikatalysaattori, joka hapetti hiilimonoksidia ja hiilivetyjä sekä pelkisti typenoksideja käyttäen hyväksi kahta edellä mainittua. Kolmitoimikatalysaattori toimii tehokkaasti vain  $\lambda$ -arvolla 1. Dieselmoottorin toimiessa ilmaylimäärällä kolmitoimikatalysaattoria ei voida käyttää  $\text{NO}_x$ :n pelkistämiseen, koska laihan dieselpakokaasun sisältämät HC- ja CO-päästöt reagoivat katalysaattorissa ennemmin pakokaasun jäännöshapen kuin  $\text{NO}_x$ :n kanssa. (Dietsche ym. 2007, 120.)

Dieselhapetuskatalysaattorin (Diesel Oxidation Catalyst, DOC) tehtäviä ovat vähentää CO- ja HC-päästöjä, pienentää hiukkasmassaa, hapettaa NO:a  $\text{NO}_2$ :ksi ja toimia katalyyttisenä polttimena. (Dietsche ym. 2007, 130.)

Hiilimonoksidi ja hiilivedyt hapettuvat hapetuskatalysaattorissa hiilidioksidiksi ( $\text{CO}_2$ ) ja vesihöyryksi ( $\text{H}_2\text{O}$ ). Tietystä rajalämpötilasta alkaen hapettuminen tapahtuu lähes täydellisesti. Rajalämpötila on pakokaasujen koostumuksesta ja virtausnopeudesta sekä katalysaattorin kokoonpanosta riippuen 170-200 °C. Tästä lämpötilasta ylöspäin muuntoaste kasvaa jopa yli 90 %:n lämpötilan noustua 20-30 °C rajalämpötilasta. (Dietsche ym. 2007, 130.)

Dieselmoottorin tuottamat partikkelipäästöt koostuvat osittain hiukkasiin absorboituneista hiilivedyistä, jotka lämpötilan noustessa desorboituvat hiukkasen ydinosasta. Näiden hiilivetyjen hapettuessa katalysaattorissa hiukkasmassa saattaa pienentyä n. 15-30 %. (Dietsche ym. 2007, 130.)

Hapetuskatalysaattorin yksi tärkeimpiä tehtäviä on NO:n hapettaminen  $\text{NO}_2$ :ksi. Korkea  $\text{NO}_2$ :n osuus  $\text{NO}_x$ :sta on useille perään kytketyille pakokaasunpuhdistimille (DPF, NSC, SCR) tärkeää niiden optimaalisen toiminnan kannalta. Moottorin tuottamasta käsittelemättömästä pakokaasusta  $\text{NO}_2$ :n osuus  $\text{NO}_x$ :sta on useimmissa käyttötilanteissa vain noin 10 %. Hapen ( $\text{O}_2$ ) läsnä ollessa  $\text{NO}_2$ :n ja NO:n välillä vallitsee lämpötilasta riippuva tasapaino. Matalissa lämpötiloissa (<250 °C) tämä tasapaino on  $\text{NO}_2$ :n puolella. Lämpötilan ollessa yli n. 450 °C NO on termodynaamisesti etusijalla oleva komponentti. (Dietsche ym. 2007, 130.)

Matalissa lämpötiloissa hapetuskatalysaattori nostaa  $\text{NO}_2$ :NO-suhdetta muuttamalla termodynaamista tasapainoa. Katalysaattorin pinnoitteesta ja pakokaasujen koostumuksesta riippuen tämä onnistuu 180-230 °C:sta alkaen, joten  $\text{NO}_2$ :n pitoisuus lähtee tällä

lämpötila-alueella rajuun kasvuun. Termodynaamisen tasapainon mukaisesti, NO<sub>2</sub>:n pitoisuus lähtee jälleen laskuun nousevalla lämpötilalla. (Dietsche ym. 2007, 130.)

Hapetuskatalysaattoria voidaan myös käyttää katalyyttisenä kuumentimena. Tällöin hyödynnetään CO:n ja HC:n hapettumisesta vapautuvaa reaktiolämpöä katalysaattorin jälkeisen pakokaasun lämpötilan nostoon. Tässä tapauksessa CO- ja HC-päästöjä lisätään tarkoituksella moottorin sisäisellä jälkiruiskutuksella tai moottorin jälkeen sijoitetulla ruiskutusventtiilillä. Toimintoa voidaan käyttää esim. pakokaasun lämpötilan nostoon hiukkassuodattimen regeneroinnissa. (Dietsche ym. 2007, 130.)

#### 4.2.2 Hiukkassuodatin

Dieselmoottorin tuottamat nokipäästöt voidaan tehokkaasti poistaa pakokaasuista dieselhiukkassuodattimella (Diesel Particulate Filter, DPF). Tähänastiset henkilöautoihin asennetut hiukkassuodattimet perustuvat huokoiseen keraamiseen materiaaliin.

#### **Suljettu hiukkassuodatin**

Keraamiset hiukkassuodattimet koostuvat piikarbidista tai kordieritistä valmistetusta kennorakenteesta, jossa on lukuisia pääsääntöisesti neliönmuotoisia rinnakkaisia kanavia. Kanavan seinämän paksuus on tavallisesti 300-400 µm. Vierekkäiset kanavat ovat vastakkaisista päistään keraamisella tulpalla suljetut, jolloin pakokaasu joutuu virtaamaan huokoisen keraamisen seinämän läpi. Virratessaan seinämien läpi nokihiukkaset kulkeutuvat ensin diffuusion vaikutuksesta huokosten seinämiin, joihin ne pysähtyvät. Suodattimen nokimäärän kasvaessa myös kanavien seinämille muodostuu nokikerros, joka aikaansaa erittäin tehokkaan pintasuodatuksen seuraavassa käyttövaiheessa. Liiallinen täyttyminen on kuitenkin estettävä regeneroinnilla. Keraamisten suodattimien suodatusaste on yli 95 % koko merkittävä hiukkaskokoalue (10 nm-1 µm) huomioiden. Suljetuissa hiukkassuodattimissa kaikki pakokaasut virtaavat huokoisten seinämien läpi. (Dietsche ym. 2007, 126.)

## **Avoim hiukkassuodatin**

Avoimessa hiukkassuodattimessa vain osa pakokaasuista virtaa suodattavan seinämän läpi, kun taas loppu virtaa ohi suodattamattomana. Avoimet suodattimet saavuttavat käytöstä riippuen 30-80 %:n suodatusasteen. Suodattimen nokimäärän kasvaessa ohi virtaavan suodattamattoman pakokaasun osuus lisääntyy, eikä suodatin voi siten tukkeutua. Tällöin suodatusaste kuitenkin laskee. Avointa suodatinta käytetään lähinnä jälkiasennussuodattimena, koska se ei tarvitse ohjattua puhdistusta. Suodattimen puhdistus tapahtuu CRT-menetelmällä, joka käydään läpi tulevissa kappaleissa. (Dietsche ym. 2007, 127.)

## **Regenerointi**

Hiukkassuodatin on säännöllisin väliajoin regeneroitava eli tyhjennettävä siihen kertyneistä hiukkasista. Suodattimen kasvavasta nokikerroksesta johtuen pakokaasujen vastapaine nousee jatkuvasti heikentäen moottorin hyötysuhdetta ja suorituskykyä. Regenerointi on tehtävä noin 500 ajokilometrin välein. Moottorin tuottaman hiukkasmäärän sekä suodattimen koosta riippuen, ajomatka voi vaihdella paljonkin (300-800 km). Regenerointivaiheen kesto on suuruusluokaltaan 10-15 minuuttia, lisäainetta käytävissä järjestelmissä lyhyempikin. (Dietsche ym. 2007, 127.)

Hiukkassuodattimen regenerointi tapahtuu polttamalla siihen kertynyt noki. Hiukkasen sisältämä hiiliosuus oksidoiduu yli 600 °C:ssa pakokaasuissa jatkuvasti esiintyvän hapen vaikutuksesta myrkyttömäksi hiilidioksidiksi. Niin korkeisiin lämpötiloihin päästään vain moottorin nimellistehoalueella, ja siten harvoin tavallisessa ajotilanteessa. Noen palamislämpötilan madaltamiseksi ja/tai pakokaasun lämpötilan korottamiseksi on siksi käytettävä erilaisia toimenpiteitä. (Dietsche ym. 2007, 127.)

## **Regenerointi lisäaineella**

Lisäämällä dieselpolttonesteen joukkoon lisäainetta (FBC, Fuel Borne Catalyst), yleensä cerium- tai rautayhdisteitä, noen palamislämpötilaa voidaan laskea 600 °C:sta noin 450-500 °C:seen. Ajotilanteessa tätäkään lämpötilaa ei aina saavuteta pakoputkistossa, joten noki ei pala jatkuvasti. Tietyn noen täyttymisasteen ylittyessä hiukkassuodattimessa

käynnistetään aktiivinen regenerointi. Tällöin moottorin palotapahtuman ohjausta muutetaan niin, että pakokaasujen lämpötila nousee noen palamislämpötilaan. Tämä voidaan saavuttaa esimerkiksi myöhäisellä ruiskutuksella. Polttonesteeseen lisätty lisäaine jää regeneroinnin jälkeen hiukkassuodattimeen jääminä (tuhkana). Tämä, kuten myös moottoriöljy- ja polttonestejäämien tuhka, tukkii vähitellen suodattimen ja nostaa pakokaasun vastapainetta. Vastapaineen nousun hidastamiseksi tuhkan varastointikykyä kasvatetaan keraamisilla suodattimilla, joissa tulokanavan kokoa on kasvatettu kahdeksankulmaisella profiililla mahdollisimman suureksi. Tämän tyyppisen suodattimen kapasiteetti riittää kaikelle regeneroinnissa syntyvälle tuhka- ja öljyjäämälle, joka kertyy ajoneuvon normaalin käyttöajan aikana. Käytettäessä perinteistä keraamista suodatinta yhdessä lisäaineen kanssa, periaatteena on, että suodatin on irrotettava ja puhdistettava mekaanisesti noin 120 000 km:n välein. (Dietsche ym. 2007, 128.)

### **Suodatin katalyyttisellä pinnoitteella**

Pinnoittamalla hiukkassuodatin jalometalleilla (Catalyzed Diesel Particulate Filter, CDPF), kuten platinalla, saavutetaan niin ikään paremmat noenpoltto-ominaisuudet. Katalyytti alentaa noenhapetuslämpötilan pakokaasujen normaalilämpötilan alueelle, eli noin 300-400 °C:een. Lisäksi katalyytti hapettaa NO:n NO<sub>2</sub>:ksi, joka kiihdyttää noen hapettumista. Lopuksi kaikkien katalyyttisten hapetusreaktioiden aiheuttama lämpötilan nousu voi olla riittävä (> 600 °C) noen luonnolliselle palamiselle. (Dieselnet 2005; Dietsche ym. 2007, 128.)

### **Jatkuvasti regeneroiva hiukkassuodatin**

Hyötyajoneuvomoottoria käytetään henkilöautomoottoria useammin suurimman vääntömomentin alueella, jossa NO<sub>x</sub>-päästöt ovat suhteellisen korkeat. Hyötyajoneuvoissa voidaan siksi soveltaa jatkuvaa hiukkassuodattimen regenerointia (Continuously regenerating trap, CRT). Periaate perustuu siihen, että noki palaa NO<sub>2</sub>:lla jo 300-450 °C:n lämpötiloissa. Menetelmä toimii luotettavasti, jos NO<sub>2</sub>:n ja noen massasuhde on yli 8:1. Tämän vuoksi hiukkassuodattimen eteen sijoitetaan hapetuskatalysaattori, joka hapettaa NO:n NO<sub>2</sub>:ksi. Näillä keinoilla CRT-menetelmällä tapahtuvan regeneroinnin edellytykset täyttyvät useimmiten tavallisessa ajossa hyötyajoneuvokäytössä. Menetelmää kutsutaan

myös passiiviseksi regeneroinniksi, koska noki palaa jatkuvasti ilman aktiivisten toimenpiteiden käynnistämistä. Henkilöautoissa, joita useimmiten käytetään pienemmillä kuormituksilla, hiukkassuodattimen täydellinen regenerointi ei toteudu CRT-periaatteella. (Dietsche ym. 2007, 129.)

### **Regenerointi polttoaineella**

Hiukkassuodattimen aktiiviseen regenerointiin tämän lämpötila on nostettava yli 600 °C:seen. Tämä onnistuu moottorin sisäisillä säätötoimenpiteillä. Epäsuotuisissa applikaatioissa esim. pitkällä moottorin ja hiukkassuodattimen välisellä etäisyydellä, moottorin sisäiset toimenpiteet monimutkaistuvat huomattavasti. Näissä voidaan käyttää HCl-järjestelmää (Hydro Carbon Injection), jossa katalysaattorin eteen suihkutetaan polttonestettä, joka höyrystyy ja palaa tässä katalyyttisesti. Palamisessa syntyvää lämpöä käytetään katalysaattorin jälkeen sijoitetun hiukkassuodattimen regenerointiin. (Dietsche ym. 2007, 129.)

#### **4.2.3 Typen oksidien jälkikäsitteily**

HC- ja CO-päästöjen vähentäminen dieselpakokaasuista voidaan helposti toteuttaa hapetuskatalysaattorilla, mutta typenoksidien poisto on jäännöshapen läsnä ollessa hankalammin tehtävissä. Typenoksidien vähentämiseen voidaan käyttää joko NO<sub>x</sub>-varaajakatalysaattoria tai SCR-katalysaattoria. (Dietsche ym. 2007, 120.)

### **NO<sub>x</sub>-varaajakatalysaattori**

Varaavan katalysaattorin (NSC: NO<sub>x</sub> Storage Catalyst, LNT: Lean NO<sub>x</sub> Trap) yhteydessä on olemassa kaksi eri käyttötilaa. Tavallisessa laihaseoskäytössä NO hapettuu ensin NO<sub>2</sub>:ksi ja varastoituu lopulta katalysaattorin metallioksiidiin (esim. Bariumoksidi, BaO<sub>2</sub>) nitraattimuodostumana (Ba(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>). Varastoituminen on optimaalista ainoastaan pakokaasujen ollessa materiaalista riippuen lämpötilassa 250-450 °C. Alhaisessa lämpötilassa hapettuminen on hyvin hidasta ja korkeassa lämpötilassa NO<sub>2</sub> ei ole stabiili. Varaajakatalysaattorin varastointikyky riittää kuitenkin kylmäkäynnistyksissä muodostuvien typenoksidipäästöjen tarvittavaan varastointiin. (Dietsche ym. 2007, 121.)

Varastointivaiheen päättyessä katalysaattori on regeneroitava. Pakokaasujen koostumus on muutettava rikkaaksi, jolloin siinä on niin paljon pelkistimiä (CO, H<sub>2</sub>, HC), että nitraattisidos purkautuu hetkessä ja pelkistyy jalometallipitoisessa katalysaattorissa N<sub>2</sub>:ksi. Käyttöolosuhteista riippuen varaava jakso kestää noin 30-300 s ja regenerointi 2-10 s. Rikas käyttötilanne voidaan saavuttaa mm. myöhäisellä ruiskutuksella ja kuristamalla moottorin ilmansaantia. Tällöin moottori toimii huonolla hyötysuhteella, joten regenerointivaihe on pidettävä mahdollisimman lyhyenä. (Dietsche ym. 2002, 601.)

Varaavan katalysaattorin ongelma on sen herkkyys rikille. Polttonesteen ja voiteluöljyn sisältämät rikkiyhdisteet hapettuvat rikkidioksidiksi (SO<sub>2</sub>), joka varastoituu katalysaattoriin vähentäen NO<sub>2</sub>:n varastointikykyä. Tästä syntyvä bariumsulfaatti (BaSO<sub>4</sub>) ei purkautu tavallisessa regeneroinnissa, joten se täytyy desulfatoida. Rikin regenerointi eli desulfatointi tapahtuu nostamalla katalysaattorin lämpötila yli 650 °C:seen yli viiden minuutin ajaksi ja säätämällä pakokaasut rikkaalle alueelle ( $\lambda < 1$ ), jolloin hapen määrä laskee ja rikkidioksidi vapautuu sulfaattisidoksesta. Vaarana kuitenkin on, että happialimäärässä SO<sub>2</sub> pelkistyy vaaralliseksi rikkivedyksi (H<sub>2</sub>S), tällöin on käytettävä H<sub>2</sub>S-katalysaattoria. Jos polttonesteen rikkipitoisuus on 10 mg/kg, on desulfatointi tehtävä 5000 km välein (Dietsche ym. 2002, 601; Dietsche 2007, 122-123). Dieselpolttoaineen suurin rikkipitoisuus Euroopassa on 10 ppm vuodesta 2009 ja USA:ssa 15 ppm vuodesta 2006 eteenpäin. (Transportpolicy 2014.)

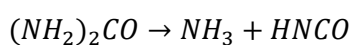
### **Typen oksidien selektiivinen katalyyttinen pelkistys**

Selektiivinen katalyyttinen pelkistys (SCR: Selective Catalytic Reduction) toimii NSC-menetelmästä poiketen jatkuvasti eikä puutu moottorin toimintaan. Se mahdollistaa alhaiset NO<sub>x</sub>-päästöt pienentäen samalla polttonesteenkulutusta. Menetelmä perustuu siihen, että valittu pelkistysaine pelkistää typenoksidit hapen sijasta. Selektiivinen tarkoittaa tässä yhteydessä, että pelkistimen hapettuminen tapahtuu valikoidusti typenoksidien sisältämällä hapella, eikä pakokaasuissa paljon riittoisammin molekyylinä esiintyvän hapen avulla. On todettu, että ammoniakilla (NH<sub>3</sub>) on pelkistysaineena parhaimmat selektiiviset ominaisuudet. Ajoneuvokäyttöön sovellettavaksi tarvittaisiin NH<sub>3</sub>-määriä, jotka turvallisuussyistä olisi arveluttavia aineen myrkyllisyyden vuoksi. NH<sub>3</sub>:a voidaan kuitenkin helposti aikaansaada kantoaineista, kuten ureasta tai ammoniumkarbamaatista, joista ensiksi mainittu on osoittautunut sopivimmaksi. (Dietsche ym. 2007, 123.)



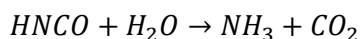
Urea ((NH<sub>2</sub>)<sub>2</sub>CO), jota suuremmissa mittakaavassa valmistetaan lannoitteeksi ja rehuksi, on pohjavesiystävällinen ja ympäristön kannalta kemiallisesti stabiili. Se liukenee erittäin hyvin veteen, minkä ansiosta ureasta ja vedestä tehtyä liuosta on helppo annostella pakokaasujen joukkoon. Pelkistysaine tunnetaan AdBlue-tavaramerkkinä ja sitä on saatavilla esim. kuorma-autojen tankkauspisteistä ja autotarvikeliikkeistä. (Dietsche ym. 2007, 123.)

Ennen varsinaista SCR-reaktiota ureasta on ensin muodostettava ammoniakkaa. Tämä tapahtuu kahdessa vaiheessa. Aluksi termolyysireaktiossa syntyy NH<sub>3</sub>:a ja isosyaanihappoa:



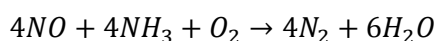
Kaava 1. Termolyysi (Dietsche ym. 2007, 124).

Lopuksi Hydrolyysireaktiossa isosyaanihappo muuntuu veden kanssa reagoidessaan ammoniakiksi sekä hiilidioksidiksi:

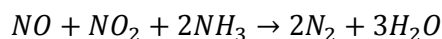


Kaava 2. Hydrolyysi (Dietsche ym. 2007, 124).

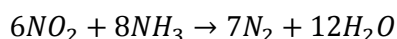
Termohydrolyysistä saatu ammoniakki reagoi SCR-katalysaattorissa seuraavien yhtälöiden mukaisesti:



Kaava 3. Ensimmäinen yhtälö (Dietsche ym. 2007, 125).



Kaava 4. Toinen yhtälö (Dietsche ym. 2007, 125).



Kaava 5. Kolmas yhtälö (Dietsche ym. 2007, 125).

Alhaisissa lämpötiloissa (<300 °C) muuntuminen tapahtuu pääasiassa 2. reaktion muodossa. Hyvän muuntosuhteen saavuttamiseksi matalissa lämpötiloissa, NO<sub>2</sub>:NO-suhteen on tällöin oltava noin 1:1. Näissä olosuhteissa 2. reaktio voi käynnistyä jo 170-200 °C:n lämpötiloissa. Yli 50 %:n pelkistysaste voidaan saavuttaa vasta yli 250 °C:n lämpötiloissa, optiminlämmön ollessa 250-450 °C. Käytännössä järjestelmällä voidaan saavuttaa 90 %:n pelkistysaste NH<sub>3</sub>-vuodon ollessa <20 ppm. Annosteltava AdBlue-määrä on tällöin noin 5 % käytetystä dieselpolttonesteestä. (Dietsche ym. 2007, 125) Typen oksidien lisäksi, SCR-järjestelmä vähentää hiilivety päästöjä jopa 80 % ja hiukkaspäästöjä 20-30 % sekä dieselautolle ominaista hajua. (Manufacturers of emission Controls Association 2007, 32.)

## 5 HUIJAUKSEN PALJASTUMINEN

Volkswagen järkytti koko automaailmaa ja -teollisuutta 22. syyskuuta 2015 vastauksellaan USA:n ympäristönsuojeluviranomaisten (EPA) julkiseen tiedoksiintoon, jossa väitettiin Volkswagenin "Clean Diesel" -autojen rikkovan sikäläistä päästölakia Clean Air Actia. Vastauksessaan saksalainen autonvalmistaja myönsi, että se oli tietoisesti asentanut suoraruiskutuksella varustettuihin dieselmootoreihinsa huijausohjelman (AECD: Auxiliary Emission Control Device). (Blackwelder ym. 2016, 1; ICCT 2016a, 5.)

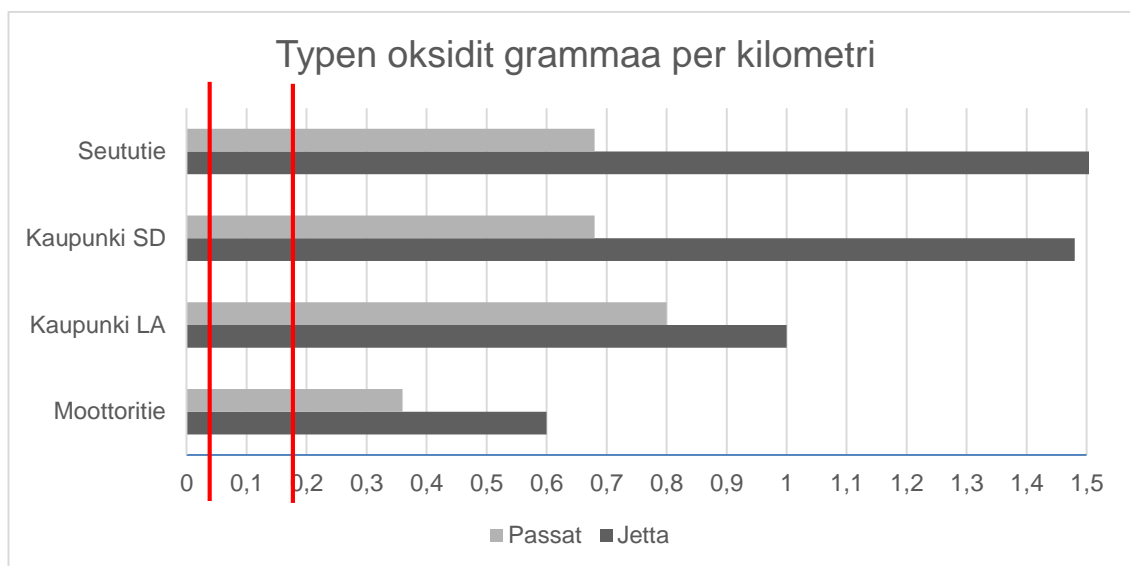
Ohjelma pystyi tunnistamaan päästöttestaustilanteen ja siinä yhteydessä laskemaan moottorin tuottamia päästöjä niin, että ne alittivat rajoitukset. Huijausohjelma oli asennettu Volkswagen -konsernin useisiin automerkkeihin yhteensä 11 miljoonaan ajoneuvoon maailmanlaajuisesti. Toimittajat maailmalla ottivatkin petoksesta käyttöön termin "Dieselgate", jolla viitattiin Watergate -skandaaliin, joka pakotti silloisen USA:n presidentti Richard Nixonin eroamaan vuonna 1974. (Blackwelder ym. 2016, 1; ICCT 2016a, 5.)

### 5.1 Tapahtumien kulku

Syyskuun 2015 tiedoksiintoa edelsi tapahtumasarja, joka sai alkunsa jo 2012, jolloin puhdasta liikennettä edistävä järjestö ICCT (The International Council on Clean Transportation) kiinnitti huomiota tutkimuksiin, joista kävi ilmi suuria poikkeavuuksia modernien dieselautojen haittapäästöissä tien päällä ja laboratoriossa mitattuna. Tuntien USA:n tiukan pakokaasulainsäädännön ja kyvyn myös valvoa niitä, ICCT halusi testata autoja siellä, olettaen autojen läpäisevän testin ongelmitta. Tutkimus tilattiin Länsi-Virginian yliopistolta (WVU), jolla oli soveltuvat laitteet ja kokemusta raskaiden ajoneuvojen mittauksista. Soveltuvat autot löytyivät pitkän etsinnän jälkeen Kaliforniasta kahdesta autovuokraamosta ja yhdeltä vapaaehtoiselta yksityisomistajalta. Autot olivat merkeiltään VW Jetta ja Passat sekä BMW X5, joista kaksi jälkimmäistä oli varustettu SCR-katalyysaattorilla ja Jetta LNT:llä. (ICCT 2012; Bloomberg 2015; New York Times 2015a.)

Tutkijat ajoivat esivalittuja ajoreittejä ja mittasivat päästöt ajoneuvoon asennettavalla päästömittauslaitteella (PEMS). Kalifornian ympäristöviranomaiset tarjoutuivat testaamaan autot omassa laboratoriossaan samalla luoden vertailupohjan maantiemittauksille.

Autot luonnollisesti läpäisivät laboratoriotestit. Maantietestauksissa Jetta ylitti USA:n typpioksidipäästörajat 15-35 -kertaisesti. Passatin päästöt ylittivät rajan 5-20 -kertaisesti. BMW X5 oli sääntöjen mukainen kaikissa testeissä paitsi ”seututie”-testauksessa, jossa on paljon ylä- ja alamäkiajoa (Thompson ym. 2014). Kuviossa 1 on esitetty keskimääräiset typen oksidien päästöt maantiemittauksista, jossa SD tarkoittaa San Diegoa ja LA Los Angelesia. Punaiset viivat esittävät typen oksidipäästöjen raja-arvoja USA:ssa ja EU:ssa (0,04 g/km ja 0,18 g/km).



Kuvio 1. Keskimääräiset typenoksidipäästöt maantieajossa (Thompson ym. 2014).

Toukokuussa 2014 EPA ja CARB pyysivät Volkswagenia selittämään, mistä poikkeavat tulokset johtuivat. Ensin Volkswagen kielsi tehneensä mitään väärin. Joulukuussa 2014 Volkswagen toteutti vapaaehtoisen 500 000 ajoneuvon takaisinkutsun moottorinohjainlaitteen päivitystä varten vuoden 2015 alussa Yhdysvalloissa. VW:n mukaan päästöongelman oli aiheuttanut ajoneuvon moottorinohjainlaitteeseen päätynyt koodivirhe, joka korjattaisiin huollossa. (Bloomberg 2015; New York Times 2015a.)

CARB jatkoi edelleen korjattujen autojen tutkimuksia ja havaitsi niissä tapahtuneen vain lievää paranemista. Heinäkuussa 2015, CARB ja EPA ilmoittivat Volkswagenille, etteivät ne sertifioi yhtiön vuoden 2016 TDI -ajoneuvoja, jos valmistaja ei pysty antamaan asianmukaista vastausta päästöongelmiin. Vasta 3.9.2015 kahdenkeskeisessä palaverissa Volkswagen vihdoin myönsi Yhdysvaltain ympäristöviranomaisille asentaneensa autoihinsa huijausohjelman, joka antoi väärät tulokset päästötesteissä (CARB 2015). Kaksi viikkoa tämän jälkeen 18.9. EPA julkaisi julkisen tiedoksiannon päästölain rikkomuksesta

koskien 2,0 litran dieselmootoreita. Tämä tuli ”yllätyksenä” Volkswagenille, joka vastasi neljän päivän kuluttua tiedoksiintoon julkisesti myöntämällä huijauksen. Seuraavana päivänä 23.9. järkyttynyt toimitusjohtaja Martin Winterkorn pyysi anteeksi tapahtuneesta ja erosi tehtävästään. (Bloomberg 2015; EPA 2015a; New York Times 2015a; VW AG 2015c; 2015d.)

Marraskuun 2. päivänä EPA julkaisi toisen tiedoksiannon päästölain rikkomuksesta. Tällä kertaa asia koski Audin valmistamaa 3,0 litran dieselmootoria ja siihen asennettua huijausohjelmaa, joka pystyi tunnistamaan testitilanteen ja vaihtamaan moottorinohjauksen parametrit testitilaan. Moottorinohjainlaitteen ollessa normaaliajotilassa auto tuottaa typen oksidipäästöjä 9 kertaa sallittua EPA:n standardia enemmän riippuen auton mallista ja ajosyklistä. Audin välitön lausunto tähän oli, että moottoreista löytyy kyseinen ohjelma, mutta sillä ei muuteta päästöjä laittomalla tavalla. Neuvottelujen jälkeen 23. marraskuuta Audi myönsi autojen sisältävän laittoman huijausohjelman ja suostui neuvottelemaan korjaustoimenpiteistä Yhdysvaltojen viranomaisten kanssa. (EPA 2015b; VW AG 2015e, 2015f.)

## 5.2 Huijauksen laajuus

Euroopassa huijausohjelma on asennettu Euro 5 -standardin mukaisesti tyyppihyväksytyihin, EA189 -dieselmootorilla varustettuihin ajoneuvoihin. EA189 on Volkswagenin valmistama suorasuihkutteinen Common Rail (CR) -yhteispaineruiskutusjärjestelmällä toteutettu dieselmoottoriperhe, joka koostuu 1,2-litraisesta kolmisylinterisestä sekä 1,6- ja 2,0-litraisesta nelisylinterisestä versiosta ja niiden eri tehoversioista. Taulukkoon 1 on listattu Euroopassa myytyjä malleja kyseisellä moottorilla, joita on yhteensä 8,5 miljoonaa kappaletta. Autojen vuosimallit voivat olla mitä vain 2009-2014 väliltä. Taulukosta saattaa löytyä virheitä.

Taulukko 1. Huijausohjelmalla varustetut autot Euroopassa.

<b>Merkki</b>	<b>Volkswagen</b>	<b>Audi</b>	<b>Škoda</b>	<b>Seat</b>	<b>VW hyötyajoneuvot</b>
<b>Malli</b>	Beetle	A1	Fabia	Alhambra	Amarok
	CC	A3	Octavia	Altea	Caddy
	Eos	A4	Rapid	Exeo	Transporter

(jatkuu)

Taulukko 1 jatkuu.

<b>Merkki</b>	<b>Volkswagen</b>	<b>Audi</b>	<b>Škoda</b>	<b>Seat</b>	<b>VW hyötyajoneuvot</b>
<b>Malli</b>	Golf	A5	Roomster	Ibiza	
	Passat	A6	Superb	Leon	
	Polo	Q3	Yeti	Toledo	
	Scirocco	Q5			
	Sharan	TT			
	Tiguan				
	Touran				

Pohjois-Amerikassa ei myydy alle 2,0-litraisia moottoreita, mutta Euroopasta poiketen huijaus koskee myös seuraavan sukupolven EA288 -dieselmoottoria. EA288 on periaatteessa EA189:n kolmas sukupolvi. Se on teknisiltä mitoiltaan sama kuin edeltäjänsä, mutta päivityksiä on tehty mm. polttoaine-, EGR- ja pakokaasun puhdistusjärjestelmiin. Kumpaakin moottorityyppiä on myyty vain 2,0-litraisena versiona ja yhteensä niitä on Pohjois-Amerikassa 608 000. Audin 3,0-litraisella V6 -moottorilla varustettuja autoja on 113 000. Autojen vuosimallit voivat olla väliltä 2009-2016 riippuen mallista. Taulukkoon 2 on lueteltu asiaa koskevat merkit ja mallit. (New York Times 2015b; VW AG 2016a, 49-52; 2016c, 21-22.)

Taulukko 2. Huijausohjelmalla varustetut autot Pohjois-Amerikassa. (New York Times 2015b)

<b>Merkki</b>	<b>Volkswagen</b>	<b>Audi</b>	<b>Porsche</b>
<b>Malli</b>	Beetle	A3	Cayenne
	Golf	A6	
	Jetta	A7	
	Passat	A8	
	Touareg	Q5	
			Q7

### 5.3 Huijauslaitteen toimintaperiaate

Huijauslaite, eli estolaite, kuten EU-säännössä 715/2007 todetaan, on tässä tapauksessa moottorinohjauslaitteeseen koodattu algoritmi, joka tiettyjen reunaehtojen perusteella valitsee autolle sopivan ajotilan. Ajotiloja on periaatteessa kolme: lämmitystila, testitila ja normaalitila. Suurimmalta osin käytössä on normaalitila, lämmitystila jonkin verran ja testitila käytännössä ei koskaan. Vain testitilassa pakokaasujen jälkikäsitteilyjärjestelmä toimii niin kuin sen on tarkoitettu ja päästöt ovat hallinnassa. (Domke 2015.)

Auton saaminen testitilaan vaatii kuitenkin tiettyjen parametrien täyttymistä. Ensinnäkin moottorin ja polttonesteen lämpötila tulee olla  $>15$  °C ja ilmanpaineen  $>920$  mbar. Näiden lisäksi ajomatkan sekä ajan moottorin käynnistyksestä pitää pysyä tietyissä rajoissa. Nämä rajat ovat samat kuin testisykleissä ja luonnollisesti mahdoton toteuttaa normaalissa käytössä. Auton vianvalvontajärjestelmä (OBD) ei ilmoita viasta päästöjen hallintajärjestelmässä, koska se on kytketty pois testitilan aikana. (Domke 2015.)

Käyttäjälle tämä näkyy vain positiivisena asiana, sillä polttonestettä kuluu vähemmän, kun NO<sub>x</sub>-varaajakatalysaattoria regeneroidaan vain harvoin eikä AdBlue-lisäainetta tarvitse huoltojen välissä lisätä SCR-järjestelmällä varustetuissa autoissa. Tämä on erityisen tärkeää yhdysvaltalaisille käyttäjille, koska siellä lisäaine maksaa noin 0,66 euroa per litra ja dieselpolttoneste vain 0,54 euroa per litra. Normaalijajotilassa AdBluen syöttömäärä on vain noin 0,5-1 %, kun sen pitäisi olla noin 5 % polttonesteen määrästä, jotta voidaan saavuttaa yli 90 %:n pelkistysaste. Päästöjen hallinnan komponentit myös kestävät sitä pidempään, mitä kevyemmälle rasitukselle ne joutuvat. Imukanavien ja -venttiilien karstoittuminen vähenee, kun pakokaasujen takaisinkierrätystä voidaan vähentää. (Domke 2015; Discoverdef 2016; US Energy information administration 2016.)

## 6 PAKOKAASULAINSÄÄDÄNNÖT

Pohjois-Amerikassa kaikki huijausohjelmistolla varustetut autot olivat tyyppi hyväksytyt EPA:n Tier 2, Bin 5 -standardin mukaisesti. Euroopassa tuolloin voimassa oleva standardi oli Euro 5, jonka NO<sub>x</sub> raja-arvo dieselhenkilöautoille oli 180 mg/km, eli yli nelinkertainen määrä EPA:n 43 mg/km verrattuna. Tällä hetkellä voimassa oleva Euro 6 -standardi sallii vastaavasti lähes kaksinkertaiset arvot. EPA:n päästörajat eivät ole riippuvaisia polttoaineesta kuten EU:ssa. Tämän lisäksi auton tulee noudattaa rajoja koko käyttökänsä, eli 193 000 km tai 10 vuotta. Euroopan vastaavat arvot olivat 100 000 km ja 5 vuotta, nykyään 160 000 km ja 5 vuotta (ICCT 2016a, 6). Taulukkoon 3 on koottu oleelliset päästöarvot Pohjois-Amerikan ja Euroopan standardeista.

Taulukko 3. Päästörajavertailu

Standardi	Voimassa 100 %	CO	NO <sub>x</sub>	PM
		mg/km		
<b>Tier 2 Bin 5</b>	2007	2600	43	6,2
<b>Euro 5 diesel</b>	2009	500	180	4,5
<b>Euro 6 diesel</b>	2014	500	80	4,5

Mannerten väliset päästöjen mittausarvot eivät kuitenkaan ole vertailukelpoisia keskenään, koska ne mitataan eri olosuhteissa eri testausmenetelmillä. Pelkkä EPA:n FTP 75-testisykli (Federal Test Procedure) on 60 % kattavampi ajokestoltaan ja -pituudeltaan kuin Euroopan vastaava NEDC (New European Driving Cycle). Tätä vielä täydennetään aggressiivisen ajon syklillä (US06) sekä ilmastointilaite päällä, 35°C:n lämpötilassa ajettavalla testillä (SC03). Sekä FTP 75, että NEDC ajetaan 20-30 °C:n lämpötilassa auton lisälaitteet poiskytkettyinä. (Dietsche ym. 2011, 504.)

Testisyklit ajetaan sisätiloissa alustadynamometrissä, jossa autoon kohdistuvat ajovastukset, kuten ilma- ja vierintävastusvoimat, simuloidaan jarruttamalla dynamometrin rullia. Ajovastusvoimat määritetään testiradalla ajettavista rullauskokeista ennen laboratoriomittauksia. Rullauskokeista saadut tulokset ovat julkista tietoa EPA:n vaikutusalueella,



mutta Euroopassa ne ovat kilpailusalaisuuksia. Tämä johtaa siihen, että Euroopassa autojen CO<sub>2</sub>-päästöt liikenteessä ovat keskimäärin 7,2 % ilmoitettua suuremmat ja Yhdysvalloissa vain 1,8 %. (ICCT 2016b.)

Taulukko 4. Ajosyklien vertailu. (Dietsche ym. 2011, 503)

Testisykli	Pituus	Kesto	Keskinopeus	Maks. nopeus
	km	s	km/h	km/h
<b>FTP 75</b>	17,87	1877	34,1	91,2
<b>SC03</b>	5,76	594	34,9	88,2
<b>US06</b>	12,87	600	77,3	129,2
<b>4 x ECE 15</b>	4,052	780	18,7	50
<b>EUDC</b>	6,955	400	62,6	120
<b>NEDC</b>	11,007	1180	33,6	120
<b>WLTP</b>	23,25	1800	46,6	131

Taulukkoon 4 on koottu tämänhetkisten ajosyklien sekä syyskuussa 2017 voimaan astuvan WLTP:n (Worldwide Harmonized Light Vehicles Test Procedure) tekniset tiedot. WLTP:n on tarkoitus tulla käyttöön kaikkialle paitsi EPA:n lainsäädäntöön perustuvilla alueilla. Uusi testisykli ei edelleenkään edusta normaaliolosuhteissa ajamista, sillä se ei ota huomioon lisälaitteita, kuten ilmastointia. Laboratoriotestiä aiotaan kuitenkin täydentää ”todellisen ajon” testillä (RDE: Real Driving Emissions), joka suoritetaan tien päällä. RDE-testissä mitatut NO<sub>x</sub>-päästöt eivät saa ylittää standardin rajaa 210 %:lla (168 g/km). Vuodesta 2020 lähtien päästöt voivat olla vain mittaustoleranssin (50 %) verran yli raja-arvon. (Verband der Automobilindustrie 2015; 2016.)

### EU:n lainsäädännön heikkous

EU-sääntö 715/2007 kevyiden henkilö- ja hyötyajoneuvojen tyyppihyväksynnästä on hyvin epämääräinen verrattuna Yhdysvaltojen vastaavaan lakiin 40 CFR part 86, ja tätä autovalmistajat Euroopassa osaavat käyttää hyödyksi. Yhteistä kuitenkin on, että huijausohjelmiston eli estolaitteen käyttö on kummassakin laissa kielletty, mutta sallitaan tietyin ehdoin. Näistä olennaisin on estolaitteen salliminen, jos se suojaa moottoria vauriolta esimerkiksi kylmäkäynnistyksessä, kun päästöjen jälkikäsitteilylaitteet eivät ole

vielä saavuttaneet toimintälämpötilaa. Mielenkiintoista EU-laissa on, että esimerkiksi EGR-järjestelmää ei määritellä päästöjen hallintalaitteeksi, vaikka sitä nimenomaan typenoksidipäästöjen vähentämiseen käytetäänkin. (ICCT 2016a, 2-8.)

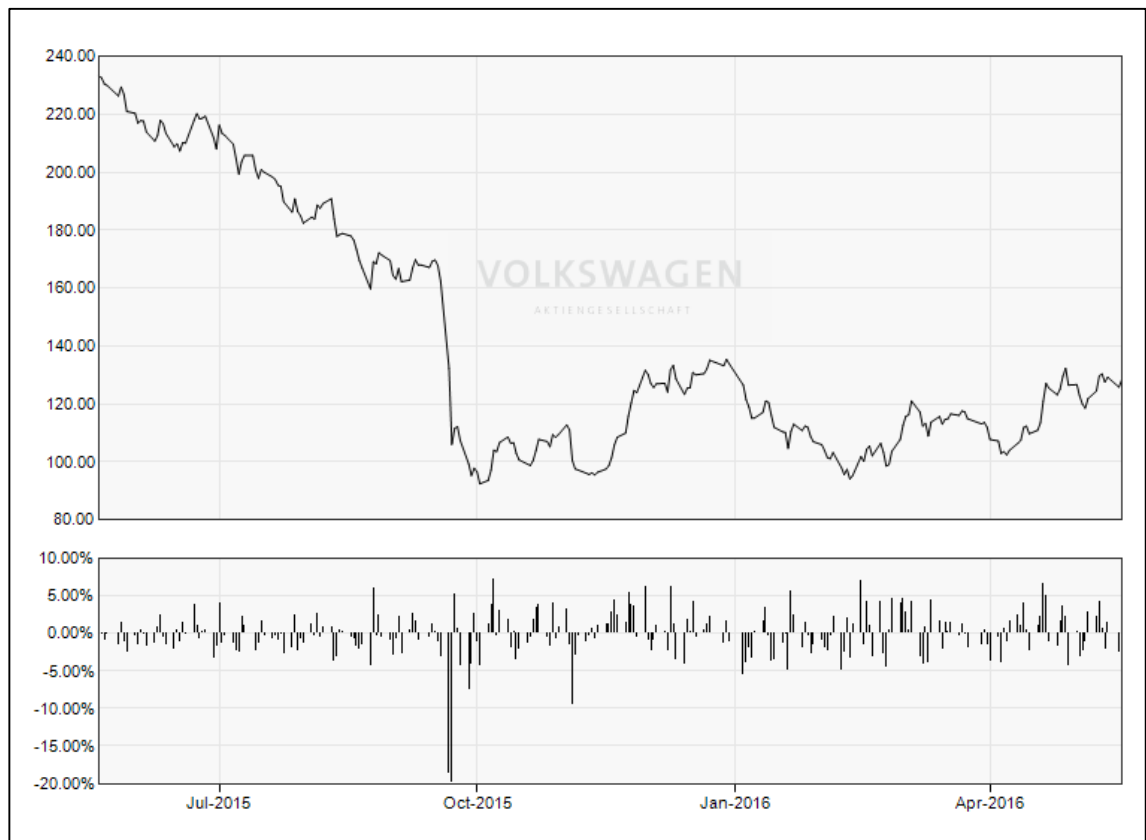
Yhdysvalloissa laki pakottaa valmistajia ilmoittamaan käyttämänsä estolaitteet ja niiden toimintaperiaatteet sekä vaatii esittämään perusteet niiden käytölle. Jos valmistaja ei toimi edellä mainittuja, EPA:lla on oikeus sakottaa valmistajaa enintään 37 500 dollaria per laiton auto ja 3 750 dollaria per myyty estolaite. Euroopassa ei ole mitään vastaavia toimenpiteitä eikä sakkoja, koska yhteistä liikenne- ja ympäristöviranomaistakaan ei ole. Epäkohdat on nyt huomattu Euroopan parlamentissa ja ne aiotaan ottaa huomioon seuraavia muutoksia tehdessä, mutta yhteistä viranomaista ei aiota perustaa. (European Council 2016; ICCT 2016a, 2-4.)

## 7 HUIJAUKSEN SEURAUKSET

### 7.1 Taloudelliset vaikutukset

Päästökandaali aiheutti ja tulee jatkossakin vielä aiheuttamaan mittavat taloudelliset tappiot VW-konsernille. Itse autojen korjaus tulee todennäköisesti olemaan pienin kustannus skandaalista. Yhtiön palkkaamat huippulakitoimistot ja konsulttiyritykset eivät varmasti ole halpoja, mutta ne varmistavat korvauskustannusten kohtuullisuuden tulevassa sovintoratkaisussa.

Alustava 6,7 miljardin euron varaus konsernin budjettiin vuoden 2015 kolmannella kvartaalilla sai yhtiön tiedottamaan 3,5 miljardin euron tappioista. Paljastumisensa jälkeen VW:n pörssi-arvo laski 40 prosenttia vuoden 2014 86,5 miljardista noin 52,2 miljardiin euroon lyhyessä ajassa. Kuvassa 1 on esitetty VW AG:n etuoikeutetun osakkeen (VOW3) hintakehitys Frankfurtin pörssissä. Osake romahti noin 162 eurosta 106 euroon kolmessa pankkipäivässä aikavälillä 18.9.-22.9.2015. Yhtiö ei julkaissut minkäänlaista tulosvaroitusta, josta suursijoittajat nyt vaativat korvauksia. (VW AG 2015g; 2016a.)



Kuva 1. VOW3 -osakkeen hintakehitys 19.5.2015-19.5.2016 (VW AG 2016b).

Keväällä 2016 VW konserni raportoi vuosikatsauksessaan 4,1 miljardin euron liiketappiosta. Yhtiö kasvatti päästöhuijauksesta koituvia kuluja varten varatun summan 16,2 miljardiin euroon. Autojen toimitukset laskivat 2 % viime vuonna, mutta liikevaihto nousi 5,4 %. Ennätystappioista huolimatta yhtiön johdolle maksettiin 63,2 miljoonan euron palkkiot, noin 1 % vähemmän kuin edellisenä vuonna. Yhtiö kuitenkin ilmoitti pidättävänsä yhteensä 4,2 miljoonaa euroa muuttuvia palkkioita virtuaalisina osakkeina, ellei sen etuoikeutetun osakkeen arvo nouse yli 140 euroon 2019 mennessä. Tämä tarkoittaa sitä, että jos osake palautuu skandaalia edeltävään arvoonsa, johto voi tuplata pidätetyt palkkiot. Osakkeiden osinkoja kuitenkin leikattiin peräti 97 prosentilla. Etuoikeutetusta osakkeesta maksettiin osinkoa vuonna 2014 4,86 euroa ja 2015 0,17 euroa. Kantaosakkeen vastaavat luvut ovat 4,80 ja 0,11. (VW AG 2016a, 1, 67-69; Financial Times 2016.)

## 7.2 Takaisinkutsuoperaatio Yhdysvalloissa

Kaksi kuukautta paljastumisensa jälkeen Pohjois-Amerikan Volkswagen (VWGoA) korvasi paikallisia TDI-autojen omistajia niin sanotulla Goodwill -paketilla. Vaatimuksena on, että mahdollinen edunsaaja oli auton omistaja tai leasaaja ennen päivämäärää 8.11.2015. Edunsaaja on oikeutettu 500 dollarin prepaid Visa-korttiin, 500 dollarin merkiliikkeen lahjakorttiin sekä kolmen vuoden ilmaiseen tiepalveluun. Tammikuun 11. 2016 kampanja laajentui koskemaan myös 3,0-litraisia malleja. Edunsaaja, sopimuksen hyväksyessään, ei joudu luopumaan oikeuksistaan mahdolliseen kanteen nostoon yhtiötä vastaan. (VWGoA 2016.)

Yhdysvaltojen tiukemman lainsäädännön vuoksi korjaustoimenpiteet eivät ole samat kuin Euroopassa. LNT-katalysaattorilla varustetut autot jouduttaisiin varustamaan kalliilla SCR-järjestelmällä, mikä olisi vaikea, ellei jopa mahdoton toteuttaa tilanpuutteen vuoksi. Volkswagen ja yhdysvaltalaiset viranomaiset pääsivät alustavaan sopimukseen 2,0-litraisten dieseleiden kohtalosta 2016 huhtikuussa. Ratkaisu koskettaa noin 480 000 ajoneuvoa ja niiden omistajia. Ratkaisupaketissa Volkswagen tarjoutui ostamaan ajoneuvoja takaisin, keskeyttämään leasing-sopimuksia, ja mikäli viranomaiset hyväksyvät, korjaamaan ajoneuvot. Samalla autovalmistaja lupasi mittavat korvaukset ajoneuvojen omistajille, riippumatta siitä, minkä vaihtoehdon he valitsevat tilanteen ratkaisemiseksi. (Automotive news 2016a.)

Alustavassa sopimuksessa Volkswagen sitoutui perustamaan rahaston päästöhuijauksen ympäristövaikutusten korjaamiseksi ja osallistumaan rahallisesti ”vihreän” autoilun edistämiseen, kuten sähköautojen latauspisteiden rakentamiseen. Saavutetun alustavan sovun yksityiskohdat ovat toistaiseksi vaitiolovelvollisuuden takana. Lopullisen sopuehdotuksen täytyy kuitenkin saapua oikeuteen kesäkuun 21. päivään mennessä 2016. Saavutetulla sovulla ei ole vaikutusta Volkswageniin kohdistuviin rikosoikeudellisiin tutkimuksiin Yhdysvalloissa. Sopimuksen ulkopuolella ovat tällä hetkellä myös noin 80 000 VW-ryhmittymän ajoneuvoa, jotka on varustettu 3,0-litraisella V6-dieselmoottorilla. (Automotive news 2016a.)

### 7.3 Takaisinkutsut Euroopassa

Tammikuun 27. 2016 Saksan liittovaltion liikennevirasto Krafftahrt-Bundesamt (KBA) hyväksyi Volkswagenin ehdottamat korjaustoimenpiteet Amarok-mallille. KBA tutkii korjaustoimenpiteet jokaisen mallin kohdalta erikseen. KBA:n päätösvalta kattaa koko Euroopan Unionin jäsenvaltiot VW:n ja Audin kohdalta. Škodan tyyppihyväksyntäviranomainen on Iso-Britanniassa ja Seatin Espanjassa. Näiltä ei ole vielä tullut lupaa korjaustoimenpiteisiin. Volkswagen aloitti 8,5 miljoonan auton takaisinkutsut tammikuun lopussa VW Amarok -mallilla. Seuraavana vuorossa on Passat, jonka jälkeen tietyt Golf-mallit. (Automotive news 2016b.)

Korjaustoimenpiteet koostuvat ohjelmistopäivityksestä ja 1,6-litraisien moottorin kohdalla myös kiinteästä laitteistomuutoksesta, jossa moottorin ilmansuodattimen ja ilmamassamittarin väliin asennetaan kennomainen virtausohjain, jonka tarkoitus on tasata ilman virtausnopeutta imuputkessa. Tämä parantaa ilmamassamittarin tarkkuutta, jolloin takaisinkierätetyn pakokaasun määrää voidaan annostella luotettavammin. Muissa moottoreissa (1,2 ja 2,0) kyseinen virtausohjain on jo olemassa, joten näihin riittää pelkkä moottorinohjainlaitteen ohjelmistopäivitys. (The truth about cars 2015.)

Takaisinkutsu jouduttiin kuitenkin keskeyttämään maaliskuussa väliaikaisesti, koska KBA epäili kulutuksen nousevan päivityksen jälkeen. Saksalainen autolehti Auto motor und sport testasi Amarok-malleja päivityksellä ja ilman ja huomasi polttonesteen kulutuksen nousevan yli puoli litraa sadalla kilometrillä. Kulutuksen nousu lisää samalla CO<sub>2</sub>-päästöjä, jota käytetään ajoneuvon verotusperustana suurimmassa osassa EU-maista. Suomen kohdalla tämä vaikuttaisi myös auton rekisteröinnin yhteydessä maksettavaan autoveroon. (Auto motor und sport 2016; ACEA 2016.)

## **Takaisinkutsutilanne Suomessa**

Takaisinkutsu alkoi Suomessa 4.5.2016 Audien ja Volkswageneiden osalta. Yhteensä takaisinkutsuttavia autoja on yli 70 000, joista puolet on Volkswageneita. Škodia on noin 17 000, Audeja 16 000 ja Seateja 2 400. (Kiiskinen J. 2016, 47-48; Trafi 2016.)

## 8 LOPUKSI

Volkswagenin päästöhuijaus oli tietoinen riski ja siitä jäätiin kiinni lähes sattumalta. VW halusi 2000-luvun alussa ryhtyä kehittämään hybridautoja. Ilman kokemusta hybrideistä VW palkkasi hybridautojen teknologiaan erikoistuneen yrityksen Paicen avustamaan kehityksessä. Kuitenkin vuonna 2005 VW teki päätöksen keskeyttää hybridien suunnittelun ja hyökätä Pohjois-Amerikan markkinoille dieselautoilla, koska ne olivat ja ovat edelleen suurmenestys Euroopassa ja osoittavat selvästi yhtiön parasta osaamista. Tästä alkoi kolmivuotinen EA189-moottorin kehitys. Aikamääreet ja moottorikehitysbudjetti pakottivat VW:n käyttämään huijausohjelmaa päästääkseen läpi EPA:n tiukoista päästötesteistä ja loppu on historiaa.

Vuoden 2016 toukokuussa korjaavat toimenpiteet on jo aloitettu Volkswagenin ja Audin dieselmalleissa EU:n alueella ja viimeisten tietojen mukaan myös VWGoA on päässyt alustavaan sopimukseen korjausten suorittamisesta Pohjois-Amerikassa. Huijauksesta langetettavat sakot ja korvaukset asiakkaille ovat aiheuttaneet korjaustoimien viivästyksen USA:ssa. Vaikka yhtiö ja viranomaiset siellä pääsisivät sopuun korjausohjelmasta, päästökandaalista on nostettu jo lukuisia joukkokanteita ja hyvitysvaatimuksia oikeus- teitse. Lopullisia oikeuden päätöksiä sakkojen summista ei tässä vaiheessa varmuudella tiedetä, mutta korkeimmat arviot ovat useita kymmeniä miljardeja euroja.

Positiivista tapauksessa on Euroopan parlamentin havahtuminen sen löyhästä lainsäädännöstä ajoneuvojen tyyppihyväksynnän, käytön aikaisen valvonnan ja mahdollisten rangaistusten suhteen. Eri asia on, saadaanko asialle tehtyä mitään tietäen autoteollisuuden lobbauskyvyt. Hyvänä esimerkkinä käy erään VW:n johtohenkilön onnistunut lobbaus poistaa kaksi testimenetelmää tulevasta WLTP-standardista. Kyseiset testit olivat kylmäkäynnistystestaus muillekin kuin bensiiniautoille ja korkean ajonopeuden päästömittaus. Yhtiön, jonka portfolioon kuuluu sellaisia merkkejä kuin Bentley, Bugatti, Lamborghini ja Porsche, voi olettaa olevan tyytyväinen ratkaisuun.

Ajoneuvojen päästöjä on kontrolloitu kohta 50 vuotta ja autovalmistajat ovat kehittäneet keinoja ohittaa päästötestejä lähes yhtä kauan. Jo vuonna 1973 Volkswagenwerke AG jäi kiinni estolaitteen käytöstä ilman ympäristöviranomaisen lupaa (EPA 1973). Vuosikymmenten aikana EPA:n haaviin on jäänyt valtaosa autovalmistajista päästölain rikkomisesta, joko tietämättään tai tarkoituksella. Tosin, ilman EPA:n väliintuloa ja painostusta

myöntää päästömanipulaatio, asiaa tuskin olisi noteerattu Euroopassa, koska olemme niin tottuneita ilmoitettujen ja todellisten päästöarvojen suureen eroon.

Lisäksi voidaan pohtia, mitkä ovat päästöskandaalin vaikutukset dieselautojen tulevaisuudelle ja ovatko uudet päästörajoitukset liian tiukkoja autonvalmistajille. Pohdintaan antaa taustaa Pariisin ilmastokokouksessa solmittu 12.12.2015 uusi, kattava ja oikeudellisesti sitova ilmastopöytäkirja, jolla päästöjä vähennetään maailmanlaajuisesti vuodesta 2020 alkaen. Sopimuksen myötä ensimmäistä kertaa lähes kaikki maailman maat ovat kertoneet olevansa valmiita toimiin ilmastomuutoksen torjumiseksi. (Ympäristöministeriö 2015.)

Tällä hetkellä ja vielä muutaman vuosikymmenen ajan valtaosa autoista on ja tulee olemaan polttomoottorilla käyviä. Sekä auto- että öljyteollisuus ovat niin voimakkaita taloudellisia vaikuttajia maailmassa, että nopeaa kehitysharppausta uusien energiamuotojen ja niitä varten tarvittavan infran rakentamista saadaan odottaa pitkään. Öljyn loppumisesta on spekuloitu jo 1960-luvun lopulta asti, mutta jatkuvasti kehittyneen teknologian ansiosta öljylähteitä on löydetty ja niitä pystytään hyödyntämään toisin kuin 50 vuotta sitten synkimmissä skenaarioissa ennustettiin.

Dieselautot ovat saaneet nyt niin paljon kritiikkiä, että lähitulevaisuudessa bensiiniautot tulevat todennäköisesti kokemaan uutta suosiota, etenkin bensiinilataushybridin muodossa. Myös täyssähköautojen kehitystyö saattaa lisääntyä, jolloin niiden yleistymisen nopeutuisi. Alhainen raakaöljyn hinta kuitenkin heikentää niiden kysyntää. Autovalmistajilla tuntuu olevan menossa voimakas autonomisten autojen kehitysbuumi, vaikka niiden kysyntä ei välttämättä sitä oikeuttaisi nykyisellä panostuksella.



## 9 YHTEENVETO

Tämän opinnäytetyön pääaihe oli Volkswagen AG:n maailmanlaajuinen systemaattinen päästöhuijaus, joka koskettaa yhteensä 11:ta miljoonaa dieselajoneuvoa, joista Suomessa on yli 70 000. Päästöhuijausta koskevat dieselautot on varustettu huijausohjelmalla eli estolaitteella, joka pystyy tunnistamaan päästöttestautilanteen ja säätämään moottorin tuottamat typen oksidien päästöt normien mukaisiksi, kun normaalissa ajossa ne ovat moninkertaiset.

Syyskuun 3. päivänä 2015 Volkswagen myönsi kahdenkeskeisessä neuvottelussa Yhdysvaltain ympäristöviranomaisten kanssa käyttäneensä huijauslaitetta ilman lupaa. Tämä johti kaksi viikkoa myöhemmin ympäristöviranomaisen ratkaisuun asettaa VW:n vuoden 2016 dieselautot myyntikieltoon ja julkiseen tiedonantoon asiasta. VW:lla ei ollut muuta mahdollisuutta kuin myöntää asia julkisesti.

Autojen korjaustoimenpiteet aloitettiin Euroopassa tammikuussa 2016 ja ne jatkuvat ainakin vuoden loppuun saakka. Yhdysvalloissa autoille ei ole vielä myönnetty korjauslupaa, koska asian sovittelu on vielä kesken. Autojen noin 600 000:ta pohjoisamerikkalaista omistajaa kompensoitiin kaksi kuukautta huijauksen paljastumisen jälkeen tuhannella dollarilla. Lukuisat oikeudenkäynnit ja rikostutkinnat ovat niin ikään kesken kaikkialla maailmassa.

Yhdysvaltojen lainsäädäntö on jo vuosikymmeniä ollut Eurooppaa edellä ajoneuvojen käytönaikaisen valvonnan ja päästörikkeistä langetettavien rangaistuksien suhteen. Yhdysvaltojen päästölaisissa kerrotaan tarkkaan, milloin esimerkiksi estolaitteen käyttö on sallittua sekä sen laittomasta käytöstä koituvat sanktiot. EU:ssa sanktiot määrittää jäsenvaltio itse katsomallaan tavalla ja ne vaihtelevat korjausvaatimuksista sakkoihin ja pahimmassa tapauksessa vankeustuomioon, mikä suurien autovalmistajien kohdalla on hyvin epätodennäköinen ratkaisu.

Euroopan parlamentissa on havaittu lainsäädännön epäselvyydet ja ne aiotaan ottaa huomioon tuleviin lakimuutoksiin. Uudet WLTP- ja RDE-testimenetelmät sekä tyyppihyväksyntälaki olisi tarkoitus ottaa käyttöön 2017 alussa, jolloin laboratoriotestejä täydennetään tieliikenteessä mitattavilla päästöarvoilla ja estolaitteiden käytön valvontaa tarkennetaan.

## LÄHTEET

ACEA 2014. Key figures. Viitattu 8.5.2016 <http://www.acea.be/statistics/tag/category/key-figures>.

ACEA 2016. CO<sub>2</sub> based motor vehicle taxes in the EU in 2016. Viitattu 10.5.2016 [http://www.acea.be/uploads/publications/CO2\\_tax\\_overview\\_2016.pdf](http://www.acea.be/uploads/publications/CO2_tax_overview_2016.pdf).

Auto motor und sport 2016. Leistung gleich - Verbrauch leicht erhöht. Viitattu 11.5.2016 <http://www.auto-motor-und-sport.de/news/vw-diesel-update-amarok-leistung-gleich-gut-verbrauch-leicht-erhoeht-10551733.html>.

Automotive news 2016a. VW and U.S. government reach agreement in principle to settle diesel violations. Viitattu 11.5.2016 <http://www.autonews.com/article/20160421/OEM11/160429963/vw-and-u-s-government-reach-agreement-in-principle-to-settle-diesel>.

Automotive news 2016b. VW wins approval to start European recall of rigged diesels. Viitattu 11.5.2016 <http://europe.autonews.com/article/20160128/ANE/160129867/vw-wins-approval-to-start-european-recall-of-rigged-diesels>.

Blackwelder, B.; Coleman, K.; Colunga-Santoyo, S.; Harrison, J.S. & Wozniak, D. 2016. The Volkswagen Scandal. Case Study. University of Richmond: Robins School of Business. Viitattu 21.4.2016. <http://scholarship.richmond.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1016&context=robins-case-network>.

Bloomberg 2015. VW's emissions cheating found by curious clean-air group. Viitattu 8.5.2016 <http://www.bloomberg.com/news/articles/2015-09-19/volkswagen-emissions-cheating-found-by-curious-clean-air-group>.

CARB 2016. ARB letter to VW. Viitattu 7.5.2016 [http://www.arb.ca.gov/newsrel/in\\_use\\_compliance\\_letter.htm](http://www.arb.ca.gov/newsrel/in_use_compliance_letter.htm)

Dieselnet 2005. Catalyzed Diesel Filters. Viitattu 10.4.2016 [https://www.dieselnet.com/tech/dpf\\_cat.php](https://www.dieselnet.com/tech/dpf_cat.php).

Dietsche, K-H.; Crepin, J.; Dinkler, F. 2002. Autoteknillinen taskukirja. Stuttgart: Robert Bosch GmbH.

Dietsche, K-H.; Klingebiel, M; Papandreou, S. 2007. Dieselmootorin ohjaujärjestelmät. Plochingen: Robert Bosch GmbH

Dietsche, K-H.; Reif, K. 2011. Automotive Handbook. Plochingen: Robert Bosch GmbH.

Discoverdef 2016. Diesel exhaust fluid tracker. Viitattu 15.5.2016 <http://www.discoverdef.com/>.

Domke F. 2015. The exhaust emissions scandal. Viitattu 24.4.2016 [https://media.ccc.de/v/32c3-7331-the\\_exhaust\\_emissions\\_scandal\\_dieselgate#video](https://media.ccc.de/v/32c3-7331-the_exhaust_emissions_scandal_dieselgate#video).

EPA 1973. EPA refers investigation of Volkswagen to justice. Viitattu 7.5.2016 <http://www.autosafety.org/wp-content/uploads/import/VW%20Defeat%20Device%20EPA%20Prosecution%207-23-73%20Pr.pdf>.

EPA 2015a. Notice of violation 18.9.2015. Viitattu 7.5.2016 <https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-10/documents/vw-nov-cao-09-18-15.pdf>.

EPA 2015b. Notice of violation 2.11.2015. Viitattu 9.5.2016 <https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-11/documents/vw-nov-2015-11-02.pdf>.

European Council 2016. Commission staff working document executive summary of the impact assessment. Viitattu 12.5.2016 <http://data.consilium.europa.eu/doc/document/ST-5712-2016-ADD-4/en/pdf>.

European Environment Agency 2016. Explaining road transport emissions. Viitattu 5.6.2016 <http://www.eea.europa.eu/publications/explaining-road-transport-emissions>.

Financial Times 2016. Volkswagen managers set to secure frozen bonuses. Viitattu 12.5.2016 <http://www.ft.com/cms/s/0/d985bcdd-175d-11e6-b197-a4af20d5575e.html>.

Hybridcars.com ja Baum & Associates 2016. April 2016 dashboard. Viitattu 8.5.2016 <http://www.hybridcars.com/april-2016-dashboard/>.

ICCT 2012. Laboratory versus real world: Discrepancies in NOx emissions in the EU. Viitattu 8.5.2016 <http://www.theicct.org/blogs/staff/laboratory-versus-real-world-discrepancies-nox-emissions-eu>.

ICCT 2016a. Defeat devices under the U.S. and EU passenger vehicle emissions testing regulations. Viitattu 7.5.2016 [http://www.theicct.org/sites/default/files/publications/ICCT\\_defeat-devices-reg-briefing\\_20160322.pdf](http://www.theicct.org/sites/default/files/publications/ICCT_defeat-devices-reg-briefing_20160322.pdf).

ICCT 2016b. Official vs. real-world road-load parameters in EU vehicle efficiency testing. Viitattu 20.5.2016 [http://www.theicct.org/sites/default/files/publications/ICCT\\_Coastdowns-EU\\_201605.pdf](http://www.theicct.org/sites/default/files/publications/ICCT_Coastdowns-EU_201605.pdf).

Kiiskinen J. 2016. Mittava urakka edessä. Suomen autolehti 83 (1), 47-48. Forssa: Autotieto Oy.

Manufacturers of Emission Controls Association 2007. Emission Control Technologies for Diesel-Powered Vehicles. Viitattu 12.4.2016 [http://www.meca.org/galleries/files/MECA\\_Diesel\\_White\\_Paper\\_12-07-07\\_final.pdf](http://www.meca.org/galleries/files/MECA_Diesel_White_Paper_12-07-07_final.pdf).

Motiva 2016a. Liikenne > Perustietoa liikenteestä ja ympäristöstä > Vaikutukset ihmisiin ja ympäristöön. Viitattu 28.4.2016 [http://www.motiva.fi/liikenne/perustietoa\\_liikenteesta\\_ja\\_ymparistosta/vaikutukset\\_ihmisiin\\_ja\\_ymparistoon](http://www.motiva.fi/liikenne/perustietoa_liikenteesta_ja_ymparistosta/vaikutukset_ihmisiin_ja_ymparistoon).

Motiva 2016b. Liikenne > Perustietoa liikenteestä ja ympäristöstä > Liikenteen energiakulutus ja pakokaasupäästöt. Viitattu 28.4.2016 [http://www.motiva.fi/liikenne/perustietoa\\_liikenteesta\\_ja\\_ymparistosta/liikenteen\\_energiakulutus\\_ja\\_pakokaasupaastot](http://www.motiva.fi/liikenne/perustietoa_liikenteesta_ja_ymparistosta/liikenteen_energiakulutus_ja_pakokaasupaastot).

New York Times 2015a. It took E.P.A. pressure to get VW to admit fault. Viitattu 8.5.2016 <http://www.nytimes.com/2015/09/22/business/it-took-epa-pressure-to-get-vw-to-admit-fault.html>.

New York Times 2015b. Explaining Volkswagen's emissions scandal. Viitattu 7.5.2016 <http://www.nytimes.com/interactive/2015/business/international/vw-diesel-emissions-scandal-explained.html>.

Schmitt B. 2015. Nice try VW. Forbes. Viitattu 30.4.2016 <http://www.forbes.com/sites/ber-telschmitt/2016/01/27/nice-try-vw-toyota-again-worlds-largest-automaker/#34c5ed632b65>.

Strategy& 2015. The global innovation 1000. Viitattu 9.5.2016 <http://www.strategyand.pwc.com/media/file/The-2015-Global-Innovation-1000-Media-report.pdf>.

The truth about cars 2015. How the VW flow straightener works. Viitattu 11.5.2016 <http://www.thetruthaboutcars.com/2015/12/vw-flow-straightener-really-works/>.

Thompson J.; Carder D.; Besch M.; Thiruvengadam A.; Kappanna H. 2014. In-use emissions testing of light-duty diesel vehicles in the United States. Viitattu 24.4.2016 [http://www.theicct.org/sites/default/files/publications/WVU\\_LDDV\\_in-use\\_ICCT\\_Report\\_Final\\_may2014.pdf](http://www.theicct.org/sites/default/files/publications/WVU_LDDV_in-use_ICCT_Report_Final_may2014.pdf)

Trafi 2016. Takaisinkutsukampanjat autojen päästömanipuloinneista alkavat myös Suomessa. Viitattu 11.5.2016 [http://www.trafi.fi/tietoa\\_trafista/ajankohtaista/4018/takaisinkutsukampanjat\\_autojen\\_paastomanipuloinneista\\_alkavat\\_myos\\_suomessa](http://www.trafi.fi/tietoa_trafista/ajankohtaista/4018/takaisinkutsukampanjat_autojen_paastomanipuloinneista_alkavat_myos_suomessa).

Transportpolicy.net 2014. Global Comparison: Fuels. Viitattu 15.4.2016 [http://transportpolicy.net/index.php?title=Global\\_Comparison:\\_Fuels](http://transportpolicy.net/index.php?title=Global_Comparison:_Fuels).

US Energy information administration 2016. Gasoline and diesel fuel update. Viitattu 15.5.2016 <http://www.eia.gov/petroleum/gasdiesel/>.

Verband der Automobilindustrie 2015. VDA-Politikbrief Special Issue. Viitattu 11.5.2016 <https://www.vda.de/en/services/Publications/vda-politikbrief-special-issue-2015.html>.

Verband der Automobilindustrie 2016. VDA-Politikbrief 01/2016. 11.5.2016 <https://www.vda.de/en/services/Publications/vda-politikbrief-01-2016.html>.

VW AG 2012. The beginning of a new era: Volkswagen introduces the Modular Transverse Matrix (MQB). Viitattu 8.5.2016 [http://www.volkswagenag.com/content/vwcorp/info\\_center/en/themes/2012/02/MQB.html](http://www.volkswagenag.com/content/vwcorp/info_center/en/themes/2012/02/MQB.html).

VW AG 2015a. The Group. Viitattu 8.5.2016. [http://www.volkswagenag.com/content/vwcorp/content/en/the\\_group.html](http://www.volkswagenag.com/content/vwcorp/content/en/the_group.html).

VW AG 2015b. Goals and strategies. Viitattu 8.5.2016 [http://www.volkswagenag.com/content/vwcorp/content/en/the\\_group/strategy.html](http://www.volkswagenag.com/content/vwcorp/content/en/the_group/strategy.html).

VW AG 2015c. Ad hoc announcement. Viitattu 8.5.2016 [http://www.volkswagenag.com/content/vwcorp/info\\_center/en/news/2015/09/Ad\\_hoc\\_US.html](http://www.volkswagenag.com/content/vwcorp/info_center/en/news/2015/09/Ad_hoc_US.html).

VW AG 2015d. Ad hoc announcement. Viitattu 8.5.2016 [http://www.volkswagenag.com/content/vwcorp/info\\_center/en/news/2015/09/VW\\_ad\\_hoc\\_Erklaerung.html](http://www.volkswagenag.com/content/vwcorp/info_center/en/news/2015/09/VW_ad_hoc_Erklaerung.html).

VW AG 2015e. Statement on the announcement by the United States Environmental Protection Agency. Viitattu 9.5.2016 [http://www.volkswagenag.com/content/vwcorp/info\\_center/en/news/2015/11/Stellungnahme.html](http://www.volkswagenag.com/content/vwcorp/info_center/en/news/2015/11/Stellungnahme.html).

VW AG 2015f. Statement on Audi's discussions with the US environmental authorities EPA and CARB. Viitattu 9.5.2016 [http://www.volkswagenag.com/content/vwcorp/info\\_center/en/news/2015/11/epa.html](http://www.volkswagenag.com/content/vwcorp/info_center/en/news/2015/11/epa.html).

VW AG 2015g. Interim report January-September 2015. Viitattu 10.5.2016 [http://www.volkswagenag.com/content/vwcorp/info\\_center/en/publications/2015/10/Q3\\_2015\\_e.bin.html/binarystorageitem/file/Q3\\_2015\\_e.pdf](http://www.volkswagenag.com/content/vwcorp/info_center/en/publications/2015/10/Q3_2015_e.bin.html/binarystorageitem/file/Q3_2015_e.pdf).

VW AG 2016a. Volkswagen AG Annual report 2015. Viitattu 6.5.2016 [http://www.volkswagenag.com/content/vwcorp/info\\_center/en/publications/2016/04/Y\\_2015\\_e.bin.html/binarystorageitem/file/Y\\_2015\\_e.pdf](http://www.volkswagenag.com/content/vwcorp/info_center/en/publications/2016/04/Y_2015_e.bin.html/binarystorageitem/file/Y_2015_e.pdf).

VW AG 2016b. Investor relations > Shares. Viitattu 19.5.2016 [http://www.volkswagenag.com/content/vwcorp/content/en/investor\\_relations/share.html](http://www.volkswagenag.com/content/vwcorp/content/en/investor_relations/share.html).

VW AG 2016c. Volkswagen Group - Moving People. Viitattu 5.5.2016 [http://www.volkswagenag.com/content/vwcorp/info\\_center/en/talks\\_and\\_presentations/2016/05/London.bin.html/binarystorageitem/file/Master\\_London.pdf](http://www.volkswagenag.com/content/vwcorp/info_center/en/talks_and_presentations/2016/05/London.bin.html/binarystorageitem/file/Master_London.pdf).

VWGoA 2016. VW TDI Goodwill Package. Viitattu 11.5.2016 [https://www.vwdieselinfo.com/goodwill\\_package/](https://www.vwdieselinfo.com/goodwill_package/).

Ympäristöministeriö 2015. Pariisin ilmastosopimus. Viitattu 20.5.2016 <http://www.ym.fi/paariisi2015>.