

Opinnäytetyö AMK

Ajoneuvo- ja kuljetustekniikka

Toukokuu 2025

Eevertti Elmeri Siltala

Päästömanipulaatio, päästölaitteet ja säädökset



Opinnäytetyö AMK | Tiivistelmä

Turun ammattikorkeakoulu

Ajoneuvo- ja kuljetustekniikka

Toukokuu 2025 | 28 sivua

Siltala Eevertti

Päästömanipulaatio, päästölaiteet ja säädökset

Opinnäytetyön tavoitteena on tarkastella ajoneuvojen päästömanipulaation ilmiötä monipuolisesti. Työssä käsitellään päästömanipulaation yleisimpiä toteutustapoja sekä ajoneuvoihin asennettujen päästönhallintajärjestelmien rakennetta ja toimintaperiaatteita. Lisäksi tarkastellaan katsastukseen liittyviä säädöksiä päästöjen näkökulmasta, mukaan lukien tienvarsikatsastuksen keskeinen toiminta. Työssä huomioidaan myös Euroopan unionin asettamat päästörajoitukset ja niiden mittaustavat, jotka muodostavat säädökset ajoneuvojen päästövalvonnalle niin laboratoriotesteissä kuin todellisessa ajossa.

Ilmastonmuutos on merkittävä maailmanlaajuinen haaste, ja tieliikenteen päästöt ovat sen yksi aiheuttajista. Ajoneuvojen tuottamat päästöt eivät ainoastaan estä ilmastonmuutoksen hillintää, vaan ne heikentävät myös ilmanlaatua ja vaikuttavat negatiivisesti ihmisten terveyteen. Tässä opinnäytetyössä on hyödynnetty katsastuksen arvosteluperusteita, kirjallisuutta sekä muuta saatavilla olevaa aineistoa päästömanipulaatioista, jotta voidaan tarkastella kokonaisvaltaisesti teknisestä, laillisesta ja yhteiskunnallisesta näkökulmasta.

Päästömanipulaatio on yleistä, koska sen toteuttaminen on teknisesti helppoa, siihen on saatavilla laittomia osia ja palveluja muun muassa verkkokaupoista ja korjaamoilta. Heikko valvonta ja lainsäädännön toimeenpanon haasteet mahdollistavat, että kuka tahansa voi hankkia tarvittavat välineet manipulointiin

Asiasanat:

Päästömanipulaatio, Päästölaiteistot, säädökset

Bachelor's Thesis | Abstract

Turku University of Applied Sciences

Vehicle and transport technology

May | 28 pages

Siltala Eevertti

Emission Manipulation, Emission Control Devices and Regulations

The aim of this thesis is to examine the phenomenon of vehicle emissions manipulation from a comprehensive perspective. The thesis discusses the most common methods of emissions manipulation and the structure and functioning of emission control systems installed in vehicles. Additionally, it examines the regulations related to vehicle inspections from an emissions perspective, including the key operations of roadside inspections. The thesis also considers the emission limits set by the European Union and their measurement methods, which form the regulatory framework for vehicle emissions monitoring both in laboratory tests and real-world driving conditions.

Climate change is a significant global challenge, and traffic emissions are one of its contributors. Vehicle emissions not only hinder efforts to mitigate climate change but also degrade air quality and negatively impact human health. This thesis utilizes inspection criteria, literature, and other available resources on emissions manipulation to provide a comprehensive view from technical, legal, and societal perspectives.

Emissions manipulation is widespread because it is technically relatively easy to implement, and illegal parts and services are readily available through online shops and garages. Weak enforcement and challenges in the implementation of legislation make it possible for almost anyone to acquire the necessary tools for manipulation.

Keywords:

Emission Manipulation, Emission Control, System Regulations

Sisältö

1 Johdanto	7
2 Katalysaattorit ja päästöjärjestelmät	8
2.1 Katalysaattori	8
2.2 SCR-katalysaattori	9
2.3 Hiukkassuodatin	10
2.4 EGR-JÄRJESTELMÄ	11
3 Päästömanipulaatio ja -määräykset	13
3.1 Katsastuksessa koskevia päästömääräyksiä	13
3.2 Päästömanipulaatio	14
3.3 Päästökandaaleja	16
3.4 Tienvarsitarkastus	19
4 Pakokaasujen säädöksiä Euroopan unionissa	20
4.1 RDE-mittaus	21
4.2 NEDC mittaus	22
5 Hiukkasten määränmittaus	23
6 Pohdinta	25
Lähteet	28
 Kuvat	
Kuva 1: Avonainen katalysaattori (Catalytic converter repair ND)	8
Kuva 2: Havainnekuva SCR-järjestelmästä (Koneviesti 2012)	10
Kuva 3: Avonainen hiukkassuodatin (Ben-zik.blogspot.com DPF 2016)	11
Kuva 4: Emulaattori AdBlue-järjestelmä poistoon.	15
Kuva 5: Volkswagen päästöhuijauksen aikajana	17
Kuva 6: Vanhan NEDC- ja uuden WLTP-mittausarvoja.	21
Kuva 7: NEDC ja WLTP mittauksen eroja.	22

Taulukot

Taulukko 1. Otto-moottorille varustetuille ajoneuvoille tarkoitetut päästöarvot. 13

Taulukko 2. Diesel ajoneuvojen vaadittavia päästöarvoja. 14

Käytetyt lyhenteet tai sanasto

ECU	Engine control unit, Moottorinohjaysyksikkö
NH ₃	an inorganic chemical compound Kemiallinen yhdiste ammoniakki.
SCR	Selective, Catalytic, Reduction selektiivinen, katalyyttinen, pelkistäminen
CO ₂	Carbon dioxide, Hiilidioksidi.
EGR	Exhaust gas recirculation pakokaasujentakaisinkierrätysjärjestelmä
CO	Carbon monoxide, Häkä
HC	Hydrocarbon, Hiilivety
NO _x	Nitrogen oxide gases, Typenoksidi
O ₂	Oxygen, Happi
Lambda	Air fuel ratio, Ilman ja polttoaineen suhde
K-arvo	Smoke value, Pakokaasun valonläpäisykyky dieselissä, savutus arvo
AdBlue	Ureasolution, urealiuos
BMW	Baijerin moottoritehtaat, Bavarian Motor Works
EPA	ympäristösuojeluvirasto, Environmental Protection Agency
BOSCH	Saksalainen monialayritys, German conglomerate
WLTP	Maailmanlaajuinen kevyiden ajoneuvojen testaumenettely, Worldwide harmonised light-duty vehicles test procedure
RDE	Todellisen ajamisen päästöt, Real driving emission
NEDC	Uusi eurooppalainen ajosykli, New european driving cycle
PEMS	Siirrettävä päästömittausjärjestelmä, Portable emission measurementsystem
SMPS	Hiukkasten koon ja määrän mittaava järjestelmä, Scanning mobility particle sizer

1 Johdanto

Ajoneuvojen päästömääräykset ovat tiukentuneet merkittävästi, ja samalla päästömanipulaatioiden esiintyvyys on kasvanut. Katsastusmiehet ovat keskeisessä roolissa päästöjen valvonnassa, ja poliisi valvoo tätä sääntelyä tiukasti. Tällä hetkellä, ilmastonmuutoksen hillitsemisen näkökulmasta, on erityisen tärkeää, ettei päästöjä päästetä ilmakehään tarpeettomasti. Lisäksi ajoneuvojen päästöt eivät ole hyväksi myöskään ihmisten terveydelle.

On tärkeää ymmärtää, millaisia päästölaitteistoja ajoneuvoissa on ja miten ne vaikuttavat päästöihin. Työssä tarkastellaan ajoneuvojen päästölaitteiden rakennetta ja toimintaperiaatteita sekä selvennetään, mitä päästömanipulaatiolla tarkoitetaan. Lisäksi käsitellään päästöihin liittyviä lainsäädäntöjä, määräyksiä ja katsastusperusteita. Esitellään myös käytännön esimerkkejä päästömanipulaatioista ja siitä, miten niitä on toteutettu.

Työssä käydään läpi myös niitä seuraamuksia, joita voi seurata päästömanipulaatiosta kiinni jäämisestä. Miksi päästömanipulaatioita sitten tehdään. Ovatko päästölaitteet liian kalliita korjata tai vaihtaa, kun ne rikkoutuvat. Miksi monet ajoneuvoharrastajat poistavat päästölaitteita, ja saavatko he paremman äänen, lisää tehoa tai vääntömomenttia ajoneuvoihinsa. Lisäksi pohditaan, miksi jälkiasennusosien myynti päästölaitteiden tilalle on niin yleistä, vaikka se on laitonta.

2 Katalysaattorit ja päästöjärjestelmät

Katalysaattori on osa auton pakoputkistoa, joka muuntaa haitalliset päästöt vähemmän haitallisiksi ympäristöllemme kemiallisen reaktion avulla. Katalysaattori tarvitsee suuren lämpötilan toimiakseen, siksi se sijaitsee lähellä moottoria. (Cotta 2022.) Katsastuksessa, jos ajoneuvossa vaadittava katalysaattori puuttuu taikka se on säädösten vastainen, niin johtaa se ajoneuvon hylkäämiseen. (Traficom 2022).

2.1 Katalysaattori



Kuva 1: Avonainen katalysaattori (Catalytic converter repair ND)

Katalysaattorin tarkoitus on vähentää haitallisia pakokaasupäästöjä ilmakehäämme. Haitalliset päästöt, jota katalysaattori poistattaa ovat muun muassa hiilivetyjä, hiilimonoksideja ja typen oksideja siten, että päästöt menevät katalysaattorin sisälle, joka on päällystetty jalometallien yhdistelmällä. Sen sisällä tapahtuu kemiallinen reaktio, kunhan katalysaattori on vähintään toimintalämpötilassa eli noin 300 celsiusuksessa ja pyrkii muuttamaan ne vedeksi, hiilidioksidiksi sekä typeksi.

Katalysaattori avonaisena, jossa näkyy eri kerrokset (Kuva 1). Katalysaattorin sisäkenno on hunajakennon rakenteinen ja siten antaa pakokaasujen virrata vapaasti. Kennon pitää paikallaan toinen kerros, joka laajenee sen lämmitessä ja tukee siten sisäkennoa. Uloin kerros on ruostumatonta terästä, joka suojaa molempia sisäosia katalysaattorissa ja helpottaa koko katalysaattorin

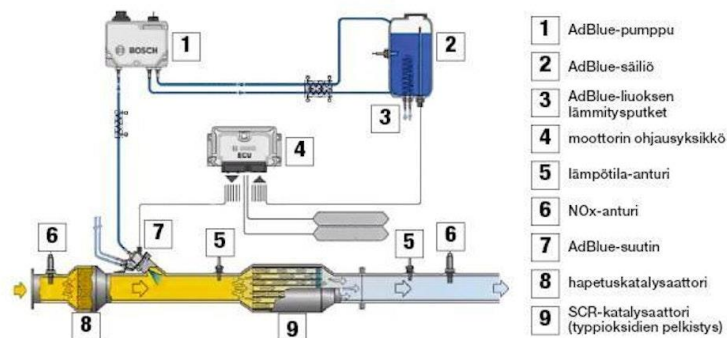
asennuksen ajoneuvon pakokaasujärjestelmään. (letstalkscience 2022.) Sisäosa on tehty lujasta, lämmönkestävistä metalleista ja ei metallisista atomeista. (Miller, Grimes.n.d. ,276).

2.2 SCR-katalysaattori

SCR tarkoittaa nimenomaan selektiivistä, katalyyttistä ja pelkistämistä, jossa työn huomio kiinnitetty typpioksidipäästöjen puhdistamiseen. Nämä SCR-katalysaattorit auttavat puhdistamaan noin 90 % pakokaasujen typpioksidipäästöistä, johon vanhemmat päästölaitteet eivät kyenneet. Tämä tuli käyttöön Euro 6 päästönormien mukana, koska NOx-päästöjä puolitettiin tuohon Euro 5 -normin rajarvoon nähden. Tarvittiin järjestelmä, joka auttaisi päästöissä. Järjestelmässä käytettävä ureanilisäaine, joka tunnetaan kaupallisella nimellä AdBlue. (Günther, H. 2018a,46.)

SCR-katalysaattori tarvitsee pelkistinaineeksi ammoniakki (NH_3) ja ammoniakki molekyylit reagoivat pakokaasujen typpioksidien kanssa SCR-katalysaattorissa, jossa tapahtuu tämä kemiallinen reaktio, siellä hapetusluku pienenee typeksi ja vedeksi. Ohjainlaite määrittää lisäaineen tarpeellisuuden pakokaasuissa olevan typpioksidin perusteella. Siihen taas tarvitaan tieto pakokaasujen massasta, joka lasketaan saadun ilmamassan ja ruiskutetun dieselin määrästä sekä tiedosta pakokaasujen takaisin kierrätyksestä ja lämpötilasta. Kun ruiskutusventtiili avaa virtauksen niin urealisäaine osuu sekoitinlevyyn ja muotonsa ansiosta saadaan urealisäaine sekoitettua pakokaasujen kanssa. Kun urealisäaine saavuttaa SCR-katalysaattorin se on muuttunut ammoniakiksi (NH_3) ja hiilidioksidiksi (CO_2). SCR-katalysaattori puhdistus toimii 200–500 asteen alueella ja muuntaa typpioksidit sekä ammoniakkin, sitten vedeksi ja typeksi. (Günther, H. 2018b,48.)

SCR-järjestelmä



Kuva 2: Havainnekuva SCR-järjestelmästä (Koneviesti 2012)

SCR-laitteisto koostuu muun muassa urealisäainesäiliöstä, jossa on tehokas lämmöneristys. Urealisäaineella on omat putket ja syöttöpumppu. Uusissa

sukupolvissa AdBlue-urelisäaineen tankkauspaikka dieselpolttoaineen täyttöaukon vieressä. Vanhemmissa oli muun muassa takalaatikossa ja korkki oli musta, ja se muutettiin siniseksi virheellisten tankkausten takia. (Günther, H. 2018 c,47.) Havainnekuva SCR-järjestelmästä (Kuva 2).

2.3 Hiukkassuodatin

Hiukkassuodatin on dieselmootorilla varustetun ajoneuvon hiukkasten minimointiin tarkoitettu komponentti pakokaasujärjestelmässä. (EHC 2025.) Hiukkassuodattimen poistoa ei missään nimessä saanut tehdä enää Euro-6 päästöluokan kohdalla, joka tuli voimaan 2011. (Hämäläinen 2015).

Hiukkassuodattimen tarkoitus on napata muun muassa nokihiukkaset ennen, kuin ne pääsevät ulos ajoneuvon pakokaasujärjestelmästä. Hiukkassuodatin on myös puhdistettava säännöllisin väliajoin takaakseen sen toimivuuden tarvittaessa. Aktiivinen puhdistus tarkoittaa sitä, että kun hiukkassuodattimessa on paljon nokea niin ajoneuvon ECU aloittaa jälkipolton, joka nostaa pakokaasun lämpötilaa ja käynnistää puhdistuksen. Tärkeää on, että ei sammuta ajoneuvoa puhdistuksen aikana. Tämä on myös joissakin autoissa passiivinen puhdistustapa, joka toimii automaattisesti pakokaasun lämpötilan noustessa korkeaksi muun muassa moottoritiellä. (EHC 2025.)



Kuva 3: Avonainen hiukkassuodatin (Ben-zik.blogspot.com DPF 2016)

Avonainen hiukkassuodatin (Kuva 3). DPF valmistetaan tyypillisesti keraamisesta materiaalista, jossa on tarkasti suunniteltuja huokosia, jotka sallivat pakokaasujen virrata läpi, mutta samalla hiukkaset jäävät niihin kiinni. (DPF canada 2023.) Hiukkassuodattimen rakenne on hyvin samanlainen kuin katalysaattorilla. (EKO DPF 2018). Hiukkassuodatin koostuu keramiikkarungosta ja siinä rungossa on virtauskanavia, jotka sulkeutuvat takapäädyistä vuorotellen. Huokoisuus on valittu juuri sitä silmällä pitäen, kun

kaasuna virtaavat molekyylit pääsevät lävitse, mutta kiinteät hiukkaset tarttuvat kiinni rungon huokoiseen materiaaliin. (Günther, H. 2018d,28).

2.4 EGR-JÄRJESTELMÄ

EGR-järjestelmä on pakokaasuja takaisinkierrättävä, jota käytetään osana ajoneuvojen päästöjen puhdistusjärjestelminä. Sen tarkoitus on vähentää (NO_x) arvoa eli se on typpioksidin arvon vähentämiseen tarkoitettu. (NO_x) päästö muodostuu todella kuumissa palamislämpötiloissa ilmaylimäärän takia. Sekoittamalla pakokaasuja moottorin ottamaan ilmaan saadaan, siten ilmaylimäärää pienemmäksi. Tämä on käytössä diesel- ja bensiinimoottoreissa. Pakokaasujen kierrätysasteen ohjaa moottorin ohjainlaite, joka ohjaa muun muassa alipaine käyttöistä venttiiliä taikka suorasähkökäyttöistä laitetta. Euro 5 päästöluokkaan asti riitti niin sanottu korkeapaineinen EGR ja taas sen jälkeen tuli enemmän käyttöön matalapaineinen EGR, joka on yleisesti sijoitettu mahdollisimman lähelle turboahdinta. Matalapaine-EGR, siinä pakokaasut kulkevat aina hiukkassuodattimelle asti ja siitä, sitten ahtimen kompressorin eteen siitä sekoittuen raittiin ilman kanssa. Matalapaine-EGR hyödyt moottori pystyy reagoimaan paremmin kuormitustilanteissa, koska pakokaasut johdetaan turboahdinten takaata ja näin hyödyntäen pakokaasuenergiaa. EGR-jäähdytin ei nokeudu yhtä helposti. Koskee myös matala- ja korkeapaine toimiset EGR-järjestelmät yhdistelmiä. (Günther, H. 2018e,13–15.)

3 Päästömanipulaatio ja -määräykset

3.1 Katsastuksessa koskevia päästömääräyksiä

Otto-moottorilla olevat ajoneuvojen päästöt tarkastetaan. Tämä otettu käyttöön 1.1.1978 tai sen jälkeen, ja jota ei ole tyyppihväksytty EY-direktiivin 98/69/EY1 mukaisesti (EURO 3 ja 4). Päästöistä mitataan CO-, HC-, O2- ja CO2-pitoisuudet ja myös moottorin pyörintänopeus. Mikäli ajoneuvossa on kolmitoimikatalysaattori, niin silloin pitää myös mitata korotetulla pyörintänopeudella ja muiden arvojen lisäksi myös lambda arvo (Traficom,2022.) Taulukosta 1 pääseen näkemään määrättyjä arvoja.

Taulukko 1. Otto-moottorille varustetuille ajoneuvoille tarkoitetut päästöarvot.

ajoneuvon käyttöönottoaika tai moottorityyppi			joutokäynnillä		vähintään 2000 rpm pyörintänopeudella		
		OBD:n toiminta	CO [%]	HC [ppm]	CO [%]	HC [ppm]	lambda
I	ennen 1.1.1978	-	-	-	-	-	-
II	ennen 1.10.1986	-	4,5	1 000	-	-	-
III	1.10.1986 tai sen jälkeen sekä ajoneuvoluokat T, L6e ja L7e	-	3,5	600	-	-	-
IV	varustettu kolmitoimisella katalysaattorilaitteistolla	-	0,5	100	0,3	100	1±0,03
V	M1-luokan ajoneuvojen, joiden kokonaismassa on enintään 2500 kg ja N1-luokan ajoneuvojen, joiden vertailumassa on enintään 1305 kg ja käyttöönotto 1.1.2001 tai sen jälkeen (kuitenkin nestekaasulla ja maakaasulla toimivat ajoneuvot, joiden käyttöönotto 1.1.2004 tai sen jälkeen) ja käyttöönotosta on katsastushetkellä kulunut yli 10 vuotta.						
	M1-luokan ajoneuvojen, joiden kokonaismassa on yli 2500 kg ja muiden kuin kohdassa tarkoitettujen N1-luokan ajoneuvojen, joiden vertailumassa on enintään 1305 kg ja käyttöönotto 1.1.2002 tai sen jälkeen (kuitenkin nestekaasulla ja maakaasulla toimivat ajoneuvot, joiden käyttöönotto 1.1.2007 tai sen jälkeen) ja käyttöönotosta on katsastushetkellä kulunut yli 10 vuotta.	tarkastus	-	-	0,2	100	1±0,03
VI	Enintään 10 vuotta käyttöönottopäivästä (M1 ja N1 -luokat)	tarkastus	-	-	-	-	-

Dieselmoottorilla varustettujen ajoneuvojen päästömittaus määräykset. Ajoneuvo, joka on otettu käyttöön 1.1.1980 tai sen jälkeen, mutta kumminkin ennen 1.9.2016 mitattiin savutus mittauksella. Muusta kuin T- tai L-luokan ajoneuvosta, joka on otettu käyttöön 1.1.2007 tai sen jälkeen (Euro 4/IV2 ja Euro 5/V3) mutta ennen 1.9.2016, tarkastetaan savutusmittauksen lisäksi MI-merkkivalon normaali toiminta silmämääräisesti (Traficom,2022.) Taulukosta 2 näkee diesel ajoneuvojen vaadittavia päästöarvoja.

Taulukko 2. Diesel ajoneuvojen vaadittavia päästöarvoja.

Ajoneuvon käyttöönottoaika tai moottorityyppi	OBD:n toiminta	Savutusmittauksen K-arvo
ennen 1.1.1980	-	-
Ajoneuvo, joka on otettu käyttöön ennen vuotta 1990 ja jota ei ole tyyppihyväksytty direktiivin 72/306/ETY tai E-säännön n:o 24 mukaisesti	-	7,0 Bosch yksikköä
Vapaasti hengittävä moottori ja kaikki vapaasti hengittävällä moottorilla varustetut T-luokan ajoneuvot	-	2,5
Ahdettu moottori ja kaikki ahdetulla moottorilla varustetut T-luokan ajoneuvot	-	3,0
Euro 4/IV2 käyttöönottopäivä ennen 1.1.2007	-	1,5
Euro 4/IV3 käyttöönottopäivä 1.1.2007 tai sen jälkeen	Merkkivalon normaali toiminta	1,5
Euro 5/V3	Merkkivalon normaali toiminta	1,5 tai valmistajan ilmoittama
Euro 6/VI4 käyttöönottopäivä ennen 1.9.2016)	Merkkivalon normaali toiminta	0,7 tai valmistajan ilmoittama
Euro 6/VI5 käyttöönottopäivä 1.9.2016 tai sen jälkeen)	tarkastus	-

3.2 Päästömanipulaatio

Moottorin ohjainlatteen muutokset, joilla vaikutusta moottorin suorituskykyyn ja muuhun optimointiin. Tämä on myös, sitä kun poistetaan muun muassa pakoputkistosta hiukkassuodatin, katalysaattoreita ja otetaan pois käytöstä, vaikka tuo pakokaasujentakaisinkierätyjärjestelmä eli EGR. Kaikki kolme edellä mainittua järjestelmää ovat olennaisia osia pakokaasujärjestelmässä. Seuraamuksia näiden laitteistojen poistosta voidaan määrätä 300 €-30 000 € suuruisen liikennevirhemaksu ajoneuvon omistajalle/haltijalle. Sitä valvova viranomainen, voi sen kirjoittaa. (Traficom 2024.)

Miten voi muun muassa päästömanipuloida AdBlue järjestelmää, voi esimerkiksi tehdä moottorihjausyksikköön muutoksen OBD-lukijan kautta ja koska katsastuksissa uudemmissa diesel ajoneuvoissa mitataan vain OBD kautta päästöt niin järjestelmässä kerrotaan, että päästöt ovat oikein, vaikka olisikin pakoputkenpää ihan pikimusta. Katsastaja ei voi hylätä ajoneuvoa pelkästään pakoputken päästä, uudemmissa dieselissä. (Lähdetuoma, M.2022.) Voidaan käyttää emulaattoria, joka lähettää signaalin moottorin ohjausyksikölle normaalisti toimivasta AdBlue järjestelmästä, vaikka koko järjestelmä olisi otettu posi fyysisesti taikka ohjelmoinnilla. Tämä tarvitsee virran ja yhteyden ajoneuvon can-väylään ja tulee poistattaa sulake alkuperäisestä järjestelmästä taikka poistaa siltä virta kokonaan. (CANLOGIC 2022). Kuvasta 4 voitte huomata eräänlaisen emulaattorin AdBlue järjestelmään.



Kuva 4: Emulaattori AdBlue-järjestelmä poistoon.

3.3 Päästökandaaleja

BMW:tä on syytetty päästömanipulaatiosta, joka koskee tiettyjä dieselajoneuvoja. BMW X5 -mallin vuosilta 2009–2013 tai BMW 335D -dieselauton vuosilta 2009–2011. BMW markkinoi näitä malleja niin sanottuina "puhtaina dieselinä", jotka täyttivät kaikki päästömääräykset, vaikka todellisuudessa ne saastuttivat enemmän kuin muut vastaavat ajoneuvot. Yhtiötä syytetään ohjelmiston asentamisesta, joka testausolosuhteiden ulkopuolella vähensi päästöjen hallintaa. Tämä rikkoo Yhdysvaltain ympäristönsuojeluvirasto EPA:n sääntöjä. Väitteiden mukaan BMW toimi

yhteistyössä BOSCHin kanssa, joka osallistui kyseisen ohjelmiston kehittämiseen. Ohjelmisto oli suunniteltu tunnistamaan, milloin ajoneuvo oli päästöttestissä, muun muassa ajan, nopeuden ja moottorin toiminnan perusteella. Testitilanteessa ohjelmisto sääteli päästöjä vaatimusten mukaisiksi, mutta normaalissa ajossa se laski päästövaatimuksia ja lisäsi tehoa – päästöjen kustannuksella. Näin ajoneuvo tuotti testissä hyväksyttäviä päästöarvoja, mutta normaaleissa olosuhteissa huomattavasti enemmän saasteita. Näillä ratkaisuilla voitiin myös vähentää ajoneuvojen valmistuskustannuksia, koska kalliimpia päästöjenhallintalaitteita ei tarvittu. Skandaali nousi esiin Yhdysvalloissa, missä BMW markkinoi näitä ajoneuvoja "BluePerformance"-nimikkeellä ja ympäristöystävällisinä. Tämän ansiosta ajoneuvot hyväksyttiin laillisesti kaikissa 50 osavaltiossa. BOSCH puolestaan toimitti dieselmootoreiden ohjausyksiköitä useille valmistajille. Näiden yksiköiden tehtävänä on säädellä muun muassa päästöjä ja polttoaineen palamista.

Suurin päästöskandaali liittyi kuitenkin Volkswagen-konserniin. Yhtiö rikkoi Yhdysvaltain Clean Air Act -lakia myymällä vuosina 2009–2016 lähes 600 000 dieselajoneuvoa, joiden moottorin ohjausyksiköihin oli asennettu ohjelmisto eli niin kutsuttu "estolaite". Tämä ohjelmisto mahdollisti viranomaistestien huijaamisen, jolloin ajoneuvot täyttivät päästövaatimukset testitilanteessa, mutta ylittivät ne moninkertaisesti normaalissa ajossa. Suurin ongelma liittyi

typenoksidipäästöihin, jotka kasvoivat merkittävästi (EPA, 2024) Kuvassa 5 esitetään Volkswagenin päästöhuijauksen aikajana.



Kuva 5: Volkswagenin päästöhuijauksen aikajana

Katalyysaattorin poistaminen alkaa tyypillisesti happianturin irrottamisella. Tämän jälkeen katalyysaattori voidaan katkaista pois pakoputkistosta esimerkiksi puukkosahalla tai kulmahiomakoneella. Tilalle voidaan hitsata pakoputkistoon sopivaa putkea, mikä käytännössä johtaa päästöjen manipulointiin. Markkinoilla on myös saatavilla niin sanottuja "korvaavia katalyysaattoreita", jotka voivat vaikeuttaa katsastuksessa havaitsemista. Kaikki tällaiset osat eivät kuitenkaan ole hyväksytyjä tieliikenteeseen, ja siten nekin katsotaan

päästömanipulaatioksi. On tärkeää huomioida, että katalysaattorin poistaminen lisää ajoneuvon päästöjä, mikä kuormittaa sekä ympäristöä että ihmisten terveyttä. Katalysaattorin tehtävänä on puhdistaa pakokaasuista haitallisia yhdisteitä ennen niiden vapautumista ilmakehään. Katalysaattorin poistaminen tehdään usein moottorin tehonlisäyksen toivossa. Poistamalla pakokaasujen virtausta rajoittava komponentti, pakokaasut pääsevät poistumaan nopeammin, mikä vähentää moottorin vastapainetta. Tämä voi parantaa ilman ja polttoaineen seoksen virtausta palotilaan, tehostaa palamista ja alentaa moottorin käyntilämpötilaa. Näiden tekijöiden yhteisvaikutuksena moottorista saadaan mahdollisesti hieman enemmän tehoa. ajoneuvolla on mahdollisuus kulkea tehokkaammin ja polttoaine taloudellisemmin. (Sellén, M.2023.)

Hiukkassuodattimen poistaminen dieselajoneuvosta voi lisätä moottorin tehoa ja vääntömomenttia. Suodattimet ovat usein myös kalliita korjata tai vaihtaa niiden vikaantuessa, mikä on osaltaan lisännyt niiden poistamista. On kuitenkin tärkeää huomioida, että päästölaitteiden poistaminen on lainvastaista, mikäli ajoneuvo on alun perin varustettu niillä jo tehtaalla. Hiukkassuodattimen poistaminen johtaa siihen, että ilmakehään vapautuu huomattavasti enemmän terveydelle haitallisia päästöjä, kuten typen oksideja ja pienhiukkasia. Nämä yhdisteet ovat merkittävä ympäristö- ja terveysriski, sillä ne lisäävät ilmanlaatuongelmia ja voivat aiheuttaa hengitystieoireita sekä pitkäaikaisia sairauksia. (117SPEED.2023). Typenoksidit ärsyttävät ihmisten alahengitysteitä ja lisää hengityselinoireita. On mahdollista myös, että typenoksidit voimistavat myös astmaatikkoojen ja allergikkojen oireita siitepölylle. (Tuomisto,J.2020).

3.4 Tienvarsitarkastus

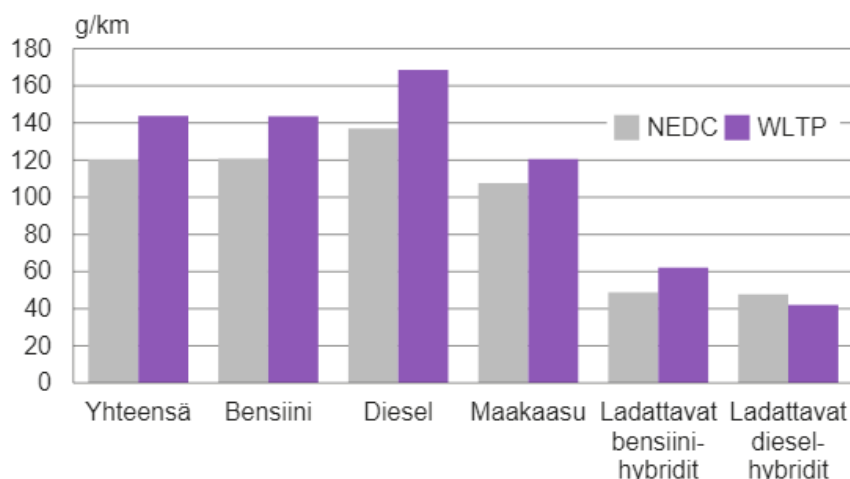
Muun muassa ajoneuvon silmämääräisen tarkastuksen, ajoneuvon teknisen kunnon, katsastustensuorittamisen ja muiden säännösten mukaisuuden osoittavien asiakirjojen tarkastukseen. Tienvarsitarkastuksen suorittajan on otettava huomioon kuljettajan mahdollisesti esittämä viimeisin määräaikaikatsastusta koskeva todistus ja teknistä tienvarsitarkastusta koskeva raportti. Tienvarsitarkastuksen suorittaja voi myös lisäksi ottaa huomioon kuljettajan muun esittämän ajoneuvon kuntoa koskien oleva todistus. Todistus tai raportti osoittaa, että jokin tarkastuskohde on tarkastettu kolmen edellisen kuukauden aikana, silloin tuota kohdetta ei tarkasteta uudelleen ilman perusteltua syytä. (finlex,2019.) Tarkastuksen suoritetaan ilman enakoilmoitusta tieliikennelaissa tarkoitetulla tiellä tai muussa sellaisessa paikassa. Ajoneuvon on täytettävä tämän lain tai sen nojalla annettujen säännösten mukaiset vaatimukset. Tarkastus suoritetaan katsastustoimipaikan lähellä ja voidaan ajoneuvo määrätä tarkastettavaksi siihen

katsastustoimipaikalle. Teknisen tienvarsikatsastuksen suorittaa poliisi tarvittaessa myös tulli ja rajavartiolaitos suorittavat näitä toimialueillaan. Liikenne- ja viestintävirasto järjestää tarkastuksiin ajoneuvon teknisen asiantuntijan avustamaan viranomaista. Asiantuntijalla on oltava katsastustoimipaikan antama todistus oikeudesta osallistua tarkastukseen. Tarvittaessa todistus esitettävä kuljettajalle. (finlex.2021).

4 Pakokaasujen säädöksiä Euroopan unionissa

Haitallisia päästöjä säännellään niin sanotuilla Euro-säädöksillä. Ne ovat ajoneuvolajikohtaisia raja-arvoja, jotka mitataan ajoneuvon tyyppihyväksynnän yhteydessä. Mittaukset suoritetaan laboratoriossa tarkkaan säädelyjen ohjeiden mukaisesti. Paketti- ja henkilöautoille mittausmenetelmänä käytetään WLTP-sykliä (Autotuoajat, n.d.). WLTP-mittauksessa on tärkeää ymmärtää, ettei ajoneuvon päästötaso varsinaisesti kasva, vaan mittaustavan muuttuminen vaikuttaa ilmoitettuihin päästö- ja kulutusarvoihin. Tavoitteena on tuottaa todenmukaisempia arvoja, jotka vastaavat paremmin liikenteessä syntyviä päästöjä. Menetelmä ottaa huomioon muun muassa ilmanvastuksen, ajoneuvon massan ja vierintävastuksen kaikkia tekijöitä, jotka vaikuttavat polttoainenkulutukseen. Vaikka WLTP-testi suoritetaan edelleen laboratoriossa alustadynamometrillä, itse mittaus sykli on aiempaa raskaampi ja pidempi. Nopeuden vaihtelu on suurempaa, kaupunkiajaja kuvaavat osiot ovat realistisempia ja tyhjäkäynti on vähäisempää verrattuna aikaisempaan NEDC-mittaukseen. Vanhemmassa mittaustavassa ei otettu huomioon ajoneuvon lisävarusteita, jotka voivat vaikuttaa vierintävastukseen ja kokonaismassaan. Testiolosuhteet pidetään pääosin noin 23 celsiusasteessa, mutta mittauksia tehdään myös noin 14 asteessa, mikä vastaa paremmin EU:n keskilämpötilaa (Autoalan Tiedotuskeskus, n.d.).

Sähköautojen mittaus. Koskee ainoastaan energiankulutusta, koska päästöjä ei synny sen käytön aikana. Energiankulutus sähköautolla mitataan poiketen tämahetkisestä mittautavasta niin, että otetaan huomioon myös lataushäviöt ja testitilanteessa mitataan energia, joka menee akun täyteen lataamiseen uudelleen testin jälkeen. Ladattavat hybridien Mittauksia suoritetaan ajovoima-akun eri varaus tilanteissa ja lasketaan eri mittauskertoja tuloksia painottamalla. Viimeinen sykli tehdään niin, että ajovoima-akku on lähtötilanteessa kokonaan tyhjä ja pelkällä sähköllä ajettava osuus määrittelee, että kuinka suuri osuus luokitellaan nolla päästöiseksi. (Autolan Tiedotuskeskus, n.d). Kuvassa 6 näkee vanhan NEDC- ja uuden WLTP-mittausarvoja.



Kuva 6: Vanhan NEDC- ja uuden WLTP-mittausarvoja.

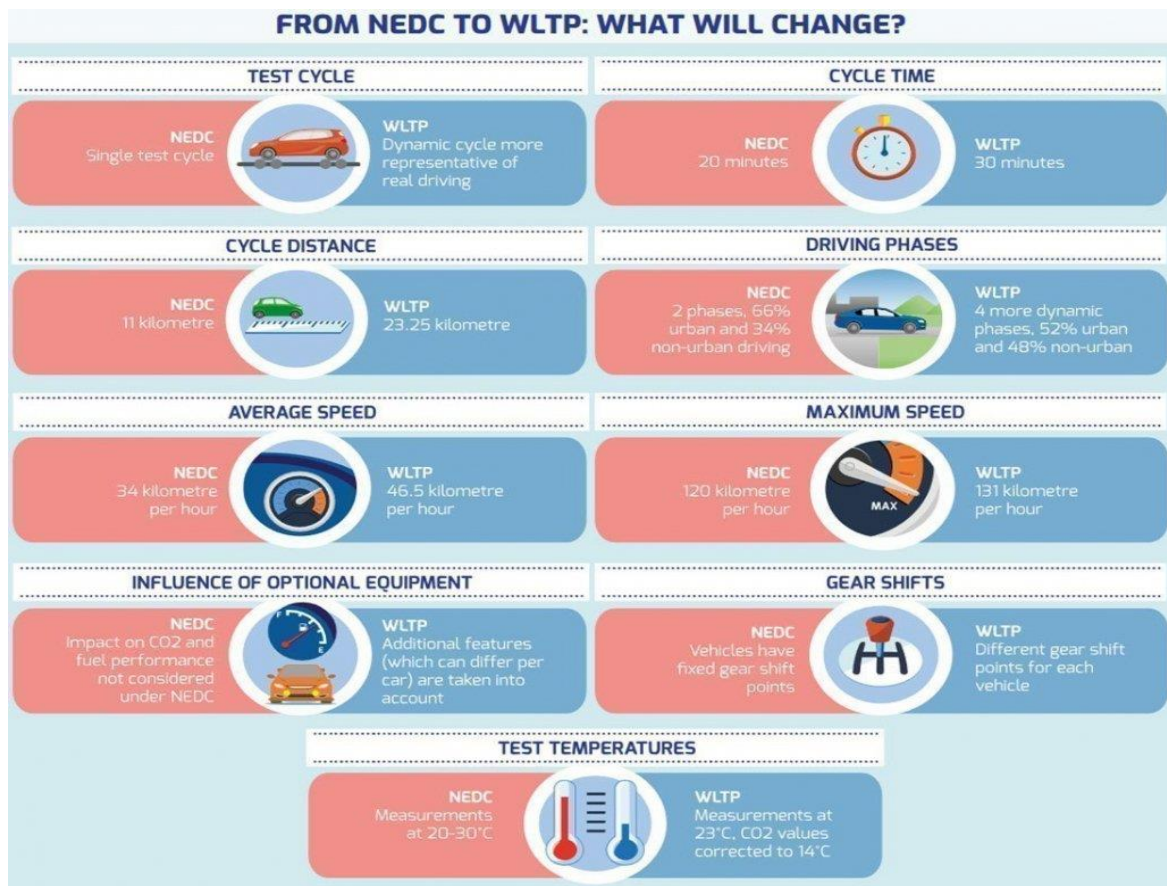
4.1 RDE-mittaus

Otettu käyttöön euroopan unionissa 2017 syyskuussa sen tarkoituksena on täydentää tuota WLTP mittausta, joka suoritetaan sisätiloissa. RDE raja-arvot koskee pienhiukkasia ja typenoksideja. Mittaus suoritetaan käytännön olosuhteita ajatellen ja liikenteessä ajaen ja tarkoituksena on antaa mahdollisimman todennukainen arvo päästöistä ajon aikana, että ei olisi tehty muun muassa päästömaipulaatioita ajoneuvoille taikka muutenkaa ohjelmoitu ohjainlaitteita. EU on ensimmäinen alue, joka ottaa liikenteessä tehtäviä mittauksia huomioon. Se tuli käyttöön kaikki ensirenkisteröitäviin henkilöautoihin ja pakettiautoihin syyskuussa 2019, myös sekä tyyppi hyväksytyihin henkilöautoihin vuonna 2017 syyskuussa. RDE testi poikkeaa myös sillä tavalla, että sitä ei suoriteta montaa kertaa ja ainoastaa kirjataan hyväksytty tai hylätty, koska säätilan muutokset ja pysähdysten määrä vaikuttavat mittaustuloksiin, eikä testillä ole vaikutusta ajoneuvon verotukseen, kun sitä ei merkata auton tietoihin. (Autoalan tiedotuskeskus, n.d.)

4.2 NEDC mittaus

NEDC-sykli oli tehty eri ajoneuvovariaatioiden vertailuun ja sen päästötulosten ja kulutusmittauksen ei ole ikinä oluut kuvata tarkasti liikenteessä syntyviä päästöjä. Tarkoitus oli saada mitattua epätydellisen palamisen tuloksena syntyviä päästöjen määrää laboratorio-olosuhteissa. suunniteltu 1980-luvulla

eikä vastaa enää nykyaikaista ajoneuvotekniikkaa. (Autoalan tiedotuskeskus, n.d.) Kuvassa 7 NEDC ja WLTP mittauksen eroja.



Kuva 7: NEDC ja WLTP mittauksen eroja.

5 Hiukkasten määränmittaus

Kannettava päästömittausjärjestelmä (PEMS) dieselajoneuvoihin tarjoaa tehokkaan menetelmän hiukkaspäästöjen mittaamiseen todellisissa ajotilanteissa. Dieselmoottorit tuottavat merkittäviä määriä hiukkaspäästöjä, jotka heikentävät ilmanlaatua ja vaikuttavat haitallisesti ihmisten terveyteen. Vaikka kannettavien mittalaitteiden mittauksiin voi liittyä epätarkkuuksia, nämä otetaan huomioon lainsäädännössä. Esimerkiksi ajoneuvolta sallitaan tietyissä olosuhteissa jopa 1,5-kertainen päästötaso verrattuna laboratoriomittauksiin. (BOSCH.)



Kuva 8. PEMS laite

Scanning Mobility Particle Sizer SMPS järjestelmä on erityisen hyödyllinen dieselmoottorien tuottamien nanohiukkasten mittaamisessa, joita perinteiset mittausmenetelmät eivät välttämättä havaitse. Tämä koskee erityisesti vanhempia dieselmoottoreita, jotka voivat tuottaa huomattavia määriä pienikokoisia nanohiukkasia. SMPS mahdollistaa näiden hiukkasten reaaliaikaisen mittaamisen ja siten tarkemman arvion hiukkasten lukumäärästä erilaisissa ajotilanteissa. SMPS-teknologia tarjoaa myös merkittäviä mahdollisuuksia päästömanipulaatioiden tunnistamisessa. Erityisesti tapauksissa, joissa ajoneuvon päästöjen jälkikäsittelyjärjestelmää on muokattu toimimaan vain tietyissä olosuhteissa, SMPS voi paljastaa poikkeavat päästöprofiilit. Kasvanut nanohiukkasten määrä voidaan havaita luotettavasti, ja laitteen korkea tarkkuus sekä kyky mitata hiukkasia laajalla kokojakaumalla

tekevät siitä arvokkaan työkalun dieselajoneuvojen päästöjen valvonnassa ja sääntelyn toimeenpanossa.

Laitteen toiminta perustuu seuraaviin vaiheisiin: ensin hiukkaset ladataan bipolaarisella latauslaitteella, mikä mahdollistaa niiden analysoinnin sähköisten ominaisuuksien perusteella. Seuraavaksi hiukkaset johdetaan liikkuvuusanalyysaattoriin (DMA, Differential Mobility Analyzer), jossa ne erotellaan sähköisen liikkuvuuden perusteella. Tämä vaihe määrittää hiukkasten kokojakauman. Lopuksi kondensaatiopartikkelilaskuri mittaa hiukkasten lukumäärän kondensoimalla nestemäistä butanolia hiukkasten pinnalle, jolloin ne kasvavat mitattavaan kokoon ja voidaan luotettavasti laskea. (A, Singh C, Kuang,2024)

6 Pohdinta

Yrityksille, joilla on kymmeniä tai jopa satoja ajoneuvoja, päästönhallintajärjestelmien, kuten AdBlue-järjestelmien tai hiukkassuodattimien. Niiden vioittuminen voi muodostaa merkittävän taloudellisen rasitteen. Näiden järjestelmien korjaus tai uusiminen on usein kallista, eikä kaikilla yrityksillä ole resursseja toteuttaa tarvittavia toimenpiteitä ajallaan. Tämän vuoksi olisi perusteltua tarkastella mahdollisuutta valtion tarjoamiin tukitoimiin, esimerkiksi verohelpotusten, tukirahastojen tai alennettujen huoltokustannusten muodossa. Yhtenä ratkaisuvaihtoehtona voisi olla, että yritykset voisivat tuoda ajoneuvonsa oppilaitoksiin, joissa päästölaitteiston korjauksia tehtäisiin opiskelijatyönä. Tämä hyödyttäisi sekä yrityksiä että ammatillista koulutusta tarjoamalla opiskelijoille käytännön kokemusta ajoneuvotekniikasta.

Ajoneuvoharrastajien kohdalla keskeistä olisi lisätä tietoisuutta siitä, että päästölaitteistojen muokkaaminen tai poistaminen ei ole vain lainvastaista, vaan myös ympäristölle ja kansanterveydelle haitallista. Yksi ratkaisu voisi olla kehittää sellaisia päästönhallintajärjestelmiä, jotka kestävät paremmin tehonlisäyksiä ja virityksiä. Tällöin harrastajat voisivat tehdä teknisiä muutoksia ilman, että järjestelmän toiminta vaarantuu tai että laitteet rikkoutuvat, esimerkiksi katalyysaattorin sisällön hajotessa pakokaasujärjestelmään. Markkinoilla on runsaasti jälleenmyyjiä, jotka tarjoavat laittomia tai vain kilpakäyttöön tarkoitettuja päästökomponeentteja, vaikka niiden käyttö tieliikenteessä on kiellettyä. Tämä herättää kysymyksen siitä, missä määrin vastuu on kuluttajalla ja missä määrin järjestelmä mahdollistaa tällaisen kaupan. Kun laittomia osia on helposti saatavilla ja korjaamot asentavat niitä ilman erityisiä seuraamuksia, lainsäädännön vaikutus jää heikoksi. Sääntelyn ja valvonnan tiukentaminen voisi tässä kohdin olla tarpeen.

Moottorin ohjainlaitteiden ohjelmoinnit muodostavat oman ongelmakenttänsä. Mikäli muutoksia ei muutokatsasteta, ovat ne laittomia. Yksi mahdollinen ratkaisu olisi sallia ohjelmointimuutokset vain katsastuskonttorin valvonnassa, osana virallista muutokatsastusta. Haasteeksi jää kuitenkin, miten katsastaja voi todentaa, onko ajoneuvoon tehty laitonta ohjelmointia, ellei siihen ole selkeää teknistä tarkastusmenetelmää tai diagnostiikkatyökalua käytössä. Vaikka ajoneuvo katsastetaan asianmukaisilla päästölaitteilla, ei tämä takaa, että ajoneuvo pysyy sääntöjen mukaisessa kunnossa. Laiton osa voidaan vaihtaa takaisin käyttöön jopa saman päivän aikana. Tämä korostaa sitä, että katsastus on vain hetkellinen tarkastus, eikä jatkuvaa valvontaa. Tarvitaan tehokkaampia keinoja varmistaa, että ajoneuvot pysyvät lain edellyttämässä kunnossa myös katsastusten välillä.

Yksi mahdollinen keino parantaa ajoneuvojen päästövalvontaa olisi hyödyntää jatkuvaa datan analysointia katsastuksen yhteydessä. Esimerkiksi OBD2-järjestelmää voitaisiin käyttää niissä ajoneuvoissa, joissa se on saatavilla, vertaamalla ajonaikaista dataa laboratorioissa mitattuihin referenssiarvoihin. Katsastaja voisi näin analysoida, poikkeavatko ajonaikaiset päästöt merkittävästi tyyppihyväksynnän yhteydessä mitatuista arvoista.

Tällainen vertailu voisi paljastaa mahdollisia päästömanipulaatioita, etenkin jos ajoneuvo täyttää päästörajat ainoastaan testitilanteissa, mutta ei todellisissa ajo-olosuhteissa. Esimerkiksi jos NOx-anturi antaa epärealistisia tai ajotilanteeseen nähden epäloogisia arvoja, se voisi viitata siihen, että ajoneuvon päästöjärjestelmä ei toimi suunnitellusti. Lisäksi voidaan tarkastella polttoaineen syötön säätöä, sytytysajankohtia ja niiden vastaavuutta valmistajan määrittämiin arvoihin. Näiden tietojen perusteella voitaisiin muodostaa kattavampi kuva ajoneuvon todellisesta päästökäyttäytymisestä. Yksi keskeinen kehitysaskel ajoneuvojen päästövalvonnassa voisi olla katsastajalle annettava oikeus lukea moottorin ohjausyksikön sisältämää dataa sekä tarkastella mahdollisia muutoksia ohjausjärjestelmän ohjelmointiin tai parametreihin. Tällainen pääsy mahdollistaisi sen arvioimisen, onko ajoneuvon ohjelmistoon tehty jälkikäteen muutoksia, jotka voisivat vaikuttaa esimerkiksi polttoaineen syöttöön, pakokaasujen jälkikäsitteilyyn tai moottorin toimintaan päästöjen näkökulmasta.

Tällä hetkellä katsastuksissa keskitytään tyyppillisesti ajoneuvon fyysiseen kuntoon sekä OBD-järjestelmän ilmoittamiin vikakoodeihin. Ohjelmallisia muutoksia kuten ohjelmistopäivityksiä, virityksiä tai päästöjä kiertäviä säätöjä ei kuitenkaan voida luotettavasti havaita ilman pääsyä moottorinohjainyksikön syvällisempään tietosisältöön. Tällaisia muutoksia voi esiintyä muun muassa pakokaasun takaisinkierrätys, hiukkassuodattimet tai SCR-järjestelmien ohituksina.

Katsastajille voitaisiin antaa lupa vertailla ajoneuvon ECU:n ohjelmistoa ja säätöarvoja valmistajan alkuperäisiin tietoihin. Tämän vertailun avulla olisi mahdollista tunnistaa, onko ajoneuvon asennettu epävirallinen ohjelmaversio, joka muuttaa moottorin käyttäytymistä tavalla, joka ei ole tyyppihyväksynnän mukainen. Toteutettuna hallitusti ja tietosuojaanäkökohdat huomioiden, tällainen järjestelmä lisäisi katsastuksen luotettavuutta ja tehostaisi päästövalvontaa merkittävästi. Samalla se toimisi ennaltaehkäisevänä keinona ohjelmistoperusteisten päästömanipulaatioiden torjumiseksi.

Lähteet

117SPEED. (2023). *DPF removal – what you need to know*. Viitattu 9.3.2025.
<https://117speed.co.uk/dpf-removal-what-you-need-to-know/>

Autoalan Tiedotuskeskus. (n.d.-a). *Pakokaasupäästöjen ja polttoaineenkulutuksen mittaustapa muuttui*. Viitattu 18.4.2025.
https://www.aut.fi/ymparisto/autojen_paastot_ja_niiden_mittaus/pakokaasupaastojen_mittaus

Autoalan Tiedotuskeskus. (n.d.-b). *RDE eli Real Driving Emission -mittaus*. Viitattu 10.4.2025.
https://www.aut.fi/ymparisto/autojen_paastot_ja_niiden_mittaus/pakokaasupaastojen_mittaus/rde-mittaus

Autoalan Tiedotuskeskus. (n.d.-c). *Ympäristö – WLTP-mittaustapa*. Viitattu 6.4.2025.
https://www.aut.fi/ymparisto/autojen_paastot_ja_niiden_mittaus/pakokaasupaastojen_mittaus/wltp-mittaustapa

Autotuojat ja -teollisuus. (n.d.). *Pakokaasupäästöjä koskevat normit EU:ssa*. Viitattu 6.4.2025. https://www.autotuojat.fi/uutishuone/autoalan_termistoa/euro-paastoluokat

BOSCH. (n.d.). *Real Driving Emissions: New measurement methods for better air quality*. Viitattu 16.5.2025.

CANLOGIC. (2020). *AdBlue emulators explained*. Viitattu 3.3.2025.
<https://www.canlogic.eu/articles/>

Cotta. (2022). *What's a catalytic converter and why people steal them*. Viitattu 2.1.2025. <https://www.cars.com/articles/whats-a-catalytic-converter-and-why-do-people-steal-them-446861/>

Cünther, H. (2018a–d). *Pakokaasujen jälkikäsittely dieselmootoreissa* (J. Kiiskinen, toim.). Helsinki: Autoalan Koulutuskeskus. Viitattu 10.–11.1.2025.

Diesel Deception. (n.d.). *Inside BMW's \$6M Emissions Scandal Class Action Settlement*. Viitattu 6.3.2025. <https://www.lawinc.com/bmw-diesel-emissions-settlement>

EHC Teknik. (2025). *Mikä on DPF?* Viitattu 11.1.2025.
<https://ehcteknik.com/fi/mika-on-dpf/>

EKO DPF. (2018). *Diesel-ajoneuvojen pakokaasujen jälkikäsittelyjärjestelmä*. Viitattu 11.1.2025. <https://www.ekodpf.fi/diesel-ajoneuvojen-pakokaasujen-jalkikasittelyjarjestelma/>

EPA. (n.d.). *Learn About Volkswagen Violations*. Viitattu 6.3.2025. https://19january2021snapshot.epa.gov/enforcement/learn-about-volkswagen-violations_

Finlex. (2019). *Valtioneuvoston asetus ajoneuvojen liikennekelpoisuuden valvonnasta*. Viitattu 22.3.2025. <https://finlex.fi/fi/lainsaadanto/saaduskokoelma/2019/1455#OTO>

Finlex. (2021). *Ajoneuvolaki*. Viitattu 22.3.2025. <https://finlex.fi/fi/lainsaadanto/2021/82>

Hämäläinen, V. (2015). *Jokamiehen päästöhuujaukset yleistyvät kovaa vauhtia – Trafi uhkaa vastaiskulla*. Yle. Viitattu 11.1.2025. <https://yle.fi/a/3-8486593>

Lähdetluoma, M. (2022). *Dieselautoja muokataan liikennekelvottomiksi AdBlue-aineen pulan vuoksi*. Yle. Viitattu 1.2.2025. <https://yle.fi/a/3-12380279>

Let's Talk Science. (2022). *Learn about how catalytic converters make vehicle emissions less harmful*. Viitattu 8.1.2025. <https://letstalkscience.ca/educational-resources/stem-in-context/catalytic-converters>

Miller, Grimes. (n.d.). *Research on ultra-high-temperature materials – monolithic ceramics, ceramic matrix composites and carbon composites*. Viitattu 6.1.2025. <https://ntrs.nasa.gov/api/citations/19830003891/downloads/19830003891.pdf>

OSTI.GOV – Singh, A., & Kuang, C. (2024). *Scanning Mobility Particle Sizer (SMPS) Instrument Handbook* [Raportti]. Viitattu 17.5.2025.

Sellén, M. (2023). *What is Catalytic Converter Delete And Should You Do It?* Viitattu 8.3.2025. <https://mechanicbase.com/exhaust/catalytic-converter-delete/>

Traficom. (2022). *Ajoneuvojen määräaikaikatsastuksen arvosteluperusteet*. Viitattu 10.1.2025.

(Huom! Lähde paikallinen tiedosto – tarkista ladattavuus tai lisää julkinen linkki.)

Traficom. (2024). *Tarkennuksia ajoneuvoihin tehtäviin moottorien ja ohjelmointeihin ja muutoksiin*. Viitattu 1.2.2025. <https://www.traficom.fi/fi/ajankohtaista/tarkennuksia-ajoneuvoihin-tehtaviin-moottorien-ohjelmointeihin-ja-muutoksiin>

Tuomisto, J. (2020). *Voiko ilma palaa?* Terveyskirjasto. Viitattu 9.3.2025. <https://www.terveyskirjasto.fi/asy00403>