

Kaapo Lindholm

Moottoriöljyn vaikutus bensiinikäyttöisen henkilöauton pakokaasupäästöihin

Insinöörityö

Metropolia Ammattikorkeakoulu
Insinööri (AMK)
Auto- ja kuljetustekniikka
Insinöörityö
26.4.2012

Tekijä(t) Otsikko	Kaapo Lindholm Moottoriöljyn vaikutus bensiinikäyttöisen henkilöauton pakokaasupäästöihin
Sivumäärä Aika	35 sivua + 2 liitettä 26.4.2012
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	Auto- ja kuljetustekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	Autosähkötekniikka
Ohjaaja(t)	Yliopettaja, dosentti Liisa Pirjola
<p>Tässä työssä oli tavoitteena selvittää moottoriöljyn vaikutus henkilöauton pakokaasupäästöihin. Työ tehtiin Tekesin ja yritysten rahoittamassa projektissa TREAM (Trends in real-world particle emissions of diesel and gasoline vehicles), jossa tutkijaosapuolina ovat Tampereen teknillinen yliopisto, Metropolia Ammattikorkeakoulu, Vaasan yliopisto ja Turun ammattikorkeakoulu. TREAM-projekti on käynnissä 1.7.2011-30.6.2014. Henkilöautojen paikallispuhastus on suuri vaikutus yhä useamman ihmisen terveyteen, ja siksi henkilöautojen pakokaasupäästöjen vähentäminen kaikilla mahdollisilla keinoilla on tärkeää.</p> <p>Mittaukset suoritettiin Metropolia Ammattikorkeakoulun kylmälaboratoriossa bensiini suoraruiskutusmoottorilla varustettulla Audi A4 -henkilöautolla, jolla ajettiin NEDC-syklejä ja itse tehtyjä vakiokuormasyklejä viidellä eri öljyllä. Vakiokuormasyklit sisälsivät kolme vakiokuorma-ajoa kolmella eri pyöräteholla, jotka olivat 5 kW, 10 kW ja 20 kW. Pakokaasupäästöistä mitattiin CO₂-, NO_x- ja hiukkaspäästöt sekä säännellyt päästöt. Hiukkaspäästöt mitattiin alipaineimpaktoriin perustuvalla Elpillä, NO_x-päästöt Horiban NO_x APNA-360CE -analysointilaitteella, CO₂-päästöt Horiban CO₂ VA-3000 -analysointilaitteella ja säännellyt päästöt CVS-laitteistolla.</p> <p>Mittauksissa havaittiin, että moottoriöljyn sisältämät epäpuhtaudet ja lisäaineet vaikuttavat henkilöauton tuottamiin hiukkaspäästöihin. Moottoriöljyn vaikutuksesta bensiinikäyttöisen henkilöauton kaasupäästöihin ei saatu yksiselitteisiä tuloksia. Hiukkaskatalysointilaitteen havaittiin laskevan hiukkaspäästöjä huomattavasti.</p>	
Avainsanat	pakokaasupäästöt, moottoriöljy, hiukkaspäästöt

Author(s) Title	Kaapo Lindholm Effects of Engine Oil on Exhaust Emissions of a Gasoline-Powered Passenger Car
Number of Pages Date	35 pages + 2 appendices 26 April 2012
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Automotive Engineering
Specialisation option	Automotive Electronics Engineering
Instructor(s)	Liisa Pirjola, Principal Lecturer, Docent
<p>The objective of this Bachelor´s thesis was to investigate the effects that engine oil has on exhaust gas emissions in passenger cars. This study was conducted in a project called TREAM (Trends in Real-world Particle Emission of Diesel and Gasoline Vehicles) funded by Tekes and different companies operating in the industry. The research parties in the project were Tampere University of Technology, Helsinki Metropolia University of Applied Sciences, University of Vaasa and Turku University of Applied Sciences. The TREAM project was started on 1 May 2011 and it will end on 30 June 2016. The exhaust gas emissions have an impact on the health of an increasing number of people, and therefore, it is essential and necessary to reduce the exhaust gas emissions by any means possible.</p> <p>The measurements were conducted in the cold laboratory of the Helsinki Metropolia University of Applied Sciences by using an Audi A4 passenger car equipped with a gasoline direct injection motor. The car was driven using NEDC cycles and self-made steady cycles with five different oils. The steady cycles included three steady test drives with three different wheel powers that were 5 kW, 10 kW ja 20 kW. CO₂ emission, NO_x emission, particle number concentration and size distribution as well as regulated emissions were measured from the vehicle´s exhaust. The particle emission was measured with the Electrical Low Pressure Impactor (ELPI), NO_x emission with the Horiba NO_x APNA-360CE analyzer, CO₂ emission with the Horiba CO₂ VA-3000 analyzer, and regulated emission with the CVS equipment.</p> <p>The studies indicated that the impurity and additives in the engine oil seem to have an impact on the particulate matter of a gasoline-powered passenger car. However, the studies did not seem to give any unambiguous results that would indicate that the engine oil has an impact on the gas emissions of a gasoline-powered passenger car. It was also observed that the particle oxidation catalyst does decrease particulate matter significantly.</p>	
Keywords	exhaust emissions, engine oil, particulate matter

Sisälllys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Moottoriöljyt	2
2.1	Moottoriöljyjen luokitukset	3
2.1.1	SAE-luokitus	3
2.1.2	Moniasteöljyt	4
2.1.3	API-luokitus	4
2.1.4	ACEA-luokitus	4
2.2	Moottoriöljyn tehtävät	4
2.3	Öljyn kulutus	5
3	Suoraruiskutusmoottori	6
3.1	Suoraruiskutuksen hyödyt	7
3.2	Suoraruiskutuksen haitat	8
4	Pakokaasupäästöt	8
4.1	Kaasupäästöt	8
4.2	Hiukkaspäästöt	10
5	Pakokaasupäästöjä koskeva lainsäädäntö	12
5.1	Tyyppihyväksyntätestaus	12
5.2	Sarjatuotannon testaus	14
5.3	Kenttävalvonta	14
6	Pakokaasupäästöjen jälkikäsittely	15
6.1	Kolmitoimikatalysaattori	15
6.2	Hiukkaskatalysaattori	15
7	Mittaukset	16
7.1	Mittausjärjestelyt	16
7.2	Mittausmenetelmät	16
7.3	Mittalaitteet	18

7.3.1	Elpi	18
7.3.2	NOx-analysaattori	20
7.3.3	CO2-analysaattori	20
7.3.4	CVS-laitteisto	21
8	Tulokset	22
8.1	Aineiston analysoiminen	22
8.2	NEDC:n hiukkaset	22
8.2.1	Hiukkaslukumäärä	22
8.2.2	NEDC:n kokojakaumat	24
8.3	Vakiokuormasyklin hiukkaset	26
8.3.1	Hiukkaslukumäärä	26
8.3.2	Vakiokuormasyklin kokojakaumat	27
8.4	NEDC:n kaasut	28
8.5	Vakiokuormasyklin kaasut	30
8.6	Säänneltyt päästöt	32
8.7	Moottoriparametrit	33
9	Loppupäätelmät	33
	Lähteet	34
	Liitteet	
	Liite 1. Diesel- ja bensiinikäyttöisten henkilöautojen päästöstandardit EU:n alueella	
	Liite 2. S-ryhmän öljyluokat ja ACEA-luokan öljyt	

Lyhenteet

cSt	senttistoki, kinemaattisen viskositeetin yksikkö, joka perustuu nesteen sisäisen kitkan voittamiseen tarvittavan voiman suuruuteen. SI-järjestelmässä $\frac{m^2}{s}$.
cP	senttipöisi, dynaamisen viskositeetin yksikkö, jolla usein ilmaistaan öljyn sisäistä kitkaa alhaisissa lämpötiloissa. SI-järjestelmässä $\frac{kg}{ms}$. cSt:n ja cP:n yhteys: $cP = cSt \times \text{nesteen tiheys}$.
POC	Particle Oxidation Catalyst, hiukkaskatalysaattori
NEDC	New European Driving Cycle, Uusi Eurooppalainen Ajosykli
GDI	Gasoline Direct Injection, menetelmä jossa bensiini ruiskutetaan suoraan sylinteriin
PFI	Port Fuel Injected, menetelmä jossa polttoaine ruiskutetaan imukanavaan
ppm	parts per million, ilmaisee, kuinka monta miljoonasosaa jokin on jostakin
til%	tilavuusprosentti, kertoo liuenneen aineen tilavuuden osuuden koko liuoksen tilavuudesta
λ	lambda-arvo, ilmaisee, miten paljon toteutunut ilma-polttoainesuhde eroaa teoreettisesta ideaalisesta stökiometrisestä seoksesta

1 Johdanto

Tämän työn tarkoituksena on selvittää moottoriöljyn vaikutus henkilöauton pakokaasupäästöihin. Työ tehtiin Tekesin ja yritysten rahoittamassa projektissa TREAM (Trends in real-world particle emissions of diesel and gasoline vehicles), jossa tutkijaosapuolina ovat Tampereen teknillinen yliopisto, Metropolia Ammattikorkeakoulu, Vaasan yliopisto ja Turun ammattikorkeakoulu. TREAM-projekti on käynnissä 1.7.2011–30.6.2014. Projektin tavoitteena on kartoittaa eroja todellisten pakokaasupäästöjen ja standardien mukaisten päästömittausten välillä, sekä tutkia hiukkaspäästöjen muodostumista ja teknisten ratkaisujen vaikutusta hiukkaspäästöihin. Projektilla halutaan lisätä tietoutta ajoneuvotekniikan ja hiukkaspäästöjen välisestä yhteydestä. Ihmisten asettuessa asumaan yhä tiheämmin on henkilöautojen paikallispäästöillä suuri vaikutus yhä useamman ihmisen terveyteen, ja siksi henkilöautojen pakokaasupäästöjen vähentäminen kaikilla mahdollisilla keinoilla on tärkeää. Tämä työ osoittaa moottoriöljyjen roolin pakokaasupäästöjen muodostumisessa.

Työhön liittyvissä mittauksissa käytettiin suoraruiskutteisella ottomoottorilla varustettua henkilöautoa. Suoraruiskutusmoottoreiden hiukkaspäästöihin on kiinnitetty enenevässä määrin huomiota, kun on todettu pienhiukkasten olevan haitallisia ihmisen terveydelle. Suoraruiskutusmoottorit tuottavat enemmän hiukkaspäästöjä kuin perinteiset bensiinikäyttöiset (PFI) polttomoottorit, joissa polttoaine ruiskutetaan imukanavaan.

Työssä esitellään aluksi moottoriöljyluokkia ja moottoriöljyn tehtäviä. Tämän jälkeen esitellään polttoaineen suoraruiskutusmenetelmän hyötyjä ja haittoja. Työssä käydään läpi pakokaasujen koostumusta ja pakokaasupäästöihin liittyviä säädöksiä. Pakokaasujen päästöjen jälkikasittelystä esitellään kolmitoimikatalysaattori ja Ecocatin valmistama hiukkaskatalysaattori. Lopuksi esitellään työhön liittyvien mittausten toteutus ja niiden tulokset.

2 Moottoriöljyt

Kaikki voiteluaineet valmistetaan raakaöljystä tai raakaöljystä ja lisäaineista. Mineraaliöljyt ovat raakaöljystä tislamalla jalostettuja öljyjä eivätkä ne sisällä keinotekoisesti tuotettuja ainesosia. Synteettiset ja osasynteettiset öljyt tuotetaan kemiallisen prosessin avulla ja niiden ominaisuuksia saadaan muokattua haluttuun suuntaan erilaisilla lisäaineilla. Synteettisillä öljyillä saadaan parannettua öljyn kylmäjuoksevuutta ja kuumakestävyyttä. [1, s. 4.]

Moottoriöljyjen valmistukseen voidaan käyttää mineraaliöljyjä, synteettisiä öljyjä ja kahden edellisen sekoitusta eli osasynteettisiä öljyjä. Moottoriöljyjen ominaisuuksia muokataan aina lisäaineilla. [1, s. 11.] Seuraavassa taulukossa (Taulukko 1.) näkyy eri lisäaineiden vaikutukset öljyn ominaisuuksiin.

Taulukko 1. Eri lisäaineiden vaikutus [1, s. 11]

Lisäaine	Vaikutus
Jähmepisteen alentajat	Parantavat öljyn juoksevuutta alhaisissa lämpötiloissa
Viskositeetti-indeksin parantaja lisäaineet	Vähentävät öljyn viskositeetin riippuvuutta lämpötilan vaihtelusta
Puhdistavat ja jakauttavat (nk. pestävät) lisäaineet	Estävät mäntien ja männänrengasurien karstoittumisen ja pitävät palamisesta syntyvän noen hienojakoisena öljyn joukossa
Kulumisenestolisäaineet	Vähentävät mekaanista kulumista suurten kuormitusten alaisissa moottorin osissa
Vaahdonestolisäaineet	Estävät öljyn vaahtoamisen
Hapettumisenestolisäaineet	Estävät öljyn hapettumisen korkeissa lämpötiloissa
Syöpymisenestolisäaineet	Neutraloivat polttoaineen rikin aiheuttamat happamat palamistuotteet etenkin dieselmootoreissa
Emäksisyyttä antavat lisäaineet	Neutraloivat polttoaineen rikin aiheuttamat happamat palamistuotteet etenkin dieselmootoreissa

Voiteluaineille on useita eri käyttökohteita, ja siksi niiden ominaisuudet muokataan sopivaksi kullekin käyttökohteelle erilaisilla lisäaineilla. Halutunlainen voiteluaine luodaan oikeantyyppisen perusöljyn tai perusöljyjen seoksen ja tarvittavien lisäaineiden avulla.

2.1 Moottoriöljyjen luokitukset

2.1.1 SAE-luokitus

SAE (Society of Automotive Engineers) on amerikkalaisten autoinsinöörien järjestö ja se luokittelee öljyt viiteen kesä- ja kuuteen kylmäviskositeettiiluokkaan huomioiden vain öljyn viskositeetin. Kesäluokat ovat SAE 20, 30, 40, 50 ja 60 ja niiden viskositeetti on määrätty +100 °C:ssa cSt yksikköinä ja +150 °C:ssa cP-yksikköinä suuren leikkausnopeuden alaisina. [1, s. 11.] Seuraavassa taulukossa (Taulukko 2.) näkyy SAE-luokkien eri viskositeetit.

Taulukko 2. SAE-luokkien viskositeetit [1, s. 13]

SAE-luokka	Viskositeetti cP	Pumpattavuus-lämpötila	Viskositeetti cSt/100°C		HSHT Viskositeetti 150°C 10 ⁻⁶ 1/s
	Max.	Max.	Min.	Max.	
0W	6200 / -35 °C	-40 °C	3,8	-	-
5W	6600 / -30 °C	-35 °C	3,8	-	-
10W	7000 / -25 °C	-30 °C	4,1	-	-
15W	7000 / -20 °C	-25 °C	5,6	-	-
20W	9500 / -15 °C	-20 °C	5,6	-	-
25W	13000 / -10 °C	-15 °C	9,3	-	-
20	-	-	5,6	9,3	2,6
30	-	-	9,3	12,5	2,9
40	-	-	12,5	16,3	2,9–3,7*
50	-	-	16,3	21,9	3,7
60	-	-	21,9	26,1	3,7

*2,9 (0W/40, 5W/40, 10W/40)
3,7 (15W/40, 20W/40, 25W/40, 40)

Talviluokkien tunnuksena on W-kirjain, ja talviluokat ovat SAE 0W, 5W, 10W, 15W, 20W ja 25W. Talviluokan öljyjen viskositeetti ja pumpattavuuden raja-arvot on määritetty lämpötiloissa -40 °C...-10 °C porrastetusti mittaamalla ohuimmat laadut alemmissä lämpötiloissa. [1, s. 13.]

2.1.2 Moniasteöljyt

Moniasteöljyjen viskositeetti ei muutu lämpötilan muutoksen vaikutuksesta niin paljon kuin yksiasteöljyjen. Moniasteöljyn viskositeetti voi olla samanaikaisesti SAE 15W -20 °C:n lämpötilassa ja SAE 40 alueella +100 °C lämpötilassa mitattuna. [1, s. 14.]

2.1.3 API-luokitus

API-luokitus on vuonna 1970 julkaistu moottoriöljyluokitus, jossa määritellään kaasutin- ja dieselmootoreille käyttöolosuhdeluokat ja kyseisiä käyttöolosuhdeluokkia vastaavat öljyjen laatutasot. API-luokitus muodostaa kaksi pääryhmää S-ryhmä bensiinimootoreille ja C-ryhmä dieselmootoreille. [1, s. 14.] Liitteen 2 taulukossa (Taulukko 5.) on esitetty S-ryhmän öljyluokat. C-ryhmän öljyluokkia ei esitetä tässä työssä, koska ne ovat dieselmootoreille ja tässä työssä keskeisessä asemassa on ottomoottori.

2.1.4 ACEA-luokitus

Association des Constructeurs d'Automobiles Du Marche Commun (ACEA) on eurooppalaisten autonvalmistajien järjestö, johon kuuluvat kaikki Euroopan kevyen ja raskaan autokaluston valmistajat. ACEAn laatima uusi moottoriöljyjen laatuluokitus korvaa aikaisemmat moottoriöljyluokitukset ja asettaa korkeammat laatuvaatimukset öljyille kuin API-luokitus. [1, s. 16.] Liitteen 2 taulukossa (Taulukko 6.) esitellään vanhat ja vuonna 2008 uudistetut ACEA-luokat bensiinimootoreille.

ACEA on määritellyt E-luokan öljyt raskaankaluston dieselmootoreille, mutta niitä ei tässä työssä esitetä. Työssä ei myöskään käsitellä autonvalmistajien omia öljyluokituksia, jotka perustuvat ACEA- ja API-öljyluokkiin ja ovat merkkikohtaisia.

2.2 Moottoriöljyn tehtävät

Öllyteollisuus pyrkii vastaamaan alati kehittyvien ja suorituskykyisempien moottorien asettamiin vaatimuksiin luomalla jatkuvasti uusia öljylaatuja, joissa uusi moottoriteknikka huomioidaan. Öljyn viskositeetillä ja kulumisenestoaineilla on ratkaiseva merkitys öljyn kyvyille muodostaa vaadittava öljykalvo kahden pinnan välille. Öljykalvon laatu ratkaisee sen, kuinka hyvin öljy suojaa liikkuvien osien pintoja.

Öljyn paksuuden kanssa joudutaan tasapainottelemaan moottorin käyttöolosuhteet huomioonottaen. Ohut öljy voitelee hyvin kylmäkäynnistyksessä, mutta sen voitelu ei välttämättä riitä suurissa lämpötiloissa. Synteettiset ja moniasteiset öljyt ovat hyviä, koska niillä ei tapahdu yhtä suurta ohenemista lämpötilan noustessa kuin yksiasteöljyillä. [1, s. 20–22.]

Moottoreissa on useita osia, jotka joutuvat kovien kuormien alaiseksi suurien pintapaineiden takia. Tällaisia osia varten öljyyn täytyy lisätä kulumisenestolisäaineita, jotka öljykalvon rikkoutuessa estävät vahinkoa syntymästä. Moottorin käynnistämisen ja pysäyttämistilanteissa kulumisenestolisäaineita tarvitaan laakereiden suojaamiseen raja-voitelun huonontuessa. [1, s. 20.]

Moottoriöljy sitoo itseensä noin yhden kolmasosan moottorin tuottamasta lämmöstä ja tämän takia joihinkin moottoreihin asennetaan erilliset öljynlauhduttimet, jotta öljy säilyttäisi voitelukykynsä. [1, s. 20.] Moottoriöljy ja sen lisäaineet ovat tärkeässä roolissa moottorin puhtaana pitämisessä ja ruostumisen torjumisessa. Moottoriöljy sitoo likaa ja kosteutta itseensä menettämättä voitelukykyään ja poistaa lian moottorista öljynvaihdon yhteydessä.

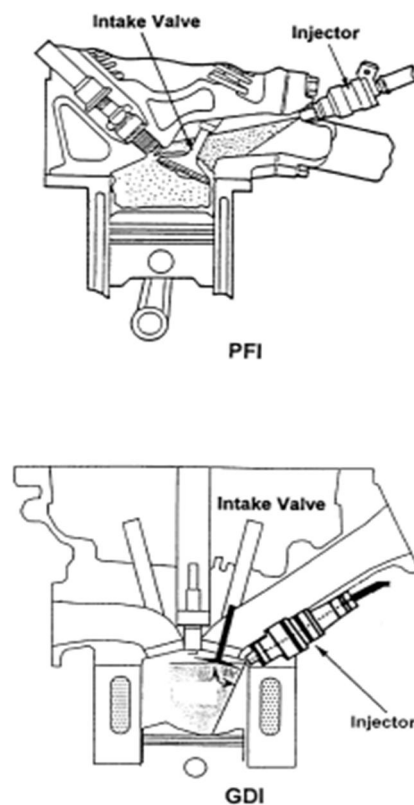
2.3 Öljyn kulutus

Öljyä kuluu moottorissa aina jonkin verran, kun öljyä joutuu eri reittejä palotilaan, jossa se palaa ja poistuu pakokaasujen mukana. Tämä luonnollinen kuluminen on kuitenkin erittäin vähäistä. Suurimpia öljyn kulutukseen vaikuttavia tekijöitä moottorin mekaanisen kunnon lisäksi ovat öljyn viskositeetti, perusöljyn haihtumisominaisuudet, täyttömäärä ja kuorman muutokset. [1, s. 22.]

Tekemällä öljystä mahdollisimman huonosti haihtuvaa voidaan vähentää varsinkin moniasteöljyjen kulutusta huomattavasti, koska aikaisemmissa tutkimuksissa on todettu, että noin 70 % moottoriöljyn kulumisesta tapahtuu haihtumalla. [1, s. 22.] Öljyn koostumuksen lisäksi öljyn kulutukseen vaikuttavat suuresti ajotyyli ja erilaiset ajotilanteet. Käytännön olosuhteissa on vaikea luotettavasti mitata ja verrata eri öljyjen kulutusta, koska muuttuvia tekijöitä on niin paljon.

3 Suoraruiskutusmoottori

Tähän työhön liittyvissä mittauksissa käytettiin Audi A4 1.8TFSI -henkilöautoa, joka oli varustettu VW-yhtymän suoraruiskutusmoottorilla, joka ei ollut laihaseosmoottori. Aikaisemmin VW-yhtymä toi markkinoille suoraruiskutusmoottorin, joka oli laihaseosmoottori eli toimi tietyissä olosuhteissa laihalla seoksella. Laihaseosmoottori aiheuttaa kohonneet NOx-päästöt ja niitä varten piti kehittää NOx-loukku sekä säätää moottori käymään ajoittain rikkaalla NOx-päästöjen poistamiseksi. Tästä lisääntyneestä pakokaasujen jälkikäsitteily tarpeesta johtuen VW-yhtymä luopui laihaseosmoottoristaan. Kuvassa (Kuvio 1.) on esitetty yleisimmät tavat toteuttaa suoraruiskutus (GDI) ja perinteinen imukanavaan tapahtuva polttoaineen ruiskutus (PFI).

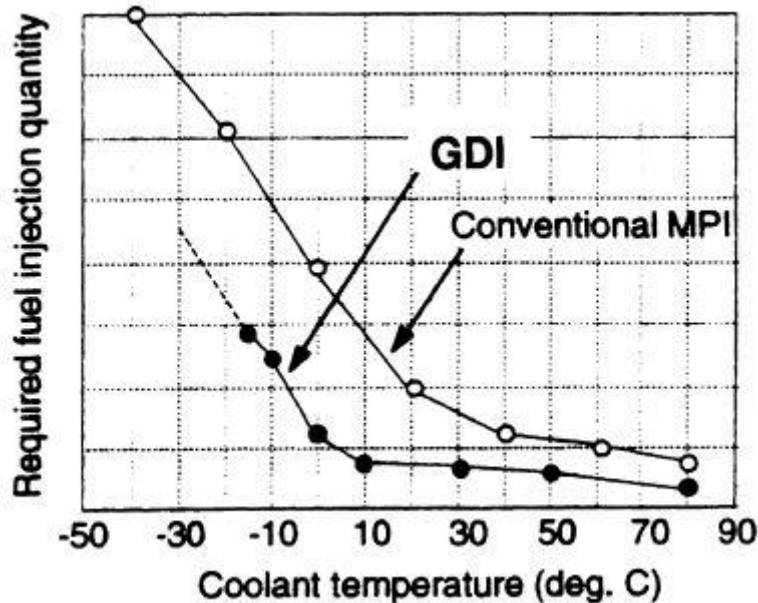


Kuvio 1. Imukanavaruisutus (PFI) ja suoraruiskutus (GDI) [2, s. 441]

Suoraruiskutusmoottorissa polttoaine ruiskutetaan suoraan sylinteriin eikä perinteiseen tapaan imuilman sekaan. Tällä ratkaisulla on pyritty vähentämään pakokaasupäästöjä sekä parantamaan moottorin polttoainetaloutta, tehoa ja kykyä reagoida nopeasti muuttuneisiin suoritusvaatimuksiin.

3.1 Suoraruiskutuksen hyödyt

Suoraruiskutusmoottori on nykyaikainen ratkaisu ja sillä saavutetaan useita etuja perinteisempään imukanavaan suoritettavalla ruiskutuksella varustettuun moottoriin nähden. Tyypillinen tapa perinteisessä imukanaruiskutuksessa on ruiskuttaa polttoaine imuventtiiliin tyveen ennen kuin se avautuu ja ilmapolttoaineseos imetään sylinteriin. [2, s. 440.] Tähän menettelyyn liittyy ongelmia.



Kuvio 2. GDI ja PFI moottoreiden vaatima polttoainemäärä käynnistykseen [2, s. 442]

Käynnistys- ja kylmäkäynnistystilanteissa imuventtiiliin tyveen ruiskutettava polttoaine muodostaa lammikon tai polttoainekalvon imuventtiilin tyvialueelle, jolloin stoikiometrisen ilmapolttoaineseoksen muodostuminen vaikeutuu ja syttymistä ei tapahdu tai tapahtuu huonoa palamista, joka lisää hiilivety päästöjä ja polttoaineenkulutusta, kuten kuvassa (Kuvio 2.) on esitetty. [2, s. 441.] Syötetyn polttoaineen määrän määrittäminen on vaikeaa, kun polttoainetta jää imuventtiiliin tyvialueelle. Tästä ilmiöstä johtuen myös polttoainetta kuluu paljon enemmän kuin olisi tarve.

Suoraruiskutusmenetelmällä pystytään syöttämään juuri oikeanlainen polttoainemäärä sylinteriin halutulla hetkellä. Suoraruiskutuksella saavutetaan myös paljon hienojakoisempi polttoainesuihku, jossa pisarakoko on hyvin pieni. Suoraruiskutusmoottorissa muodostuvan polttoaine-ilmasseoksen ansiosta palaminen tapahtuu tehokkaasti. Suora-

ruiskutus ei täysin estä polttoainekalvon syntymistä palotilan tai männän pinnalle, mutta polttoaineen annostelu ja syöttöhetki on tarkasti määrättävissä. [2, s. 441.]

Suoraruiskutusmoottori tarjoaa paremman ja paremmin kontrolloidun palotapahtuman, jonka myötä myös päästöt vähenevät ja moottorin suorituskyky paranee. Polttoaineenkulutus pienenee ja tapahtumaketju polttoaineen syötöstä sen palamiseen pystytään kontrolloimaan ja säätämään tarkasti.

3.2 Suoraruiskutuksen haitat

Suoraruiskutusmoottorissa aika, joka polttoaineelle jää höyrystymiseen on hyvin pieni. Tästä johtuen on hyvin tärkeää, että ruiskutettava polttoaine muodostaa riittävän hienojakoisen suihkun ehtiäkseen höyrystyä ennen sytytystä. Huono palaminen ja hiilivetypäästöt lisääntyvät, jos polttoaine ei höyrysty kunnolla. Suoraruiskutus-menetelmällä polttoaine voi myös joutua kosketuksiin männän tai palotilan pintojen kanssa ja nostaa hiilivety- ja hiukkaspäästöjä. [2, s. 442.]

Suoraruiskutusmoottorilla on suhteessa korkeat kevyen kuorman hiilivetyypäästöt ja suuren kuorman NO_x-päästöt. [2, s. 442.] Verrattuna PFI-moottoriin pienhiukkaspäästöt ovat kohonneet suoraruiskutusmoottorilla ja kolmitoimikatalysaattorin täydellinen hyödyntäminen on vaikeaa. Polttoainejärjestelmä on paljon monimutkaisempi suoraruiskutustekniikalla kuin PFI-tekniikalla vaadittavan korkeapaineen ja polttoaineensyötön ohjauksen takia.

4 Pakokaasupäästöt

4.1 Kaasupäästöt

Henkilöauton päästöt koostuvat useasta eri kaasusta ja hiukkaspäästöistä. Eniten pakokaasuissa on typpeä (N₂), joka on väritön ja hajuton kaasu. Typpi on yleisin kaasu, sitä on ilmakehässä 78 %. Moottori imee typpeä imuilman mukana, ja suurin osa siitä poistuu pakokaasujen mukana täysin muuttumattomana. Osa tyypestä reagoi hapen (O₂) kanssa muodostaen typpioksidia (NO).

Taulukossa (Taulukko 3.) on esitetty kahdenkymmenen prosentin tilavuusosuus pakokaasujen tyypillisestä koostumuksesta, joka esiintyy typen lisäksi. Pakokaasupäästöissä esiintyy myös rikkidioksidia (SO_2), mutta nykyään erittäin vähän polttoaineiden ja moottoriöljyjen kehityksen ansiosta. Rikkidioksidi on väritön, palamaton ja pistävänhajuinen kaasu ja on suurinapitoisuuksina haitallista ympäristölle sekä ihmisen terveydelle.

Taulukko 3. Pakokaasujen tyypillinen koostumus [4]

Komponentti	Tilavuusosuus
Hiilimonoksidi	0,5 til.-%
Palamattomat hiilivedyt	350 til.-ppm
Typen oksidit	900 til.-ppm
Vety	0,17 til.-%
Vesi	10 til.-%
Hiilidioksidi	10 til.-%
Happi	0,5 til.-%

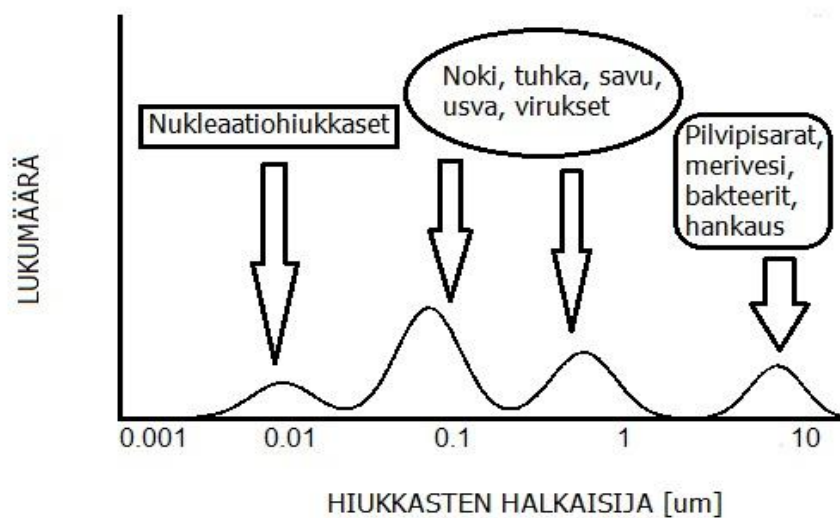
Pakokaasuissa on paljon hiilidioksidia (CO_2), joka on väritön ja palamaton kaasu. Hiilidioksidia syntyy, kun hiilivedyistä muodostuva polttoaine, kuten bensiini, palaa täydellisesti. Hiilidioksidi luokitellaan kasvihuoneilmiötä edistäväksi kaasuksi, minkä takia autojen hiilidioksidipäästöjä on alettu seurata ja ohjata autoteollisuutta sekä kuluttajia suosimaan vähemmän hiilidioksidia tuottavia autoja. Vettä (H_2O) on pakokaasuissa lähes yhtä paljon kuin hiilidioksidia.

Epätäydellisen palamisen seurauksena syntyy häkää (CO), joka on väritön ja hajuton kaasu. Häkä on räjähdysherkkää ja myrkyllistä, koska se syrjäyttää hapen hengityselimissä. Luonnossa häkä hapettuu nopeasti ja muodostaa hiilidioksidia. Epätäydellisessä palamisessa muodostuu myös palamattomia hiilivetyjä (HC), ja osa niistä luokitellaan syöpää aiheuttaviksi karsinogeeneiksi.

Happea (O_2) ei bensiinimoottorista käytännössä tule ulos, vaan kaikki happi, jonka moottori imee, reagoi muiden kaasujen tai aineiden kanssa. Typpidioksidi (NO_x) syntyy korkean paineen ja lämpötilan alaisessa palamisessa yhdistyen happeen (O_2) ja typpeen (N_2) yhdisteiden NO ja NO_2 kautta.

4.2 Hiukkaspäästöt

Polttomoottorin käydessä syntyy myös hiukkaspäästöjä. Hiukkaspäästöt liitetään yleisesti dieselmoottorin ongelmaksi, mutta suoraruiskutusmoottoreiden myötä on aloitettu kiinnittää huomiota pienhiukkasten syntyyn suoraruiskutusmoottoreissa. Pienhiukkasten vaikutuksesta ihmisen terveyteen on kiinnostuttu. Aerosolihiukkasten kokojakauma on esitetty kuvassa (Kuvio 3.).



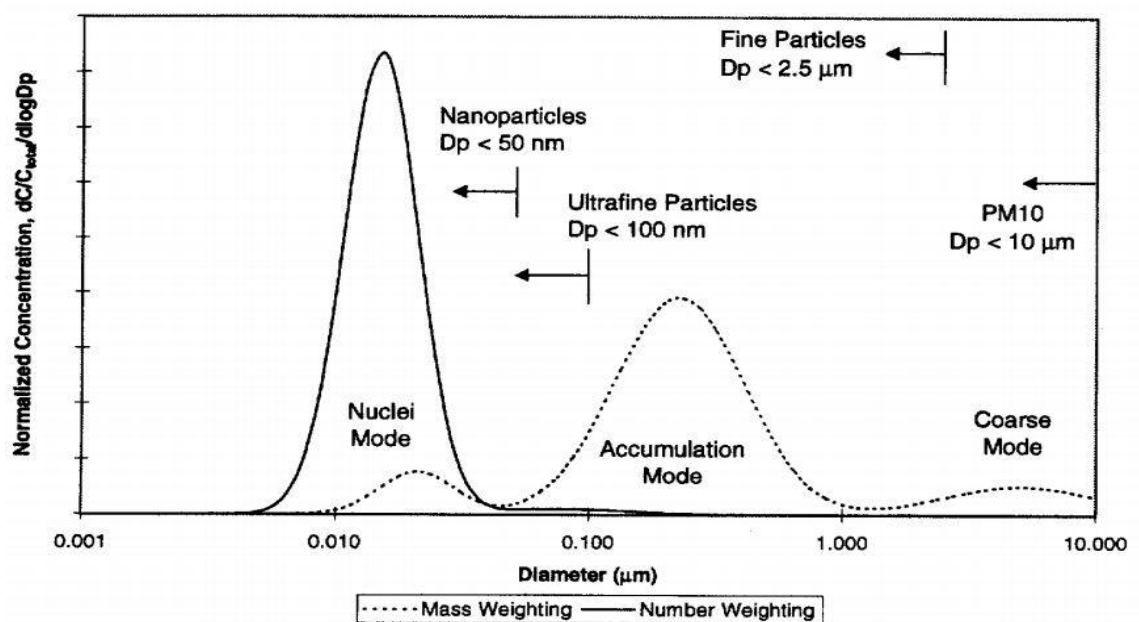
Kuvio 3. Erityyppisten aerosolihiukkasten kokojakauma [12, mukaillen]

Ilmakehässä esiintyy kiinteässä tai nestemäisessä muodossa olevia aerosoleja, jotka koostuvat aerosolihiukkasista ja kaasusta. Pienhiukkasia ovat alle 2,5 µm:n ja karkeita hiukkasia yli 2,5 µm:n kokoiset hiukkaset. Suoraruiskutustekniikka käytävissä ottomoottoreissa on ongelmana niissä syntyvät pienhiukkaset. Laihaseos suoraruiskutusottomoottoreiden hiukkaspäästöjä ruvettiin rajoittamaan Euro 5 -standardissa 2009 lähtien [3].

Kuvassa (Kuvio 4.) on esitetty tyypillisen dieselkäyttöisen ajoneuvon hiukkaspäästöjen lukumäärä- ja massakokojakauma. Pakokaasuperäiset hiukkaspäästöt jaetaan yleensä kahteen nk. moodiin. Suuremmat hiukkaset muodostavat akkumulaatiomoodin eli no-

kimoodin. Suurin osa hiukkasmassasta sijaitsee akkumulaatioalueella eli kokoluokassa 300 nm. [5, s. 577.] Nokimoodin hiukkaset ovat agglomeraatteja eli muodostuneet pienemmistä kiinteistä hiukkasista, joihin kondensoituu tai adsorboituu eri aineita.

Nukleaatioalueella esiintyvät hiukkaset ovat 5...50 nm:n kokoluokkaa. Nukleaatio-alueella esiintyy yleensä haihtuvia orgaanisia- ja rikkiyhdisteitä, jotka muodostuvat pakokaasupäästöjen laimennuksen ja jäähtymisen aikana. [5, s. 577.] Nukleaatioalueella voi esiintyä myös kiinteitä hiili- ja metalliyhdisteitä. Nukleaatioalue sisältää yleensä 1...20 % hiukkasmassasta ja yli 90 % hiukkaslukumäärästä. [10.]



Kuvio 4. Tyypillinen dieselmoottorin hiukaspäästöjen kokojakauma [5, s. 577]

Karkeissa hiukkasissa eli yli 2,5 µm:n kokoluokassa esiintyy 5...20 % hiukkasmassasta. [5, s. 577.] Karkeat hiukkaset ovat epätäydellisessä palamisessa syntyneitä nokihiukkasia.

5 Pakokaasupäästöjä koskeva lainsäädäntö

Käytössä on pääasiassa neljä pakokaasulainsäädäntöä, jotka ovat CARB (California Air Resources Board)-, EPA (Environmental Protection Agency)-, EU- ja Japanin lainsäädäntö. Seuraavaksi esitellään EU-pakokaasulainsäädäntö ja siihen liittyviä testausmenetelmiä. Pakokaasupäästöjen raja-arvot määräytyvät direktiivissä 70/220/ECC, jonka muutokset on listattu seuraavaksi [3].

- EU 1 (1.7.1992 lähtien /direktiivi 91/44/EC)
- EU 2 (1.1.1996 lähtien /direktiivi 94/12/EC)
- EU 3 (1.1.2000 lähtien /direktiivi 98/68/EC)
- EU 4 (1.1.2005 lähtien /direktiivi 98/68/EC)
- EU 5 (1.10.2009 lähtien / 692/2008)
- EU 6 (1.10.2014 lähtien / 692/2008)

Eurooppalainen pakokaasulainsäädäntö vahvistetaan Euroopan unionin komission toimesta. Säännellyjen pakokaasupäästöjen raja-arvoissa pysymistä valvotaan EU-alueella erilaisilla testausmenetelmillä, joita ovat tyyppihyväksyntätestaus, sarjatuotannon testaus ja kenttävalvonta. Säädetty raja-arvot on esitetty liitteen 1 taulukossa (Taulukko 5.).

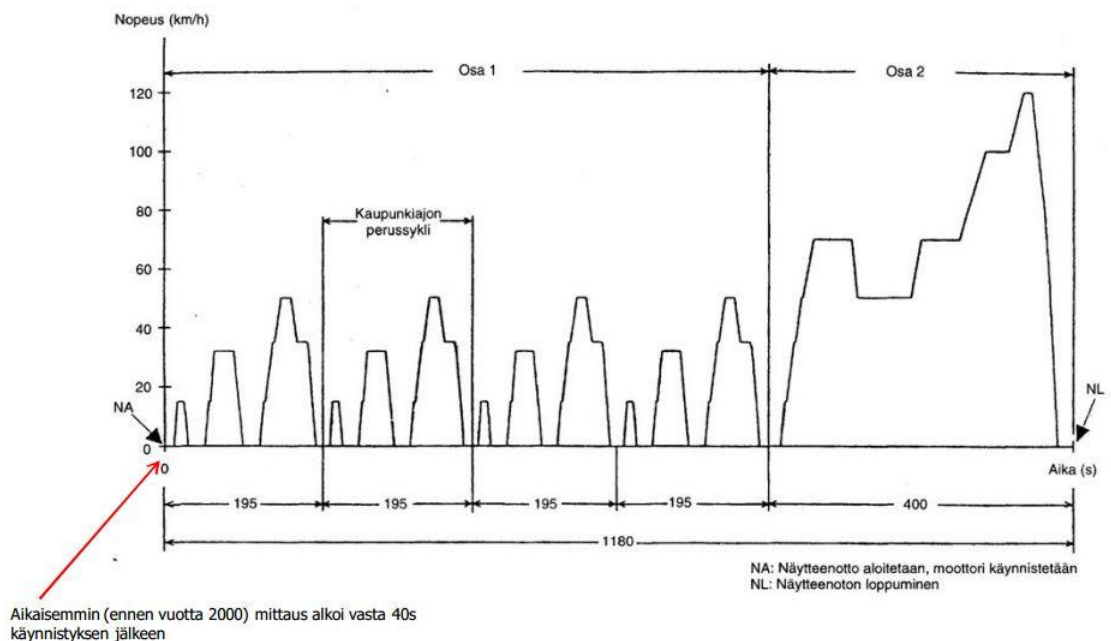
5.1 Tyyppihyväksyntätestaus

Kaikki ajoneuvo- ja moottorityypit pitää tyyppihyväksyttää ennen niiden markkinointia. Tyyppihyväksyntää varten tehdään pakokaasutestit, joissa autoa on ajettava tai moottoria käytettävä määritellyn ajo- tai koesyklin mukaisesti. Testattavan ajoneuvon tai moottorin tulee pysyä sallituissa raja-arvoissa. Ajoneuvosta tai moottorista mitataan kokonaishiilivedyt eli hiilivety- ja metaanipäästöt, CO- ja NO_x-päästöt. Dieselkäyttöisestä ajoneuvosta tai moottorista mitataan myös hiukkaspäästöt ja savutus.

Testattavalle ajoneuvolle tai moottorille on määritetty sisäänajomatkaksi 3000 km ennen testausta, ja sallituissa raja-arvoissa on pysyttävä kahdeksan-kymmentuhannen

kilometrin ajosuoritteen tai viiden vuoden käytön ajan. Ajoneuvon tai moottorin ikään-
tymisestä johtuvaa päästöarvojen kohoamista mallinnetaan käyttämällä testituloksiin
laissa määrättyjä huononnustekijöitä tai ajoneuvovalmistajan esittämiä pienempiä huonon-
nustekijöitä, jotka ajoneuvovalmistaja on määrittänyt suoritettuaan tarkasti määri-
tellyn kahdeksankymmentuhannen kilometrin pitkäaikaisajon. [3.]

Tyyppihyväksyntätestaukseen kuuluu kuusi erilaista testiä. Ensimmäisessä tyypitestis-
sä määritetään pakokaasupäästöt ajokoikeessa, jossa ajetaan NEDC (New European
Driving Cycle)-sykli (Kuvio 5.) 20...30 °C:n lämpötilassa. NEDC-sykli sisältää kaupun-
kiajoo ja maantieajoo simuloivat osuudet. Aikaisemmin päästöjen mittausta aloitettiin
vasta neljäkymmentä sekuntia ajoneuvon käynnistämisen jälkeen, mutta vuodesta
2000 eteenpäin kylmäkäynnistys on otettu mukaan päästömittauksiin ja päästöjen mit-
taus alkaa heti syklin alussa. [13.]



Kuvio 5. NEDC-sykli [13, mukaillen]

Toisessa tyypitestissä määritetään pakokaasuissa normaalilla joutokäynnillä ja nopeal-
la joutokäynnillä esiintyvät CO-pitoisuudet ja λ -arvot, joita joissakin tapauksissa käyte-
tään myös viitearvoina katsastuksessa. Kolmannessa tyypitestissä määritetään kampi-
kammion tuuletusjärjestelmän tiiviys. Neljännen tyypitestin tarkoituksena on määrit-
tää hiilivetyjen haihtumispäästöt, jotka aiheutuvat lämpötilan vuorokausivaihtelusta,
kaupunkiajosta ja kuumaksi ajatun moottorin ajoneuvoa lämmittävästä vaikutuksesta

ajoneuvon ollessa pysäköitynä. Viidennessä tyyppitestissä määritetään pakokaasunpuhdistusjärjestelmän pitkäaikaiskestävyys ja huononemis-tekijät, jos ei käytetä lain määäämiä arvoja. Kuudes tyyppitesti suoritetaan ottomoottoreille ja siinä mitataan testattavan ajoneuvon hiilivety- ja hiilimonoksidi-päästöt -7 °C:ssa tapahtuvan kylmäkäynnistyksen jälkeen.

5.2 Sarjatuotannon testaus

Sarjatuotannon testaus suoritetaan yleensä ajoneuvo- tai moottorivalmistajan toimesta osana laadunvalvontaa. Viranomaiset voivat suorittaa jälkikäteen pistokokeita osalle sarjatuotannon ajoneuvoista.

5.3 Kenttävalvonta

Kenttävalvonta suoritetaan pääosin ajoneuvojen määräaikaikatsastusten yhteydessä. Kaikissa uusissa rekisteröitävissä henkilöautoissa ja kevyissä hyötyajoneuvoissa, joiden kokonaispaino on enintään kolme ja puoli tonnia ja istuinpaikkojen määrä enintään yhdeksän, on oltava on-board-diagnoosi-järjestelmä (OBD) [15], joka havaitsee ajoneuvon pakokaasupäästöihin vaikuttavat viat ja toimintahäiriöt. OBD-järjestelmän on kyettävä tunnistamaan viat ja vikatilat, jotka johtavat seuraavien haitta-ainekomponenteille määritettyjen raja-arvojen ylittämiseen.

- hiilimonoksidi (CO) 3,2 g/km
- hiilivedyt (HC) 0,4 g/km
- typenoksidit (NOx) 0,6 g/km (ottomoottori)
- hiukkaset 0,18 g/km

Viimeistään kolmannen ajosyklin jälkeen OBD-järjestelmän tulee sytyttää virhevalo, joka on merkki edellä mainittujen raja-arvojen ylittämiseen johtavasta viasta tai vikatilasta. Ottomoottoreille OBD tuli pakolliseksi 1.1.2000 ja dieselmootoriautoille 1.1.2003. [15.]

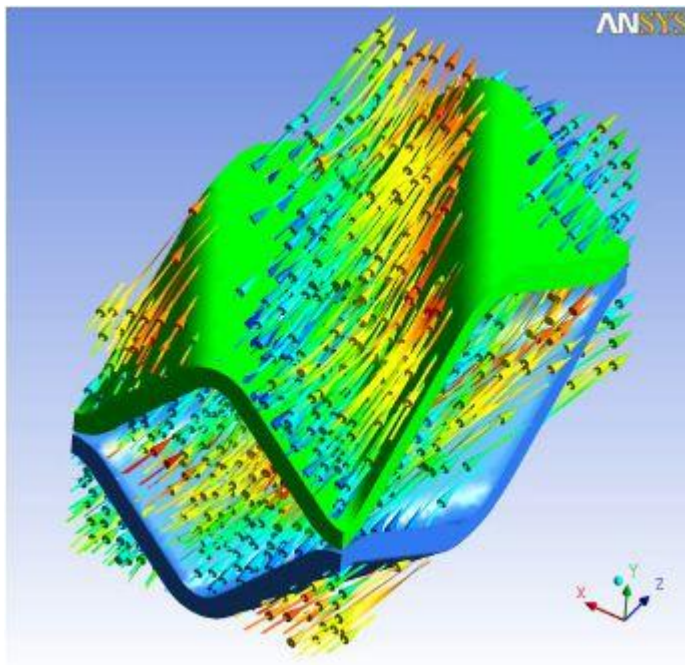
6 Pakokaasupäästöjen jälkikäsittely

6.1 Kolmitoimikatalysaattori

Polttomoottorissa tapahtuva palaminen ei ole täydellistä, ja siksi palamisessa syntyy epätäydellisen palamisen tuotteita, joiden poistamiseksi on kehitetty kolmitoimikatalysaattori, joka on ollut käytössä 80-luvulta lähtien. Kolmitoimikatalysaattori hapettaa hiilimonoksidia sekä hiilivetyjä ja pelkistää typen oksideja. Kolmitoimikatalysaattorissa on aktiivinen komponentti, jonka pinnalle haitalliset yhdisteet absorboituvat ja hapettuvat tai pelkistyvät.

6.2 Hiukkaskatalysaattori

Edellä mainitusta suoraruiskutusmoottorin hiukkaspäästöongelmista johtuen joudutaan nykyään puuttumaan ottomoottoreiden pakokaasupäästöissä esiintyviin hiukkaspäästöihin. Tähän tarkoitukseen on hiukkaskatalysaattori (POC). Kuvassa (Kuvio 6.) on esitetty mallinnus Ecocatin POC:n rakenteesta.



Kuvio 6. POC:n rakenne [6]

POC on hiukkaskatalysaattori, joka sopii käytettäväksi tavallisen hapetus-katalysaattorin yhteydessä. POC on suunniteltu keräämään hiukkasia pakokaasuista ja hapettamaan kokonaishiilivety- ja hiilimonoksidipäästöjä sekä haihtuvia hiukkasia. POC toimii passiivisella regeneroinnilla, missä noki palaa NO:n kanssa 250...350°C:n lämpötilassa. [6.]

7 Mittaukset

7.1 Mittausjärjestelyt

Mittaukset suoritettiin kahden viikon aikana Metropolia Ammattikorkeakoulun kylmälaboratoriossa. Mittauksissa käytettiin vähän ajettua vuosimallia 2011 olevaa Audi A4 1.8TFSI -henkilöautoa. Autossa oli manuaalivaihteisto, ja sen moottoriteho oli 88 kW.

Mittauksissa käytetty polttoaine oli Neste Oilin toimittama bensiini E10. Neste Oil toimitti mittauksiin viisi eri öljyä, jotka on nimetty tässä työssä Öljy1, Öljy2, Öljy3, Öljy4 ja Öljy5. Kaikille öljyille suoritettiin samanlaiset ajot yhden mittauspäivän aikana. Öljy1:llä, Öljy2:lla ja Öljy4:llä ajettiin kahtena päivänä ja Öljy3:lla ja Öljy5:llä ajettiin vain yksi mittauspäivä.

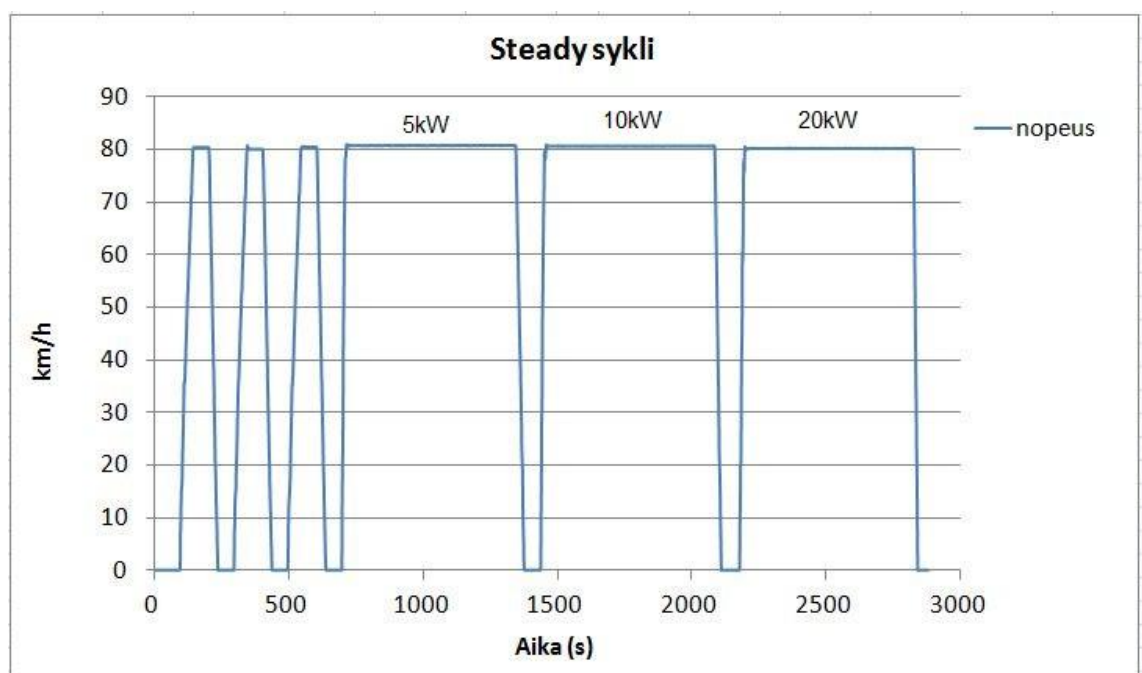
Mittausten tavoite oli havaita auton pakokaasupäästöissä eroja eri öljyjä käytettäessä. Pakokaasuista mitattiin CO₂- ja NO_x-kaasujen pitoisuudet sekä hiukkaspäästöt. Pakokaasujen lämpötila mitattiin pakoputkiston päästä pakokaasujen jälkikäsittelylaitteiston jälkeen. Jokaisella testiöljyllä mitattiin säännellyt päästöt mittauspäivän ensimmäisestä NEDC-syklistä eli nk. kylmästä NEDC-syklistä ja yhdestä sen jälkeisestä nk. kuumasta NEDC-syklistä. Auton moottoriparametrit tallennettiin ajon aikana OBD-järjestelmän kautta.

7.2 Mittausmenetelmät

Mittaukset suoritettiin Metropolia Ammattikorkeakoulun kylmälaboratoriossa 20...30 °C lämpötilassa. Näyte kerättiin auton pakoputken päästä ja näyte laimennettiin laimennusilmalla ennen kaasuanalysaattoreita ja Elpiä. Laimennus oli kaksiosainen. Ensin näyte laimennettiin huokoinen putkilaimentimella, jossa raakanäytteeseen sekoitettiin 60

lpm suodatettua paineilmaa. Suodatetun paineilman määrä pidettiin vakiona massavirtasäätimellä ja laimennussuhde säädettiin raakanäytteen määrää muuttamalla. Primäärilaimennuksen jälkeen oli viipymäputki, jossa viipymäaika oli noin kaksi sekuntia. Seuraavaksi oli ejektorilaimennin, sen rinnalla oli imupuolen massavirtasäädin, jonka avulla raakanäytteen määrää saatiin säädettyä. Pakokaasupäästöistä mitattiin myös hiilidioksidipitoisuus ilman laimennusta, minkä avulla laskettiin laimennuskerroin kullekin mitaukskerralle.

Ennen mittauksia autoon vaihdettiin Öljy1 ja käytettiin moottoria viisitoista minuuttia moottorin huuhtelemiseksi vanhasta öljystä. Tämän jälkeen öljyt poistettiin ja vaihdettiin öljynsuodatin uuteen ja lisättiin uudestaan Öljy1. Seuraavaksi auto ajettiin Metropolia Ammattikorkeakoulun kylmälaboratorioon ja kiinnitettiin dynamometriin. Autolla ajettiin yksi NEDC-sykli uuden öljyn sopeuttamiseksi. Auto jätettiin jäähtymään yön yli, jotta seuraavan päivän mittauksen alussa oleva kylmäkäynnistys olisi mahdollinen. Kaikki edellä mainitut toimenpiteet suoritettiin aina samalla tavalla, kun öljyä vaihdettiin. Kaikilla öljyillä ajettiin yhden päivän aikana neljä NEDC-sykliä ja kolme itse tehtyä vakiokuormasykleiksi (Kuvio 7.) nimettyä sykliä. Öljy1:llä ja Öljy2:lla ajettiin toisena päivänä neljä NEDC-sykliä, minkä jälkeen vaihdettiin öljy. Öljy4:llä ajettiin toisena päivänä neljän NEDC-syklin lisäksi kolme vakiokuormasykliä hiukkaskatalysaattori (POC) asennettuna.



Kuvio 7. Vakiokuormasyklin nopeus ajan funktiona

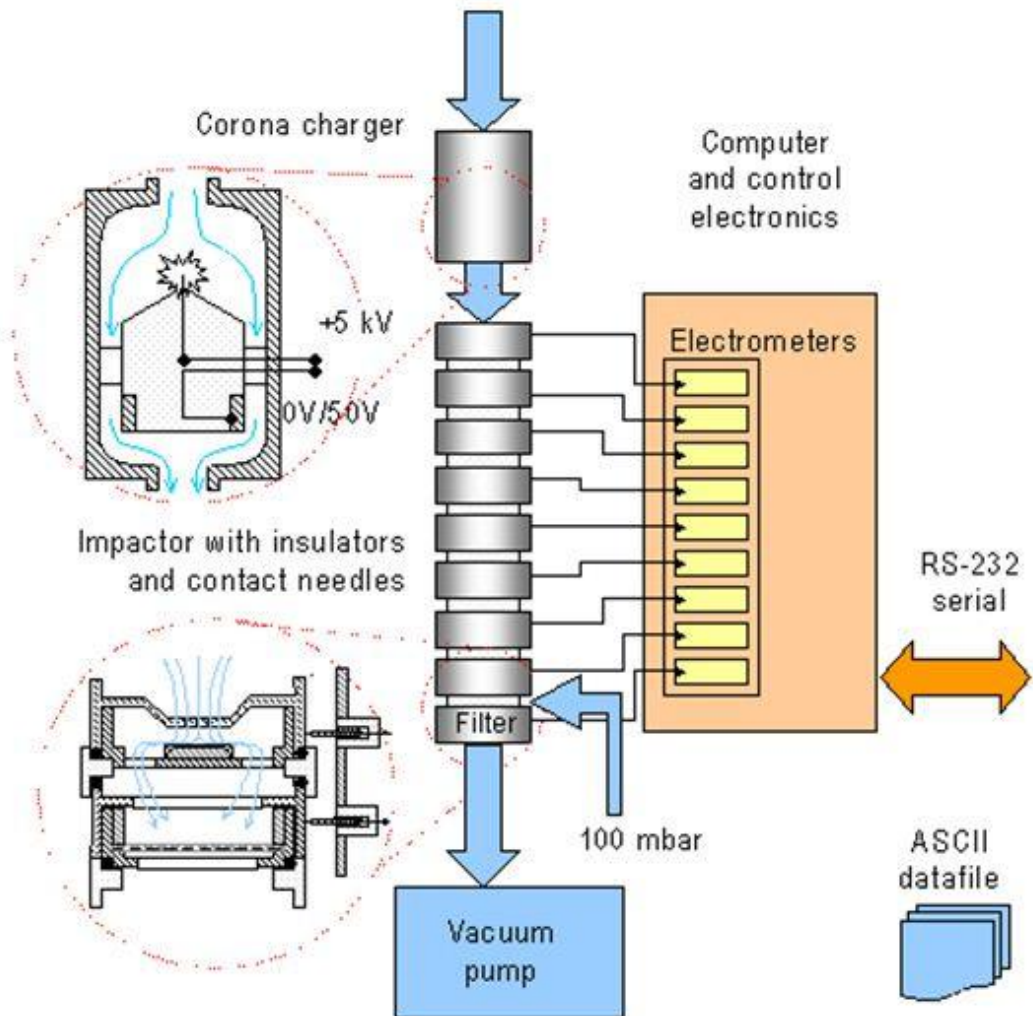
Vakiokuormasyklissä on alussa kolme esiajoa, joiden välissä on minuutin tyhjäkäyntiaika ja joissa kiihdytetään nopeuteen 80 km/h ja ajetaan sitä minuutin ajan, minkä jälkeen moottorijarrutetaan nopeuteen 0 km/h. Näiden kolmen esiajon jälkeen alkavat kolme kymmenen minuuttia kestävä vakiokuorma-ajoa, joissa huippunopeus on 80 km/h. Vakiokuorma-ajojen välissä moottorijarrutetaan nopeuteen 0 km/h ja odotetaan minuutin tyhjäkäyntiaika ennen seuraavan vakiokuorma-ajon kiihdytystä.

Vakiokuorma-ajojen pyörätehoiksi valittiin 5 kW, 10 kW ja 20 kW eli ensimmäinen vakiokuorma-ajo suoritettiin 5 kW:n, toinen 10 kW:n ja kolmas 20 kW:n pyöräteholla. Nämä kolme eri kuormaa valittiin, jotta vain teho muuttuisi syklin aikana ja muut muutujat, kuten moottorin kierrosluku, pysyisivät vakiona. Jokainen vakiokuormasykli, joita ajettiin kolme/öljy, sisälsi kolme esiajoa ja kolme eri pyörätehoilla suoritettavaa vakiokuorma-ajoa.

7.3 Mittalaitteet

7.3.1 Elpi

Hiukkasten lukumäärä ja kokojakauma mitattiin Elpillä (Electrical Low Pressure Impactor), joka oli varustettu suodatintasolla ja lisäastetasolla nanohiukkasten havaitsemiseksi. [11.] Elpin pääkomponentit ovat koronavaraaja, alipainekaskadi-impaktori ja monikanava elektrometri (Kuvio 8.) ja mittausalue on 7 nm...10 µm yhden sekunnin aikaresoluutiolla. Tässä työssä tarkastellaan vain yhdeksän ensimmäisen tason (7 nm...1 µm) hiukkasia, sillä pakokaasujen hiukkaset koostuvat pääasiassa tämän kokoluokan hiukkasista.



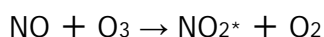
Kuvio 8. Elpin rakenne [14]

Elpin toiminta perustuu hiukkasten varaamiseen ja niiden inertialuokitteluun kaskadi-impaktorilla sekä aerosolihiukkasten sähköiseen havaitsemiseen. Näyte kulkee positiivisen yksinapaisen varaajan läpi, jolloin näytteessä olevat hiukkaset varautuvat. Varatut hiukkaset luokitellaan koon mukaan alipaineimpaktorissa niiden aerodynaamisen halkaisian perusteella. Impaktorin tasot on eristetty ja jokainen taso on kytketty erikseen elektrometrin virtavahvistajaan. [7.]

Tietylle tasolle kerääntyvät varautuneet hiukkaset luovat sähkövirran, joka havaitaan kyseisen tason elektrometrin kanavalla. Mitä suurempi virta tasolle syntyy, sitä enemmän sille on kerääntynyt hiukkasia. Jokaisen kanavan virta on verrannollinen kerättyjen hiukkasten lukumäärään ja täten verrannollinen myös hiukkaspitoisuuteen kyseisessä kokoluokassa. [7.]

7.3.2 NO_x-analysointilaite

Horiban NO_x APNA-360CE -analysointilaite toimii kemiluminesenssiperiaatella, joka käyttää typpimonoksidin ja otsonin välistä reaktiota.



Osa reaktiossa syntyneistä NO₂-molekyyleistä on virittyneessä tilassa NO₂*:na. Virittyneet molekyylit palaavat perustilaansa ja kemiluminesenssi tapahtuu 600...3000 nm alueella. Näytteessä olevan typpimonoksidin määrä on verrannollinen kemiluminesenssissä vapautuneen valon intensiteettiin. [8.] Hapenpoistomuunnin muuttaa NO₂:n NO:ksi, ja tämä mitataan. NO₂-pitoisuus saadaan, kun lasketaan erotus näytekaasua hapenpoistomuunnin läpi johdattaessa mitatun NO_x-pitoisuuden ja ei hapenpoistomuunninta käytettäessä mitatun NO-pitoisuuden välillä.

7.3.3 CO₂-analysointilaite

Mittauksissa käytetty Horiban CO₂ VA-3000 -analysointilaite perustuu ei dispersiiviseen infrapuna-absorbointiin ja mittaa näytekaasussa olevien komponenttien määrän. [9.] Molekyylit koostuvat erilaisista atomeista, jotka absorboivat infrapuna-aallonpituusalueilla. Infrapun absorbointi havaitaan jatkuvana paineena, joka vastaa kyseisen kaasun pitoisuutta.

Infrapunasäteilyllä säteilytetään vuoron perään näytekammiota ja vertailukammiota hakkurimoottorin jatkuvalla taajuudella. [9.] Vertailukammio täytetään kaasulla, joka ei absorboi infrapunasäteilyä ja näytekammiota täytetään näytekaasulla. Vertailukammiossa

ei tapahdu infrapunasäteilyn absorbointia, joten kaikki syötetty säteily saavuttaa tunnistimen. Näytekammiossa tunnistimen saavuttaa vain infrapunasäteily, joka ei absorboi näytekaasuun.

Tunnistin on täytetty kaasulla, joka absorboi infrapunasäteilyn, jota näytekaasu ei absorboi. [9.] Tunnistin absorboi eri määrän infrapunasäteilyä vertailu- ja näytekammiossa ja tästä erosta muodostuu eri energiatasot tunnistimelle. Tämä energiatasojen ero muutetaan sähköiseksi signaaliksi ja johdetaan laitteen ulostuloon.

7.3.4 CVS-laitteisto

Säännellyt päästöt mitattiin CVS (Constant volume sampling) -laitteistolla. Mitatut päästöt olivat NO_x, CO, HC ja CO₂. Päästöt kerätään ajatun syklin yli. Laitteistossa on kuusi pussia. Kolmeen pussiin kerätään näyte taustailmasta ja kolmeen eri pussiin näyte pakokaasuista. Analysointilaitteilla analysoidaan ensin puhtaammat taustailmanäytteet ja näiden jälkeen pakokaasunäytteet. Jokaisen pussinäytteen analysoinnin välissä laitteille syötetään nollakaasua, jotta edellisen pussin näyte ei vaikuta seuraavan näytteen analysointiin. Tulokset kirjattiin ylös valmiiseen Excel-taulukkoon.

Metropolia Ammattikorkeakoulun kylmälaboratorion CVS-laitteistossa on NO_x-, CO-, CO₂- ja HC-analysointilaitteet. NO_x-analysointilaitteisto toimii kemiluminesenssiperiaatilla, CO- ja CO₂-analysointilaitteet toimivat ei dispersiivalla infrapuna-absorboinnilla ja HC-päästöt määritetään liekki-ionisaatiomenetelmällä.

Näyte kerätään pakoputken päästä, ja se sekoittuu laimennusilmaan. Seuraavaksi näyte ohjautuu jäähdyttäjän läpi, ja tämän jälkeen se imetään keräyspusseihin. Keräyspusseihin imetään erikseen pakokaasunäytettä ja taustailmanäytettä, minkä jälkeen ne analysoidaan mittalaitteilla.

8 Tulokset

8.1 Aineiston analysoiminen

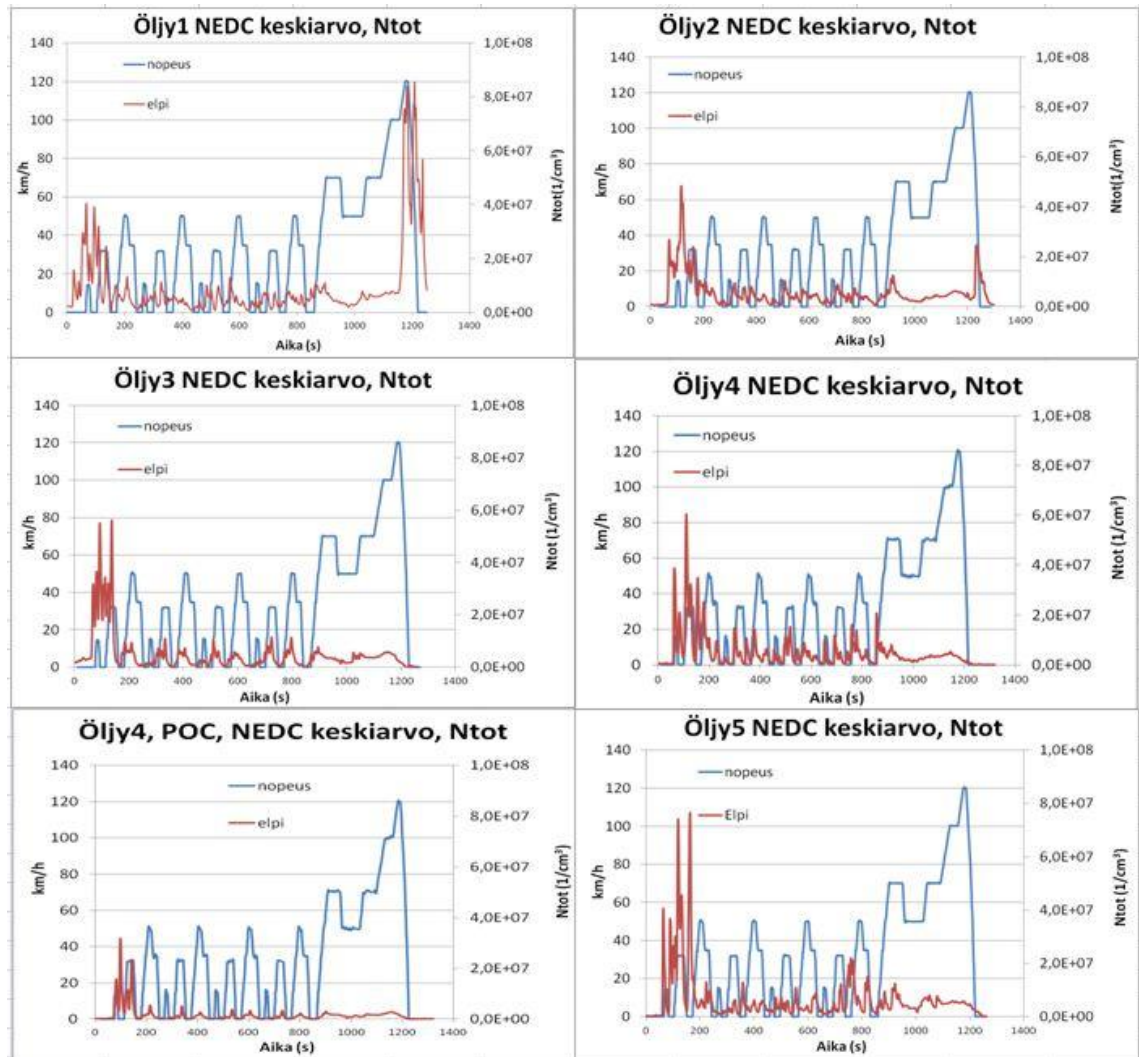
Aineistoa analysoitaessa Elpin hiukkasdata ja kaasudatat kohdistettiin NEDC-syklin nopeusdatan kanssa ja piirrettiin aikasarjana. Jokaisen öljyn kaikista NEDC-ajojen aikasarjoista laskettiin keskiarvo ja kohdistettiin syklin nopeusarvoihin. NEDC-ajoista valittiin jokaisesta syklin toinen kiihdytys ja syklin viimeinen moottorijarrutus (Kuvio 10.), joista piirrettiin vastaavien hiukkaspäästöjen kokojakauma. Öljy4:n kaksi mittauspäivää käsiteltiin erikseen, koska toisena mittauspäivänä POC oli asennettuna.

Vakiokuorma-sykleistä laskettiin mediaani hiukkas- ja kaasudatasta jokaista eri pyörätehoa vastaavasta noin kymmenen minuutin vakiokuorma-ajosta. Poikkeuksena oli 5kW:n pyörätehoa vastaavat NOx-päästöt, joiden suuren vaihtelun vuoksi ei mediaanin käyttäminen olisi ollut järkevää. Eri pyörätehoa vastaavien vakiokuorma-ajojen hiukkaspäästöistä laskettiin mediaanit ja määritettiin niiden kokojakauma.

8.2 NEDC:n hiukkaset

8.2.1 Hiukkaslukumäärä

Kaikissa NEDC-ajoissa erottuu syklin ensimmäisen ja toisen kiihdytyksen hiukkaspäästöpiikit selvästi (Kuvio 9.). Syklin viimeinen moottorijarrutus erottuu selvästi vain Öljy1:llä ja Öljy2:lla. POC:n vaikutus Öljy4:n päästöihin on suuri, kun vertaa Öljy4:llä ajettuihin NEDC-sykleihin ilman POC-suodatinta. POC vähensi hiukkaspäästöjä huomattavasti.

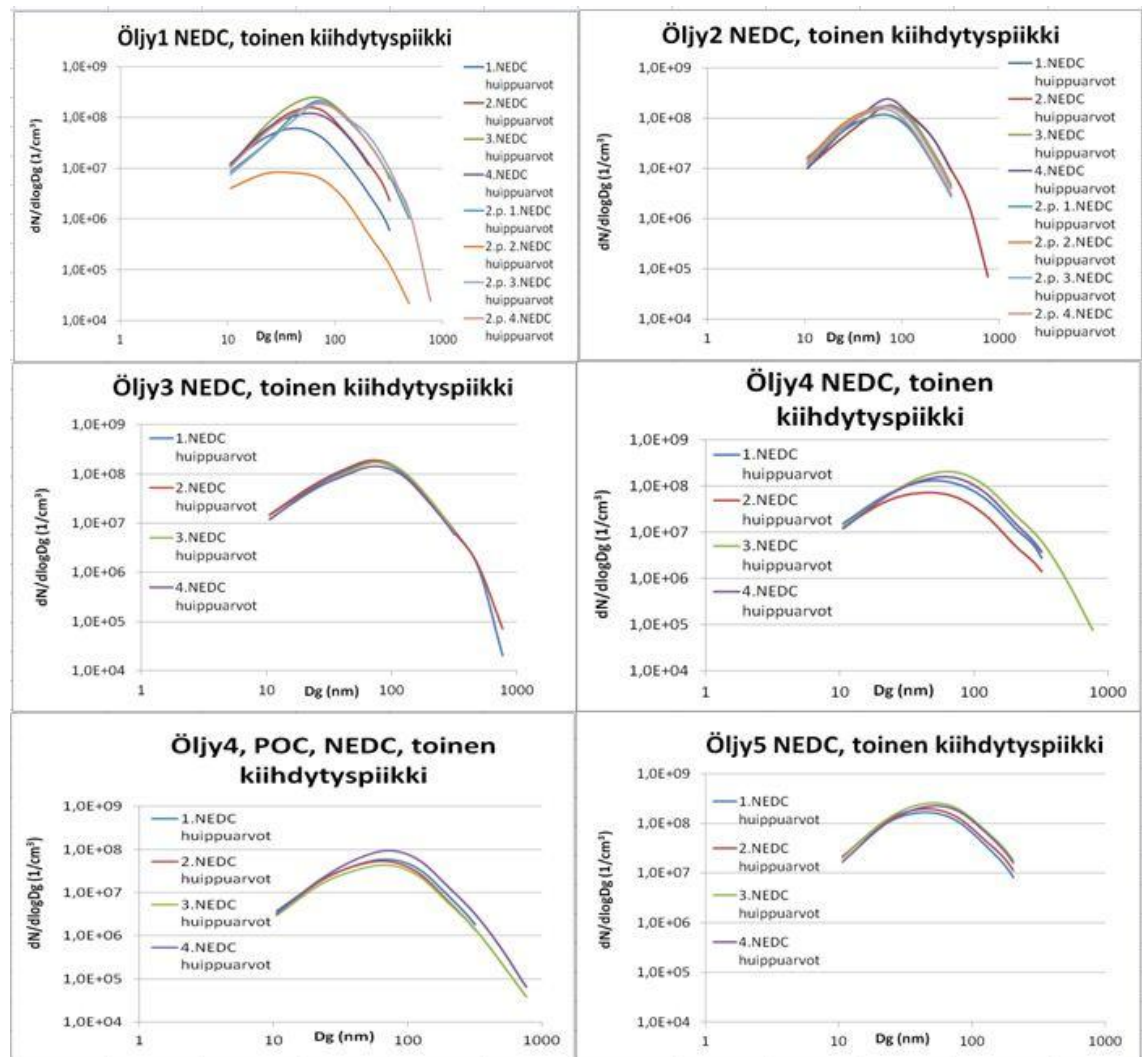


Kuvio 9. Kaikkien testiöljyjen NEDC-ajojen kokonaishiukkaspäästöjen keskiarvot

Neste Oilin mukaan puhtaimpia öljyjä olivat Öljy3, Öljy4 ja Öljy5. Epäpuhtaammat öljyt olivat Öljy1 ja Öljy2, jotka sisälsivät eniten epäpuhtauksia ja lisäaineita kuten rikkiä ja metalleja. Kolmen puhtaamman öljyn NEDC-ajojen kahta alkukiihdytystä vastaavat hiukkaspäästöt ovat yllättävän suuret verrattuna epäpuhtaiden öljyjen Öljy1 ja Öljy2 alkukiihdytyksiä vastaaviin hiukkaspäästöihin. Varsinkin Öljy5:n alkukiihdytyksiä vastaavat hiukkaspäästöt ovat suuret. Selvä ero puhtaampien ja epäpuhtaiden öljyjen välillä on syklin viimeinen moottorijarrutus, jossa epäpuhtailla öljyillä tuli selvät hiukkaspäästöt, mutta puhtailla ei. Öljyjen välisiä hiukkaspäästöjen eroja selittää osin testiöljyjen koostumuserojen lisäksi eri kuljettajien erilaiset ajosuoritteet.

8.2.2 NEDC:n kokojakaumat

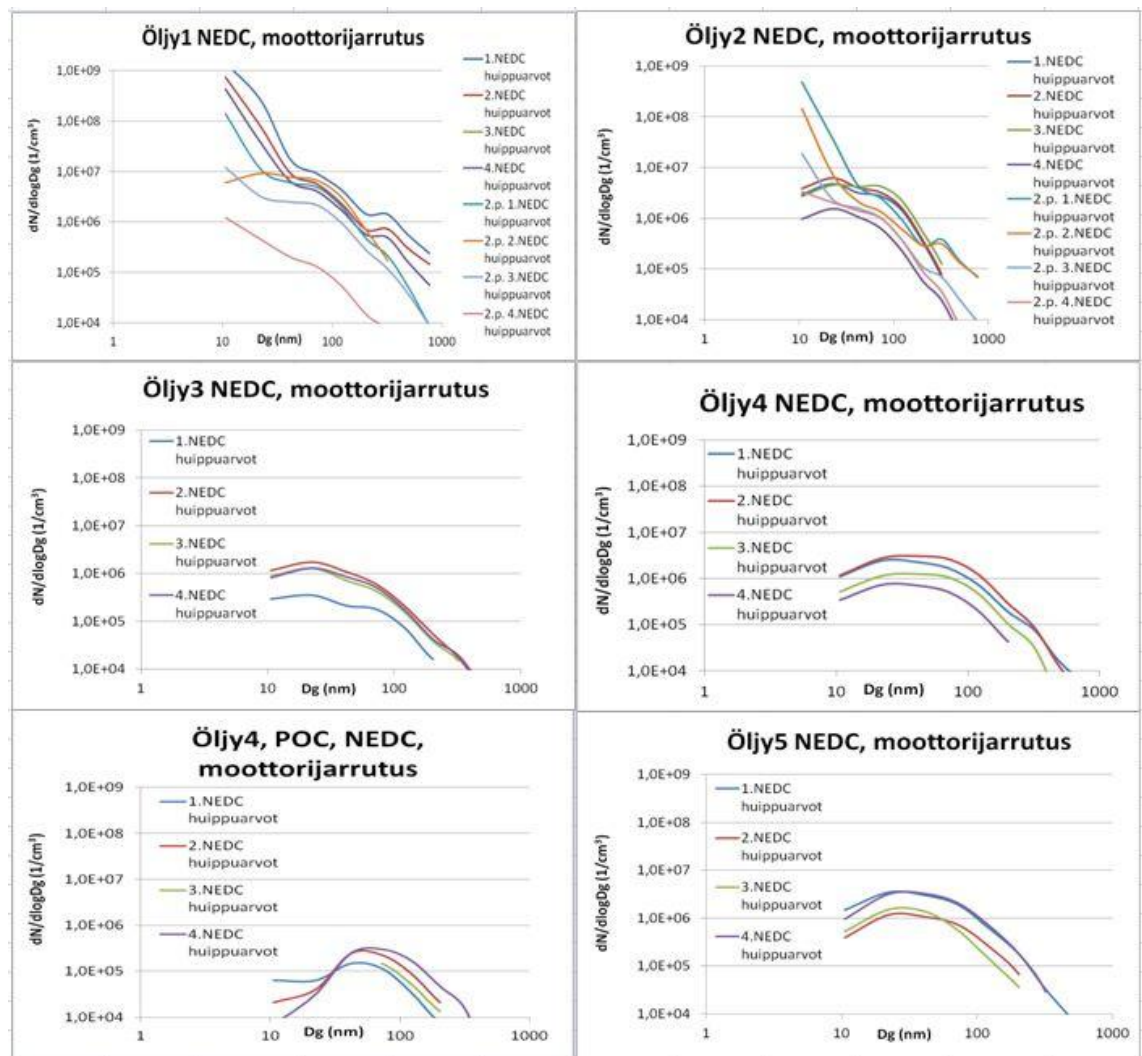
Kaikilla viidellä testiöljyllä NEDC-syklin toisessa kiihdytyksessä syntyneistä hiukkasista suurin osa on nokimoodiin kuuluvia alle 100 nm:n hiukkasia (Kuvio 10.). Nämä hiukkaset ovat ultrahienoja hiukkasia. Eri öljyjen kiihdytysten hiukkaspäästöissä ei ole havaittavissa suuria eroja.



Kuvio 10. Kaikkien testiöljyjen NEDC-ajojen toisen kiihdytyksen hiukkaspäästöjen kokojakauma

Ölly1:n hiukkaspäästöissä eri syklien välillä on hieman hajontaa, mutta enemmistö ajoista on kuitenkin samassa 50...100 nm:n kokoluokassa muiden öljyjen kanssa. POC:n vaikutus näkyy Ölly4:n hiukkaspäästöjen määrässä, joka on hieman alhaisempi kuin muiden öljyjen.

NEDC-ajojen viimeisen moottorijarrutuksen hiukkaspäästöt eri öljyillä keskittyivät lähinnä nukleatiomoodin 10...30 nm:n alueelle (Kuvio 11.). Nämä hiukkaset ovat nanokoko-
luokkaa. Öljy1:n ja Öljy2:n eri NEDC-ajoissa oli vaihtelua ja varsinkin hiukkasmäärät vaihtelivat rajusti. Öljy1 ja Öljy2 erottuivat myös muista öljyistä niin hiukkasten kokojakauman kuin lukumäärän osalta. Näillä kahdella öljyllä syntyi huomattavasti enemmän nanohiukkasia. POC kiinnitettynä Öljy4:n hiukkaspäästöt erottuivat selvästi kaikista muista testiöljyistä hiukkasmäärän ollessa pienempi kuin muilla öljyillä ja hiukkasten kokojakauman keskittyessä nokimoodin 50...100 nm:n alueelle.



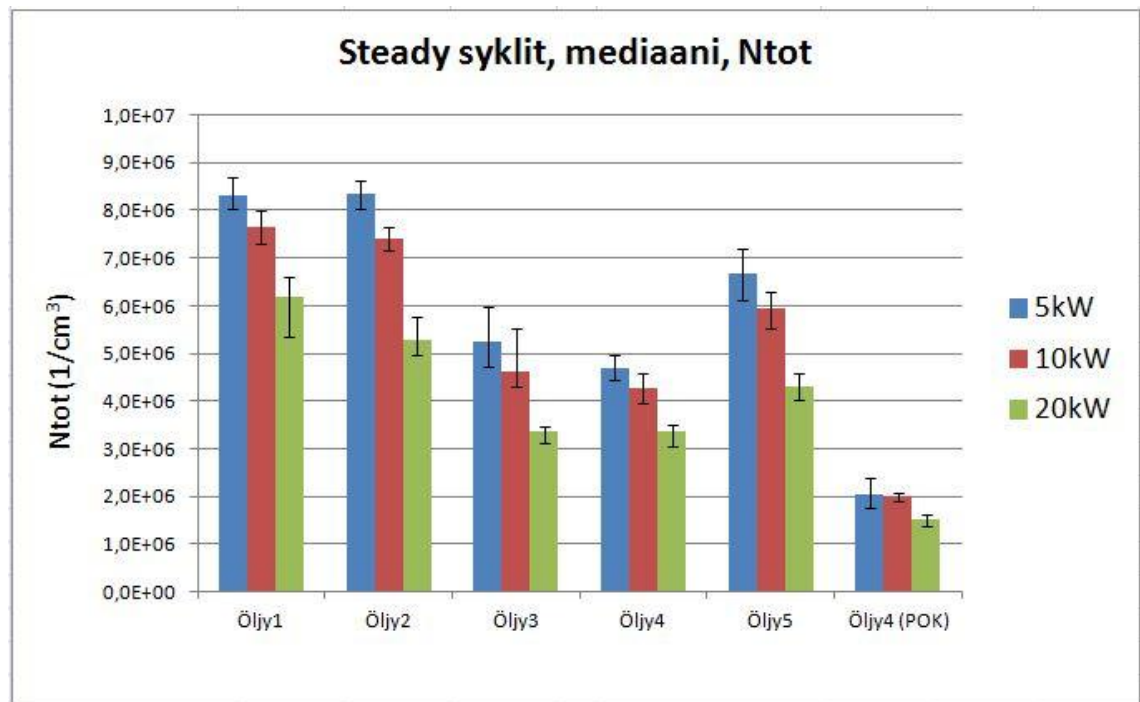
Kuvio 11. Kaikkien testiöljyjen NEDC-ajojen viimeisen moottorijarrutuksen hiukkaspäästöjen kokojakauma

Testiöljyjen kokonaishiukkaspäästöjen NEDC-ajojen kuvaajista nähtiin (Kuvio 9.), että öljyillä Öljy1 ja Öljy2 syklin viimeinen moottorijarrutus erottui selvästi. Muilla puhtaammilla öljyillä Öljy3, Öljy4 ja Öljy5 syklin viimeisessä moottorijarrutuksessa ei hiukasia syntynyt merkittävästi ja hiukkaslukumäärä painottui suurempiin hiukkasiin kuin öljyillä Öljy1 ja Öljy2.

8.3 Vakiokuormasyklin hiukkaset

8.3.1 Hiukkaslukumäärä

Vakiokuorma-ajojen hiukaspäästöt vastasivat odotuksia. Kahden epäpuhtaamman öljyn Öljy1 ja Öljy2 hiukaspäästöt olivat suurimmat (Kuvio 12.). Puhtaimpia öljyjä olivat Öljy3 ja Öljy4, mikä näkyy niitä vastaavissa hiukaspäästöissä. Öljy5:n hiukaspäästöt asettui epäpuhtaiden öljyjen ja puhtaimpien öljyjen välille. Öljy4:n hiukaspäästöt pienenevät huomattavasti POC kiinnitettynä.

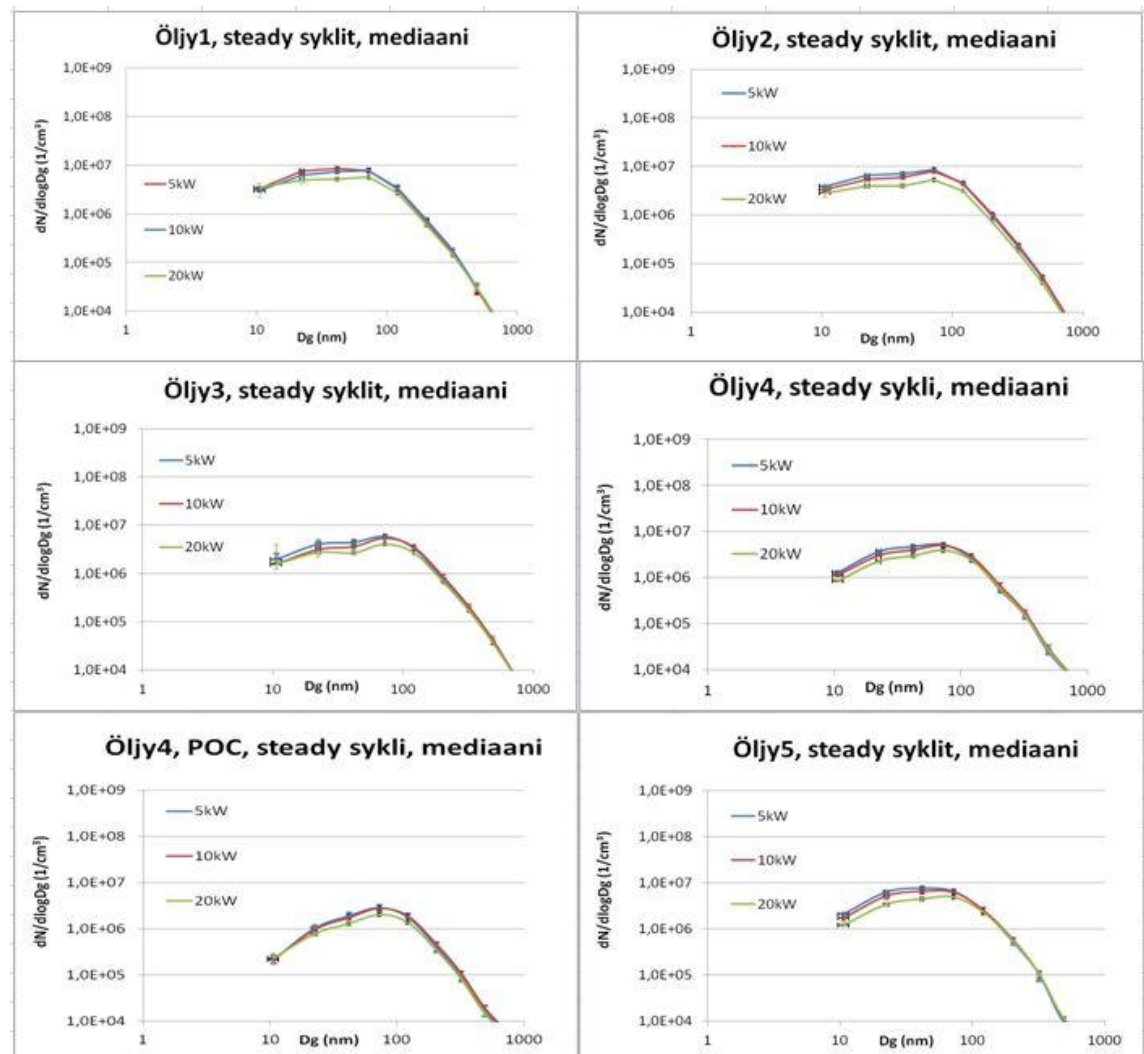


Kuvio 12. Kaikkien testiöljyjen vakiokuorma-ajojen kokonaishiukkaspäästöjen mediaanit

Jokaisella öljyllä hiukkaspäästöt jakautuvat samalla tavalla eri pyörätehojen välillä. Eniten hiukkaspäästöjä tuli jokaisella öljyllä 5 kW:n pyöräteholla suoritetusta vakiokuormajosta, mikä on selitettävissä pienellä kuormalla tapahtuvalla heikolla palamisella. Hiukkaspäästöt vähenevät kuorman kasvaessa ja ovat pienimmillään 20 kW:n pyöräteholla, jolloin palaminen on tehokkainta.

8.3.2 Vakiokuormasyklin kokojakaumat

Kuvassa (Kuvio 13.) on esitetty kaikkien testiöljyjen vakiokuorma-sykliden hiukkaspäästöjen kokojakauma kullakin pyöräteholla. Suuria eroja öljyjen välillä ei syntynyt. Hiukkaspäästöjen hiukkaslukumäärän huipun kokojakauma asettuu kaikilla öljyillä nokimoodin 50...100 nm:n alueelle.

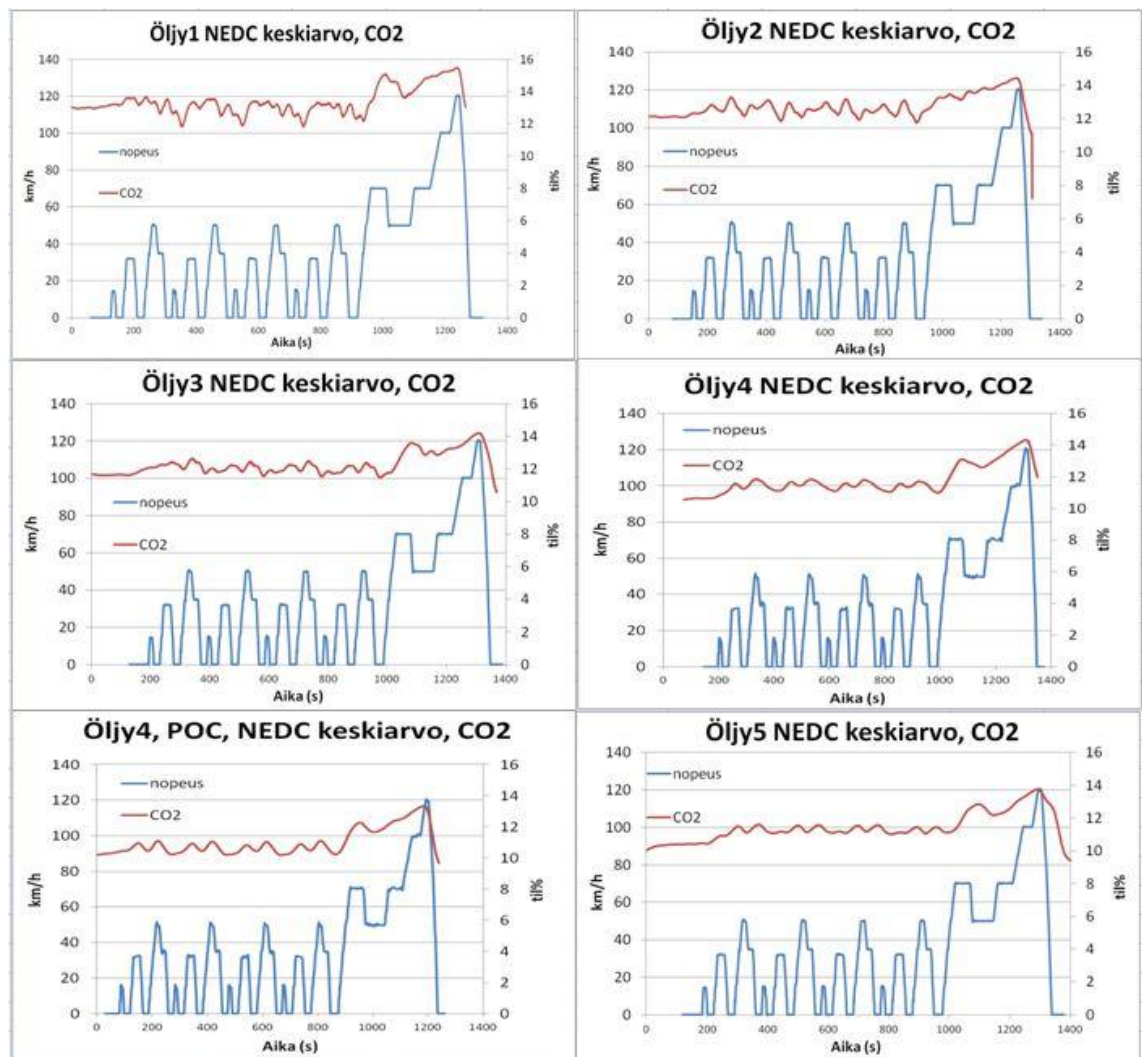


Kuvio 13. Kaikkien testiöljyjen vakiokuorma-sykliden kutakin pyörätehoa vastaavien hiukkaspäästöjen kokojakauma

Eniten epäpuhtauksia ja lisäaineita sisältävien öljyjen Öljy1 ja Öljy2 hiukkaspäästöt ovat suurimmat ja Öljy5:n hiukkaspäästöt lähes samaa tasoa. POC kiinnitettynä Öljy4:n hiukkaspäästöt ovat pienemmät. Varsinkin pienempiä hiukkasia esiintyy Öljy4:llä vähemmän, kun POC on kiinnitettynä.

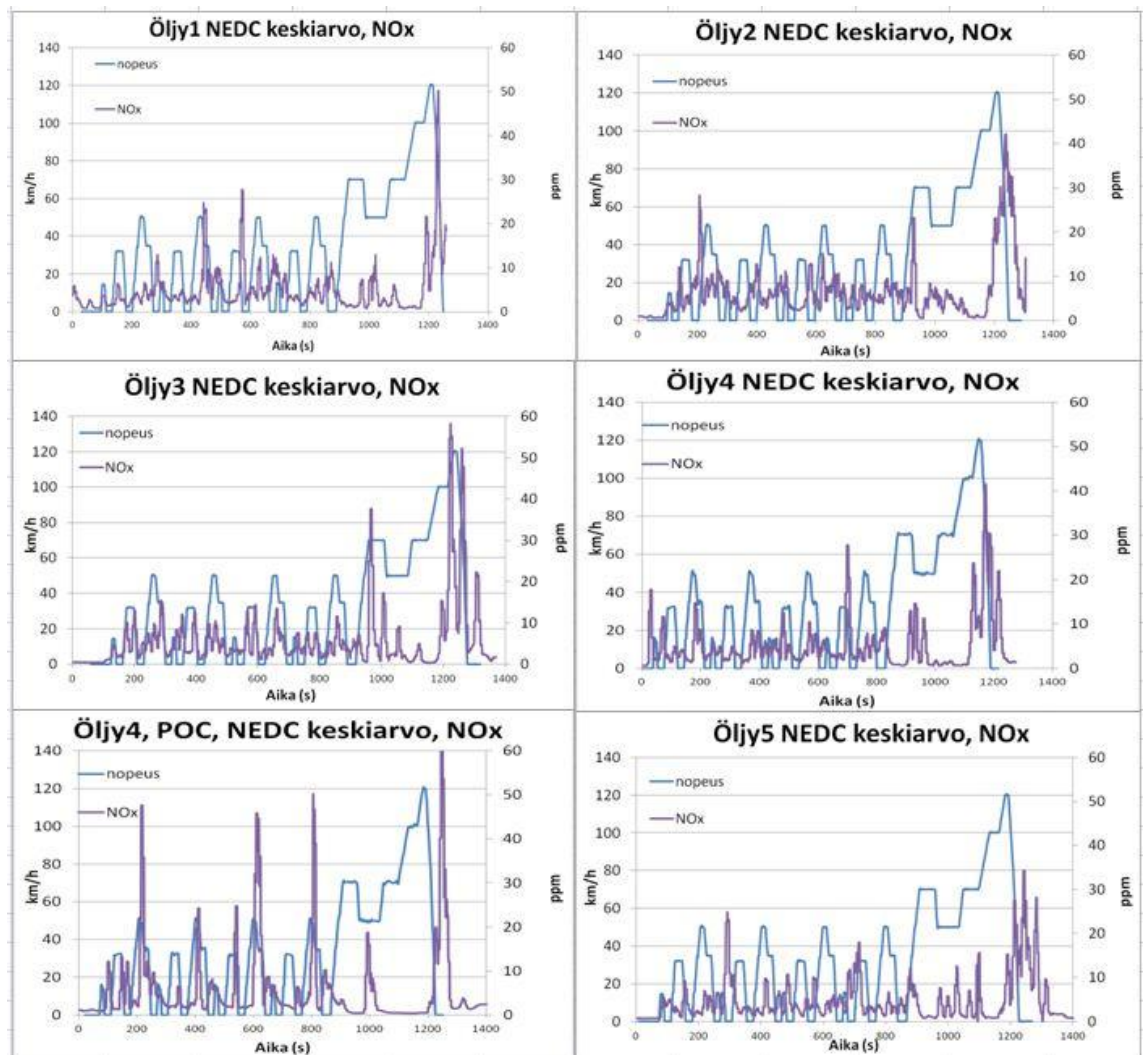
8.4 NEDC:n kaasut

Kuvassa (Kuvio 14.) on esitetty kaikkien testiöljyjen NEDC-syklien CO₂-päästöjen keskiarvot. Kahdella epäpuhtaimmalla öljyllä Öljy1 ja Öljy2 CO₂-päästöt ovat korkeammat kuin muilla testiöljyillä. Öljy4:n ja Öljy5:n CO₂-päästöt ovat lähes yhtä suuret. Öljy4:n CO₂-päästöt ovat pienimmät, kun POC on kiinnitettynä.



Kuvio 14. Kaikkien testiöljyjen NEDC-ajojen CO₂-päästöjen keskiarvot

Testiöljyjen välillä esiintyvät CO₂-päästöjen erot ovat erikoisia, sillä odotuksena oli, että CO₂-päästöt eivät vaihtelee. Kulutusmittauksissa havaittiin, että eri kuljettajien ajamana sykliin aikaiset kulutuslukemat vaihtelivat paljon ja siksi myös CO₂-päästöt vaihtelevat paljon. Öljy4:n toisena mittauspäivänä, jolloin POC oli asennettuna, on oletettavasti laimennuksessa tapahtunut virhe sillä niin NEDC-syklien kuin vakiokuorma-syklien (Kuvio 16.) CO₂-päästöt ovat huomattavasti pienemmät kyseisenä mittauspäivänä kuin muina mittauspäivinä.



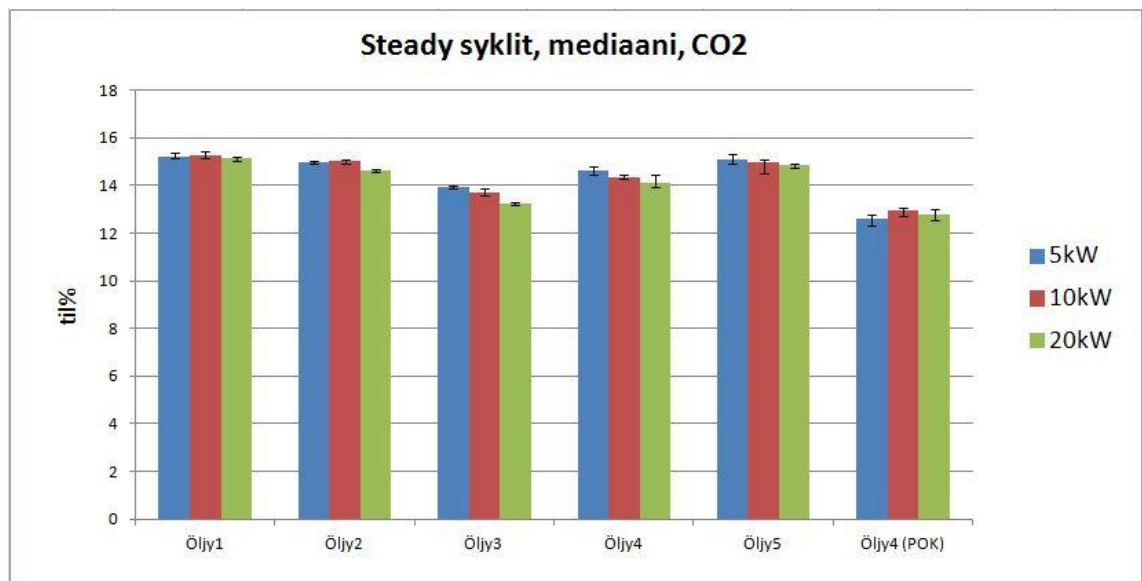
Kuvio 15. Kaikkien testiöljyjen NEDC-ajojen Nox-päästöjen keskiarvot

Kuvassa (Kuvio 15.) on esitetty kaikkien testiöljyjen NEDC-ajojen NOx-päästöjen keskiarvot. NOx-päästöjen suhteen ei odotusten mukaisesti öljyjen välille syntynyt merkittäviä eroja. Kahdella epäpuhtaimmalla öljyllä Öljy1 ja Öljy2 NOx-päästöjen taso on hieman korkeampi kuin muilla testiöljyillä, mikä johtuu todennäköisesti eri kuljettajien

erilaisesta ajoprofiilista. Selvimmin erottuvat Öljy4:n Nox-päästöt, jotka ovat nousseet POC:n vaikutuksesta. NEDC-syklin aikana pakokaasujen lämpötila ei nouse riittävästi POC:n regenerointia varten, jolloin sen tuottama NO₂ näkyy NO_x-päästöissä.

8.5 Vakiokuormasyklin kaasut

Kuvassa (Kuvio 16.) on esitetty kaikkien testiöljyjen vakiokuorma-ajojen CO₂-päästöjen mediaanit. Oletuksena oli, että CO₂-päästöt eivät muutu paljoa eri vakiokuorma-ajojen tai öljyjen välillä. Vakiokuorma-ajoissa kuljettajan vaihtuminen ei vaikuta sillä nopeus pidettiin vakiona. Puhtaimmilla öljyillä Öljy3 ja Öljy4 CO₂-päästöt olivat pienimmät ja öljyjen Öljy1, Öljy2 ja Öljy5 CO₂-päästöt olivat lähes samalla tasolla. Öljy4:n CO₂-päästöt laskivat, kun POC oli kiinnitettynä. CO₂-päästöt vaihtelivat myös epäsäännöllisesti eri pyörätehojen välillä.

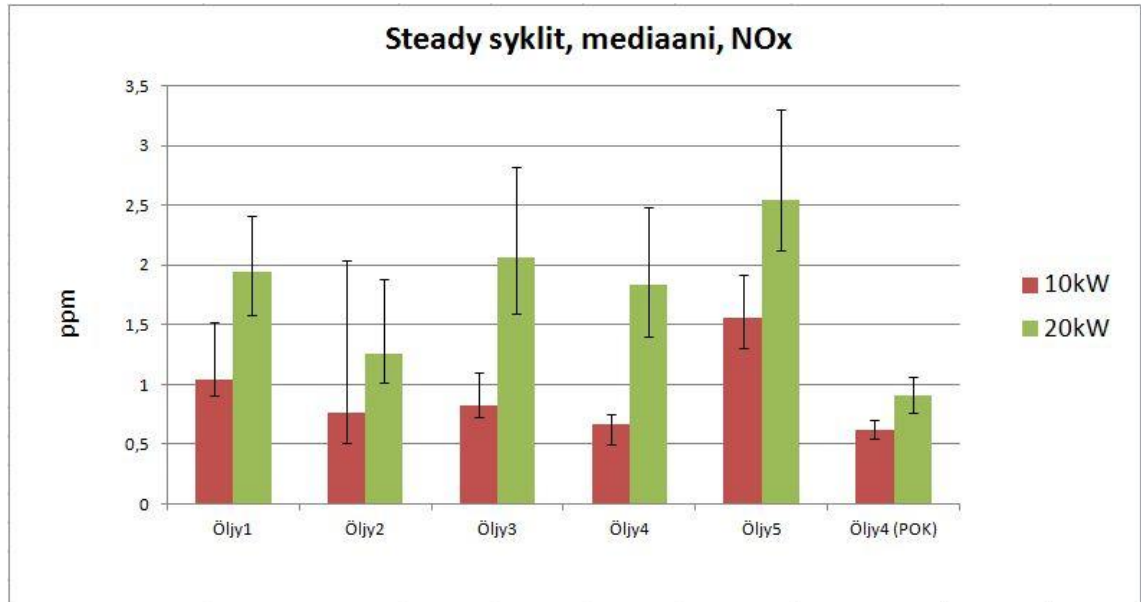


Kuvio 16. Kaikkien testiöljyjen vakiokuorma-ajojen CO₂-päästöjen mediaanit

CO₂-päästöjen vaihtelu testiöljyjen välillä oli odottamatonta. CO₂-päästöjen suurille vaihteluille ei löydetty perustelua, eikä syy vaihteluun selvinnyt näissä mittauksissa. Mahdollisesti jotenkin muuttuneet mittaolosuhteet ovat voineet vaikuttaa tuloksiin.

Kuvassa (Kuvio 17.) on esitetty kaikkien testiöljyjen vakiokuorma-ajojen NO_x-päästöjen mediaanit. NO_x-päästöjen osalta tuloksista jätettiin pois 5 kW:n pyöräteholla suoritettut vakiokuorma-ajot, koska NO_x-pitoisuudet vaihtelivat selittämättömästi syystä todella paljon 5 kW:n pyöräteholla suoritettujen vakiokuorma-ajojen aikana. NO_x-pitoisuuksien

suuren vaihtelun takia ei mediaanin määrittäminen kyseisistä 5 kW:n pyöräteholla suoritetuista vakiokuorma-ajoista olisi ollut järkevää. NOx-päästöissä esiintyi myös yllättävää vaihtelua 10 kW:n ja 20 kW:n pyörätehoilla suoritetuissa vakiokuorma-ajoissa, mutta ei kuitenkaan vastaavassa mittakaavassa kuin 5 kW:n pyörätehoilla suoritetuissa vakiokuorma-ajoissa.



Kuvio 17. Kaikkien testiöljyjen vakiokuorma-ajojen NOx-päästöjen mediaanit

NOx-päästöissä korkeimmat arvot mitattiin öljyllä Öljy5 ja pienimmät arvot öljyllä Öljy4 POC kiinnitettynä. Öljy5:llä NOx-päästöt ovat kohonneet. Muilla öljyillä erot eivät ole niin selviä, kun ottaa huomioon pitoisuuksien vaihtelun vakiokuorma-ajojen aikana. Vakiokuormasykleissä saavutettavien suurten pakokaasulämpötilojen ansiosta POC:n regenerointi toimii, ja se polttaa typpidioksidia noen kanssa, minkä ansiosta NOx-päästöt laskevat. Kahden eri pyörätehon 10 kW:n ja 20 kW:n väliset erot syntyneissä NOx-päästöissä johtuvat lämpötilaeroista. NOx-päästöjä muodostuu enemmän korkeammassa lämpötiloissa, ja koska suuremmalla kuormalla lämpötila on korkeampi, syntyy NOx-päästöjä enemmän.

8.6 Sännellyt päästöt

Sännellyt päästöt (Taulukko 4.) mitattiin jokaiselta testiöljyltä päivän ensimmäisestä nk. kylmästä NEDC-syklistä ja yhdestä sen jälkeisestä nk. kuumasta NEDC-syklistä. Kylmän NEDC-syklin alussa tapahtui auton kylmäkäynnistys. Polttoaineenkulutus mitattiin PLU 116H -kulutusmittarilla vain osasta ajoista, koska kulutusmittari vikaantui. Öljy5:n kylmä NEDC-ajon sännellyt päästöt jäivät mittaamatta.

Taulukko 4. Kaikkien testiöljyjen sännellyt päästöt

Sännellyt päästöt							
kylmä/kuuma NEDC-sykli		Öljy1 kylmä	Öljy1 kuuma	Öljy2 kylmä	Öljy2 kuuma	Öljy3 kylmä	Öljy3 kuuma
HC	g/km	0,05	0,00	0,03	0,00	0,08	0,00
NOx	g/km	0,02	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01
CO	g/km	0,58	0,13	0,40	0,18	0,68	0,13
CO ₂	g/km	228,8	198,8	218,3	196,6	226,1	198,8
Polttoaineenkulutus, mitattu (PLU 116H)	l / 100 km	-	8,46	9,43	8,48	9,78	8,62
Polttoaineenkulutus, laskennallinen	l / 100 km	9,79	8,47	9,33	8,38	9,68	8,47
kylmä/kuuma NEDC-sykli		Öljy4 kylmä	Öljy4 kuuma	Öljy4 (POC) kylmä	Öljy4 (POC) kuuma	Öljy5 kylmä	Öljy5 kuuma
HC	g/km	0,20	-0,01	0,04	-0,01	-	0,00
NOx	g/km	0,02	0,01	0,01	0,01	-	0,01
CO	g/km	1,62	0,14	0,37	0,02	-	0,13
CO ₂	g/km	215,0	196,3	213,6	195,8	-	192,7
Polttoaineenkulutus, mitattu (PLU 116H)	l / 100 km	-	-	-	-	-	8,53
Polttoaineenkulutus, laskennallinen	l / 100 km	9,29	8,37	9,12	8,34	-	8,21

Sännellyistä päästöistä näkee, kuinka paljon korkeammat kylmällä moottorilla suoritetun NEDC-ajon kulutus- ja päästöarvot ovat verrattuna kuumalla moottorilla ajettuun NEDC-sykliin. Sännellyistä päästöistä havaitaan myös, että eri kuljettajien ajamana NEDC-syklinaikainen polttoaineenkulutus vaihtelee suuresti. Eri testiöljyjen välillä sännellyissä päästöissä ei juuri eroja syntynyt.

8.7 Moottoriparametrit

Moottoriparametrien avulla pyrittiin seuraamaan, mitä moottorissa tapahtuu ajettujen syklien aikana. Vakiokuormasykliin aikaisiin moottoriparametreihin kiinnitettiin erityisesti huomiota, kun havaittiin NO_x-päästöjen outo käyttäytyminen 5 kW:n pyöräteholla suoritettujen vakiokuorma-ajojen aikana. Moottoriparametrit pysyivät eri vakiokuormasykliin aikana lähes samoina, joten niiden avulla ei saatu selitystä NO_x-pitoisuuksien oudolle vaihtelulle 5 kW:n pyöräteholla suoritettujen vakiokuorma-ajojen aikana.

9 Loppupäätelmät

Tämän työn tarkoituksena oli selvittää, miten eri moottoriöljyjen käyttäminen vaikuttaa henkilöauton pakokaasupäästöihin. Havaittiin, että moottoriöljyn sisältämät epäpuhtaudet ja lisäaineet vaikuttavat bensiinikäyttöisen henkilöauton tuottamiin hiukkaspäästöihin. Tulosten perusteella moottoriöljyn sisältämät epäpuhtaudet ja lisäaineet voivat vaikuttaa palotapahtumassa syntyvien hiukkaspäästöjen määrään ja kokojakaamaan. Etenkin mahdollinen nukleaatioalueen hiukkasten lisääntyminen kuormittaa ympäristöä yhä pienemmillä hiukkasilla. Hiukkaskatalysaattorin havaittiin laskevan hiukkaspäästöjä huomattavasti.

Moottoriöljyn vaikutuksesta bensiinikäyttöisen henkilöauton kaasupäästöihin ei saatu yksiselitteisiä tuloksia. On oletettu, että moottoriöljy ei vaikuttaisi moottorissa syntyviin kaasupäästöihin, mutta tähän työhön liittyvissä mittauksissa ei asiasta saatu varmuutta.

Ihmisten asettuessa asumaan yhä tiheämmin on henkilöautojen paikallispäästöillä suuri vaikutus monen ihmisen hengitysilmaan ja tätä kautta ihmisten terveyteen. Pienhiukkasten aiheuttama vaara ihmisten terveydelle antaa aihetta keskittyä myös ottomootoreilla varustettujen henkilöautojen päästöihin. Näihin päästöihin voidaan vaikuttaa jatkamalla moottoriöljyjen kehitystä ja tavoittelemalla mahdollisimman puhtaita moottoriöljyjä.

Lähteet

- 1 Neste Oil voiteluaineopas.
Saatavissa PDF-tiedostona:
<http://www.neste.fi/binary.aspx?path=2589;2655;2698;2706;3306;3308&page=3308&field=FileAttachment&version=11>
- 2 F. Zhaoa, M.-C. Laia ja D.L. Harrington. 1999. Automotive spark-ignited direct-injection gasoline engines. *Progress in Energy and Combustion Science* 25.
- 3 Dieselnet. 2012. Verkkodokumentti. ECOpoint Inc.
<http://www.dieselnet.com/standards/eu/ld.php>. Päivitetty 03.2012. Luettu 17.4.2012.
- 4 Farrauto R. & Heck R. 2001. Automobile exhaust catalysts. *Applied Catalysis A: General* 221: s. 443–457.
Saatavissa PDF-tiedostona:
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0926860X01008183>
- 5 Kittelson David B. 1998. Engines and nanoparticles: a review. *J. Aerosol Sci.* Vol. 29, No. 5/6, s. 575–688. Elsevier Science Ltd.
- 6 Kinnunen Toni. 2009. Diesel emission control oxidation catalyst and particle oxidation catalyst (DOC+POC). Ecocat group.
Saatavissa PDF-tiedostona:
http://www.ecocat.com/pdf/ECT_2009_DOC_POC_Ecocat.pdf
- 7 Keskinen J., Pietarinen K. & Lehtimäki M. 1992. Electrical Low Pressure Impactor. *J. Aerosol Sci.*, Vol. 23, No. 4, s. 353–360.
- 8 Horiba, Multi-gas analyzer unit VA-3000, Instruction manual.
- 9 Horiba, AP-360CE series, Instruction manual.
- 10 Pirjola L., P. Paasonen, D. Pfeiffer, T. Hussein, K. Hämeri, T. Koskentalo, A. Virtanen, T. Rönkkö, J. Keskinen, T.A. Pakkanen & R.E. Hillamo. 2006. Dispersion of particles and trace gases nearby a city highway: mobile laboratory measurements in Finland. *Atmospheric Environment*, 40, s. 867–879.
- 11 Yli-Ojanperä, J., Kannosto, J., Marjamäki, M. ja Keskinen, J. 2010. Improving the nanoparticle resolution of the ELPI. *Aerosol and Air Quality Research* 10, s. 360–366.
- 12 Hinds W.C. 1982. *Aerosol technology: Properties, behavior and measurement of airborne particles*. Wiley-Interscience, New York, NY.

- 13 Dieselnet. 2000. Verkkodokumentti. ECOpoint Inc.
http://www.dieselnet.com/standards/cycles/ece_eudc.php. Päivitetty 04.2000.
Luettu 17.4.2012.
- 14 Dekati. ELPI User manual, versio 4. Dekati Ltd.
- 15 98/69/EC. 1998. Direktiivi. Euroopan parlamentti.

Diesel- ja bensiinikäyttöisten henkilöautojen päästöstandardit EU:n alueella

[3, mukailleen]

Stage	Date	CO g/km	HC g/km	HC+NO _x g/km	NO _x g/km	PM g/km	PN #/km
Compression Ignition (Diesel)							
Euro 1†	1992.07	2.72 (3.16)	-	0.97 (1.13)	-	0.14 (0.18)	-
Euro 2, IDI	1996.01	1.0	-	0.7	-	0.08	-
Euro 2, DI	1996.01a	1.0	-	0.9	-	0.10	-
Euro 3	2000.01	0.64	-	0.56	0.50	0.05	-
Euro 4	2005.01	0.50	-	0.30	0.25	0.025	-
Euro 5a	2009.09b	0.50	-	0.23	0.18	0.005f	-
Euro 5b	2011.09c	0.50	-	0.23	0.18	0.005f	6.0×10 ¹¹
Euro 6	2014.09	0.50	-	0.17	0.08	0.005f	6.0×10 ¹¹
Positive Ignition (Gasoline)							
Euro 1†	1992.07	2.72 (3.16)	-	0.97 (1.13)	-	-	-
Euro 2	1996.01	2.2	-	0.5	-	-	-
Euro 3	2000.01	2.30	0.20	-	0.15	-	-
Euro 4	2005.01	1.0	0.10	-	0.08	-	-
Euro 5	2009.09b	1.0	0.10d	-	0.06	0.005e,f	-
Euro 6	2014.09	1.0	0.10d	-	0.06	0.005e,f	-

* At the Euro 1..4 stages, passenger vehicles > 2,500 kg were type approved as Category N₁ vehicles

† Values in brackets are conformity of production (COP) limits

a - until 1999.09.30 (after that date DI engines must meet the IDI limits)

b - 2011.01 for all models

c - 2013.01 for all models

d - and NMHC = 0.068 g/km

e - applicable only to vehicles using DI engines

f - 0.0045 g/km using the PMP measurement procedure

S-ryhmän öljyluokat ja ACEA-luokan öljyt

Taulukko 5. S-ryhmän öljyluokat [1, mukaillen]

Luokka	bensiinimoottorit	uudemmat bensiinimoottorit	uudet bensiinimoottorit
SG	Vuonna 1989 julkaistu, luokan öljyt soveltuvat nykyaikaisen bensiinimoottorin voiteluun.		
SH	Vuonna 1992 julkaistu, luokan öljyt soveltuvat nykyaikaisen bensiinimoottorin voiteluun. SG-luokkaa tiukemmat laatuvaatimukset.		
SJ		Vuonna 1996 julkaistu, luokan öljyt soveltuvat erityisesti uusiin vähäpäästöisiin bensiinimoottoreihin, joissa on katalyyttinen pakokaasujen jälkikäsittely.	
SL		Vuonna 2001 julkaistu, luokan öljyt estävät tehokkaasti moottorin karsaantumista, vähentävät öljyn kulu- tusta ja pidentävät katalysaattorin ikää.	
SM			Vuonna 2005 julkaistu, luokan öljyt kestävät paremmin pidennettyä öljynvaihtoväliä.

Taulukko 6. ACEA-luokan öljyt [1, mukailen]

A1	A2	A3	A4	A5
-ohuita -pienikittkaisia	-öljyt normaalikäyttöön ja normaalille vaihtovälille	-matalaviskositeettisiä -suorituskykyisille moottoreille -pitkiin vaihtoväleihin -ympäri vuotiseen käyttöön	-suoraruiskutusmoottoreiden-luokka	-ohuet vähäkitkaiset öljyt -pitkiävaihtovälejä ja tehokkaita moottoreita varten
A/B	A1/B1	A3/B3	A3/B4	A5/B5
-henkilö- ja pakettiautojen bensiini- ja dieselmoottoriöljyt	-pienikittkaiset ohuet moottoriöljyt	-huippulaatuiset yleiskäyttöön sopivat öljyt -tehokkaisiin moottoreihin -pidennetyille vaihtoväleille -vaativiin olosuhteisiin	-kuten luokka A3/B3, mutta paremmin sopiva joihinkin suoraruiskutus- dieselmoottoreihin -voidaan käyttää autoissa, joissa vaatimus on A3/B3	-huippulaatuiset pienikittkaiset ohuet erikoisöljyt pidennetyille vaihtoväleille
C	C1	C2	C3	C4
-paremmin katalysaattoreille sopivat henkilö- ja pakettiautojen bensiini- ja dieselmoottoriöljyt	-pienikittkaiset ohuet moottoriöljyt -pidentävät katalysaattorin ja hiukkassuodattimen ikää -sisältävät vähemmän rikkiä ja fosforia kuin A1/B1-öljyt tai C2-luokan öljyt	-kuten luokka C1, mutta rikki-, fosfori- ja tuhkarajat eivät yhtä alhaiset kuin C1-luokassa	-huippulaatuiset öljyt, jotka pidentävät katalysaattorin ja hiukkassuodattimen ikää -Sisältävät vähemmän rikkiä ja fosforia kuin A3/B4-öljyt	-huippulaatuiset nk. Low SAPS öljyt, jotka pidentävät katalysaattorin ja hiukkassuodattimen ikää -sisältävät vähän rikkiä ja fosforia