

Juha-Pekka Kousa

HENKILÖAUTOJEN  
PÄÄSTÖRAJOITUKSET  
YHDYSVALLOISSA JA  
EUROOPASSA  
Historia, valvonta ja eroavaisuudet

Opinnäytetyö  
Auto- ja kuljetustekniikka


Helmikuu 2014




**MIKKELIN AMMATTIKORKEAKOULU**

Mikkeli University of Applied Sciences

## KUVAILULEHTI

|  |  |              |            |       |  |
|--|--|--------------|------------|-------|--|
| <br><b>MIKKELIN AMMATTIKORKEAKOULU</b><br>Mikkeli University of Applied Sciences  | <b>Opinnäytetyön päivämäärä</b><br><br>19.2.2014   |              |            |       |  |
| <b>Tekijä(t)</b><br><br>Juha-Pekka Kousa   | <b>Koulutusohjelma ja suuntautuminen</b><br><br>Auto- ja kuljetustekniikka   |              |            |       |  |
| <b>Nimeke</b><br><br>Henkilöautojen päästörajoitukset Yhdysvalloissa ja Euroopassa   |  |              |            |       |  |
| <b>Tiivistelmä</b><br><br><p>Opinnäytetyön tarkoituksena oli tarkastella henkilöautoille säädettyjä päästörajoituksia Euroopassa ja Yhdysvalloissa ja sitä, miten ne eroavat toisistaan.</p> <p>Päästörajoitusten tutkiminen keskittyi kahteen päästörajoitusten perusosaan, eli ilmansaasteisiin ja kasvihuonekaasuihin. Euroopassa ilmansaasteista on säädetty EURO-päästörajoituksilla. Yhdysvalloissa taas on käytössä Tier-sopimukset. Kasvihuonekaasujen, eli hiilidioksin määrästä säädettyistä rajoitteista vastaa Euroopassa Euroopan komissio, joka säättää hiilidioksidipäästädirektiivejä. Yhdysvalloissa tästä vastaa Environmental Protection Agency EPA, joka on hallituksen alaisuudessa toimiva virasto. Hiilidioksidipäästörajoina käytetään Corporate Average Fuel Economy (CAFE) -järjestelmää.</p> <p>Ongelmia tuottivat lähinnä mantereiden väliset mittayksikköeroavaisuudet, koska Yhdysvalloissa ei käytetä yleisesti SI-järjestelmää. Vaikka EURO-päästörajoituksia pidetään tiukkoina ja edistyksellisinä, on Yhdysvallat olleet päästörajoituksissa edellä jo 1970-luvulta lähtien. Lähinnä Kalifornian ongelmat ilmansaasteiden kanssa ovat ajaneet tiukempia rajoituksia eteenpäin koko maassa. Yhdysvalloissa rajoitusten suhteen keskitytäänkin nimenomaan ilmansaasteisiin, hiilidioksidipäästömäärien suhteen Eurooppa on vielä rutkasti edellä.</p> |  |              |            |       |  |
| <b>Asiasanat (avainsanat)</b><br>Henkilöautot, päästöt, ilman saastuminen, pakokaasut, kasvihuonekaasut, hiilidioksidi, typen oksidit  |  |              |            |       |  |
| <b>Sivumäärä</b><br><br>42   | <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%;"><b>Kieli</b></td> <td style="width: 50%;"><b>URN</b></td> </tr> <tr> <td>Suomi</td> <td></td> </tr> </table> | <b>Kieli</b> | <b>URN</b> | Suomi |  |
| <b>Kieli</b>   | <b>URN</b>   |              |            |       |  |
| Suomi  |  |              |            |       |  |
| <b>Huomautus (huomautukset liitteistä)</b>   |  |              |            |       |  |
| <b>Ohjaavan opettajan nimi</b><br><br>Kari Ehrnrooth   | <b>Opinnäytetyön toimeksiantaja</b>  |              |            |       |  |

## DESCRIPTION

|   |  |   |
|---|--|---|
|  <p><b>MIKKELIN AMMATTIKORKEAKOULU</b><br/>Mikkeli University of Applied Sciences</p>  |  | <b>Date of the bachelor's thesis</b><br><br>19.2.2014 |
| <b>Author(s)</b><br><br>Juha-Pekka Kousa  | <b>Degree programme and option</b><br><br>Automotive and transportation technology |   |
| <b>Name of the bachelor's thesis</b><br><br>Light-duty vehicle emission regulations in the United States and Europe   |  |   |
| <b>Abstract</b><br><br><p>The main objective of this thesis was to review the emission regulations of light-duty vehicles in Europe and The United States and to investigate how they differ from each other.</p> <p>The research of the emission regulations concentrated on two main aspects; ambient air pollutants and greenhouse gasses. In Europe, the amount of ambient air pollutants has been regulated with the EURO emission regulations. In The US they have had the Tier agreements. Greenhouse gases, mainly carbon dioxide emissions have been regulated by EU directives legislated by the European Parliament and Council in Europe while in the US this is done by a federal administration called the Environmental Protection Agency, EPA. They have created the Corporate Average Fuel Economy (CAFE) program to test and regulate the carbon dioxide emissions of light-duty passenger vehicles.</p> <p>Some measurements and units proved to be problematic since the metric system isn't used in the United States. Although EURO regulations have been considered to be strict and advanced, the United States has been the trailblazer of ambient air pollutant emission regulations since the 1970's mostly due to air quality problems in California. Reducing the amount of ambient pollutants has been the main concern in the US, and the European Union is still way ahead in cutting down the greenhouse gasses.</p> |  |   |
| <b>Subject headings, (keywords)</b><br>Passenger cars, emissions, air pollution, exhaust gases, greenhouse gases, carbon dioxide, nitrogen oxides   |  |   |
| <b>Pages</b><br><br>42  | <b>Language</b><br><br>Finnish   | <b>URN</b>  |
| <b>Remarks, notes on appendices</b>   |  |   |
| <b>Tutor</b><br><br>Kari Ehrnrooth  | <b>Bachelor's thesis assigned by</b>   |   |

## SISÄLTÖ

|   |  |    |
|---|--|----|
| 1 | JOHDANTO .....   | 1  |
| 2 | PÄÄSTÖJEN VALVONNAN ALKAMINEN.....                     | 2  |
| 3 | UUSIEN AUTOJEN PÄÄSTÖJEN TESTAAMINEN .....             | 3  |
| 4 | YHDYSVALTOJEN TOIMINTAMALLI .....                      | 5  |
|   | 4.1 Tier -päästörajoitukset .....                      | 5  |
|   | 4.2 Testaustapahtuma FTP.....                          | 7  |
|   | 4.3 Tulosten käsittely.....                            | 10 |
|   | 4.4 Testauksen epäkohdat .....                         | 12 |
| 5 | EUROOPAN TOIMINTAMALLI.....                            | 13 |
|   | 5.1 EURO-päästörajoitukset .....                       | 13 |
|   | 5.2 Testaustapahtuma NEDC.....                         | 14 |
|   | 5.3 Tulosten käsittely.....                            | 17 |
| 6 | AUTOVALMISTAJIEN PANOSTUKSET JA RAJOITUSTEN TOIMIVUUS. | 17 |
|   | 6.1 Vapaaehtoiset päästörajoitukset.....               | 18 |
|   | 6.2 Säädettyt rajoitukset ja sanktiot .....            | 19 |
|   | 6.3 Ilmoitettujen päästölukemien virheellisyys .....   | 21 |
|   | 6.4 Päästöjen ainesosat .....                          | 22 |
| 7 | UUSI MAAILMANLAAJUINEN TESTAUSSTANDARDI WLTP .....     | 23 |
| 8 | MANNERTERVÄLISET EROAVAISUUDET .....                   | 26 |
|   | 8.1 Autokanta.....                                     | 27 |
|   | 8.2 Ilmansaasteiden rajoitukset.....                   | 28 |
|   | 8.3 Testipolttoaine .....                              | 29 |
|   | 8.4 Kasvihuonekaasun rajoitukset ja sanktiot.....      | 30 |
|   | 8.5 Etanolin käyttö.....                               | 31 |
| 9 | POHDINTA .....   | 34 |
|   | LÄHTEET.....   | 36 |

## 1 JOHDANTO

Liikenne on yksi maailman suurimmista saastuttajista. Vuoden 2010 tietojen mukaan liikenne tuottaa noin 15% koko maailman kasvihuonekaasuista. Tästä osuudesta noin 60% tulee kevyistä-, eli henkilöajoneuvoista /54, s.5/. Karkeasti sanottuna kevyt tieliikenne tuottaa siis noin kymmenyksen koko maailman kasvihuonekaasuista. Suurimmat saastuttajat ovat Yhdysvallat ja Eurooppa /2, s.5./ Tästä syystä koin tarpeelliseksi tutkia, mitä liikenteen päästöjen vähentämiseksi on tehty ja aiotaan tehdä.

Päästörajoitukset voidaan rajata karkeasti kahteen osaan: ilmansaasteisiin ja hiilidioksidipäästöihin. Nykyisin Suomessakin käytössä olevat EURO-päästörajoitukset koskevat nimenomaan ilmansaasteita. Näillä rajoituksilla pyritään polttamaan polttoaine mahdollisimman puhtaasti niin, että pakokaasu sisältäisi vain positiivisen palamisen lopputuotteita. Hiilidioksidipäästöjä säädellään käytännössä autojen kulutukseen puuttamalla, koska hiilidioksidin ja poltetun polttoaineen määrä kulkevat aina käsi kädessä.

Työn tarkoituksena on tutkia, mitä päästöjen rajoittamiseksi on tehty suurimpien saastuttajien, EU:n ja Yhdysvaltojen toimesta. Mantereiden autokannat ja liikennekulttuurit eriyvät toisistaan melkoisesti ja siksi on mielenkiintoista nähdä, kuinka erilaisista näkökulmista asiaa on tarkasteltu. Jo pelkästään mittajärjestelmien ja -yksiköiden tuottamat eroavaisuudet aiheuttivat päänvaivaa. Esimerkiksi kulutuslukemissa USA:n ilmoitustapa on perinteiseen sikäläiseen tyyliin mallia ”suurempi on aina parempi”, koska luku ilmoitetaan muodossa mailia per gallona, eli kuinka pitkän matkan pääsee tietyllä polttoainemäärällä. Euroopassa taas pyritään pieniin lukemiin yksikön ollessa litraa per sata kilometriä. Mainittakoon, että yksi maili on 1,609 kilometriä ja yksi gallona (US) on 3,785 litraa.

Euroopan näkökulmasta usein ajatellaan, että Yhdysvalloissa ollaan ympäristöystävällisyydessä aina jälkijunassa. Näin ei kuitenkaan välttämättä ole ja Atlantin toisella puolella on asioihin panostettu yllättävänkin paljon, tosin melko eri tavalla kuin Euroopassa. Monet ratkaisut tuntuvat hullunkurisilta ja liian yksinkertaisilta, mutta ovat yllättävän toimivia. Mannertenvälisiä eroavaisuuksia

löytyi yllättävän paljon, vaikka fyysikan lait ovat molemmilla mantereilla jotakuinkin samat.

## 2 PÄÄSTÖJEN VALVONNAN ALKAMINEN

Yhdysvalloissa päästörajoituksia alettiin kehittää 1960-luvun lopulla. Monissa suurissa, varsinkin vähätuulisissa kaupungeissa, oli suuria savukaasupilviä erilaisista saastuttajista johtuen. Erityisen paha tilanne oli monissa Kalifornian suurkaupungeissa, kuten Los Angelesissa. Kaupunki sijaitsee laaksossa, johon kohdistuu mereltä tuleva ilmavirta. Samalla kaupungin yllä vallitsee subtrooppinen korkeapaine, jonka alapuolella on lämmin ilmakerros. Suurimman ongelman muodostaa kaupungin koillispuolella sijaitsevat vuoristot, jotka estävät mereltä tulevan ilman virtaamista sisämaahan päin. Tämän seurauksena kaupungin ylle muodostuu saastepilvi, jonka vain sade aika ajoin puhdistaa. Kaliforniassa vuoden keskisademäärä jää alle 400 milliin, mikä pahentaa tilannetta entisestään /48/. On siis loogista, että ympäristötietoisuuden leviäminen alkoi juuri Kaliforniasta. Kansalaisten kehittynyt ympäristötietämys ja ympäristösuojeluaatteiden leviäminen pakottivat hallituksen toimiin ympäristön puolesta. Huono ilmanlaatu, hippiaate, sodanvastaisuus ja Santa Barbaran öljyvuoto vuonna 1969 johtivat lopulta ensimmäisen Maan päivän järjestämiseen keväällä 1970. 20 miljoonaa amerikkaista kerääntyi kaduille vaatimaan toimenpiteitä ilmaston ja ympäristön suojelemiseksi /29./

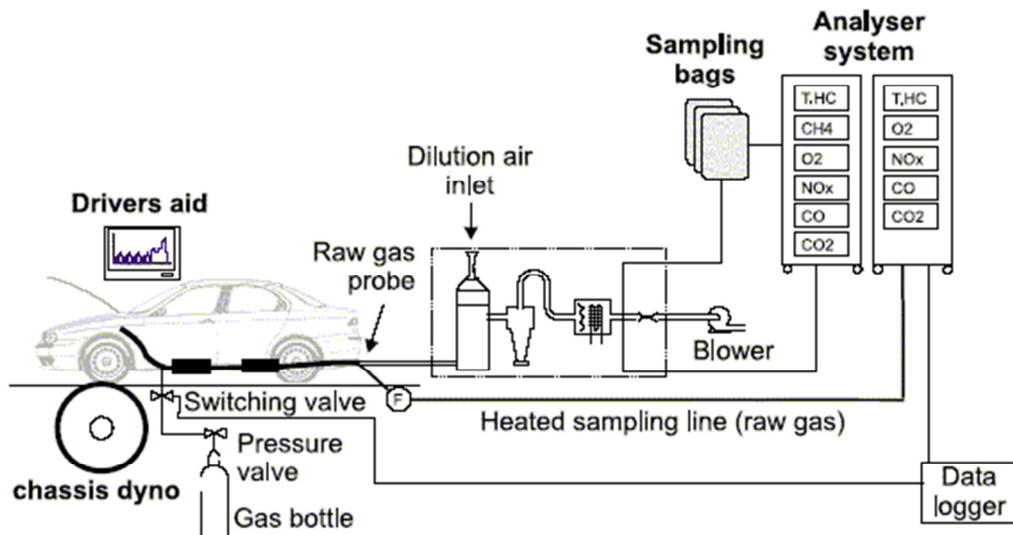
Yhdysvaltain hallitukselle tuli kiire valmistella parempi ympäristönsuojelulaki vuoden 1967 epäonnistuneelle laille. Ensimmäiset tieliikennettä koskevat päästöraajat säädettiin vuonna 1970. Erilaisia päästömääräyksiä oli annettu jo vuosien 1963 ja 1967 ilmansaastelaissa CAA:ssa (Clean Air Act). Lainsäädännöllisistä puutteista ja valvonnan epäonnistuneisuudesta johtuen lailla ei saavutettu juurikaan tuloksia ennen vuoden 1970 uutta ilmansaastelain laajennusta CAAE:ta (Clean Air Act Extension), jossa säädettiin tiukempia rajoituksia teollisuuden päästöistä ja ensimmäistä kertaa myös liikkuvien saastuttajien, kuten autojen ja työkoneiden päästöistä /33/. Syksyllä 1970 aloitti toimintansa ympäristönsuojeluvirasto EPA (Environmental Protection Agency). Se perustettiin Richard Nixonin hallituskaudella vastaamaan kaikesta ympäristönsuojeluun liittyvistä toimenpiteistä ja lainsäädännöstä, etenkin valvomaan vuoden 1970 CAAE:n toteutumista /34./

CAAE sääti neljä rajoiteohjelmaa: kansalliset ympäröivän ilman laatustandardit NAAQSit (National Ambient Air Quality Standards), osavaltiokohtaiset toteutussuunnitelmat SIPit (State Implementation Plan), uusien lähteiden toimintastandardit NSPSit (New Source Performance Standards) sekä kansalliset päästöstandardit vaarallisille ilmansaasteille NESHAPsit (National Emissions Standards for Hazardous Air Pollutants). Näistä NAAQS ja NESHAPs vaikuttivat myös liikkuviin saastuttajiin. NAAQSin tarkoituksena on suojella väestöä saasteiden vaikutukselta rajoittamalla hiilimonoksidin, typen oksidien, rikkidioksidin, partikkelipäästöjen, hiilivetyjen ja fotokemikaalisten oksidanttien määrää. /3./ NESHAPsin tarkoituksena oli rajoittaa niiden vaarallisten ilmansaasteiden määrää, jotka aiheuttavat vakavia ja parantumattomia sairauksia väestölle ja joihin NAAQS ei puuttunut. Näitä saastuttajia olivat mm. erilaiset radiaktiiviset aineet ja yhdisteet, mineraalikuidut, hapot ja metaaniyhdisteet. /4./

Euroopassa ilman saastumisesta oltiin myös huolissaan ja tilannetta tutkittiin 1960-luvun lopussa. Ensimmäinen autoja koskeva päästörajoitus, direktiivi 70/220/ETY astui voimaan 1. lokakuuta 1970 /40, s.1/.

### **3 UUSIEN AUTOJEN PÄÄSTÖJEN TESTAAMINEN**

Testausolosuhteet ovat Euroopassa ja Yhdysvalloissa hyvin samanlaiset. Auto asetetaan laboratorion dynamometrille ja pakokaasut kerätään talteen teflonpusseihin, joista otetaan analysointinäytteet. Kaasujen talteeotossa ja analysoinnissa käytetään Constant Volume Sampling, eli CVS-tekniikkaa /56, s.49/. Siinä pakokaasuja ”laimennetaan” ilmalla, jotta kaasutilavuus keräinastiassa saadaan pidettyä vakiona. Kun pakokaasuvirtaukset kasvavat, laimennusilman määrää vähennetään. Tilavuuden pitäminen vakiona vaikeuttaa kuumen pakokaasun osien kondensoitumista ja auttaa tasoittamaan eroja täyden moottorikuorman ja joutokäynnin kaasumuodostuman välillä. Täydellä kuormituksella kaasuvirtaus voi kasvaa 40-kertaiseksi joutokäyntiin verrattuna, joten eri kuormitustilojen vertaaminen on paljon helpompaa, kun kaasutilavuus pidetään koko ajan vakiona. Vakioilavuussäiliöstä kaasut johdetaan lämmitettyjä kanavia pitkin teflonpusseihin, joista näytteet analysoidaan /13/.



**KUVA 1. Constant Volume Sampling –testaus /12/**

Testauksen aikana laboratorion lämpötila on 20-30 °C. Poikkeuksia ovat Yhdysvaltain FTP-testauksen kaksi sykliä, joissa tutkitaan kylmien olosuhteiden ja ilmaistoinnin vaikutusta päästöihin. Kylmäolosuhteiden testauksessa laboratorion lämpötila on -7 °C ja ilmastointitestin aikana 35 °C /72/.

Testauksissa käytetään standardisoituja testipolttoaineita. Polttoaineiden välillä on kuitenkin melko suuria mannerkohtaisia eroja.

**TAULUKKO 1. Testipolttoaineet /35, s.96; 6, s.29/**

| Ominaisuus               | Yksikkö    | Arvo EPA (Tier 3) |        | Arvo EU (EURO 5&6) |        |
|--------------------------|------------|-------------------|--------|--------------------|--------|
|                          |            | min               | max    | min                | max    |
| AKI*                     |            | 87,0              | 88,4   | 90,0               | -      |
| RON*                     |            | 92,0              | 93,4   | 95,0               | -      |
| MON*                     |            | 82,0              | 83,4   | 85,0               | -      |
| DVPE (Höyrystymispaine)  | kPa        | 60,0              | 63,4   | 56,0               | 60,0   |
| Lopullinen kiehumispiste | °C         | 193               | 216    | 190                | 210    |
| Tislausjäämät            | ml (max)   | -                 | 2,0    | -                  | 2,0    |
| Aromaattiset hiilivedyt  | tilavuus-% | 19,5              | 24,5   | 29,0               | 35,0   |
| Olefiinit                | massa-%    | 4,5               | 11,5   | 3,0                | 13,5   |
| Etanoli                  | tilavuus-% | 14,6              | 15,0   | 4,7                | 5,3    |
| Rikki                    | mg/kg      | 8,0               | 11,0   | 0,0                | 10,0   |
| Lyijy                    | g/l (max)  | -                 | 0,0026 | -                  | 0,005  |
| Fosfori                  | g/l (max)  | -                 | 0,0013 | -                  | 0,0013 |
| Hartsipitoisuus          | mg/100ml   | -                 | 3,0    | -                  | 4,0    |

\* Anti-Knock Index, Research Octane Number ja Motor Octane Number ovat keskenään laskennallisia arvoja.

$$AKI = (RON + MON) / 2$$

$$RON - MON = \sim 10$$

$$AKI + 5 = RON \Leftrightarrow AKI - 5 = MON$$



## 4 YHDYSVALTOJEN TOIMINTAMALLI

Yhdysvalloissa autojen päästörajoituksista vastaa ympäristönsuojeluvirasto EPA. EPA on säätänyt vähimmäismääräykset päästöjen suhteen, mutta osavaltioiden välillä esiintyy suurta vaihtelua. Päästömääräykset ovat kireimpiä itärannikolla ja suurten järvien alueella, eli autoteollisuuden osavaltioissa sekä Kaliforniassa /76/.

EPAn testausten perusteella Kansallisen maanteliikenteen turvallisuushallinnossa NHTSAssa (National Highway Traffic Safety Administration) Liikennevirasto DOT (Department of Transportation) säättää autonvalmistajille tietyt päästö- ja polttoainekulutuksen normit, joihin autonvalmistajien on mallistonsa sovitettava. Autonvalmistajien mallien keskiarvoa kulutuksen suhteen tarkkaillaan ja normistoa kutsutaan valmistajien keskimääräiseksi polttoainetaloudellisuudeksi, CAFEksi (Corporate Average Fuel Economy) /11, s.12/.

### 4.1 Tier -päästörajoitukset

Ennen Tier-päästörajoituksia käytössä oli erilaisia variaatioita vuonna 1970 säädetystä CAA:sta, jota päivitettiin vuosien saatossa. Autotekniikan rajun kehityksen johdosta vuonna 1991 säädettiin uusi tieliikenteeseen tarkoitettu päästönormisto Tier 1 ja se astui voimaan vaiheittain vuosina 1994-1997. Se koskee kaikkia kevyitä ajoneuvoja, eli henkilöautoja ja kevyitä hyötyajoneuvoja, joiden kokonaismassa jää alle 8500 paunan (~3855 kg). Päästörajat jaettiin kolmeen kategoriaan: henkilöautoihin, kevyisiin kevyisiin hyötyajoneuvoihin ja raskaisiin kevyisiin hyötyajoneuvoihin /18/.

Tier 2 säädettiin vuonna 1999 ja astui voimaan vaiheittain vuosina 2004-2009. Vaiheittain siirtyminen tarkoitti sitä, että prosenttiosuus uusista valmistajan ajoneuvoista, joiden tuli täyttää uudet määräykset, kasvoi vuosi vuodelta. Tier 2 kiristi päästörajoja ja suhteessa tiukemmalle joutuivat isommat ajoneuvot, koska kategorioinnit poistettiin ja kaikille kevyille hyötyajoneuvoille ja henkilöautoille annettiin samat raja-arvot. Joukkoon lisättiin myös keskiraskaat henkilöajoneuvot, joiden kokonaismassa ylitti 8500 paunaa, mutta jäi alle 10 000 paunan (~4535 kg). Kokonaismassa ei siis enää vaikuttanut päästörajoihin, mutta joitakin vuosimalliin

liittyviä eroavaisuuksia jäi voimaan, mikä johtui sopimukseen siirtymisestä vaiheittain /19/.

Tällä hetkellä Tier 2 on edelleen voimassaoleva normisto. Tier 2:n noudattaminen suoritetaan kolmessa vaiheessa. Esivalmistusautoja testataan, jotta niistä saadaan ennakoarvot ennen myyntiä. Varsinaisesta valmistussarjasta otetaan näytetteitä, joiden testaamisella pyritään varmistamaan ennakkotestien tulosten paikkansapitävyys. Lisäksi autokantaa testataan myös tietyn käyttöiän, yleensä useamman vuoden jälkeen vanhemman autokannan laadun varmistamiseksi. Autojen pitää saavuttaa vähintään 120 000 mailin (~193tkm) käyttöikä samoilla päästörajoilla /19/.

Ajoneuvoille annettiin kahdeksan päästöluokkaa, joihin autovalmistajat sijoittivat oman mallistonsa autot. Päästöluokat ovat pienimmästä suurimpaan Bin 1 – Bin 8. Lisäksi malliston typen oksidipäästöjen keskiarvo saa olla maksimissaan 0,07 grammaa per maili (~0,04 g/km). Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että enemmän päästäviä autoja saa myydä, ja niille annettiin jopa löysemmät päästörajat, mutta vähemmän päästäviä autoja pitää vain myydä suhteessa niin paljon enemmän, että malliston keskiarvo 0,07 g/mi toteutuisi. Ajoneuvot, jotka osuivat päästöluokan keskiarvoon, kuuluvat luokkaan Bin 5 /19/.

Uusi Tier 3 säädettäneen vuonna 2014 ja sen siirtymävaihe sijoittuisi vuosille 2017-2025. Säännökset ovat hyvin samanlaisia Tier 2:een verrattuna. Päästöluokkia on vain seitsemän ja automalliston päästöjen keskiarvona ei mitata typen oksideja, vaan NMOG+NO<sub>x</sub>, eli orgaanisten kaasujen, jotka eivät ole metaania (non-methane organic gas), sekä typen oksidien yhteismäärää. Luokat oli nimetty uudestaan Bin 0 – Bin 160, missä numero merkitsi suoraan NMOG+NO<sub>x</sub> -lukuarvoa (mg/mi). Korkein luokka Bin 160 vastaa Tier 2:n luokkaa Bin 5. Malliston keskiarvon täytyy asettua luokkaan Bin 50 ja laskea siirtymäajan (2017-2025) aikana luokkaan Bin 30, eli Tier 2:ssa vastaavaan arvoon Bin 2. Myös käyttöikä nostettiin 150 000 mailiin (~240tkm) /20/.

**TAULUKKO 2. Tier 3 vaaditut päästöarvot, ehdotus (g/km) /35, s.39,254/**

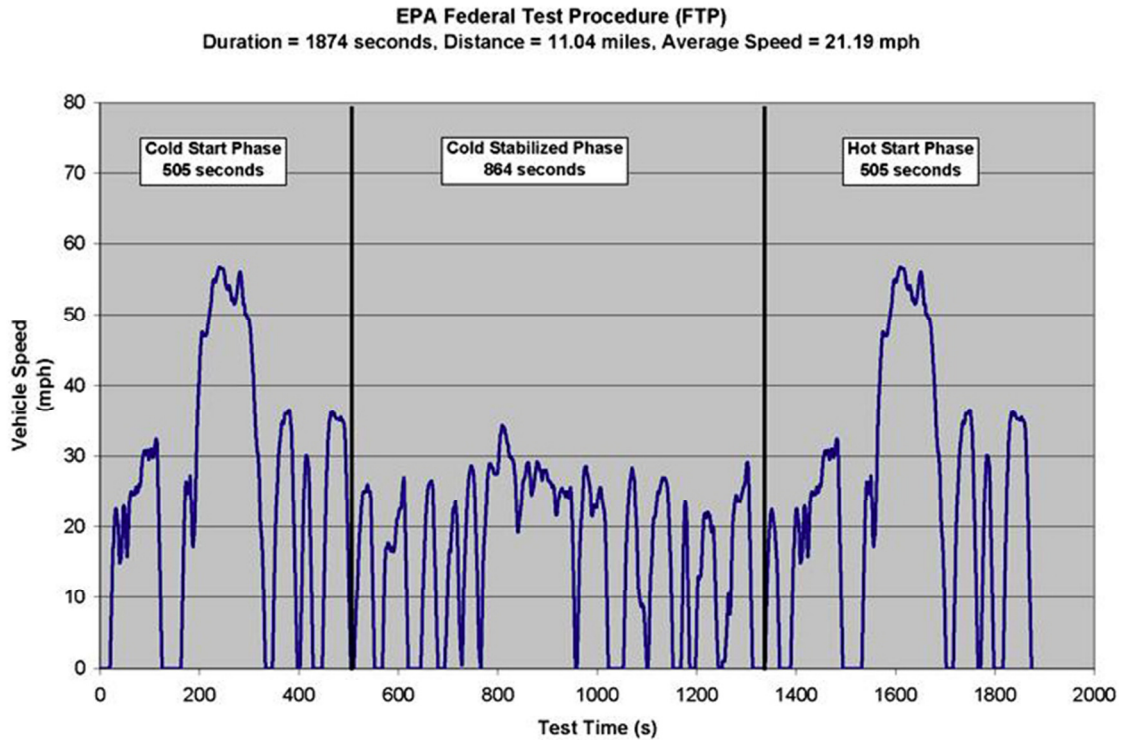
| Bin# | Keskimääräinen ikä (5 vuotta/80 000 km) |      |       |       | Täysi käyttöikä (15 vuotta/241 000km) |      |       |       |
|------|---|------|-------|-------|---------------------------------------|------|-------|-------|
|      | NMOG+NOx*                               | CO   | PM    | HCHO  | NMOG+NOx*                             | CO   | PM    | HCHO  |
| 160  | 0,099                                   | 2,61 | 0,002 | 0,002 | 0,103                                 | 2,61 | 0,002 | 0,002 |
| 125  | 0,078                                   | 1,31 | 0,002 | 0,002 | 0,081                                 | 1,31 | 0,002 | 0,002 |
| 70   | 0,044                                   | 1,06 | 0,002 | 0,002 | 0,047                                 | 1,06 | 0,002 | 0,002 |
| 50   | 0,031                                   | 1,06 | 0,002 | 0,002 | 0,034                                 | 1,06 | 0,002 | 0,002 |
| 30   | 0,019                                   | 0,62 | 0,002 | 0,002 | 0,022                                 | 0,62 | 0,002 | 0,002 |
| 20   | 0,012                                   | 0,62 | 0,002 | 0,002 | 0,016                                 | 0,62 | 0,002 | 0,002 |
| 0    | 0                                       | 0    | 0     | 0     | 0                                     | 0    | 0     | 0     |

\* NMOG (non-methane organic gases) bensiinillä, NMHC (non-methane hydrocarbons) dieselillä, NOx, typen oksidit, mitataan yhteismäärää

#### 4.2 Testaustapahtuma FTP

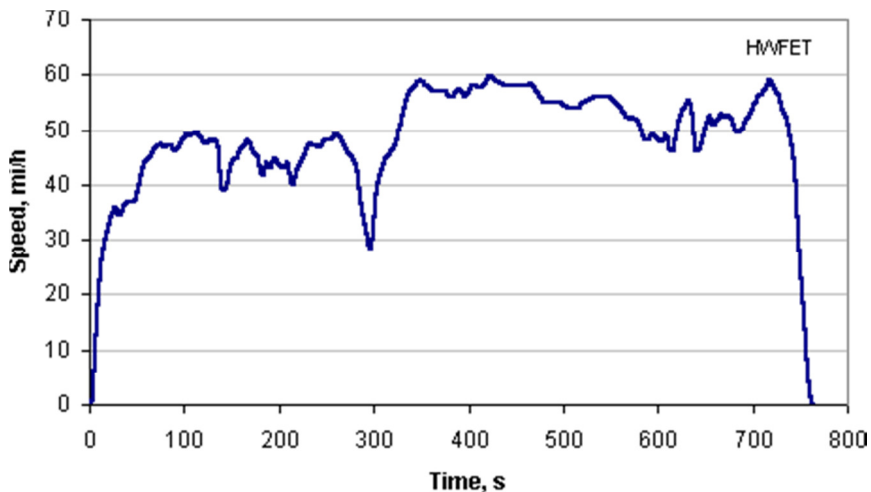
Ajoneuvojen päästöttestaukseen käytetään EPA:n kehittämiä testaussyklejä, joista koostuu liittovaltion testausmenettely, FTP (Federal Testing Procedure). Perussyklejä on kaksi, kaupunkisykli (City) ja maantiesykli (Highway). Vuoteen 2007 vain nämä kaksi testaussykliä määrittivät autojen päästöjä. Jotta testauksen aikana saataisiin enemmän tarkempaa informaatiota, testiin lisättiin kolme erikoistilannesykliä. Vuodesta 2008 alkaen on testattu myös nopean ajon sykli (High Speed), ajosykli jolloin ilmastointi pidetään päällä (AC) sekä kylmäolosuhteita jäljittelevä sykli (Cold Temp) /72/.

City-syklissä ajo jäljittelee kaupunkiajo-olosuhteita. Auto käynnistetään kylmiltään ja ajo aloitetaan heti. Ajo sisältää paljon pysähdyksiä, kiihdytyksiä ja joutokäyntiä. Autolla ajetaan 11,04 mailia, ja matkan aikana pysähdytään 23 kertaa. Koko matka kestää 31 minuuttia. Keskinopeus on 21,2 mailia tunnissa ja huippunopeus 56,7 mailia tunnissa. Sykli sisältää kolme vaihetta. Ensimmäisenä on kylmäkäynnistysvaihe, joka kestää ensimmäiset 505 sekuntia. Toisena on stabiilivaihe, jolloin autolla ajetaan pienemmällä nopeuksilla ja moottori on lämmennyt. Ajanjakso sijoittuu välille 506-1372 sekuntia. Toisen vaiheen jälkeen auto sammutetaan ja kolmas testi alkaa kuumakäynnistyksellä 9-11 minuutin kuluttua. Kolmas vaihe kestää 505 sekuntia. Testin aikana ilmastointi ja muut lisälaitteet ovat kytkettyinä pois päältä /25/.



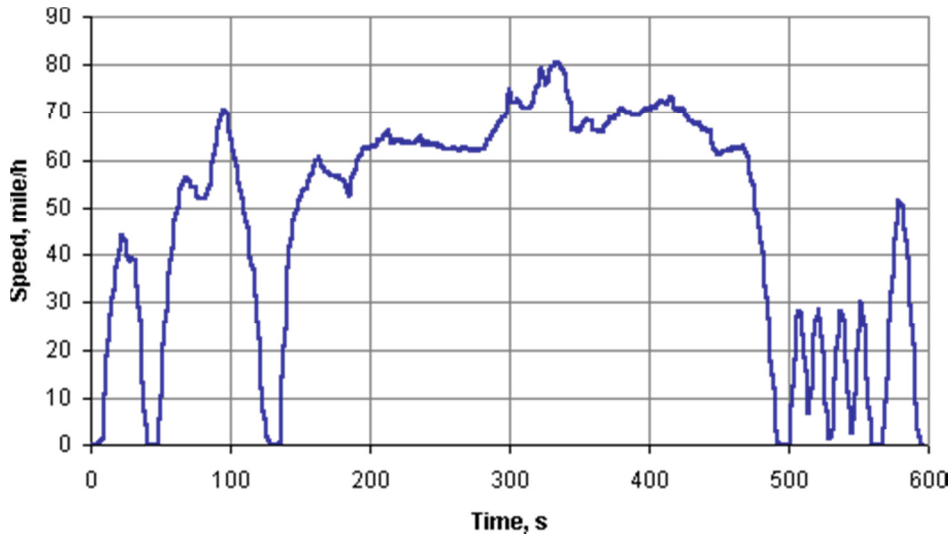
**KUVA 2. FTP City -testaus kaaviona /30/**

Highway-sykli jäljittelee maantieajoa. Moottori on lämmin liikkeelle lähdettäessä ja matkan aikana ei pysähdytä kertaakaan. Näin varmistetaan paras mahdollinen polttoainetaloudellisuus. Ajomatka on 10,26 mailia ja se kestää 765 sekuntia. Keskinopeus on 48,3 mailia tunnissa /27/. Huippunopeus 60 mailia tunnissa /51./ Testi ajetaan kahteen kertaan, joiden välillä taukoa saa olla maksimissaan 17 sekuntia. Viralliset mittaukset suoritetaan jälkimmäisen testin perusteella /27/. Testin aikana ilmastointi ja muut lisälaitteet ovat kytkettyinä pois päältä /51./



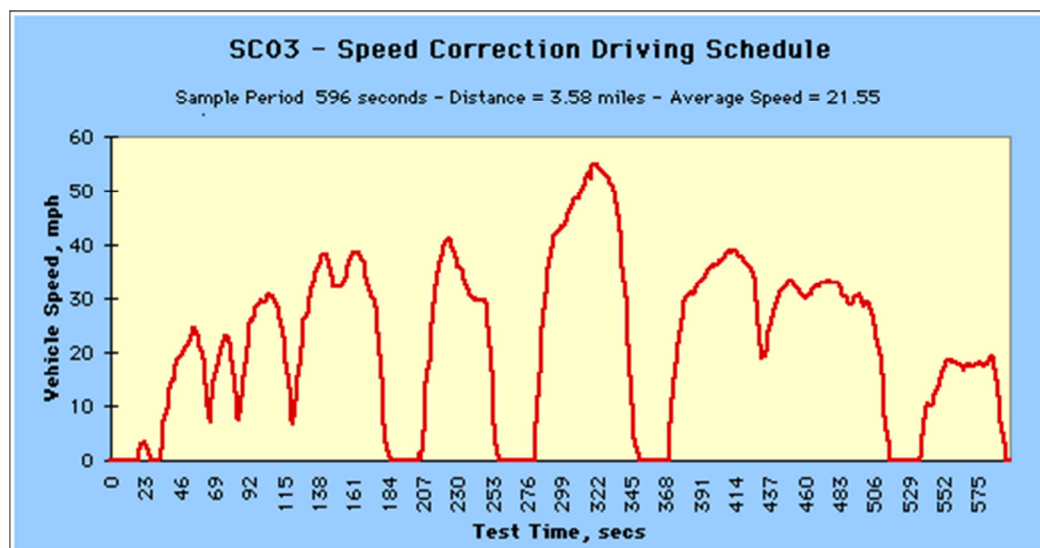
**KUVA 3. FTP Highway -testaus kaaviona /15/**

High Speed –syklissä ajotyylillä on aggressiivinen, kiihdytyksiä ja jarrutuksia on paljon ja huippunopeus kasvaa suureksi. Moottori on lähtötilanteessa lämmin /72/. Ajomatka on 8,01 mailia ja se kestää 596 sekuntia. Keskinopeus on 48,4 mailia tunnissa ja huippunopeus 80,3 mailia tunnissa /26/. Testin aikana ilmastointi ja muut lisälaitteet ovat kytkettyinä pois päältä /51./



**KUVA 4. FTP High Speed -testaus kaaviona /14/**

AC-testaus on ainoa testisykli, jonka aikana ilmastointi on käytössä. Testilaboratorion lämpötila on 35 °C. Moottori on testin alkaessa lämmin. Ajomatka on 3,58 mailia ja se kestää 596 sekuntia. Keskinopeus on 21,55 mailia tunnissa, huippunopeus 54,8 mailia tunnissa. Testin tarkoituksena on simuloida todellisia ajo-olosuhteita ja antaa informaatiota lisälaitteiden vaikutuksista polttoaineen kulutukseen.



**KUVA 5. FTP AC -testaus kaaviona /71./**

Cold-syklissä autoa ajetaan kylmissä olosuhteissa. Testi on muuten täysin sama kuin City-syklissä, mutta laboratorion lämpötila on vain -7 °C /72/.

### 4.3 Tulosten käsittely

Alunperin, kun käytössä olivat vain kaupunki- ja maantiesykli, tulokset yhdistettiin painottaen kaupunkisykliä. Jakaumana käytettiin 55% kaupunkiajoa ja 45% maantieajoa. Yhdistettynä saatiin virallinen FTP-tulos. High Speed- ja AC-sykliä lisätään FTP-tulokseen painottaen niin, että FTP:tä on 35%, High Speediä 28% ja 37% AC:ta /19./ Vielä tällä hetkellä tuloksen täytyy päästä Tier 2:ssa säädettyihin arvoihin.

**TAULUKKO 3. Tier 2 vaaditut päästöarvot (g/km) /19/**

| Bin# | Keskimääräinen ikä (5 vuotta/80 000 km) |      |                 |       |       | Täysi käyttöikä (193 000 km) |      |                   |       |       |
|------|---|------|-----------------|-------|-------|------------------------------|------|-------------------|-------|-------|
|      | NMOG/NMHC*                              | CO   | NO <sub>x</sub> | PM    | HCHO  | NMOG/NMHC*                   | CO   | NO <sub>x</sub> † | PM    | HCHO  |
| 8    | 0,068                                   | 2,11 | 0,087           | 0,012 | 0,009 | 0,078                        | 2,61 | 0,124             | 0,012 | 0,011 |
| 7    | 0,047                                   | 2,11 | 0,087           | 0,012 | 0,009 | 0,056                        | 2,61 | 0,093             | 0,012 | 0,011 |
| 6    | 0,047                                   | 2,11 | 0,050           | 0,006 | 0,009 | 0,056                        | 2,61 | 0,062             | 0,006 | 0,011 |
| 5    | 0,047                                   | 2,11 | 0,031           | 0,006 | 0,009 | 0,056                        | 2,61 | 0,044             | 0,006 | 0,011 |
| 4    | 0,044                                   | 2,61 | 0,025           | 0,006 | 0,007 | 0,044                        | 2,61 | 0,025             | 0,006 | 0,007 |
| 3    | 0,034                                   | 2,61 | 0,019           | 0,006 | 0,007 | 0,034                        | 2,61 | 0,019             | 0,006 | 0,007 |
| 2    | 0,006                                   | 2,61 | 0,012           | 0,006 | 0,002 | 0,006                        | 2,61 | 0,012             | 0,006 | 0,002 |
| 1    | 0,000                                   | 0,00 | 0,000           | 0,000 | 0,000 | 0,000                        | 0,00 | 0,000             | 0,000 | 0,000 |

\* NMOG (non-methane organic gases) bensiinillä, NMHC (non-methane hydrocarbons) dieselillä  
 † valmistajan malliston NO<sub>x</sub> keskiarvostandardi on 0.04 g/km Tier 2 ajoneuvoille

FTP-tuloksen pohjalta laaditaan myös virallinen CAFE-arvo. Autonvalmistajan mallien pohjalta lasketaan CAFE-keskiarvo, jonka on jätävä säädettyjen rajojen yläpuolelle. Rajat ilmoitetaan yksikössä MPG, mailia per gallona, eli mitä suurempi luku on, sitä vähemmän auto kuluttaa polttoainetta. Itse kulutusluku lasketaan malliston eri autojen MPG-lukujen perusteella ja laskemiseen käytetään harmonista keskiarvoa /58, s.17./

$$\frac{\text{Mallien määrä}}{\frac{1}{MPG_1} + \frac{1}{MPG_2} + \dots + \frac{1}{MPG_n}} = MPG_{CAFE} \quad (1)$$

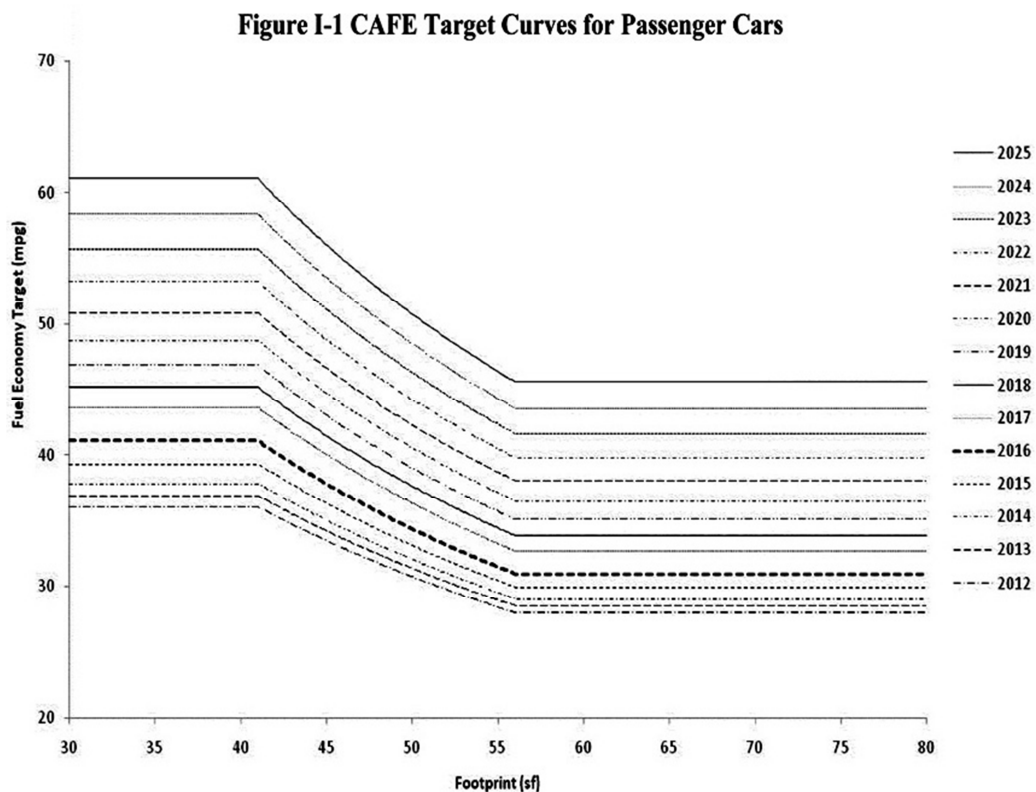
Tämä tarkoittaa sitä, että yksi vähän kuluttava malli ei nosta malliston CAFE-arvoa kovinkaan paljon. Jos mallistossa on vaikkapa viisi autoa joiden MPG-arvot ovat 14, 15, 18, 20 ja 65, saadaan CAFE-arvo laskettua edellisen kaavan avulla

$$\frac{5}{\frac{1}{14} + \frac{1}{15} + \frac{1}{18} + \frac{1}{20} + \frac{1}{65}} = 19,3 \text{ MPG}$$

Jos laskentaan olisi käytetty perinteistä aritmeettistä keskiarvoa, olisi yksi luku vääristänyt lopullista arvoa paljon enemmän.

$$\frac{14 + 15 + 18 + 20 + 65}{5} = 26,4 \text{ MPG}$$

CAFE-arvoille on asetettu myös tiettyjä raja-arvoja, joihin tiettyjen automallien tulisi päästä. Arvot on yritetty tehdä oikeudenmukaisiksi myös isommille ajoneuvoille, kuten avolava-autoille, koska isomman ajoneuvon on vaikeampi saavuttaa pieniä kulutuslukemia. CAFE-taulukkoihin laaditut rajat on laskettu auton pinta-alan mukaan. Autolle lasketaan pinta-ala kertomalla raideväli akselivälillä. Saatu arvo ilmoitetaan neliöjalkoina (sf). Yksi neliöjalka on noin 929 neliösenttiä.



**KUVA 6. CAFE-pinta-alakaavio /58, s.22/**

Isommat ajoneuvot saavat helpostusta päästöarvoihin, mutta vain tiettyyn rajaan asti. Tämä mahdollisuus muunmuassa sen, että esimerkiksi GM pystyy saavuttamaan parempia CAFE-arvoja kuin vaikkapa Suzuki, johtuen pelkästään valmistettujen ajoneuvojen koosta /10/. Mallistolle vaadittu taloudellisuustaso lasketaan melko monimutkaisesta kaavasta

$$\frac{N}{\sum_i \frac{N_i}{T_i}} = \text{Vaadittu taloudellisuustaso} \quad (2)$$

$N$  on valmistajan valmistamien henkilöautojen kokonaismäärä

$N_i$  on valmistajan valmistamien henkilöautojenmallien kokonaismäärä

$T_i$  on mallin taloudellisuustavoite, pyöristettynä lähimpään sataan, saadaan kaavasta

$$T = \frac{1}{\frac{1}{a} + \left(\frac{1}{b} - \frac{1}{c}\right) \frac{e^{(x-c)d}}{1 + e^{(x-c)d}}} \quad (3)$$

$a$  on mallin MPG Highway

$b$  on mallin MPG City

$c$  on mallin pinta-alakorjattu kulutusluku, yksikkö gal/mi/ft<sup>2</sup>

$d$  on mallin kulutusluku, yksikkö gal/mi

Arvot  $a$  ja  $b$  ovat taloudellisuuslukuja, joihin pitäisi pyrkiä. Arvoilla  $c$  ja  $d$  korjataan arvoja erikokoisille autoille sopiviksi. Nämä arvot on annettu eri vuosille EPA:n laatimassa taulukossa, ja niiden perusteella lasketaan arvo  $T$  /58, s.567-568/.

#### 4.4 Testauksen epäkohdat

FTP-syklien mittaukset eivät vastaa kunnolla todellisuutta. Vaikka EPA väittää, että testaaminen laboratoriossa ja poltetun polttoainemäärän laskeminen pakokaasun mukaan on tarkin tapa selvittää todellinen kulutus, se kuitenkin säättää saatuja testituloksia. City-syklin saatuja taloudellisuuslukuja (MPG) lasketaan kymmenellä prosentilla, jotta luku vastaisi enemmän todellisia ajo-olosuhteita. Highway-syklin kohdalla vastaava korjaus on 22 prosenttia /28/. Ensin siis luodaan tarkka normisto päästöjen mittaamiseen, mutta saatuja tuloksia kuitenkin säädetään epämääräisillä korjauskertoimilla.



Alkuperäinen FTP-testaus kehitettiin 1970-luvulla, ja sitä uudistettiin 1980-luvulla lisäämällä korjausprosentit sykleihin. Vuonna 2008 voimaan astunut uudistus lisäsi High Speed -, AC- ja Cold-sykliä, jotka kyllä kertovat todellisempaa tietoa auton päästöistä, ja tuloksia käytetään hyödyksi, kun lasketaan ilmansaastepäästöjä, mutta niillä ei ole vaikutusta virallisiin CAFE-arvoihin, jotka lasketaan edelleenkin pelkkien City- ja Highway-sykliden perusteella. Tämä johtaa siihen, että autonvalmistajilla ei ole halua kehittää esimerkiksi taloudellisempia ilmastointilaitteita. Kehitykseen käytettävillä investoinneilla ei olisi taloudellista hyötyä, koska ilmastointilaitteen energiatehokkuudella ei ole mitään tekemistä sen kanssa, mihin CAFE-arvot valmistajilla lopulta asettuvat /11, s17/.

## **5 EUROOPAN TOIMINTAMALLI**

Euroopassa autojen päästöttestimenettelystä vastaa Euroopan komissio. Alunperin testauksesta säädettiin jo direktiivissä 70/220/EEC. Nykyisestä testaustapahtumasta on säädetty direktiivissä EEC 90/C81/01, joka on vuodelta 1999. Se astui voimaan Euro 3:n aikaan /56, s.49/. Käytännössä vuoden 2000 uudistus vain poisti 40 sekunnin joutokäyntiajan testin alusta /22/.

### **5.1 EURO-päästörajoitukset**

Euroopassa on noudatettu Euroopan Unionin säätämiä direktiivejä. Direktiivi 70/220/EEC astui voimaan vuonna 1970. Siinä annettiin toimintaohjeita autojen päästöjen testaamiseen. Päällimmäisenä tarkoituksena oli hillitä CO- ja HC-päästöjä. Direktiivi toimi perustana kaikille tuleville Euro-normeille, ja sitä muokattiin aina vuoteen 2006 asti, kunnes Euro 5 uudisti koko järjestelmän /40./

Ensimmäinen varsinainen EURO-päästömääräys EURO 1, eli direktiivi 91/461/EEC, astui voimaan vuonna 1991. Se rajoitti tarkemmin autojen päästöjä ja keskittyi pakokaasujen CO- ja HC-päästöjen lisäksi kylmäkäynnistyspäästöihin, kampikammista ja polttoainetankista haihtuviin hiilivetyihin sekä typen oksideihin. Myös hiilidioksidipäästöjä haluttiin vähentää. Direktiivin viidennessä artiklassa todetaan ”Neuvosto päättää määränemmistöllä komission ehdotuksesta, jossa otetaan

huomioon kasvihuoneilmiötä koskevan tutkimustyön tulokset, toimenpiteistä moottoriajoneuvojen CO<sub>2</sub>-päästöjen rajoittamiseksi.” Osasyynä direktiivin uudistamiseen olivat myös dieselmoottorien kehitys ja katalysaattorien yleistyminen /41./

Euro 2 (direktiivit 94/12/EC ja 96/71/EC) ei tuonut mittavia uudistuksia, vain päästöjen lukuarvoja tiukennettiin. Euro 2 –rajoitukset astuivat voimaan vuonna 1996 /42, 41./

Euro 3 (direktiivi 98/71/EC) astui voimaan vuonna 2000. Euro 3 tavoitteli OBD-järjestelmien kehittämistä ja yhtenäistämistä dieselajoneuvoihin. Päästörajoituksia tiukennettiin entisestään ja testauksessa luotettiin yhä enemmän auton oman tietokoneen antamiin tietoihin /44/.

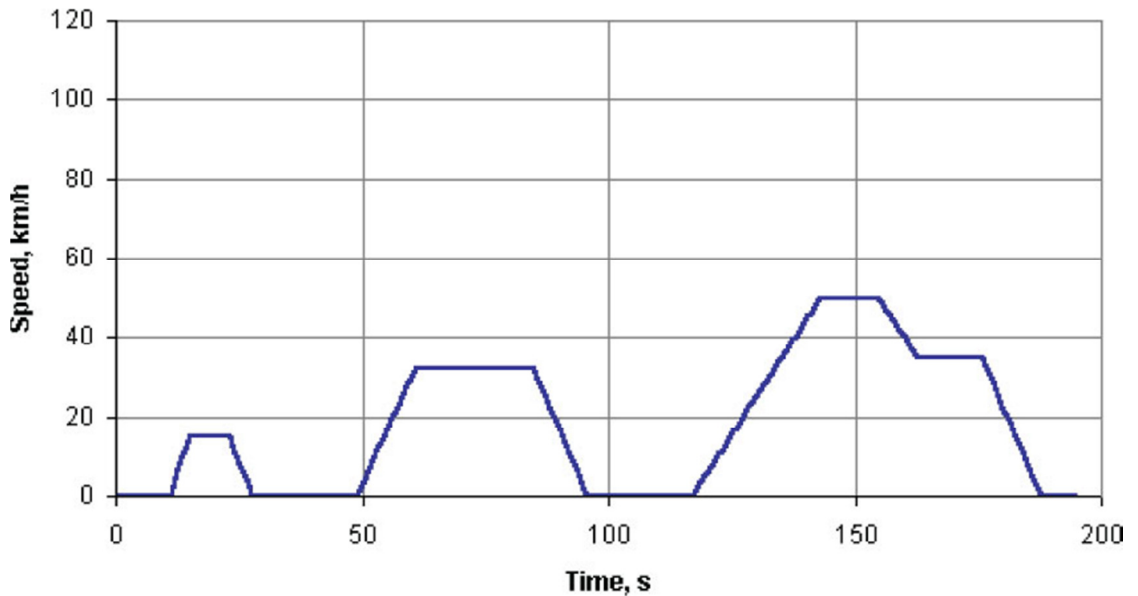
Euro 4 (direktiivit 98/71/EC ja 2002/80/EC) oli päivitetty versio Euro 3:sta. Tietotekniikan voimakas lisääntyminen autokannassa oli pääsyy normien päivitykseen. Lisäksi säädettiin kahdella polttoaineella toimivista ajoneuvoista, kuten kaasuautoista. Euro 4 astui voimaan vuonna 2005 /45/.

Euro 5 (direktiivi 715/2007/EC) astui voimaan vaiheittain vuosina 2007-2009 ja se oli yksi suurimmista uudistuksista henkilöautojen päästömääräyksiin. Siinä kumottiin käytännössä kaikki edelliset säännökset ja luotiin uudet puitteet päästömittauksille ja määräyksille /36/. Samalla valmisteltiin Euro 6, joka astuu voimaan vuonna 2014. Bensiinimoottorien osalta Euro 6 tiukentaa ainoastaan uusien myytävien autojen hiilidioksidipäästörajoja, dieselillä lasketaan myös typen oksidien ja partikkelien päästörajoja /37/.

## **5.2 Testaustapahtuma NEDC**

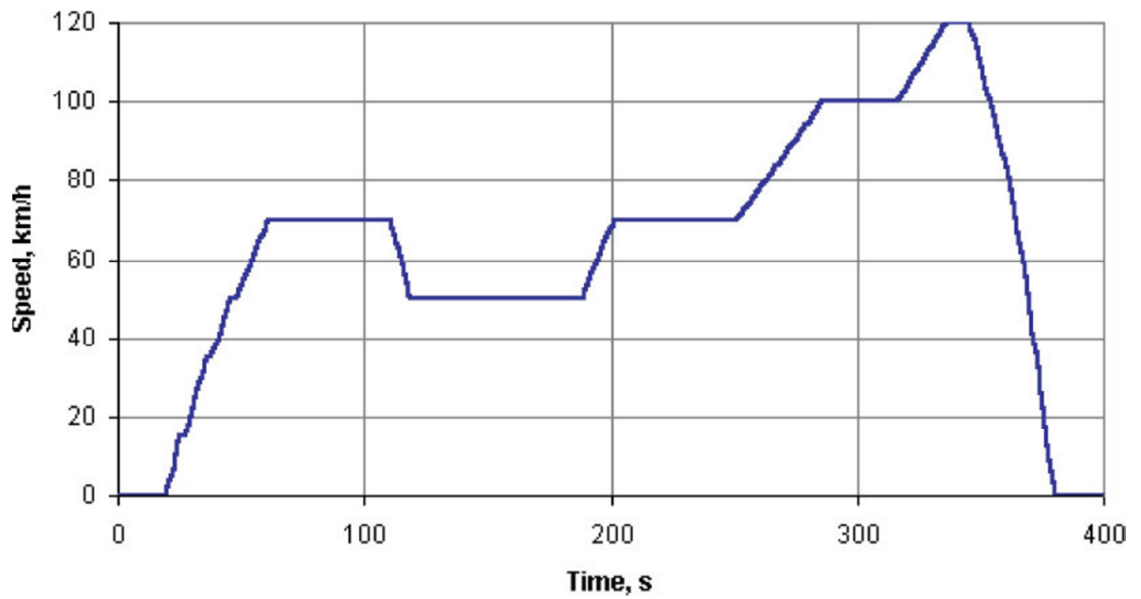
Euroopassa testaukseen käytetään uutta eurooppalaista ajosykliä NEDC:tä (New European Driving Cycle). NEDC koostuu kolmesta osasta, joista kaksi ovat toistensa kanssa vaihtoehtoisia. Pääkohtina ovat kaupunki-, ja maantiesykli. Kaupunkisykli, ECE 15, toistetaan neljä kertaa. Maantiesykli EUDC ajetaan kerran ja se lisätään testituloksissa neljän ECE 15 syklin perään, jolloin saadaan valmis NEDC-testaus.

EUDC:n tilalla voidaan käyttää myös vaihtoehtoista sykliä, joka on tarkoitettu pienitehoisille ajoneuvoille /22/. Tehoraja pienitehoiselle ajoneuvolle on 20kW per tonni /63, s.3./ ECE 15 syklissä kokonaismatka on 994,6 metriä ja kokonaisaika 195 sekuntia. Keskinopeus on 18,4 km/h ja huippunopeus 50,07 km/h. Testin aikana pysähdytään neljä kertaa /7, s.27/.



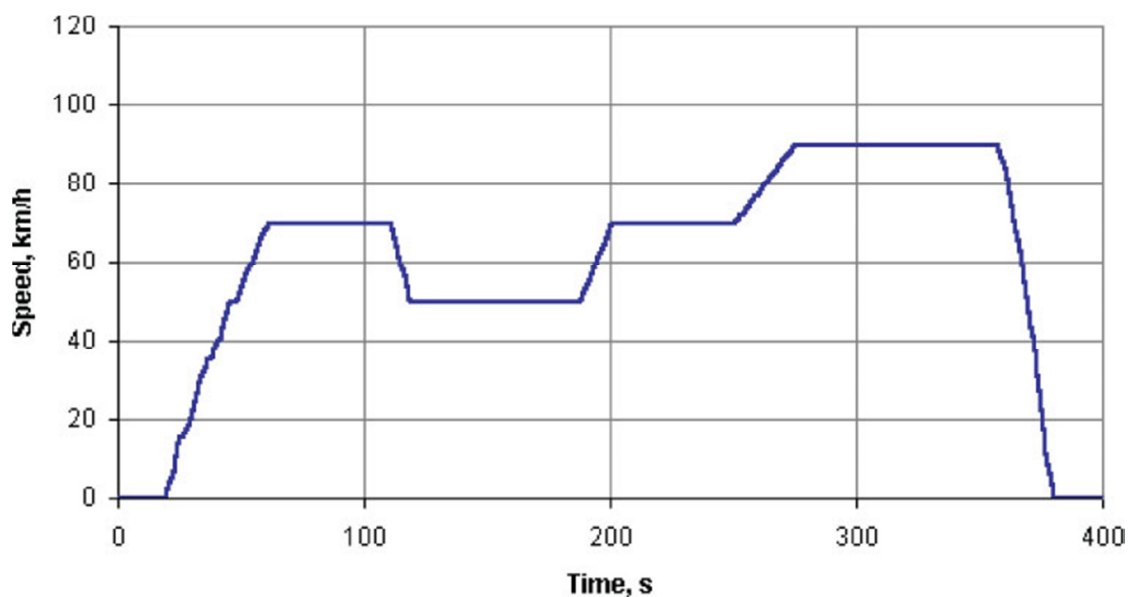
**KUVA 7. NEDC ECE 15 -testaus kaaviona /66/**

EUDC-syklissä on tarkoitus testata aggressiivisemmän ajotavan ja korkeampien nopeuksien vaikutusta päästöihin. Huippunopeus nousee 120 kilometriin tunnissa. Kokonaismatka on 6955,07 metriä ja ajo kestää 400 sekuntia. Keskinopeuskin nousee 62,6 kilometriin tunnissa /7, s.28/.



**KUVA 8. NEDC EUDC-testaus kaaviona /67/**

EUDC-sykli pienitehoisille ajoneuvoille on suurilta osin samanlainen perinteisen EUDC-syklin kanssa, mutta huippunopeus jää 90 kilometriin tunnissa. Ajoaika on sama, mutta pienemmästä nopeudesta johtuen matka jää lyhyemmäksi. Ajomatka on 6609,3 metriä ja keskinopeus 59,5 km/h /7, s.29/.



**KUVA 9. NEDC EUDC Low Power -testaus kaaviona /68/**

### 5.3 Tulosten käsittely

Normaalisti NEDC-testauksessa tulos perustuu neljään kertaan ajettuun kaupunkisykliin ja kerran ajettuun maantiesykliin. Näiden tulosten pohjalta saadaan yhteistulos, jossa kaupunkiajoa on noin neljä kilometriä ja maantieajoa noin seitsemän kilometriä. Tuloksia ei enää erikseen painoteta. Saatujen lukemien täytyy päästä Euro 5:ssä säädettyihin tavoitteisiin /22/.

**TAULUKKO 4. EURO 5 ja 6 vaaditut päästöarvot /23/**

| Taso   | Voimaan-<br>astumispäivä-<br>määrä | CO   | HC                | HC+NO <sub>x</sub> | NO <sub>x</sub> | PM <sup>a</sup>    | PN <sup>b</sup>      |
|--|------------------------------------|------|-------------------|--------------------|-----------------|--------------------|----------------------|
|  |                                    | g/km |                   |                    |                 | ppm                | #/km                 |
| <b>Diesel</b>  |                                    |      |                   |                    |                 |                    |                      |
| Euro 5   | 01/2013                            | 0.50 | -                 | 0.23               | 0.18            | 5.0                | 6.0×10 <sup>11</sup> |
| Euro 6   | 2014                               | 0.50 | -                 | 0.17               | 0.08            | 5.5                | 6.0×10 <sup>11</sup> |
| <b>Bensiini</b>  |                                    |      |                   |                    |                 |                    |                      |
| Euro 5 & 6   | 09/2009                            | 1.0  | 0.10 <sup>c</sup> | -                  | 0.06            | 0.005 <sup>d</sup> | -                    |
| a. partikkeli, massa<br>b. partikkeli, lukumäärä<br>c. ja NMHC = 0.068 g/km<br>d. vain suorasuihkutteisille moottoreille |                                    |      |                   |                    |                 |                    |                      |

## 6 AUTOVALMISTAJIEN PANOSTUKSET JA RAJOITUSTEN TOIMIVUUS

Autonvalmistajat ovat joutuneet panostamaan yhä enemmän resursseja autojensa ympäristöystävällisyyden parantamiseen. Vaikka säädettyistä tavoitteista on välillä jääty jälkeen, on autonvalmistajilla ollut halua vähentää pakokaasujen haittoja jopa vapaaehtoisesti. Autojen puhtaudesta on tullut myös vahva markkinointikeino uusille autoille ja valmistajat kilpailevat jatkuvasti keskenään varsinkin kulutuslukemissa.

Nopea kehitys ja jatkuva kova kilpailu ovat johtaneet myös ongelmiin. Autoja hiotaan yhä enemmän laboratoriotestejä varten ja käytännön kulutuslukemat jäävät yhä kauemmaksi ilmoitetuista. Päästö- ja kasvihuonekaasurajoitukset ovat myös asettaneet eri autonvalmistajat keskenään epäreiluun asemaan. Etenkin Saksassa autonvalmistajat ovat joutuneet ponnistelemaan toden teolla päästäkseen samalle tasolle vaikkapa ranskalaisten autonvalmistajien kanssa. Saksassa autot ovat verrattain

isompia, tehokkaampia ja paremmin varusteltuja kuin ranskalaiset kilpailijansa. Suurempi otsapinta-ala, massa ja teho vaikeuttavat kulutuslukemien pienentämistä. Tämän takia jopa monet superautovalmistajat, kuten Aston Martin, ovat joutuneet ottamaan mallistoonsa pikkuautoja vain painaakseen automalliston hiilidioksidikeskiarvoa alaspäin.

### **6.1 Vapaaehtoiset päästörajoitukset**

Vuonna 1998 Euroopan autovalmistajien yhdistys ACEA (Association des Constructeurs Européens d'Automobiles) sopi vapaaehtoisten hiilidioksidipäästörajojen laatimisesta. Tavoitteena oli vähentää päästöjä 25 prosentilla vuoteen 2008 mennessä vuoden 1995 päästötasoon verrattuna, eli 186 grammasta 140 grammaan kilometrillä. Saman sopimuksen piiriin kuuluviat myös Japanin autonvalmistajien yhdistys JAMA ja Korean autovalmistajien yhdistys KAMA, mutta ne asettivat tavoitevuodeksi vuoden 2009. Välitavoitteeksi ACEA asetti 165-170 grammaa vuoteen 2003 mennessä. ACEA:n hiilidioksidipäästöt bensiinimoottoreilla vuonna 2003 olivat 171 g/km ja dieselmoottoreilla 154 g/km, eli keskimäärin 163 g/km, joten asettuihin tavoitteisiin päästiin /17/.

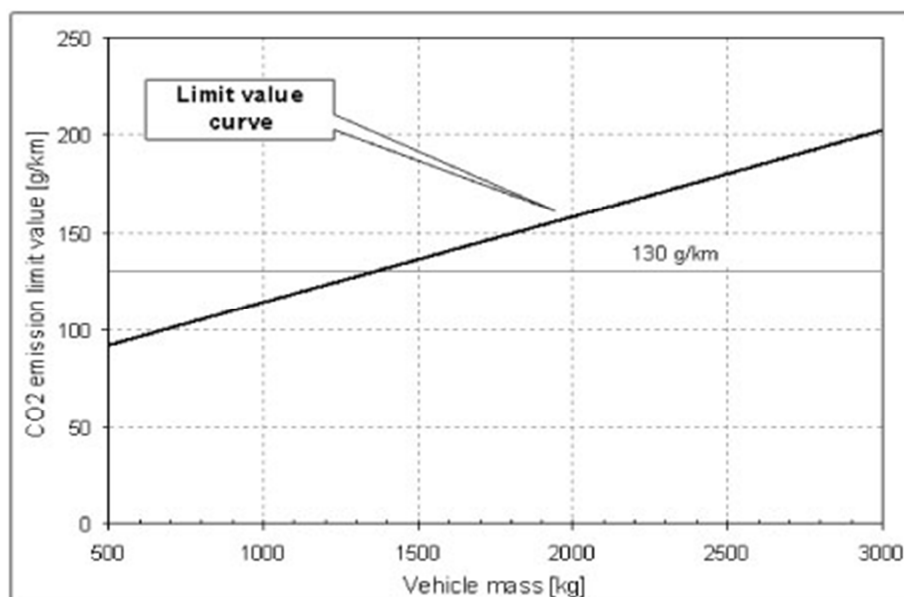
ACEA onnistui vähentämään päästöjä koko 2000-luvun ajan, mutta liian hitaasti. Vuonna 2008, jolloin tavoite oli 140 g/km, oli keskipäästölukema vielä 152 g/km /17/. Vain kaksi ACEAan kuuluvaa autovalmistajaa, Fiat ja Peugeot, ylsivät annettuihin rajoitteisiin, päästöarvoilla 133,7 g/km ja 138,1 g/km. Fiatin ja Peugeotin onnistuminen on ymmärrettävää, sillä ne valmistajat pääosin pieniä autoja, joten malliston hiilidioksidikeskiarvon laskeminen on suhteessa helpompaa kuin esimerkiksi saksalaisilla autovalmistajilla, jotka valmistajat paljon isoja autoa. Vaikka vain kaksi autonvalmistajaa pääsi tavoitteisiin jotka jo lähtökohdiltaan olivat vapaaehtoisia, ei muiltakaan valmistajilta yritystä puuttunut. Citroën ja Renault pääsivät aivan 140 g/km tuntumaan ja BWM vähensi päästölukemia vuoden 2007 luvusta 176,7 g/km arvoon 160,6 g/km, eli 16,1 g/km, mikä on yli yhdeksän prosentin pudotus yhden vuoden aikana /55/.

Vuoden 2008 jälkeen ACEA sitoutui muiden autonvalmistajien tapaan EU:n säättämiin pakollisiin päästörajoituksiin, joten ACEA suunnittelemaa jatkorajoituksia ei koskaan otettu käyttöön /17./

## 6.2 Säädetty rajoitukset ja sanktiot

EU:n alueella nykyisistä CO<sub>2</sub>-päästöihin ja kulutukseen liittyvistä rajoituksista on säädetty EU:n parlamentin ja komission toimesta. Kun ACEA alkoi jäädä vapaaehtoisista tavoitteistaan vuonna 2004, alkoi Euroopan komissio suunnitella pakollisia rajoituksia, jotka astuivat voimaan huhtikuussa 2009. Niihin siirrytään vaiheittain vuoteen 2015 mennessä. Toinen, pitkäaikainen tavoite on 95g/km vuoteen 2020 mennessä /16/.

Vuoteen 2015 mennessä päästöraja laskee 130g/km. Vaihteittaisuus toteutetaan niin, että 75% autoista täyttää ehdon, jonka mukaan vuonna 2013 EU:n alueella rekisteröityjen autojen keskimääräiset päästöt jäävät alle 130g/km. Prosenttiosuus oli 65 vuonna 2012 ja se nousee 80% vuonna 2014 ja 100% vuonna 2015. Keskimääräiset päästöt tarkoittavat sitä, että valmistajan malliston on saavutettava tietty päästökeskiarvo. Keskiarvoa varten on suunnitelma raja-arvokäyrä ja laskentakaava, joiden mukaan autonvalmistajien tulisi mallistonsa suunnitella. Käyrän pääasiallisena tarkoituksena on ottaa huomioon ajoneuvon paino päästöjä verrattaessa /16/.



KUVA 10. Raja-arvokäyrä, Limit Value Curve /65/

Käyrän laskentakaava on seuraava

$$CO2_{sal} = 130 + a * (M - M0) \quad (4)$$

jossa M on valmistajan ajoneuvojen massakeskiarvo kiloina, M0 on vakio 1289,0 kg ja a vakio 0,0457. Tämä tarkoittaa sitä, että mitä painavampia autoja valmistaja tekee, sitä enemmän autot saavat päästää hiilidioksidia, eli valmistaja saa lisägrammoja 130 g/km päälle /39/.

Mikäli autonvalmistaja ei pääse säädettyihin päästötavoitteisiin, se joutuu maksamaan sakkoa, joka määräytyy g/km -luvun perusteella. Sakko lasketaan siten, että valmistajan keskiarvonauton päästöluvusta vähennetään sallittu raja ja saatu luku kerrotaan valmistajan myymien ajoneuvojen lukumäärällä. Tämä luku kerrotaan vielä sakkosummalla, joka on suunniteltu nousevan vaiheittain vuoteen 2015 asti. Vuonna 2012 summa oli 20 euroa, vuonna 2013 summa on 35 euroa, 2014 60 euroa ja 95 euroa vuonna 2015 ja sen jälkeen /69/.

Sakko lasketaan siis kaavasta

$$€ = (CO2_{tod} - CO2_{sal}) * A_L * S \quad (5)$$

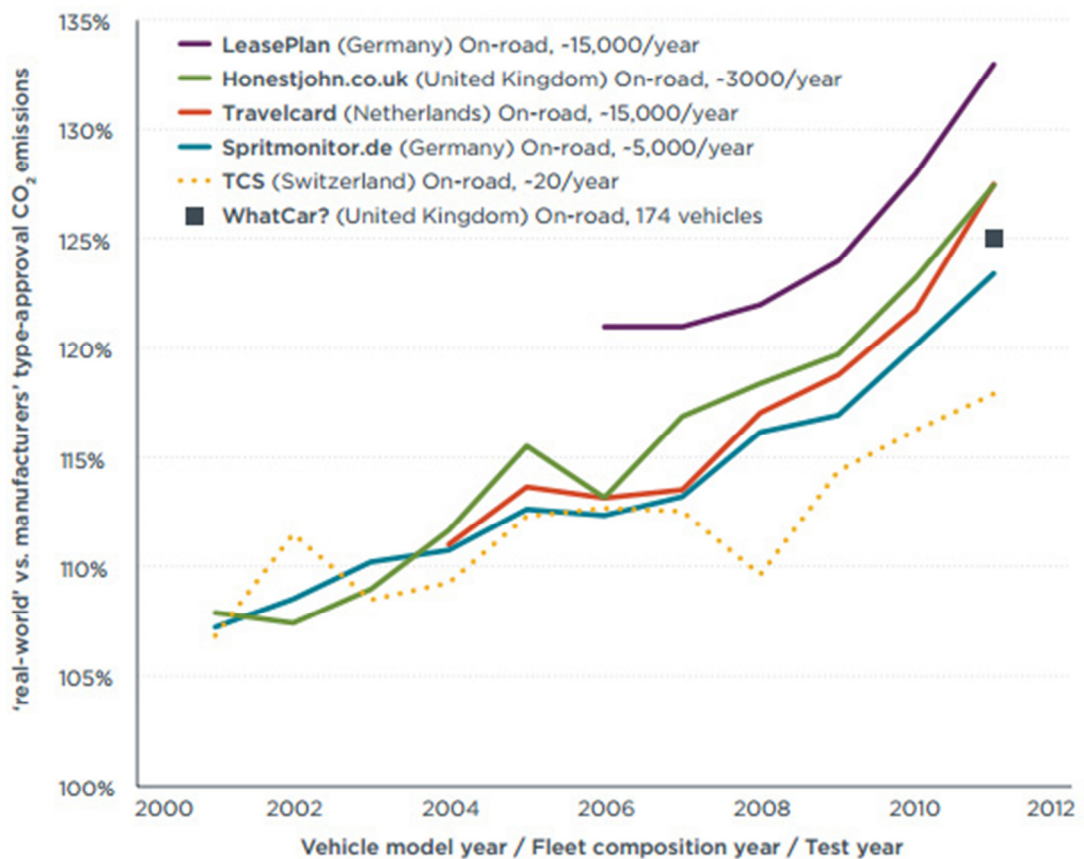
jossa CO2<sub>sal</sub> on valmistajan sallittu päästöarvo, CO2<sub>tod</sub> on valmistajan todellinen päästöarvo, A<sub>L</sub> on valmistettujen autojen lukumäärä ja S on sakkosumma.

Yhdysvalloissa valmistajien on päästävä säädettyihin CAFE-keskiarvoihin. Mikäli raja alittuu, joutuu autonvalmistaja maksamaan sakkoa. Nykyisessä lainsäädännössä sakko on 5,5 dollaria jokaisesta rajan alittavasta 0,1 MPG:sta kerrottuna valmistajan kokonaistuotannossa Yhdysvaltain markkinoille. Vuosina 1983-2004 näitä sakkoja on maksettu 618 miljoonaa dollaria. Eurooppalaiset autonvalmistajat ovat maksaneet 1-27 miljoonaa dollaria vuodessa, mutta yhdysvaltalaiset tai japanilaiset eivät ole niitä joutuneet ikinä maksamaan /24/.



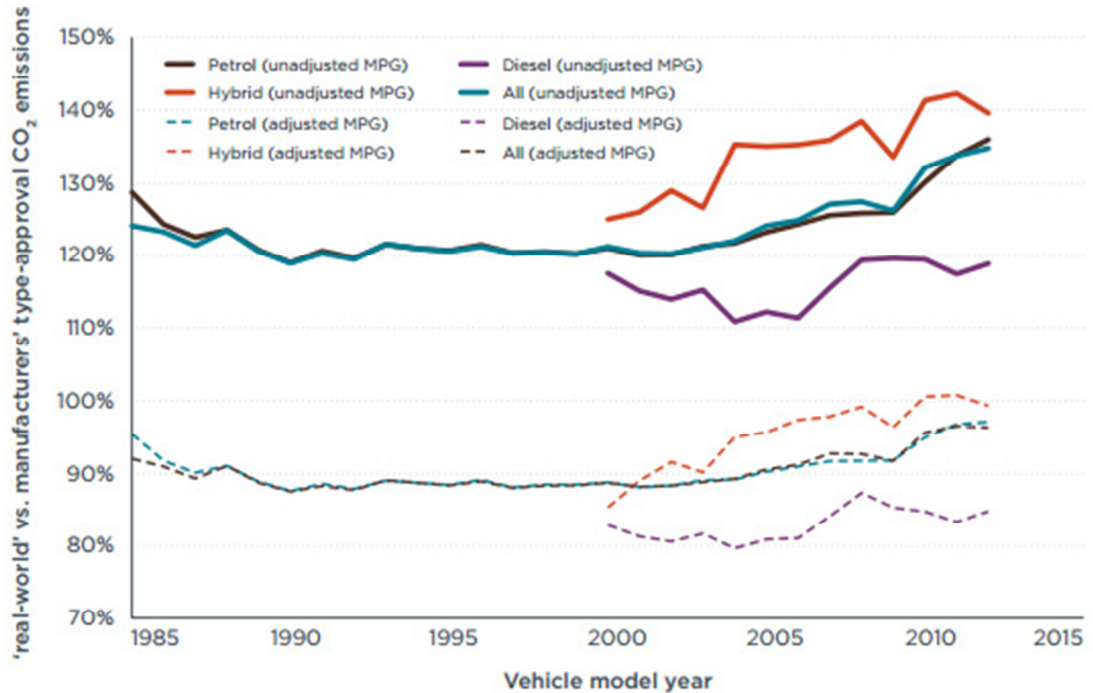
### 6.3 Ilmoitettujen päästölukemien virheellisyys

Autojen viralliset päästöarvot ovat laskeneet tasaisesti vuodesta toiseen, mutta usein törmätään tilanteeseen, jossa näihin lukemiin ei päästä mitenkään normaalissa ajossa. Eri puolella Eurooppaa erinäiset lähteet keräsivät tietoa suoraan käyttäjiltä ja sitä verrattiin autonvalmistajien ilmoituksiin. Vielä kymmenen vuotta sitten ero todellisten ja testattujen arvojen välillä oli noin 10 prosenttia, kun nykyään se on jo 25 prosentin tietämällä /57/.



**KUVA 11. Kulusero Euroopassa /5, s.50/**

Yhdysvalloissa tilanne on jotakuinkin samalla tasolla. Siellä tietoa käyttäjiltä keräävät yhdessä DOE (United States Department of Energy) ja EPA My MPG –ohjelmassa, jonka avulla tavalliset autoilijat voivat kertoa ajokokemuksiaan netissä. Näiden tietojen pohjalta luotiin tilastoja, joissa vertailtiin todellisia ja ilmoitettuja kulutuslukemia /5, s.60/.



**KUVA 12. Kulusero Yhdysvalloissa /5, s.62/**

Yhdysvaltain mallissa lukemat asettuvat samoihin arvoihin kuin Euroopassa, mutta EPA:n antamat korjauskertoimet on liitetty omana osana taulukkoon. Nämä korjauskertoimet näyttävät asettuvan melko lähelle valmistajien ilmoittamia arvoja. Euroopassa ei vastaavia korjauskertoimia ole käytössä, osasyynä tiukka autoverojärjestelmä, jossa päästölukujen korjaaminen ylöspäin nostaisi uusien autojen hintoja kohtuuttomasti.

#### 6.4 Päästöjen ainesosat

Hiilimonoksidi, CO, eli häkä on näkymätön ja hajuton kaasu, jota muodostuu polttoaineen epätäydellisen palamisen seurauksena. Hiilimonoksidi on erittäin myrkyllistä ja jopa hengenvaarallista. Sitä syntyy polttomoottoreissa yleisesti, mutta suurin osa saadaan poistettua kalysaattoreissa. Hiilimonoksidi myös reagoi nopeasti hapen kanssa, mikäli sitä on saatavilla, eli hiilimonoksidi ei säily kauaa ilmakehässä sellaisenaan.

Hiilivedyt, HC, syntyvät polttoaineen epätäydellisen palamisen seurauksena tai haihtumalla. Palamattomista hiilivedyistä suurin osa saadaan poltettua loppuun katalysaattorissa, mutta polttoainesäiliöstä ja kampikammioista haihtuneet hiilivedyt

täytyy kerätä talteen. Yleensä tähän käytetään aktiivihiilisuodatinta ja huohotinta, joilla haihtuvat kaasut ohjataan moottorin imusarjaan, mistä ne saadaan hyötykäyttöön. Hiilivedyt yhdistyvät ilmakehässä typen oksidien kanssa, joilloin syntyy pahaa otsonia, jolla on pahoja terveysvaikutuksia.

Typen oksidit,  $\text{NO}_x$ , syntyvät, kun polttoaine palaa korkeassa lämpötilassa, jolloin ilmassa oleva typi alkaa reagoida hapen kanssa. Tämä on ongelma varsinkin dieselmoottorissa, jossa palolämpötila on korkea. Hiukkasloukut ja kolmitiekatalysaattorit poistavat suurimman osan typen oksideista, mutta niiden syntymistä pyritään estämään jo palovaiheessa palolämpötilaa alentamalla, käytännössä kierrättämällä pakokaasua takaisin sylinteriin EGR-venttiilin avulla. Typen oksideja voidaan puhdistaa jälkikäteen myös urean avulla. Urea [ $\text{OC}(\text{NH}_2)_2$ ] hajoaa pakokaasun lämmössä ammoniakiksi ja hiilidioksidiksi, joiden reagoidessa typen oksidien kanssa syntyy lopputuotteena typpeä, vettä ja hiilidioksidia.

Lyijy ja rikki, Pb ja  $\text{SO}_x$ , olivat ongelmana historiassa johtuen polttoaineesta. Polttoaine sisältää aina hieman rikkiä, mutta nykyisillä erottelukeinoilla se on saatu käytännössä kokonaan poistettua. Tetraetyylilyijyä taas lisättiin polttoaineeseen nakutuksenestoaineeksi. Lyijy ei hajoa palamisprosessissa, ja se jää ilmakehään sellaisenaan. Suuri määrä voi aiheuttaa lyijymyrkytyksen. Lyijyn käyttäminen bensiinin lisäaineena kiellettiin Yhdysvalloissa vuonna 1995, Kaliforniassa jo 1992. EU:n alueella lyijy saatiin kiellettyä täysin autokäytössä vasta vuonna 2004 /75/.

## **7 UUSI MAAILMANLAAJUINEN TESTAUSSTANDARDI WLTP**

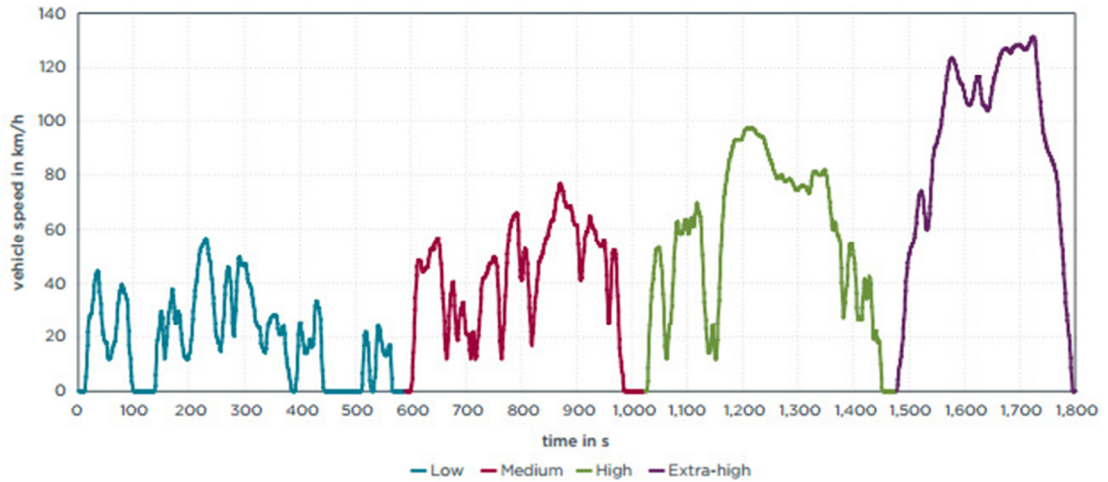
YK:n Euroopan talouskomissio UNECE (United Nations Economic Commission for Europe) on kehittänyt uutta päästöjen testaamiseen tarkoitettua standartoitua järjestelmää, jolla saataisiin kaikkien autonvalmistajien ajoneuvot keskenään vertailukelpoisiksi, valmistusmaasta riippumatta. Komissioon kuuluu 56 jäsenvaltiota, joihin kuuluu Euroopan maiden lisäksi mm. Yhdysvallat ja Kanada /64/. Uuden järjestelmän nimi on WLTP, Worldwide Harmonized Light Vehicles Test Procedure, eli maailmanlaajuinen harmonisoitu kevyiden ajoneuvojen testausmenettely /21./

Testausjärjestelmää laadittaessa käytettiin hyväksi eri puolilta maailmaa kerättyjä ajo-, tieverkko- ja ajo-olosuhdetietoja. Euroopan unioni, Sveitsi, Yhdysvallat, Intia, Korea ja Japani toimittivat yhteensä 765 000 kilometrin aikana kerätty ajodataa hyvin erilaisissa olosuhteissa erilaisilla ajoneuvoilla. Näiden tietojen pohjalta ryhdyttiin kehittämään uutta, taloudellista, käytännöllistä ja helposti jäljiteltävää testausjärjestelmää. Jäsjestelmään kuuluvat uudet mittauslaitteistot, joiden virhetoleranssit ovat pienempiä ja kalibrointijärjestelmät tarkempia kuin ennen ja ottavat paremmin huomioon myös typen oksidit. Lisäksi järjestelmä ottaa paremmin huomioon todelliset ajo-olosuhteet, kuten tiepinnan vaikutuksen, aerodynamiikan, ajoneuvon massan ja jopa akun varaustilan. Lisäksi on kehitetty uusia laskentakaavoja, joilla voidaan korjata testituloksia paikallisen tieverkon ja sääolojen mukaan. Laboratoriotestauksessa käyttölämpötila on tasan 23 °C, kun se aiemmin oli jotain 20 ja 30 välillä. Myös testirenkaiden kriteerejä on tarkennettu /52/.

Uudistus antaa myös toimintatapoja hybridi- ja sähköautojen testaukseen. Nämä testaukset eroavat normaalien polttomoottoriautojen testauksesta ja niissä mitataan mm. toimintasädetä, energiankulutusta, päästöjä pelkällä sähköllä sekä akkujen purkautuessa ja latautuessa /52/.

WLTP jakaa testattavat ajoneuvot kolmeen luokkaan teho-massa –suhteen, PMR:n (power-to-mass ratio), avulla. Luokkaan yksi kuuluvat ajoneuvot, joiden PMR on pienempi kuin 22 wattia per kilogramma. Luokkaan kaksi kuuluvat ajoneuvot välillä 22-34 W/kg ja luokkaan kolme, eli yleisimpään luokkaan ne ajoneuvot, joilla PMR ylittää 34 W/kg /52/.

Luokat rakentuvat neljästä nopeussyklistä, jotka ovat hidas, keskinopea, nopea ja erittäin nopea. Luokka yksi sisältää vain hitaan ja keskinopea syklin, ja huippunopeus on 70 km/h. Luokka kaksi sisältää syklit hidas, keskinopea ja nopea, ja siinä huippunopeus on 90 km/h. Kolmas luokka sisältää kaikki neljä sykliä ja huippunopeus on 135km/h. Kokonaisuudessaan neljän syklin testaustapahtuma kestää 1800 sekuntia /52/.



**KUVA 13. WLTP testausykli /21/**

Vaikka testausjärjestelmää kehitetään maailmanlaajuisesti, ovat monet maat jo sanoutuneet siitä irti. Hankalinta WLTP:n toimimisen kannalta on se, että vaikka EU ja Japani ovat ottamassa sitä käyttöön heti sen valmistuessa, on Yhdysvallat sanoutunut siitä irti jo alkuvaiheessa. Yhdysvallat kuitenkin seuraa järjestelmän kehitystä, mutta ei ole antanut mitään viitteitä sen käyttöönotosta /52/.

WLTP on lähes valmis, ja siitä on annettu alustava ehdotus 14. marraskuuta 2013. Ehdotus on tarkoitus käsitellä Euroopan talouskomission foorumissa, joka käsittelee ajoneuvojen säädöksiä. Foorumi WP.29 käsittelee asiaa maaliskuussa 2014, ja mikäli se hyväksyy ehdotuksen, WLTP on valmis ja jäsenmaat voivat ottaa sen käyttöönsä. Vaikka järjestelmä on käytännössä valmis, on siinä vielä joitakin aukkoa, joiden takia monet maat ovat olleet skeptisiä sen toimivuuden suhteen. Kaikkien mielestä paikallisten sääolojen vaikutusta ei ole vielä huomioitu tarpeeksi. Myös tuulitunnelijärjestelmää pitäisi kehittää, jotta aerodynaamiset vaikutukset saataisiin paremmin huomioitua. Päästöttestaukseen pitäisi myös kehittää parempia mittaustapoja, joilla saataisiin mitattua ammoniakki-, etanoli- ja aldehydipäästöjä. Vaikka testausjärjestelmää hybridi- ja sähköautoille on parannettu huomattavasti, on siinä yhä ongelmia, jotka koskevat hyötysuhteen määrittämistä, laskentatapoja ja todellisten päästöjen laskemista /21/.

## 8 MANNERTERVÄLISET EROAVAISUUDET

Eri mantereiden vertaaminen osoittautui yllättävän hankalaksi. Yhdysvaltojen ja Euroopan päästörajojen vertailu ei olekaan niin yksioikoista kuin voisi ymmärtää. Eri mantereilla mittaustavat eroavat toisistaan niin paljon, että jossain tapauksissa lukuarvojen vertailu on jopa mahdotonta. Vaikka yksikkömuunnosten jälkeen saisi aikaan jonkinlaisia järkeviä lukuja, eivät ne välttämättä kerro ollenkaan samasta asiasta.

Suurimman eroavaisuuden mannerten välille aiheuttaa mittajärjestelmien poikkeavuus. Yhdysvalloissa ei käytetään yleismaailmallista SI-järjestelmää, joten päästö- ja kulutuslukemia tarkastellessa tulee vastaan mitä erikoisempia yksiköitä. Polttoaineenkulutus ilmoitetaan muodossa mailia per gallona (MPG). Yksi maili on ~1,609 kilometriä. Yksi US gallona on ~3,785 litraa. Jotta MPG saadaan muotoon litraa per sata kilometria, tarvitaan mielenkiintoinen laskukaava

$$\frac{100}{\frac{1,609 * MPG}{3,785}} = \frac{l}{100km} \quad (6)$$

Sen lisäksi, että se aiheuttaa SI-järjestelmän käyttäjälle päänvaivaa monen yksikkömuunnoksen kanssa, on MPG:ssä perustavanlaatuinen ongelma. Se ei kulje lineaarisesti l/100km –yksikköön verrattuna. Jos l/100km –arvoa parannetaan kolmella yksiköllä 12 litrasta 9 litraan ja siitä edelleen kolmella yksiköllä 6 litraan, on molemmilla kerroilla saatu polttoaineenkulutusta laskettua saman verran, kolmella litralla. MPG käyttäytyy eri tavalla. Kun polttoaineenkulutusta parannetaan, mennään suurempaan lukuun. 12 l/100km on noin 19,6 MPG. Kun lukemaa parannetaan kolmella yksiköllä, saadaan 22,6 MPG ja toisen parannuksen jälkeen 25,6 MPG. Ensimmäisessä parannuksessa kulutuslukemasta putosi 1,6 litraa, mutta toisessa vain 1,2 litraa. Tämä aiheuttaa sekaannusta kun kulutuslukemia vertaillaan. Kun Euroopassa kulutuslukemat pienenevät aina vain hitaammin, Yhdysvalloissa tahti näyttää pysyvän lineaarisena, koska se ilmoitetaan eri yksikössä.

## 8.1 Autokanta

Mielenkiintoisin eroavaisuus Yhdysvaltojen ja Euroopan päästörajojen välillä on se, että Yhdysvalloissa kaikki rajoitukset ovat polttoaineneutraaleja. Jotakuinkin samat rajoitukset koskevat siis sekä bensiini-, kaasu-, etanoli- ja dieselmootoreita. Suurimpana syynä tähän lienee autokannan rakenne. Yhdysvalloissa myytävistä uusista henkilöautoista dieseleitä on käytännössä nolla prosenttia, kun Euroopassa dieseleiden suosio ylitti bensiinimootorin jo vuonna 2005 /2, s.8/.

Eroavaisuuksia mannerten välille luovat muutkin seikat, jotka vaikuttavat välillisesti lähinnä polttoaineenkulutukseen ja siten hiilidioksidipäästöihin. Vaikka päästörajoitukset ovat tiukentuneet, moottorien keskimääräinen tilavuus on pysynyt tasaisena ja teholumemat ovat nousseet. Yhdysvalloissa moottorit ovat tilavuudeltaan noin kaksinkertaisia ja yli puolet tehokkaampia kuin Euroopassa. Amerikkalaiset autot ovat myös painavampia. Vuoden 2007 tietojen mukaan auton keskimassa Euroopassa oli 1374kg kun Yhdysvalloissa vastaava luku oli 1865kg. Myös voimansiirrosta löytyy eroja. Euroopassa manuaalivaihteisto on edelleen yleisempi kun Yhdysvalloissa lähes kaikista henkilöautoista löytyy automaattivaihteet /2, s.7/. Vaikka nelivetojen määrä Euroopassa myytävissä ajoneuvoissa on lisääntynyt nopeammin suhteessa Yhdysvaltoihin, on se silti vielä paljon harvinaisempi, alle kymmenen prosenttia, kun Amerikassa vastaava luku on yli 25 prosenttia. /2, s.8/ Osasyynä nelivedon suosion lisääntymiseen ja Yhdysvaltojen nelivetoherruuteen ovat katumaasturien suosion kasvu ja laaja lava-autokanta Yhdysvalloissa.

Auton massan lisääntyminen on pahin vihollinen kulutuksen pienentämisessä, koska on laskettu, että samalla moottorilla varustetun auton kulutus lisääntyy 7 prosenttia jokaista 100 kilon massan lisäystä kohden /2, s.9./ Tämä selittää suuren eron Yhdysvaltojen ja Euroopan autokantojen hiilidioksidipäästöissä. Vuonna 2009 Euroopassa uusien autojen keskiarvo oli jo alle 150g/km, kun Yhdysvalloissa se oli vielä yli 210g/km. Mannertenvälinen ero on kuitenkin supistumassa, ja vuoden 2015 tavoitteet ovat jo 130g/km Euroopassa ja 180g/km Yhdysvalloissa /70/. Yhdysvalloissa isot moottorit, automaattivaihteistot ja nelivetojärjestelmät kuluttavat enemmän polttoainetta ja lisäävät ajoneuvon massaa ja sitä kautta edelleen kulutusta. Yhdysvalloissa päästöjen pienentäminen onkin suhteessa helpompaa, koska monta

”helppoa” kohdetta on vielä jäljellä, toisin kuin Euroopassa, missä ajetaan jo pienemmillä moottoreilla ja manuaalivaihteilla. Täytyy myös muistaa, että kulutuksen vähentämisessä on vuosien varrella edistytty huomattavasti ottaen huomioon, että samalla autojen turvallisuus, luotettavuus, teho, varustelu ja sitä kautta myös paino ovat lisääntyneet.

## 8.2 Ilmansaasteiden rajoitukset

Päästörajoitusten vertaaminen on hankalaa etenkin typen oksidien kohdalla. Uusi, pian voimaan astuva Tier 3 ei ilmoita typen oksideja ollenkaan. Siinä tarkastellaan ainoastaan kohtaa NMOG+NO<sub>x</sub>, joka kertoo typen oksidien ja orgaanisten kaasujen, jotka eivät ole metaania, yhteismäärän. Lisäksi Tierissä on käytössä Bin-luokat, joihin autonvalmistajat sijoittavat ajoneuvojaan. EURO 6 –rajoitukset taas ovat kaikille samat. Tietysti malliston keskiarvo on se arvo, jolla vertailu on järkevintä suorittaa. Tätä keskiarvoa Tier 3:ssa kuvaa Bin 50. Lisää hankaluuksia tuottaa se, että EURO 6 säätää omat rajansa bensiinille ja dieselille, Tier 3 taas on kaikille polttoaineille tasapuolinen. Lisäksi Tier helpottaa päästörajoituksia auton iän mukaan.

EURO 5 ja 6 ovat keskenään samanlaisia ilmansaasteiden osalta. EURO 6 astuu voimaan vuonna 2014 ja Tier 3 mitä luultavammin 2017. Päästörajojen tulevaisuuden kannalta lieneekin järkevintä verrata juuri näitä kahta päästörajoitusta uusien autojen osalta.

**TAULUKKO 5. EURO 6 ja Tier 3 päästörajojen vertailu (g/km) /35, s.39,254; 23/**

| Rajoitus        | CO   | HC  | HCOH  | HC+NO <sub>x</sub> | NMOG/NMHC+NO <sub>x</sub> | NO <sub>x</sub> | PM   |
|-----------------|------|-----|-------|--------------------|---------------------------|-----------------|------|
|                 | g/km |     |       |                    |                           |                 | ppm  |
| Euro 6 Diesel   | 0,50 | -   | -     | 0,17               | -                         | 0,08            | 4,5  |
| Euro 6 Bensiini | 1,00 | 0,1 | -     | -                  | -                         | 0,06            | 5,0* |
| Tier Bin 50     | 1,06 | -   | 0,002 | -                  | 0,031                     | -               | 2,0  |

\* Vain suorasuihkutteiset bensiinimoottorit

Hiilimonoksidi- ja partikkelipäästöjen osalta vertaaminen on helppoa. Partikkelien osalta Yhdysvaltojen sallittu arvo on vain 40% EU:n vastaavasta. Koska Yhdysvalloissa uudet myytävät autot ovat käytännössä kaikki bensiinikäyttöisiä, joten CO-arvon vertailussa Tierin arvoa täytyy verrata EURO:n bensiiniarvoon. Näissä



luvuissa ei merkittävää eroa ole. HC-arvo kuvaa palamattomia hiilivetyjä ja HCOH formaldehydiä.

Dieseleiden osalta Euroopan ja Yhdysvaltojen välillä vertailun voisi luulla olevan mahdollista. Euroopassa HC+NO<sub>x</sub> tarkoittaa hiilivetyjen ja typen oksidien yhteismäärää. Yhdysvalloissa dieseleille ilmoitetaan NMHC+NO<sub>x</sub>, eli epämetaanisten hiilivetyjen ja typen oksidien yhteismäärä. Metaania ei kevyiden henkilöautojen kohdalla lasketa ilmansaasteisiin, mutta se vaikuttaa kasvihuonekaasulukuihin. Muille moottorityypeille, kuten maastodieseleille, merimoottoreille ja rautatieliikenteessä käytettäville moottoreille ilmoitetaan myös kaikkien hiilivetyjen yhteismäärä, mutta jostain syystä se ei ole käytössä autojen päästörajoituksissa. Jos metaani jätetään Yhdysvalloissa huomiotta, mutta EURO-rajoissa se on mukana, ei lukuja kannata ryhtiä vertailemaan.

Vertailun jälkeen voidaan sanoa, että Yhdysvalloissa partikkelirajoitukset ovat paljon tiukemmat ja hiilimonoksidirajat ovat lähestulkoon samat, mutta mitään muuta ei annettujen tietojen perusteella voida päätellä. Tämä on yksi syy siihen, miksi maailmanlaajuista päästöjäentestausjärjestelmä WLTP on alettu kehittää ja miksi sen saaminen maailmanlaajuiseen käyttöön olisi erittäin suositeltavaa.

### **8.3 Testipolttoaine**

Testauksissa käytettävät polttoaineet ovat lähestulkoon samanlaisia. Euroopassa oktaaniluku on hieman korkeampi. Suurimman eron muodostaa kuitenkin etanolin määrä. Kun Euroopan standardipolttoaineessa etanolia saa olla noin viisi tilavuusprosenttia, Yhdysvalloissa vastaava luku on kolmikertainen, noin 15 tilavuusprosenttia. Osittain tästä syystä aromaattisten hiilivetyjen määrä on Yhdysvaltojen testipolttoaineessa. Aromaattisia hiilivetyjä käytetään nakutuksenestoaineena bensiinin seassa. Etanolin korkea oktaaniluku auttaa nakutuksenestossa, jolloin erillisiä lisäaineita ei tarvita niin paljon.

#### 8.4 Kasvihuonekaasun rajoitukset ja sanktiot

Euroopassa autonvalmistajat joutuvat maksamaan sakkoja, jos ne eivät kykene saavuttamaan EU-direktiiveissä säädettyjä hiilidioksidirajoja. Esimerkiksi BMW möi Euroopassa vuonna 2012 noin 800 000 henkilöautoa, eli pääasiassa BMW:tä ja Miniä /1/. Malliston hiilidioksidikeskiarvo oli 140,9 g/km /53./ Malliston massakeskiarvo vuonna 2011 oli 1569 kg. Vaikka 130 g/km ylittyi, ei BMW joutunut maksamaan sakkoa. Pääsyy tähän on massakeskiarvon vaikutus valmistajakohtaisiin päästörajoihin. Vaikka tuokin raja olisi ylittynyt, ei BMW todennäköisesti olisi joutunut maksamaan sanktioita sillä päästörajojen vaiheittaisuus oli käytössä, eli vuonna 2012 vain 65% valmistajan autoista tuli saavuttaa 130 g/km raja /69/.

Seuraavassa lasketaan todellinen päästöraja kaavasta 4, jossa huomioidaan massan tuomat päästöedut. Voidaan olettaa, että valmistajan massakeskiarvo pysyi jotakuinkin samana vuosina 2011 ja 2012.

$$CO2_{sal} = 130 + 0,0457 * (1569 - 1289)$$

$$CO2_{sal} = 142,796$$

Näin ollen BMW pääsi päästötavoitteisiin, vaikka sen malliston keskipäästöt jäivät yli 140 grammaan per kilometri.

Yhdysvalloissa käytössä oleva CAFE-järjestelmä asettelee erikokoiset autot eriarvoiseen asemaan. CAFE-kaaviosta voidaan päätellä, että päästöerot pienien ja suurien ajoneuvojen välillä tulevat tulevaisuudessa vain kasvamaan vuoteen 2025 mennessä. Alle 41 neliöjalan ajoneuvoille rajat ovat lineaarisia, samoin kuin yli 56 neliöjalan ajoneuvoille. 42-55 neliöjalkaa on 3,9-5,1 neliömetriä. Vertailun vuoksi voidaan laskea, että yhden Euroopan suosituimman automallin, Volkswagen Golfin akseliväli on 2,637 metriä ja keskiraideväli 1,535 metriä /78./ Pinta-alaksi saadaan noin 4,0 neliömetriä. Euroopassa Golf luokitellaan alemman keskiluokan autoksi, mutta Yhdysvalloissa sekin saisi jo päästöhelpotuksia suuren kokonsa puolesta. Bentley Mulsannen akseliväli on puolestaan 3,266m ja keskiraideväli 1,634m, joten sen pinta-ala on noin 5,3 neliömetriä /8./ Eurooppalaisella mittapuulla Mulsanne on jo erittäin iso ja harvinainen auto, mutta amerikkalaisessa taulukossa se ylittää ylemmät

siirtymäraajat vain vaivoin. Taulukko ulottuu kuitenkin 80 neliöjalkaan, eli noin 7,4 neliömetriin, ottaen huomioon, että se koskee ainostaan henkilöautoja ja kevyitä hyötyajoneuvoja.

Yhdysvalloissa autonvalmistaja joutuu maksamaan sakkoja, mikäli malliston autot eivät pääse annettuihin CAFE-arvoihin. Sakko on 5,5 dollaria jokaisesta rajan alittavasta 0,1 MPG:sta kerrottuna valmistajan kokonaistuotannossa Yhdysvaltain markkinoille. Mielenkiintoista on se, että yhdysvaltalaiset autonvalmistajat eivät ole ikinä joutuneet näitä sakkoja maksamaan, eivät myöskään japanilaiset autonvalmistajat. CAFE-järjestelmä on rakennettu niin, että FTP-testauksen läpikäyvät ajoneuvot ja autonvalmistajien mallistot pääset sellaisiin lukemiin, että sakkorajat eivät ylity. Yhdysvalloissa myytävät japanilaiset autot taas ovat lähinnä halpoja, amerikkalaisia autoja pienempiä ja vähän kuluttajia autoja, joilla ei ole vaikeuksia päästöjensä puolesta. Eurooppalaisten valmistajien Yhdysvalloissa myyvät autot taas ovat yleensä malliston kalliimmasta ja isommasta päästä. Euroopassa suosittu ja pitkälle hiotut dieselmoottorit eivät amerikkalaista kuluttajaa kiinnosta. Eurooppalainen auto on aina ollut Yhdysvalloissa jonkinlainen statussymboli ja isoa eurooppalaisia autoja arvostetaan suuresti. Lisäksi eurooppalaiset superautot ovat suosittuja erittäin hyvin toimeentulevien keskuudessa, etenkin Kaliforniassa. Eurooppalainen auto Yhdysvalloissa ei ole siis se alle sadan gramman per kilometri diesel-Volkswagen, joita Euroopassa ajetaan, vaan malliston kallein V8-bensiinimoottorilla varustettu premium-luokan iso sedan tai katumaasturi. Useat eurooppalaiset valmistajat jopa tekevät malleja, joita myydään vain Yhdysvaltojen markkinoilla. Jopa Volvolla on ollut käytössään V8-moottori vain amerikkalaisia kuluttajia varten. Ihan oman lukunsa hiilidioksidipäästöihin antavat vielä superautot, kuten Ferrarit ja Lamborghinit. Kun valmistajien hiilidioksidipäästöt Yhdysvaltain markkinoilla lasketaan näiden autojen perusteella, joutuvat eurooppalaiset autonvalmistajat maksamaan CAFE-sakkoja yhteensä miljoonia dollareita vuosittain.

## **8.5 Etanolin käyttö**

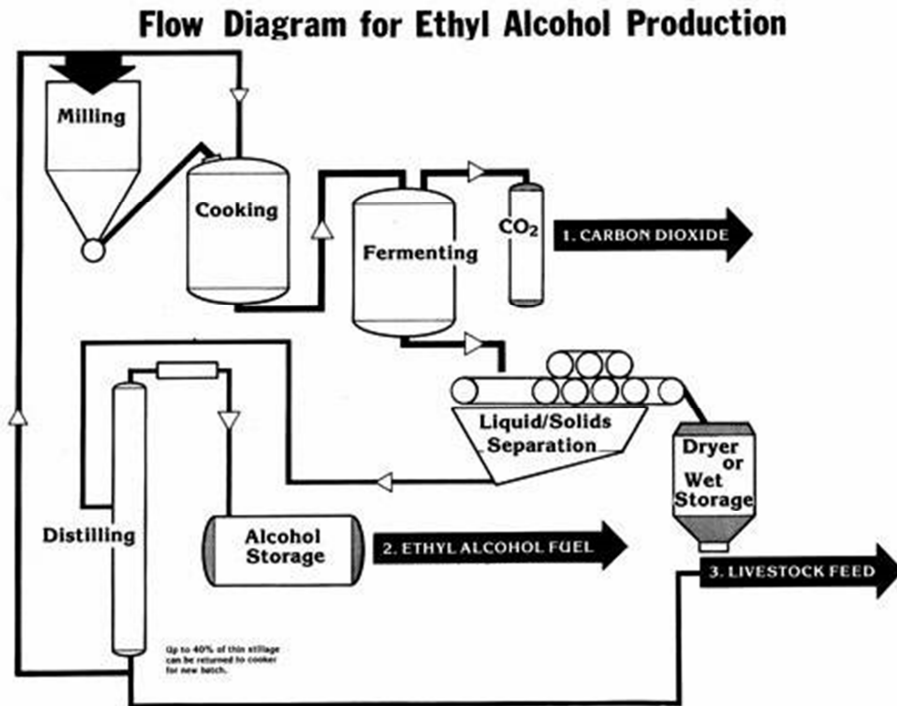
Euroopassa kohuttiin, kun 95E10 ja 98E5 tulivat markkinoille vuoden 2011 alussa. E10 sisältää maksimissaan kymmenen tilavuusprosenttia etanolia. E5:llä vastaava lukema on viisi prosenttia. Polttoaineen etanolin väitettiin tuhoavan autojen

moottoreita ja polttoainejärjestelmiä. Suomessa tilannetta hankaloittaa ennätyskylmä talvi, ja kylmyyden aiheuttamat vahingot laitettiin tietysti uuden polttoaineen piikkiin. Etanoli on kyllä vaativampi polttoainejärjestelmälle, mutta uusissa autossa pienillä pitoisuuksilla ei ongelmia pitäisi juurikaan olla /62/.

Yhdysvalloissa etanolia on käytetty polttoaineen jatkeena on 1970-luvulta lähtien. Myynnissä on ollut E10:ä vastaavaa gasohol-polttoainetta, jonka etanolipitoisuus on kymmenen prosenttia. Gasohol määriteltiin polttoaineeksi, joka on bensiinin ja etanolin seos ja etanolia on maksimissaan kymmenen tilavuusprosenttia. Lisäksi etanolin täytyy olla puhtaasti tuotettua, eikä se saa olla valmistettu maaöljystä, maakaasusta tai hiilestä /49/.

Luonnonmukaisuus ja öljyntarpeen vähentäminen olivat pääsyyt etanolin käyttöön, mutta sillä on muitakin hyviä ominaisuuksia. Päästörajoitusten tiukentuessa hiilimonoksidipäästöjen vähentämiseksi polttoaineeseen lisättiin hapettavaksi aineeksi metyyli-tertääributyylieetteriä (MTBE). Sama aine korvasi myös nakutuksenesto-aineena käytetyn lyijyn /32/. MTBE ei ole varsinaisesti vaarallista, mutta päästessään ympäristöön se pilaa pohjaveden laadun antaen sille oudon hajun ja sivumaun /31./ Tästä syystä MTBE korvattiin lisäämällä polttoaineeseen etanolia. Etanoli ( $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$ ) sisältää itsessään happea, joten se toimii hapettajana /73./ Lisäksi etanolin oktaaniluku on huomattavasti tavallista bensiiniä korkeampi, 112,5, joten se nostaa bensiinipolttoaineseoksen oktaanilukua /59./ Uusiutuvalla ja puhtaalla etanolilla saatiin siis korvattua kaksi ympäristölle vaarallista tai haitallista bensiinin lisäainetta.

Nykyään Yhdysvalloissa tuotetaan vuosittain yli 13 miljardia gallonaa, eli noin 50 miljardia litraa etanolia. Lähestulkoon kaikki etanoli käytetään kotimaan markkinoilla /74/. Etanolin valmistamiseen tarvitaan lähes 160 miljoonaa kuutiota, eli noin 114 miljoonaa tonnia maissia. Sivutuotteena syntyy lähes 35 miljoonaa tonnia maissirehua, jota käytetään karjan ruokkimiseen /60/.



**KUVA 14. Etanolin tuotanto tislaamalla /46/**

Etanolin ongelmana on sen pienempi energiasisältö. Etanoli sisältää energiaa noin kolmanneksen vähemmän kuin bensiini, joten esimerkiksi E10 sisältää 96,7% bensiinin energimäärästä /73./ Etanoli myös imee itseensä kosteutta ja alkoholi kuivattaa ja haurastuttaa polttoainelinjastoa /47./ Myös kylmäkäynnistys hankaloituu, minkä takia etanolipolttoaineisiin lisätään varsinkin talvimarkkinoille helposti kaasuuntuvia ja syttyviä yhdisteitä, kuten eetteriä /77./

Etanolin ympäristöystävällisyys on kiistelty asia varsinkin Yhdysvalloissa. Tuotantoon käytetään raaka-ainetta, jonka voisi käyttää väestön ruokkimiseen. Polttoaineen raaka-aineeksi tarkoitettun maissin viljelyala Yhdysvalloissa käsittää vajaat kolme prosenttia koko maailman maanviljelyyn käytettävästä viljelypinta-alasta /60./ Kokonaistaloudellisuus hiilidioksidipäästöjen suhteen on myös kyseenalainen. Jo pelkästään tislusprosessi tuottaa hiilidioksidia. Etanolin valmistuksessa tislaamot käyttävät paljon energiaa. Etanolin valmistukseen tarvitaan sähköä ja ylijäämäaine kuivataan, ennen kuin se voidaan kuljettaa maatiloille karjan rehuksi. Yleisesti tämä energia tuotetaan hiilivoimalla, mikä romuttaa ympäristöystävällisyyden käsitteen. Uusia ja parempia tekniikoita kehitetään kuitenkin koko ajan. Energiantuotantoon käytetään myös maakaasua, mikä on paljon puhtaampi tapa kuin hiilen polttaminen. Etanolintuotantosta sivuaineena syntyvä metaani kerätään talteen ja käytetään

maakaasuun seassa laitoksen energiantuotantoon. Lisäksi jäännösaineet jätetään kuivaamatta ja käytetään tislauksen välittömässä läheisyydessä, mikä vähentää kuivaus- ja kuljetuskustannuksia ja -päästöjä /50/.

Euroopassa etanolin lisäksi biodieselistä on tullut suosittu vaihtoehto fossiilisille polttoaineille. Biodieseliä voidaan valmistaa kasviöljystä ja eläinrasvasta. Biodiesel on sisällöltään puhtaampi, biohajoava ja se voitelee moottoria paremmin kuin tavallinen diesel. Ongelmat ovat samoja kuin bensiinillä; sen energiasisältö on pienempi ja kylmänkesto on huonompi /9/.

Euroopassa etanolin ja biodieselin tuotantoon käytetään yleisesti maatalousjätettä, raakapuumateriaalia ja erilaisia energiakasveja /38./ Lisäksi EU on säätänyt direktiivejä, joilla pyritään lisäämään etanolin käyttöä ja takaamaan kestävä energiantuotanto. Se muunmuassa kieltää energiakasvien viljelyn metsä- ja suomaille sekä alueilla joilla biodiversiteetti on suuri. Lisäksi on huolehdittava viljelysmaan maaperän suojelemisesta sekä ilman ja veden laadun valvonnasta /61/.

## **9 POHDINTA**

Päästörajotusten vertaaminen osoittautui yllättävän hankalaksi. Ei ole olemassa kahta toisiaan vastaavaa taulukkoa, joista mannertenväliset eroavaisuudet näkisi suoraan. Saastuttajien mittaustekniikka on jotakuinkin sama, mutta mitatut tulokset ilmoitetaan osittain eri tavalla, mikä johtaa siihen, etteivät saadut tulokset ole vertailukelpoisia. Lisäksi asiaa hankaloittaa se, että Yhdysvalloissa on käytössä yleisten liittovaltion säätämien rajoitusten lisäksi osavaltiokohtaisia tiukempia rajoituksia. Kasvihuonekaasujen vertaaminen oli jokseenkin helpompaa. Saatuja tuloksia pystyy kyllä vertaamaan, mutta jos ei asiaa tarkastele pintaa syvemmälle, voi vertailu antaa vääränlaisen mielikuvan. Hiilidioksidipäästöjen mittaustavoista ja tulosten käsittelystä – erilaisten korjauskertoimien ja massa- ja pinta-alahelpotusten käytöstä puhumattakaan – löytyy sen verran eroja, että tulosten vertaamisella voi saada vain suuntaa antavaa informaatiota.

Ongelmiin on alettu etsiä jo ratkaisuja, ja maailmanlaajuinen testausstandardi WLTP vaikuttaa järjestelmälle, joka voisi oikeasti asettaa kaikki maailman automallit ja autonvalmistajat samalle viivalle. Ongelmaksi WLTP:n kohdalla muodostuu kuitenkin Yhdysvaltojen haluttomuus lähteä siihen mukaan. Yhdysvaltain autoteollisuus on ryöminyt syvällä ja alkaa vasta pikkuhiljaa ottaa käyttöön uutta ympäristöystävällisempää tekniikkaa. WLTP:n käyttöönotto olisi hyvä sysäys myös Yhdysvaltain autoteollisuudella, mutta tuntuu, että jo pelkästään periaatteen vuoksi kaikkea EU:n ajamaa asiaa on vastustettava.

Mannertenvälisen vertailun hankaluudesta huolimatta, päästörajoitukset on sovitettu toimimaan hyvin paikallisesti. Yhdysvalloissa käytössä olevat erilaiset pinta-alalaskelmat ja korjauskertoimet vaikuttivat aluksi aivan järjettömiltä ja hullunkurisilta. Pinta-alan käyttö helpottavana aspektina vastaa Euroopan mallissa massakorjauksia. Tämä periamerikkalainen ajattelutapa ei ole ehkä paras mahdollinen keino määrittää auton koon tuomia päästöhelpotuksia; massan vaikutus kuluksien on kuitenkin todettu olevan yksi suurimmista ongelmista. Highway- ja City-sykleissä käytetyt korjauskertoimet vaikuttavat täysin mielivaltaisilta, mutta kuluttajien ajokokemusten ja -tietojen pohjalta on tehty vuosikymmeniä tutkimusta, ja ilmeisin tuloksin. Korjauskertoimien jälkeen saadut laskennalliset arvot asettuvat samaan luokkaan todellisten käyttäjiltä saatujen arvojen kanssa. EU:ssa ei korjauskertoimia ole, eikä valmistajien ilmoittamiin kulutuslukuihin käytännössä normaalissa ajossa päästä. Onko parempi ilmoittaa suurempia lukemia, jolloin kansalliset päästölukemat näyttävät pahemmilta, mutta kuluttajat ovat tyytyväisiä, vai huijata kuluttajaa painamalla virallisia tilastolukemia alaspäin säätämällä autoja laboratoriatestejä varten? Tilastojen vääristämisestä tuskin on kenellekään lopulta hyötyä, jos se antaa virheellisen käsityksen todellisen kehityksen tilasta. Mahdollistaahan se tosin uusien autojen halvemmat hinnat, kun valmistaja ei joudu maksamaan sanktioita ylitetyistä rajoista ja kuluttaja maksaa vähäpäästöisestä autosta vähemmän veroja.

Kansainvälinen mittausjärjestelmä pitäisi ottaa käyttöön mikä pikimmiten, ja siihen täytyisi kuulua myös käytönaikainen mittaus ja tietojen kerääminen käyttäjiltä, joilloin saataisiin varmistettua, että ilmoitetut lukemat vastaisivat enemmän todellisuutta. Toki samalla järjestelmä vaatisi yhä enemmän panostamista taloudellisen ajotavan opettamiseen autokouluissa.

## LÄHTEET

1. ACEA 2013. New Registrations in Europe (EU+EFTA) by manufacturer – 2012. Excel-dokumentti.  
[http://www.acea.be/images/uploads/files/20130306\\_07\\_2012\\_vo\\_By\\_Manufacturer\\_Enlarged\\_Europe\\_LV.xls](http://www.acea.be/images/uploads/files/20130306_07_2012_vo_By_Manufacturer_Enlarged_Europe_LV.xls). Päivitetty 13.3.2013. Luettu 18.11.2013.
2. AC-WEC FIEL ITBA 2009. Passenger Cars and CO2 Emissions: Assessing global impacts of convergence to low-power. PDF-dokumentti.  
<http://www.worldenergy.org/documents/congresspapers/62.pdf>. Päivitetty 2009. Luettu 7.10.2013.
3. American Meteorological Society 2009. WWW-sivut.  
<http://www.ametsoc.org/sloan/cleanair/cleanairstationary.html#caanaaq5>. Päivitetty 10.5.2009. Luettu 11.11.2013.
4. American Meteorological Society 2009. WWW-sivut.  
<http://www.ametsoc.org/sloan/cleanair/cleanairstationary.html#caansps>. Päivitetty 10.5.2009. Luettu 11.11.2013.
5. Automotive News Europe 2013. WWW-sivut.  
<http://europe.autonews.com/article/20130528/ANE/130529915/car-fuel-efficiency-in-europe-falls-further-below-automaker-claims#axzz2n3eKnGdB>. Päivitetty 18.11.2013. Luettu 18.11.2013.
6. AVL 2011. European Union EURO 5 & 6 Regulation. PDF-dokumentti.  
[https://www.avl.com/c/document\\_library/get\\_file?uuid=56fe5fc4-3e6d-4f9e-93a9-dd419b026fea&groupId=10138](https://www.avl.com/c/document_library/get_file?uuid=56fe5fc4-3e6d-4f9e-93a9-dd419b026fea&groupId=10138). Päivitetty 8.3.2011. Luettu 19.11.2013.
7. Barlow, Latham, McCrae & Boulter 2009. A reference book of driving cycles for use in the measurement of road vehicle emissions. PDF-dokumentti.  
[https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment\\_data/file/4447/pr-354.pdf](https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/4447/pr-354.pdf). Päivitetty 13.10.2009. Luettu 18.11.2013.
8. Bentley Motors 2013. Yrityksen WWW-sivut.  
[http://www.bentleymotors.com/models/mulsanne/detailed\\_specification/](http://www.bentleymotors.com/models/mulsanne/detailed_specification/). Päivitetty 25.11.2013. Luettu 25.11.2013.
9. Bozbas, Kahraman 2005. Biodiesel as an alternative motor fuel: Production and policies in the European Union. PDF-dokumentti.  
<http://www.cti2000.it/Bionett/BioD-2005-101%20Biodiesel%20in%20the%20EU.pdf>. Päivitetty 17.6.2005. Luettu 10.1.2014.
10. Car and Driver 2012. WWW-sivut. <http://www.caranddriver.com/features/the-cape-numbers-game-making-sense-of-the-new-fuel-economy-regulations-feature>. Päivitetty 29.8.2012. Luettu 25.11.2013.
11. Committee on the Assessment of Technologies for Improving Light-Duty Vehicle Fuel Economy, National Research Council 2011. Assessment of Fuel Economy Technologies for Light-Duty Vehicles. Washington, DC, USA: National Academies Press.



12. Daham, Basil 2006. WWW-sivut.  
<http://www.daham.org/basil/leedswww/emissions/cvs.gif>. Päivitetty 28.12.2006.  
Luettu 18.11.2013.
13. Daham, Basil 2006. WWW-sivut.  
<http://www.daham.org/basil/leedswww/emissions/cvs.htm>. Päivitetty 28.12.2006.  
Luettu 18.11.2013.
14. Dieselnet 2011. WWW-sivut.  
[http://www.dieselnet.com/standards/cycles/images/ftp\\_us06.gif](http://www.dieselnet.com/standards/cycles/images/ftp_us06.gif). Päivitetty  
11.10.2011. Luettu 4.11.2013.
15. Dieselnet 2011. WWW-sivut.  
<http://www.dieselnet.com/standards/cycles/images/hwfet.gif>. Päivitetty 11.10.2011.  
Luettu 4.11.2013.
16. Dieselnet 2013. WWW-sivut. <http://www.dieselnet.com/standards/eu/ghg.php>.  
Päivitetty 8.7.2013. Luettu 4.11.2013.
17. Dieselnet 2013. WWW-sivut.  
[http://www.dieselnet.com/standards/eu/ghg\\_acea.php](http://www.dieselnet.com/standards/eu/ghg_acea.php). Päivitetty 8.7.2013. Luettu  
4.11.2013.
18. Dieselnet 2013. WWW-sivut. <http://www.dieselnet.com/standards/us/ld.php>.  
Päivitetty 8.7.2013. Luettu 4.11.2013.
19. Dieselnet 2013. WWW-sivut. [http://www.dieselnet.com/standards/us/ld\\_t2.php](http://www.dieselnet.com/standards/us/ld_t2.php).  
Päivitetty 8.7.2013. Luettu 4.11.2013.
20. Dieselnet 2013. WWW-sivut. [http://www.dieselnet.com/standards/us/ld\\_t3.php](http://www.dieselnet.com/standards/us/ld_t3.php).  
Päivitetty 8.7.2013. Luettu 4.11.2013.
21. Dieselnet 2013. WWW-sivut.  
<http://www.dieselnet.com/standards/cycles/wltp.php>. Päivitetty 8.7.2013. Luettu  
18.11.2013.
22. Dieselnet 2013. WWW-sivut.  
[http://www.dieselnet.com/standards/cycles/ece\\_eudc.php](http://www.dieselnet.com/standards/cycles/ece_eudc.php). Päivitetty 10.7.2013. Luettu  
4.11.2013.
23. Dieselnet 2013. WW-sivut. <http://www.dieselnet.com/standards/eu/ld.php>.  
Päivitetty 25.7.2013. Luettu 4.11.2013.
24. Dieselnet 2013. WWW-sivut. <http://www.dieselnet.com/standards/us/fe.php>.  
Päivitetty 22.8.2013. Luettu 4.11.2013.
25. Dieselnet 2013. WWW-sivut.  
<http://www.dieselnet.com/standards/cycles/ftp75.php>. Päivitetty 9.8.2013. Luettu  
4.11.2013.

26. Dieselnet 2013. WWW-sivut.  
[http://www.dieselnet.com/standards/cycles/ftp\\_us06.php](http://www.dieselnet.com/standards/cycles/ftp_us06.php). Päivitetty 9.8.2013. Luettu 4.11.2013
27. Dieselnet 2013. WWW-sivut.  
<http://www.dieselnet.com/standards/cycles/hwfet.php>. Päivitetty 3.8.2013. Luettu 4.11.2013
28. Earthcars 2007. WWW-sivut.  
<http://web.archive.org/web/20071008015835/http://www.earthcars.com/articles/article.htm?articleId=6>. Päivitetty 8.10.2007. Luettu 12.11.2013.
29. Earth Day Network 2013. WWW-sivut. <http://www.earthday.org/earth-day-history-movement>. Päivitetty 11.11.2013. Luettu 11.11.2013.
30. EPA 2012. Viraston WWW-sivut.  
<http://www.epa.gov/otaq/standards/images/lightduty/emission-reference-guide-ftp.jpg>. Päivitetty 13.11.2012. Luettu 4.11.2013.
31. EPA 2012. Viraston WWW-sivut. <http://www.epa.gov/mtbe/water.htm>. Päivitetty 27.12.2012. Luettu 4.11.2013.
32. EPA 2013. Viraston WWW-sivut. <http://www.epa.gov/mtbe/gas.htm>. Päivitetty 3.5.2013. Luettu 4.11.2013.
33. EPA 2013. Viraston WWW-sivut. <http://www.epa.gov/air/caa/requirements.html>. Päivitetty 15.8.2013. Luettu 4.11.2013.
34. EPA 2013. Viraston WWW-sivut. <http://www2.epa.gov/aboutepa/epa-history>. Päivitetty 11.11.2013. Luettu 11.11.2013.
35. EPA 2013. Control of Air Pollution From Motor Vehicles: Tier 3 Motor Vehicle Emission and Fuel Standards. <http://www.gpo.gov/fdsys/pkg/FR-2013-05-21/pdf/2013-08500.pdf>. Päivitetty 21.5.2013. Luettu 6.11.2013.
36. Euroopan komission asetus 171/2013. PDF-dokumentti. <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2013:055:0009:0019:FI:PDF>. Päivitetty 26.2.2013. Luettu 4.11.2013.
37. Euroopan parlamentin asetus 715/2007. PDF-dokumentti. <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2007:171:0001:0016:FI:PDF>. Päivitetty 20.6.2007. Luettu 4.11.2013.
38. European Biofuels Technology Platform 2013. WWW-sivut.  
<http://www.biofuelstp.eu/bioethanol.html>. Päivitetty 9.10.2013. Luettu 10.1.2014.
39. European Environment Agency 2012. CO2 emissions performance of car manufacturers in 2011. PDF-dokumentti. <http://www.eea.europa.eu/publications/co2-emissions-performance-of-car>. Päivitetty 11.12.2012. Luettu 18.11.2013.

40. EU-direktiivi 70/220/ETY. PDF-dokumentti. <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=DD:15:01:31970L0220:FI:PDF>. Päivitetty 20.3.1970. Luettu 4.11.2013.
41. EU-direktiivi 91/461/ETY. PDF-dokumentti. <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=DD:13:21:31991L0441:FI:PDF>. Päivitetty 26.6.1991. Luettu 4.11.2013.
42. EU-direktiivi 94/12/EY. PDF-dokumentti. <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=DD:13:26:31994L0012:FI:PDF>. Päivitetty 23.3.1994. Luettu 4.11.2013.
43. EU-direktiivi 96/71/EY. PDF-dokumentti. <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:1996:282:0064:0067:FI:PDF>. Päivitetty 8.10.1996. Luettu 4.11.2013.
44. EU-direktiivi 98/71/EY. PDF-dokumentti. <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:1998:350:0001:0056:FI:PDF>. Päivitetty 13.10.1998. Luettu 4.11.2013.
45. EU-direktiivi 2002/80/EY. PDF-dokumentti. <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2002:291:0020:0056:FI:PDF>. Päivitetty 3.10.2002. Luettu 4.11.2013.
46. Farmers Fuel 2006. WWW-sivut. [http://www.farmersfuel.com/distillers\\_grain\\_files/image002.jpg](http://www.farmersfuel.com/distillers_grain_files/image002.jpg). Päivitetty 14.8.2006. Luettu 10.1.2014.
47. Fuel Testers 2014. WWW-sivut. [http://www.fuel-testers.com/ethanol\\_problems\\_damage.html](http://www.fuel-testers.com/ethanol_problems_damage.html). Päivitetty 10.1.2014. Luettu 10.1.2014.
48. Furman University 2013. WWW-sivut. <https://confluence.furman.edu:8443/display/GGY230F10/Urban+Air+Pollution>. Päivitetty 11.11.2013. Luettu 11.11.2013.
49. Green Plains 2014. WWW-sivut. <http://www.gpreinc.com/Ethanol-Timeline>. Päivitetty 10.1.2014. Luettu 10.1.2014.
50. Hofstrand, Don 2009. Efficiency and environmental improvements of corn ethanol production. WWW-artikkeli. [http://www.agmrc.org/renewable\\_energy/ethanol/efficiency-and-environmental-improvements-of-corn-ethanol-production/](http://www.agmrc.org/renewable_energy/ethanol/efficiency-and-environmental-improvements-of-corn-ethanol-production/). Päivitetty heinäkuu 2009. Luettu 10.1.2014.
51. How Stuff Works 2013. WWW-sivut. <http://auto.howstuffworks.com/fuel-efficiency/fuel-economy/30004-epa-fuel-economy-explained1.htm>. Päivitetty 12.11.2013. Luettu 12.11.2013.
52. The International Council On Clean Transportation 2013. World-harmonized light-duty vehicles test procedure (WLTP). PDF-dokumentti.

[http://www.theicct.org/sites/default/files/publications/ICCT\\_PolicyUpdate\\_WLTP\\_Nov2013.pdf](http://www.theicct.org/sites/default/files/publications/ICCT_PolicyUpdate_WLTP_Nov2013.pdf). Päivitetty 11.11.2013. Luettu 11.11.2013.

53. International Fleetworld 2013. WWW-sivut.  
<http://internationalfleetworld.co.uk/news/2013/Mar/Average-CO2-emissions-drop-2-9-percent-in-2012-reports-JATO-Dynamics/0444008553>. Päivitetty 18.11.2013. Luettu 18.11.2013.

54. International Transport Forum 2010. Reducing Transport Greenhouse Gas Emissions. PDF-dokumentti.  
<http://www.internationaltransportforum.org/Pub/pdf/10GHGTrends.pdf>. Päivitetty 2010. Luettu 8.10.2013.

55. JATO 2008. Fiat Tops The Eco League With Lowest Average CO2 Emissions In 2007. PDF-dokumentti.  
<http://www.jato.com/PressReleases/Fiat%20tops%20the%20eco%20league%20with%20lowest%20average%20CO2%20emissions%20in%202007%2018.4.2008.pdf>. Päivitetty 17.4.2008. Luettu 2.12.2013.

56. Lassi, Ulla 2003. Deactivation Correlations of PD/RH Three-way Catalysts Designed for EURO IV Emission Limits. PDF-dokumentti.  
<http://herkules.oulu.fi/isbn9514269543/isbn9514269543.pdf>. Päivitetty 25.2.2003. Luettu 18.11.2013.

57. Mock, German, Bandivadekar, Riemerska, Ligterink & Lambrecht 2013. A comparison of official and 'real world' fuel consumption and co2 values for cars in Europe and The United States. PDF-dokumentti.  
<http://europe.autonews.com/assets/PDF/CA88869528.PDF>. Päivitetty 24.5.2013. Luettu 18.11.2013.

58. National Highway Traffic Safety Administration 2012. CAFE Final Rule. PDF-dokumentti. [http://www.nhtsa.gov/staticfiles/rulemaking/pdf/cape/2017-25\\_CAFE\\_Final\\_Rule.pdf](http://www.nhtsa.gov/staticfiles/rulemaking/pdf/cape/2017-25_CAFE_Final_Rule.pdf). Päivitetty 15.10.2012. Luettu 4.11.2013.

59. Renewable Fuels Association 2009. Ethanol and Ethanol-Blended Fuels. PDF-dokumentti. <http://www.ethanolrfa.org/page/-/rfa-association-site/pdf/module1.pdf>. Päivitetty 15.6.2009. Luettu 10.1.2014.

60. Renewable Fuels Association 2014. WWW-sivut.  
<http://www.ethanolrfa.org/pages/ethanol-facts-agriculture>. Päivitetty 10.1.2014. Luettu 10.1.2014.

61. Sugarcane 2014. WWW-sivut. <http://sugarcane.org/global-policies/policies-in-the-european-union/policy-overview-ethanol-in-europe>. Päivitetty 10.1.2014. Luettu 10.1.2014.

62. Taloussanommat 2014. E10-hysterian historia:”Kaikki meni bensan piikkiin”. WWW-artikkeli. <http://www.taloussanommat.fi/autot/2014/01/09/e10-hysterian-historia-kaikki-meni-bensan-piikkiin/2014371/324>. Päivitetty 9.1.2014. Luettu 10.1.2014.

63. UNECE 2011. WLTP. PDF-dokumentti.  
<http://www.unece.org/fileadmin/DAM/trans/doc/2011/wp29grpe/WLTP-DHC-09-07e.pdf>. Päivitetty 18.7.2011. Luettu 18.11.2013.
64. United Nations Economic Commission for Europe 2013. WWW-sivut.  
[http://www.unece.org/oes/nutshell/member\\_states\\_representatives.html](http://www.unece.org/oes/nutshell/member_states_representatives.html). Päivitetty 18.11.2013. Luettu 18.11.2013.
65. United Nations Environment Program 2012. WWW-sivut.  
[http://www.unep.org/transport/gfei/autotool/case\\_studies/europe/limit\\_value\\_curve.jpg](http://www.unep.org/transport/gfei/autotool/case_studies/europe/limit_value_curve.jpg). Päivitetty 5.10.2012. Luettu 18.11.2013.
66. United Nations Environment Program 2013. WWW-sivut.  
[http://www.unep.org/transport/gfei/autotool/approaches/lightbox/images/ECE\\_15\\_Cycle.jpg](http://www.unep.org/transport/gfei/autotool/approaches/lightbox/images/ECE_15_Cycle.jpg). Päivitetty 18.6.2013. Luettu 18.11.2013.
67. United Nations Environment Program 2013. WWW-sivut.  
<http://www.unep.org/transport/gfei/autotool/approaches/lightbox/images/EUDC-Cycle.jpg>. Päivitetty 18.6.2013. Luettu 18.11.2013.
68. United Nations Environment Program 2013. WWW-sivut.  
[http://www.unep.org/transport/gfei/autotool/approaches/lightbox/images/EUDC\\_Cycle\\_for\\_Low\\_Power\\_Vehicles.jpg](http://www.unep.org/transport/gfei/autotool/approaches/lightbox/images/EUDC_Cycle_for_Low_Power_Vehicles.jpg). Päivitetty 18.6.2013. Luettu 18.11.2013.
69. United Nations Environment Program 2013. WWW-sivut.  
[http://www.unep.org/transport/gfei/autotool/case\\_studies/europe/cs\\_eu\\_0.asp](http://www.unep.org/transport/gfei/autotool/case_studies/europe/cs_eu_0.asp). Päivitetty 18.11.2013. Luettu 18.11.2013.
70. United Nations Environment Program 2013. WWW-sivut.  
[http://www.unep.org/transport/gfei/autotool/case\\_studies/northamerica/canada/cs\\_cn\\_0.asp](http://www.unep.org/transport/gfei/autotool/case_studies/northamerica/canada/cs_cn_0.asp). Päivitetty 18.11.2013. Luettu 18.11.2013.
71. U.S. Department of Energy 2008. Viraston WWW-sivut.  
<http://www.fueleconomy.gov/feg/images/sc03dds.gif>. Päivitetty 5.8.2008. Luettu 12.11.2013.
72. U.S. Department of Energy 2013. Viraston WWW-sivut.  
[http://www.fueleconomy.gov/feg/fe\\_test\\_schedules.shtml](http://www.fueleconomy.gov/feg/fe_test_schedules.shtml). Päivitetty 12.11.2013. Luettu 12.11.2013.
73. U.S. Department of Energy 2013. Alternative Fuels Data Center – Fuel Properties Comparison. PDF-dokumentti.  
[http://www.afdc.energy.gov/fuels/fuel\\_comparison\\_chart.pdf](http://www.afdc.energy.gov/fuels/fuel_comparison_chart.pdf). Päivitetty 27.3.2013. Luettu 10.1.2014.
74. U.S. Energy Information Administration 2013. Viraston WWW-sivut.  
<http://www.eia.gov/tools/faqs/faq.cfm?id=90&t=4>. Päivitetty 9.12.2013. Luettu 9.12.2013.
75. Wikipedia 2013. Tetraethyllead. <http://en.wikipedia.org/wiki/Tetraethyllead>. Päivitetty 27.10.2013. Luettu 27.10.2013.

76. Wikipedia 2013. United States emission standards – State emission testing. [http://en.wikipedia.org/wiki/United\\_States\\_emission\\_standards#State\\_emission\\_testing](http://en.wikipedia.org/wiki/United_States_emission_standards#State_emission_testing). Päivitetty 27.10.2013. Luettu 27.10.2013.

77. Wikipedia 2014. Etanoli. <http://fi.wikipedia.org/wiki/Etanoli>. Päivitetty 10.1.2014. Luettu 10.1.2014.

78. Volkswagen 2013. Yrityksen WWW-sivut. [http://www.volkswagen.fi/vv-auto/vw\\_cars.nsf/\(vw5\\_t\)?open&m=5G1#measure](http://www.volkswagen.fi/vv-auto/vw_cars.nsf/(vw5_t)?open&m=5G1#measure). Päivitetty 25.11.2013. Luettu 25.11.2013.