

Janne Härkönen

## Koulutusmateriaalin tuottaminen liikenne- opettajan erikoisammattitutkinnon osaan 3.9

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Auto- ja kuljetustekniikka

Insinööryö

26.8.2015

|  |  |
|--|--|
| Tekijä(t)<br>Otsikko   | Janne Härkönen<br>Koulutusmateriaalin tuottaminen liikenneopettajan erikoisammattitutkinnon osaan 3.9            |
| Sivumäärä<br>Aika  | 108 sivua + 4 liitettä<br>26.8.2015  |
| Tutkinto   | Insinööri (AMK)  |
| Koulutusohjelma  | Auto- ja kuljetustekniikka   |
| Suuntautumisvaihtoehto   | Jälkimarkkinointi  |
| Ohjaaja(t)   | Lehtori Markku Haikonen, Metropolia Ammattikorkeakoulu<br>Lehtori Harri Saartenkorpi, Hämeen ammatti-instituutti |
| <p>Tämä insinööriyö on tehty Hämeen ammatti-instituutin liikenneopetuskeskuksen tilauksesta. Liikenneopettajan erikoisammattitutkinnon osa 3.9 ympäristöystävällisen ja taloudellisen liikkumisen asiantuntijana toimiminen sisältyy valinnaisena vuodesta 2014 alkaen tutkinnon perusteisiin. Ympäristöystävällinen ja taloudellinen liikkuminen on hyvin tärkeä aihe ilmastonmuutoksen torjumisen sekä energiankäytön vähentämisen kannalta.</p> <p>Tämän insinööriyön tavoitteena oli tuottaa koulutusmateriaalia liikenneopettajan erikoisammattitutkinnon osaan 3.9, jonka sisältönä on ympäristöystävällisen ja taloudellisen liikkumisen asiantuntijana toimiminen. Tarkoituksena on ollut kerätä tutkinnon suorittajille hyödyllistä tietoa ympäristöystävällisestä ja taloudellisesta liikkumisesta.</p> <p>Insinööriyön sisältö koostuu kolmesta aihepiiristä, jotka ovat liikenneopettajan erikoisammattitutkinto, ympäristöystävällisen ja taloudellisen liikkumisen asiantuntijana toimiminen sekä koulutusmateriaali tutkinnon osan 3.9 suorittajalle.</p> <p>Laajin aihepiiri ja työn varsinainen tuote on koulutusmateriaali, joka sisältää seuraavat aiheet: henkilöautojen polttoaineenkulutuksen mittaaminen, energiamerkintä, verotus, käyttövoimavaihtoehdot, polttoaineenkulutukseen vaikuttavat tekijät, ympäristöystävällisyyteen ja taloudellisuuteen tähtäävä ajoneuvotekniikka, liikenteen päästöt, Euro-päästönormit, sekä ympäristönsuojeluun ja energiankulutuksen vähentämiseen keskittyneet yhdistykset, järjestöt ja yritykset. Lisäksi on käsitelty Suomen henkilöautokannan nykytilaa ja kehitystä.</p> <p>Työn sisältöä on tuotettu yhteistyössä autoalan toimijoiden kanssa. Kirjallisen lähdemateriaalin lisäksi lähteinä on käytetty tämän päivän kattavaa aiheeseen liittyvää verkossa julkaistua aineistoa. Koulutusmateriaalia voidaan käyttää liikenneopettajien ja muiden alalla toimivien sekä aiheista kiinnostuneiden henkilöiden koulutukseen. Koulutusmateriaalia suositellaan päivitettäväksi säännöllisesti, koska autotekniikka ja määräykset kehittyvät jatkuvasti.</p> |  |
| Avainsanat   | ympäristöystävällisyys, taloudellisuus, liikenneopettaja, erikoisammattitutkinto                                 |

|  |  |
|--|--|
| Author(s)<br>Title   | Janne Härkönen<br>Creating Training Material for The Specialist Qualification for Driving Instructors part 3.9 |
| Number of Pages<br>Date  | 108 pages + 4 appendices<br>26 August 2015   |
| Degree   | Bachelor of Engineering  |
| Degree Programme   | Automotive and Transport Engineering   |
| Specialisation option  | After Sales Engineering  |
| Instructor(s)  | Markku Haikonen, Lecturer<br>Harri Saartenkorpi, Lecturer  |
| <p>This Bachelor's thesis was commissioned by the Driving Instructor Education Centre of Häme Vocational Institute. Since 2014 the part 3.9., "Acting as a specialist of environmentally friendly and economical operating in traffic", has been included in the optional qualification modules of the Specialist Qualification for Driving Instructors. Environmentally friendly and economical operating in traffic is a very important subject in preventing global warming and reducing the use of energy.</p> <p>The aim of this Bachelor's thesis is to provide training material for the Specialist Qualification for Driving Instructors module 3.9. This module includes acting as a specialist of environmentally friendly and economical operating in traffic. The purpose has been to collect useful data for the candidates of the qualification module 3.9.</p> <p>This Bachelor's thesis consists of the following three topics: the Specialist Qualification for Driving Instructors, acting as a specialist of environmentally friendly and economical operating in traffic, and training material for the candidates of qualification module 3.9.</p> <p>The broadest topic and the main product of this thesis is the training material with the following themes: measurement of the fuel consumption of cars, energy classification, taxation, options of motive power, factors of fuel consumption, more environmentally friendly and economical vehicle technology, traffic emissions, EU emission standards for vehicles, and also organizations, societies and companies focusing on environmental protection and reduction of the use of energy. In addition, the current state and development of motor vehicle registrations in Finland have been discussed.</p> <p>The contents of this thesis have been created in co-operation with operators in the automotive field. Besides written sources also current materials published on the web have been used. The materials can be used for training driving instructors and other personnel in the field, as well as for other interested parties. It is recommended to update the training material regularly because of the constant development of car technology and regulations.</p> |  |
| Keywords   | environmentally friendly, economical, Driving Instructor, the Specialist Qualification                         |

## Sisällys

### Lyhenteet

|       |  |    |
|-------|--|----|
| 1     | Johdanto   | 1  |
| 2     | Liikenneopettajan koulutus   | 3  |
| 3     | Ympäristöystävällisen ja taloudellisen liikkumisen asiantuntijana toimiminen | 7  |
| 4     | Henkilöautojen polttoaineenkulutuksen ja päästöjen mittaaminen               | 12 |
| 4.1   | NEDC, New European Driving Cycle   | 12 |
| 4.2   | WLTP, Worldwide Harmonized Light Vehicles Test Procedure                     | 16 |
| 5     | Polttoaineenkulutukseen vaikuttavat tekijät                                  | 19 |
| 5.1   | Polttoaineesta saatavan energian jakaantuminen polttomoottoriautossa         | 19 |
| 5.2   | Ajovastukset   | 21 |
| 5.2.1 | Ilmanvastus  | 21 |
| 5.2.2 | Vierintävastus   | 21 |
| 5.2.3 | Kiihdytysvastus  | 22 |
| 5.2.4 | Nousuvastus  | 23 |
| 6     | Ajovastusvoimien määrittäminen rullauskokeella                               | 23 |
| 7     | Henkilöautojen verotus   | 26 |
| 7.1   | Auton käytön verotus   | 26 |
| 7.2   | Auton hankinnan verotus  | 28 |
| 8     | Henkilöautojen osuudet Suomessa käyttövoimien mukaan                         | 30 |
| 9     | Henkilöautokannan kehitys Suomessa   | 32 |
| 10    | Henkilöautojen käyttövoimavaihtoehdot  | 34 |
| 10.1  | Bensiini   | 35 |
| 10.2  | Diesel   | 39 |
| 10.3  | Etanoli  | 44 |
| 10.4  | Maa- ja Biokaasu   | 46 |
| 10.5  | Sähkö  | 50 |
| 10.6  | Hybridi  | 57 |
| 10.7  | Vety   | 60 |

|        |  |    |
|--------|--|----|
| 11     | Taloudellisuus eri käyttövoimilla  | 62 |
| 12     | Liikenteen päästöt   | 66 |
| 12.1   | Kasvihuonepäästöt  | 66 |
| 12.2   | Paikalliset päästöt  | 68 |
| 12.2.1 | Hiilimonoksidi   | 69 |
| 12.2.2 | Palamattomat hiilivedyt  | 69 |
| 12.2.3 | Pienhiukkaset  | 69 |
| 12.2.4 | Typen oksidit  | 70 |
| 12.2.5 | Melupäästöt  | 71 |
| 13     | EU:n tavoitteet liikenteen päästöjen vähentämiseksi                                    | 72 |
| 14     | Euro-päästönormit  | 74 |
| 15     | Ympäristöystävällisyyteen ja taloudellisuuteen tähtäävä ajoneuvotekniikka              | 78 |
| 15.1   | Jarrutusenergian talteenotto   | 78 |
| 15.2   | Sammutusautomaatiikka  | 80 |
| 15.3   | Pakokaasujen puhdistus   | 83 |
| 15.3.1 | Katalysaattorit  | 83 |
| 15.3.2 | Pakokaasujen takaisinkierätykset   | 85 |
| 15.3.3 | Hiukkassuodattimet   | 85 |
| 15.4   | Renkaat  | 86 |
| 15.5   | Vaihteistot  | 88 |
| 15.6   | Moottorien esilämmityslaitteet   | 91 |
| 15.7   | Ajotietokoneet   | 94 |
| 16     | Henkilöautojen energiamerkintä   | 94 |
| 17     | Yhteenveto   | 96 |
|        | Lähteet  | 99 |
|        | Liitteet   |    |
|        | Liite 1. Ympäristöystävällisen ja taloudellisen liikkumisen asiantuntijana toimiminen  |    |
|        | Liite 2. Henkilöauton energiamerkintä  |    |
|        | Liite 3. Koulutusmateriaalin diaesitys (vain työn tilaajan käyttöön)                   |    |
|        | Liite 4. Yhteystietolista liikenneopettajaopiskelijoille (vain työn tilaajan käyttöön) |    |

## Lyhenteet

|      |  |
|------|--|
| AGM  | <i>Absorbent Glass Mat.</i> Akku jossa on mikrolasikuitukudos.   |
| CBG  | <i>Compressed Bio Gas.</i> Liikennekäyttöön tarkoitettu paineistettu biokaasu.   |
| CNG  | <i>Compressed Natural Gas.</i> Liikennekäyttöön tarkoitettu paineistettu maakaasu.   |
| CVT  | <i>Continuously Variable Transmission.</i> Portaaton automaattivaihteisto.   |
| DPF  | <i>Diesel Particulate Filter.</i> Dieselauton hiukkassuodatin.   |
| EGR  | <i>Exhaust Gas Recirculation.</i> Pakokaasujen takaisinkierätyk.   |
| ERA  | <i>Electronic Race About.</i> Metropolia Ammattikorkeakoulun valmistama tulevaisuuden sähköauton prototyyppi.                |
| FAME | <i>Fatty acid methyl ester.</i> (Rasvahappometyyliesteri). Dieselpolttoaineen biokomponentti.                                |
| FCHV | <i>Fuel Cell Vehicle.</i> Vetykäyttöinen polttokennoauto.  |
| FFV  | <i>Flexible-fuel vehicle.</i> Ajoneuvo jossa voidaan käyttää useampaa kuin yhtä polttoainetta joustavalla sekoitussuhteella. |
| HAMI | <i>Hämeen ammatti-instituutti.</i>   |
| HAMK | <i>Hämeen ammattikorkeakoulu.</i>  |
| HVO  | <i>Hydrotreated vegetable oil</i> (Vetykäsitelty kasviöljy). Dieselpolttoaineen biokomponentti.                              |
| IEA  | <i>International Energy Agency.</i> Kansainvälinen energiajärjestö.  |
| LEAT | <i>Liikenneopettajan erikoisammattitutkinto.</i>   |

|      |  |
|------|--|
| LNG  | <i>Liquefied Natural Gas.</i> Nesteytetty liikennekaasu.   |
| NEDC | <i>New European Driving Cycle.</i> Eurooppalainen testisykli polttoaineenkulutuksen ja päästöjen mittaamiseen.                       |
| OBD  | <i>On-Board Diagnostics.</i> Ajoneuvon sisäinen valvontajärjestelmä.   |
| PM   | <i>Particulate matter.</i> Pienhiukkasten massa.   |
| PN   | <i>Particle number.</i> Pienhiukkasten lukumäärä.  |
| SCR  | <i>Selective Catalytic Reduction.</i> Typenoksidipäästöjä vähentävä katalysaattori.  |
| WLTP | <i>Worldwide harmonized light vehicles test procedure.</i> Kansainvälinen normi polttoaineenkulutuksen ja päästöjen mittaamiseen.    |
| WWFC | <i>Worldwide Fuel Charter.</i> Euroopan, Yhdysvaltojen ja Kaukoidän autonvalmistajien yhdessä laatima suositus dieselpolttoaineille. |

## 1 Johdanto

Tämän työn tarkoituksena on palvella liikenneopettajan erikoisammattitutkinnon osan 3.9 *ympäristöystävällisen ja taloudellisen liikkumisen asiantuntijana toimiminen* suorittajia. Tutkinnon suorittajien avuksi tuotetaan tässä työssä koulutusmateriaalia, jonka aiheita ovat henkilöautojen polttoaineenkulutuksen mittaaminen, energiamerkintä, verotus, käyttövoimavaihtoehdot, polttoaineenkulutukseen vaikuttavat tekijät, ympäristöystävällisyyteen ja taloudellisuuteen tähtäävä ajoneuvotekniikka, liikenteen päästöt, Euroopäästönormit sekä ympäristönsuojeluun ja energiankulutuksen vähentämiseen keskittyneet yhdistykset, järjestöt ja yritykset. Lisäksi käsitellään Suomen henkilöautokannan nykytilaa ja kehitystä. Ajovastuksiin liittyen esitellään itse toteutettu rullauskoe ajovastusvoimien määrittämiseksi. Rullauskokeen tekeminen liittyy ajodynamiikan kurssiin, joka sisältyy auto- ja kuljetustekniikan insinööriopintoihin.

Tutkinnon osa 3.9 on sisällöltään laaja ja aiheiltaan hyvin ajankohtainen. Ympäristöystävällisen ja taloudellisen liikkumisen asiantuntijana toimiminen on tullut yhdeksi valinnaiseksi osaksi liikenneopettajan erikoisammattitutkinnon perusteita vuonna 2014. Työn aiheiksi valittiin edellä mainitut ympäristöystävällisen ja taloudellisen liikkumisen asiat, koska aiheista ei ollut olemassa valmista koulutusmateriaalia, joka sisältäisi kootusti erityisesti ajoneuvotekniikkaan ja autojen käyttövoimiin liittyvät, käsiteltävät asiat. Tämän työn tarkoituksena ei ole tarjota kaikkea olemassa olevaa, tutkinnon osan ammattitaitovaatimukset täyttävää tietoa, vaan myös tutkinnon osan 3.9 suorittajille jättää vastuuta tiedon hankkimiseen.

Koulutusmateriaalin tavoitteena on avata ympäristöystävällisemmän ja taloudellisemman liikkumisen aiheita sekä antaa kokonaiskuvaa niistä aihepiireistä, joita tutkinnon osan 3.9 suorittamiseen liittyy. Koulutusmateriaaliin sisältyy kirjallisen materiaalin lisäksi sähköinen esitysmateriaali, jota voidaan käyttää lähi- tai etäopetuksen tukena.

Ympäristöystävällisen ja taloudellisen liikkumisen asiantuntijana toimiminen on tulevaisuuden kiristyvien päästö- ja kulutusmääräysten vuoksi tärkeä tehtävä. Tutkinnon osan 3.9 suorittajien ajatellaan toimivan perinteisen autokouluympäristön lisäksi autojen myynnistä ja markkinoinnista vastaavien tahojen palveluksessa ja tukena.



Taloudellisesta ajamisesta on tehty perusteellisia ja hyvin aiheesta tietoa tarjoavia teoksia jo aiemmin. Tästä johtuen taloudellisen ajamisen asioita kyllä sivutaan tuotettavassa koulutusmateriaalissa, mutta varsinaisen taloudellisen ajamisen materiaalin tuottamista ei nähty tarpeelliseksi johtuen jo olemassa olevasta, kattavasta materiaalista.

Työtä tehtäessä käytetään lähdemateriaaleina alan kirjallisuuden lisäksi verkosta löytyvää materiaalia, jota on tänä päivänä todella hyvin saatavilla, suhtautuen lähdemateriaaleihin kuitenkin kriittisesti. Kirjoittajan liikenneopettajakokemusta sekä insinöörikoulutusta hyödynnetään työn tekemisessä ja suunnittelussa. Erityisesti autotekniikan nopean kehittymisen vuoksi suositellaan materiaalia päivitettävän säännöllisesti.

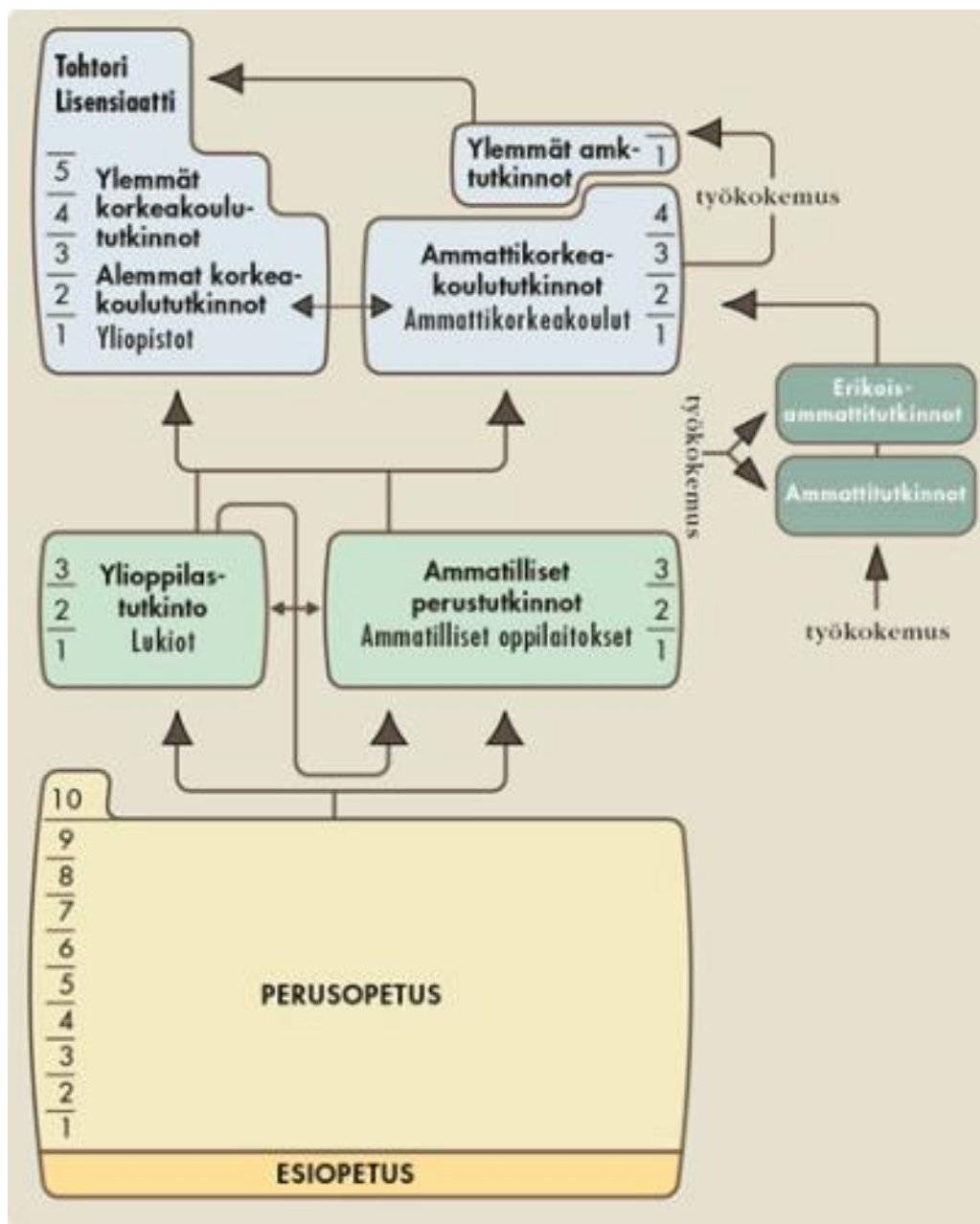
**Hämeen ammatti-instituutti (HAMI)**, jonka tilauksesta tämä työ tehdään, on toisen asteen ammatillinen oppilaitos. Ammatillisten perustutkintojen lisäksi Hämeen ammatti-instituutti tarjoaa ammatillista lisä- ja täydennyskoulutusta aikuisille. Koulutusalat Hämeen ammatti-instituutissa ovat luonnonvara- ja ympäristöala sekä tekniikan ja liikenteen ala, johon myös liikenneopettajan erikoisammattitutkintoon valmistava koulutus kuuluu. Liikenneopettajan koulutusta järjestetään Hämeen ammatti-instituutin liikenneopetuskeskuksessa Hämeenlinnassa. Varsinaisia ammatillisia perustutkintoja, ammattitutkintoja ja erikoisammattitutkintoja on Hämeen ammatti-instituutissa tarjolla 17 (tilanne 19.7.2015). Hämeen ammatti-instituutti Oy on Hämeen ammattikorkeakoulu (HAMK) Oy:n tytäryhtiö. HAMI ja HAMK tekevät yhteistyötä koulutusten toteutuksessa sekä järjestelyssä, ja niillä on yhteisiä opetustiloja. [1.]

Koulutusmateriaalin suunnittelussa ovat olleet mukana työn tekijän lisäksi Hämeen ammatti-instituutin liikenneopetuskeskuksesta lehtori Harri Saartenkorpi sekä Metropolia Ammattikorkeakoulusta lehtori Markku Haikonen.

Tämän Insinööriyön sisältö koostuu kolmesta aihepiiristä, jotka ovat liikenneopettajan erikoisammattitutkinto, ympäristöystävällisen ja taloudellisen liikkumisen asiantuntijana toimiminen sekä koulutusmateriaali tutkinnon osan 3.9 suorittajalle. Työ alkaa liikenneopettajan koulutuksen ja kotimaisen koulutusjärjestelmän esittelyllä luvussa 2. Toisena aihepiirinä luvussa 3 työssä käsitellään tutkinnon osan 3.9 perusteita ja perusteisiin liittyviä asioita. Kolmas osa ja työn varsinainen tuote on koulutusmateriaali, joka alkaa luvusta 4 ja loppuu lukuun 16. Viimeisenä lukuna 17 työssä on yhteenveto käsitellyistä asioista sekä pohdintaa ympäristöystävällisestä ja taloudellisesta liikkumisesta.

## 2 Liikenneopettajan koulutus

Erikoisammattitutkinto on melko uusi koulutusmuoto liikenneopettajaksi. Ennen erikoisammattitutkintoa liikenneopettajaksi on voinut valmistua liikenneopettajan tutkinnon kautta. Merkittävimpiä muutoksia siirryttäessä liikenneopettajan tutkinnosta erikoisammattitutkintoon on ollut tutkinnon sijoittuminen suomalaiseen tutkintojärjestelmään. Vuonna 2010 päättynyt liikenneopettajan tutkinto jäi väliinpuotoajaksi suomalaisessa tutkintojärjestelmässä. Koulutusjärjestelmän rakenne Suomessa näkyy kuvassa 1.



Kuva 1. Koulutusjärjestelmä Suomessa [2].

## **Ammatillinen koulutus Suomessa**

### Ammatillinen perustutkinto

Nuorten ammatillinen perustutkinto on laajuudeltaan 120 opintoviikkoa eli noin kolme vuotta. Ammatillisen perustutkinnon voi suorittaa joko ammatillisena peruskoulutuksena oppilaitoksessa tai näyttötutkintona. Ammatillinen perustutkinto antaa yleisen jatko-opintokelpoisuuden korkeakouluihin.

Suoritettaessa ammatillinen perustutkinto näyttötutkintona on opiskeluun tarvittava aika yleensä huomattavasti lyhyempi kuin ammattitutkinto perinteisesti ammatillisessa oppilaitoksessa suoritettuna. Ennen näyttötutkinnon suorittamista tutkinnon suorittajan hankkima aikaisempi ammatillinen osaaminen tunnustetaan ja tunnustetaan, ja luetaan hyväksi tutkinnossa. Tutkinnon suorittajan läpäistyä näytöt hyväksytysti tutkintotoimikunta myöntää hänelle tutkintotodistuksen. Ammatillisiin perustutkintoihin on Suomessa siirretty vuosien 1999–2001 aikana. [3.] Laki ammatillisesta peruskoulutuksesta (3.10.2014/787) määrittelee koulutuksen vaatimukset:

Ammatillisen perustutkinnon suorittaneella on laaja-alaiset ammatilliset perusvalmiudet alan eri tehtäviin sekä erikoistuneempi osaaminen ja työelämän edellyttämä ammattitaito vähintään yhdellä osa-alueella.

Ammatillinen perustutkinto voidaan suorittaa tässä laissa tarkoitettuna ammatillisena peruskoulutuksena tai ammatillisesta aikuiskoulutuksesta annetussa laissa tarkoitettuna näyttötutkintona.

### Ammattitutkinto

Ammattitutkinnossa tutkinnon suorittajalta vaaditaan alan ammattityöntekijän ammattitaitoa ja osaamista. Ammattitutkinnon vaatimukset ovat siis korkeammalla kuin ammatillisen perustutkinnon vaatimukset. Ammattitutkinnon perusteet määrittää opetushallitus. Ammattitutkinnon perusteissa ammatillinen vaatimustaso on määritelty siten, että henkilö, jolla on alan ammatillinen koulutus tai sitä vastaavat tiedot ja taidot sekä lisäksi täydentäviä ja syventäviä opintoja ja noin kolmen vuoden työkokemus, pystyy todennäköisesti suoriutumaan ammattitutkinnosta. [4, s. 18.]

## Erikoisammattitutkinto

Erikoisammattitutkinto on perinteistä ammattitutkintoa vaativampi koulutus alan vaativampiin työtehtäviin aikuisille, joilla on jo alan työkokemusta. Erikoisammattitutkintojen perusteissa tutkinnon suorittajan ammattitaitovaatimukset on määritelty tasollisesti niin, että henkilö, jolla on alan peruskoulutus tai sitä vastaavat tiedot ja taidot sekä lisäksi täydentäviä ja syventäviä opintoja ja noin viiden vuoden työkokemus, pystyy todennäköisesti suoriutumaan erikoisammattitutkinnosta. [4, s.18.]

Ammattitutkinnon ja erikoisammattitutkinnon tasokuvauksissa kerrotut kolmen ja viiden vuoden työkokemusvaatimukset eivät suoraan edellytä näitä työkokemusvuosia, vaan ovat määritelmiä tutkinnon suorittajalta vaadittavista tieto- ja taitotasoista. Ammatti- ja erikoisammattitutkintojen laajuutta ei määritellä opintoviikkoina. [4, s. 18.] Arviointi tutkinnon suorittajan osaamisesta ammatti- ja erikoisammattitutkinnossa tehdään asteikolla hyväksytty–hylätty. Opetushallitus on määrittänyt perusteet jokaiseen ammatti- ja erikoisammattitutkintoon. Perusteissa määritellään hyväksytyt tutkinnon suorittamisen ammattitaitovaatimukset.

## **Liikenneopettajan erikoisammattitutkinto**

Liikenneopettajan erikoisammattitutkinnon suorittaminen on muuttunut 1.3.2015 alkaen. Ajokorttilain muutos (70/2015) antaa liikenneopettajaksi haluavalle mahdollisuuden toimia liikenneopettajana ilman erikoisammattitutkintoa. Aikaisemmin pitkäaikaisen liikenneopettajanluvan saadakseen on täytynyt suorittaa koko liikenneopettajan erikoisammattitutkinto. Kun tutkinnon suorittaja on hyväksytysti suorittanut erikoisammattitutkinnon osiot 3.1 ja 3.2, voi hän hakea liikenneopettajalupaa Poliisilta. Hakija voi saada liikenneopettajaluvan B-luokkaan sekä AM-luokan kevyen nelipyörän opetukseen, kunhan luvan saamisen edellytykset täyttyvät. Luvanhakijan halutessa opettaa muita kuin edellä mainittuja ajokorttiluokkia on hänen suoritettava täydentäviä liikenneopettajan erikoisammattitutkinnon osia. [5.] Liikenneopettajana voi siis toimia ammatissa ilman erikoisammattitutkintoa ja hankkia näin työkokemusta alalta. Toinen erikoisammattitutkinto, jossa opettajan ammatillisia taitoja näytetään, kaikkiaan noin neljästä sadasta tutkinnosta suomalaisessa tutkintojärjestelmässä on ratsastuksen opettajan erikoisammattitutkinto [6, s. 24].

Liikenneopettajan erikoisammattitutkinnon suorittaminen tapahtuu valmistavan koulutuksen kautta. Tällä hetkellä valmistavaa koulutusta Suomessa tarjoavat Hämeen am-

matti-instituutti ja Jyväskylän liikenneopettajaopisto. Liikenneopettajaksi voi valmistua myös oppisopimuskoulutuksen kautta.

Opetushallituksen asettama tutkintotoimikunta, johon kuuluvat työntekijöiden, työnantajien sekä opettajien edustajat, vastaa näyttötutkintojen järjestämisestä ja valvonnasta. Tutkintotoimikunta tekee myös sopimukset koulutuksen järjestäjien ja tarvittaessa muiden yhteisöjen ja säätiöiden kanssa sekä myöntää tutkintotodistukset. [7, s. 7.]

Näyttötutkinnoissa tutkinnon suorittaja osoittaa ammattitaitonsa annettujen tutkinnon perusteiden mukaan. Näytöt suoritetaan pääsääntöisesti todellisessa työympäristössä, oikeiden oppilaiden kanssa. Arvioinnin tutkinnon suorittajan osaamisesta tekevät työnantajan, työntekijöiden ja koulutuksen järjestäjän edustajat. Tutkintotoimikunta tekee lopullisen arvioinnin tutkinnon suorittajan osaamisesta. Todistus tutkinnon suorittamisesta voidaan antaa, kun vähintään kaksi pakollista ja kaksi valinnaista tutkinnon osaa ovat suoritettut. [7, s. 7.]

Liikenneopettajan erikoisammattitutkintoon valmistavaan koulutukseen valitut henkilöt aloittavat opintonsa henkilökohtaistamisella. Henkilökohtaistamisessa arvioidaan tarvittavan valmistavan koulutuksen laajuus ja opetusharjoittelun määrä vertaamalla hänen jo hankkimaansa osaamistaan tutkinnon perusteisiin [6, s. 83].

Liikenneopettajan erikoisammattitutkinnon voi suorittaa myös ilman valmistavaa koulutusta. Tällöin tutkinnon suorittajalla täytyy olla vahva ammatillinen osaaminen jo valmiina. Tutkinnon suorittaminen ilman valmistavaa koulutusta voi tulla kyseeseen, jos on toiminut liikenneopettajan ammatissa aiemmin ja hankkinut tarvittavan ammattitaidon työssään sekä aikaisemmassa liikenneopettajan tutkintoon valmistavassa koulutuksessa.

Liikenneopettajan erikoisammattitutkinto perustuu määräykseen 8/011/2014, jonka Opetushallitus on antanut [7]. Tutkinnon uudistuneet perusteet ovat tulleet voimaan 1.4.2014 ja ovat voimassa toistaiseksi. Määräyksessä on määritelty tutkinnon suorittajan ammattitaitovaatimukset, näyttötutkinnon järjestämisen ohjeistukset ja valmistavan koulutuksen vaatimukset. Liikenneopettajan erikoisammattitutkinto koostuu vähintään neljästä tutkinnon osasta, joista kaksi ovat pakollisia.

Pakolliset tutkinnon osat ovat

3.1 Autokoulutoimintojen hoitaminen

3.2 Liikenneopettajana toimiminen.

Pakollisten tutkinnon osien lisäksi tutkinnon suorittaja valitsee vähintään kaksi tutkinnon osaa seuraavista vaihtoehdoista:

3.3 Moottoripyöräkoulutuksen toteuttaminen

3.4 Kuorma- ja linja-autonkuljettajien C- ja D-opetuksen toteuttaminen

3.5 Kuljettajantutkinnon vastaanottajana toimiminen B- ja AM-luokissa

3.6 Ammatillisen kuljettajakoulutuksen opetustehtävät

3.7 Kuljetusalan ammattipätevyyskouluttajana toimiminen

3.8 Opetustoiminnan johtaminen ja yrittäjyys

3.9 Ympäristöystävällisen ja taloudellisen liikkumisen asiantuntijana toimiminen

3.10 Nuorten liikennekasvatuksen ja AM120:n opettajana toimiminen.

Lisäksi tutkinnon suorittajalla on mahdollisuus hyväksyttää yksi valinnainen tutkinnon osa omista aikaisemmista opinnoistaan tutkinnon osana 3.11.

### **3 Ympäristöystävällisen ja taloudellisen liikkumisen asiantuntijana toimiminen**

Tämä opinnäytetyön tarkoituksena on palvella tutkinnon osan 3.9 *ympäristöystävällisen ja taloudellisen liikkumisen asiantuntijana toimiminen* suorittajia. Tutkinnon osa 3.9 kuuluu valinnaisiin tutkinnon osiin, joita on kaiken kaikkiaan kahdeksan. Suorittaakseen liikenneopettajan erikoisammattitutkinnon on suoritettava vähintään kaksi valinnaista tutkinnon osaa. Tutkinnon osan ammattitaitovaatimukset käyvät ilmi Opetushallituksen määräyksestä [7]:

Tutkinnon suorittaja osaa

- toimia ympäristöystävällisen kaluston hankinnan ja liikkumisen suunnittelussa
- toimia taloudellisen ja ekologisen liikkumisen kouluttajana sekä neuvonantajana.

Tarkemmat tutkinnon suorittajan ammattitaitovaatimukset, arvioinnin kohteet ja kriteerit ovat kerrottu määräyksessä [7] sekä liitteessä 1. Tämän työn kannalta oleelliset arvioinnin kohteet ja kriteerit ovat seuraavat:

Arvioinnin kohde: Ympäristö- ja liikennesuunnitelmien keskeisten sisältöjen tunteminen ja analysointi.

Arvioinnin kriteerit:

Tutkinnon suorittaja

- neuvoo asiakasta ymmärrettävästi, miten päästöt rasittavat ympäristöä
- selvityksiin perustuen kertoo liikenteen päästöjen syntymisestä
- esittelee suunnitelmien globaalit ja lähitavoitteet ympäristönsuojelussa
- vertailee ja analysoi ympäristö- ja liikennesuunnitelmia.

Tässä työssä käsitellään edellä mainittuihin aiheisiin liittyen liikenteen päästöjä ja niiden vaikutuksia ympäristölle ja ihmisille sekä päästörajoituksia henkilöautoille.

Arvioinnin kohde: Ympäristöystävällinen ajoneuvotekniikka.

Arvioinnin kriteerit:

Tutkinnon suorittaja

- esittelee EU-direktiiviin mukaan tutkitun kulutustestin suoritustavan
- kertoo eri moottorityyppien erot taloudellisuuden näkökulmasta
- neuvoo asiakasta mitä vaikutuksia voi saada käyttämällä taloudellisuuden tähtääviä auton valmistajien teknisiä sovellutuksia
- auttaa asiakasta vertailemaan eri polttoainevaihtoehtoja ympäristöystävällisyyden näkökulmasta.

Lisäksi osioon *ympäristöystävällinen ajoneuvotekniikka* kuuluu arvioinnin kohteena lähi- ja kaukoliikenteen eri liikkumismuotojen vertailu energian kulutukseen perustuen. Edellä mainittu kohta on rajattu tämän työn ulkopuolelle, jotta pysyttäisiin insinööriyön

laajuudelle asetetuissa rajoissa. Näin ollen kyseinen arvioinnin kohde jää tutkinnon suorittajalle omatoimisesti selvitettäväksi.

Arvioinnin kohde: Suomessa toimivat ympäristönsuojeluun ja energiankulutuksen vähentämiseen keskittyneet yhdistykset, järjestöt ja yritykset.

Arvioinnin kriteerit:

Tutkinnon suorittaja

- selvittää, miten voi työssään hyödyntää kotimaisia ympäristönsuojeluun ja energian säästöön tähtääviä yhdistyksiä, järjestöjä ja yrityksiä
- vertailee yhdistysten tavoitteita ja toimintatapoja
- esittää yhteistyöehdotuksen valitsemansa yhdistyksen kanssa.

Arvioinnin kohde: Autoliikkeen taloudellisuusasiantuntijana toimiminen.

Arvioinnin kriteerit:

Tutkinnon suorittaja

- neuvoo asiakasta, mistä eri automerkkien ja -mallien EU-normin mukaisesti mitatut kulutuserot johtuvat
- neuvoo asiakasta, miten kulutuserot vaikuttavat asiakkaan tarpeen mukaiseen liikkumiseen
- kertoo autonvalmistajien taloudellisuuteen kohdistuvista ratkaisuksista
- auttaa asiakasta valitsemaan käyttötarpeeseensa sopivimman kokonaisaloudellisen auton.

Näiden vaatimusten pohjalta on tehty mahdollisimman kattavaa tietopakettia henkilöautojen teknisistä ominaisuuksista, käyttövoimavaihtoehdoista, polttoaineenkulutuksen mittaamisesta ja kulutukseen vaikuttavista tekijöistä, verotuksesta, päästöistä ja päästörajoituksista sekä energiamerkinnästä. Työssä on myös käsitelty Suomen henkilöautokannan nykytilaa ja sen kehitystä. Lisäksi liitteeseen 4 on kerätty yhteystietolista sellaisista yhdistyksistä, järjestöistä ja yrityksistä, jotka ovat osaltaan vähentämässä liikenteen energiankulutusta ja päästöjä. Tutkinnon osan suorittajat voivat hyödyntää yhteystietoja ollessaan yhteydessä eri tahoihin projektitöihinsä liittyvissä asioissa.



Vaikka työn tietopaketin aihepiiri on laaja, on tämän työn ulkopuolelle jäänyt tutkinnon suorittajan tarvitsemia tietoja tutkinnon osion 3.9 hyväksytysti suorittamiseen. Tämä työ antaa perustietoa ja raamit tutkinnon osan vaatimukseen pohjautuen, mutta työtä tehdessä on pidetty mielessä liikenneopettajan tärkeä taito hakea ja käsitellä tietoa. Tiedon hakemiseen kannustamisella halutaan edistää myös tutkinnon suorittajan itsenäistä oppimista ja opiskelua.

Tutkinnon suorittaja aloittaa tutkinnon osan 3.9 suorittamisen sen jälkeen, kun hän on läpäissyt pakolliset tutkinnon osat 3.1 ja 3.2. Ympäristöystävällisen ja taloudellisen liikkumisen asiantuntijan ajatellaan palvelevan yritysten liikkumisen suunnittelussa sekä toimivan autoliikkeiden palveluksessa ympäristöystävällisen ja taloudellisen ajoneuvo-tekniikan ammattilaisena.

Tutkinnon suorittajan osaamisvaatimukset tutkinnon osan hyväksytysti suorittamiseksi ovat melko vaativat, koska niihin liittyy kaksi projektiluontoista työtä, jotka ovat *yrittäjän ajoneuvojen ja henkilöiden liikkumisen suunnittelu* sekä *taloudellisen ajon koulutuksen toteuttaminen*.

Erikoisammattitutkinnon osan 3.9 osiossa *liikkumisen suunnittelu* tutkinnon suorittaja selvittää yrityksen liikkumistarpeen ja vertaa sitä yrityksen liikkumisen tietoihin. Näiden tietojen pohjalta hän tekee yrityksen liikkumisesta kehitysehdotuksen sisältävän suunnitelman sekä suunnitelman yritykseen tarvittavasta kuljetuskapasiteetista kalustohankintoihin ympäristöystävällisyyden näkökulmasta. Lisäksi hän auttaa yrityksen henkilökuntaa valitsemaan ympäristöystävällisen työmatkamuodon sekä tekee ympäristösuunnitelman ja laskelman energiankulutuksesta ja päästöjen vähentämisestä.

Yrityksen henkilöstön liikkuminen voi olla hyvinkin urautunutta ja kaavoihin kangistunutta. On hyvä, että ulkopuolinen henkilö tulee tarkastelemaan yrityksen henkilöstön liikkumista ja esittämään vaihtoehtoja totuttuihin liikkumismuotoihin. Jos esimerkiksi on totuttu kulkemaan aina omalla autolla töihin käyttämättä toimivaa julkista liikennettä tai työmatkapyöräilyn vaihtoehtoa, lisätään tarpeettomasti ympäristökuormitusta ja käytetään mahdollisesti vähäistä parkkitilakapasiteettia turhaan. Lisäksi työsuhteautoille tai yrityksen omille autoille voi olla järkevämpi vaihtoehto vuokrata auto tarpeen niin vaatiessa. Ainakin osa yrityksen ajoneuvokalustosta voidaan mahdollisesti ulkoistaa autonvuokrausta harjoittavan yrityksen huollettavaksi ja säästää näin resursseja johonkin tuottavampaan. Keskimäärin henkilöautokaluston käyttöaste on melko vähäinen, joten

monissa yrityksissä sitä on varaa tehostaa. Esimerkiksi toimivan autojen varausjärjestelmän laatiminen voi olla yksi avain yrityksen liikkumisen tehostamiseen.

Työnantajat voivat niin halutessaan ohjata työmatkaliikkumista julkista liikennettä suosivammaksi tarjoamalla esimerkiksi työsuhdematkalippuja. Rajaamalla työsuhdeautojen ja yritysautojen hiilidioksidipäästötasoa tiettyyn lukemaan edistetään ympäristöystävällisemmän ajoneuvokaluston hankkimista. Tämän osion ammattitaitovaatimukset ovat melko laajat, mutta yhteistyöyritykselle, jolle suunnitelma tehdään, on se varmasti hyvin hyödyllinen, kunhan se vain otetaan oikeasti käyttöön ja suunnitelman toteutuksesta valvotaan säännöllisesti.

Henkilöautojen tämänhetkinen keskimääräinen käyttöaste on hyvin heikko. Noin 96 prosenttia ajasta autot seisovat parkkipaikoilla. Helsingin Sanomien artikkelissa [8] ennustetaan, että autot ajavat itse jo vuonna 2030 ja autojen omistamisesta siirrytään yhteiskäyttöautoihin. Itseajavia yhteiskäyttöautoja tilataan mahdollisesti mobiilisovellusten avulla. Myös autojen pysäköinnin tarve tulee näin ollen vähenemään. Helsingissä yhden autopaikan rakennuskustannukset ovat noin 20 000–60 000 euroa. Autojen määrän ennustetaan vähenevän nykyisestä jopa 90 prosenttia. Siihen miten nopeasti itseajavat autot yleistyvät, vaikuttaa hyvin paljon lainsäädännön muuttamiseen tarvittavat toimenpiteet ja aika. Vastuukysymykset vahinkotapauksissa täytyy ratkaista, ennen kuin itseajavia autoja voidaan nähdä yleisillä teillä ajamassa ilman kuljettajaa. Autonvalmistajat ja it-yhtiöt kuten Google käyttävät miljardeja itseajavien autojen kehitystyöhön. [8.] Aikataulullisesti vuosi 2030 voi olla hieman liian optimistinen ennuste itseajavien autojen yleistymiselle.

Osiossa *taloudellisen ajon koulutuksen toteuttaminen* tutkinnon suorittaja suunnittelee ja toteuttaa taloudellisen ajon koulutuksen asiakkaan lähtökohdista. Toteutetun koulutuksen jälkeen tutkinnon suorittaja kerää palautteen pitämästään koulutuksesta, jonka pohjalta hän analysoi ja arvioi onnistumistaan koulutuksen toteutuksessa.

Ympäristöystävällisen ja taloudellisen ajon kouluttajana toimiminen on tärkeä osaamisalue tämän päivän ajoneuvoliikennettä kehitettäessä. Ympäristöystävällisen ja taloudellisen ajamisen koulutuksesta saadut suorat hyödyt ovat asiakkaalle tyypillisesti 10–20 prosenttia polttoaineenkulutuksen vähenemisen muodossa. Sen lisäksi, että polttoaineenkulutus vähenee, kestää myös auton tekniikka oikein käytettynä pidempään. Monilla kuljettajilla on tapoja, joiden haitallisuutta ajoneuvon ehjänä säilymiseen ei välttämättä tiedosteta. Tällaisia autoille haitallisia käyttötapoja ovat muun muassa kytkinpol-

kimen pitäminen pohjassa tarpeettomasti, moottorin liian korkean kierrosalueen käyttäminen sekä moottorijarrutuksen käyttämättömyys. Myös huoltovälit säilyvät auton valmistajan suunnittelemana tasolla, kun autoa käytetään oikein ja ajetaan ennakoivasti. Tärkeä asia tutkinnon suorittajan kehittämisessä kouluttajana on palautteen pyytäminen ja koulutuksen onnistumisen analysointi palautteen pohjalta. Taloudellisen ajon kouluttajana toimiminen kuuluu painotetusti autokouluopetuksen syventävään vaiheeseen ja tutkinnon osaan 3.2.

#### **4 Henkilöautojen polttoaineenkulutuksen ja päästöjen mittaaminen**

Henkilöautojen polttoaineenkulutusta ja päästöjä mitataan useilla erilaisilla testisykleillä ympäri maailman. Tänä päivänä kulutusmittaukset tehdään lähes poikkeuksetta laboratorio-olosuhteissa. Laboratoriossa tehtävien testien etuna on hyvä vertailtavuus eri automerkkien ja -mallien välillä. Laboratoriotestien heikkoutena pidetään yleisesti ajovastusten paikkaansa pitävyyttä, koska autonvalmistajat ilmoittavat vastukset itse testaamistaan ajoneuvoista. Polttoaineenkulutuksen mittaukseen on lähiaikoina tulossa muutos uuden maailman laajuisen WLTP-kulutusnormin (*Worldwide Harmonized Light Vehicles Test Procedure*) myötä. Nykyinen eurooppalainen NEDC-kulutusnormi (*New European Driving Cycle*), joka on käytössä Euroopassa, on menettänyt vähitellen luotettavuuttaan. [9.]

Tässä työssä on käsitelty polttoaineenkulutukseen ja päästöjen mittaamiseen liittyviä kulutusnormeja eurooppalaisesta näkökulmasta. Muun muassa Japanissa ja Yhdysvalloissa on käytössä omat kulutussyklit [10, s. 604–631].

##### **4.1 NEDC, New European Driving Cycle**

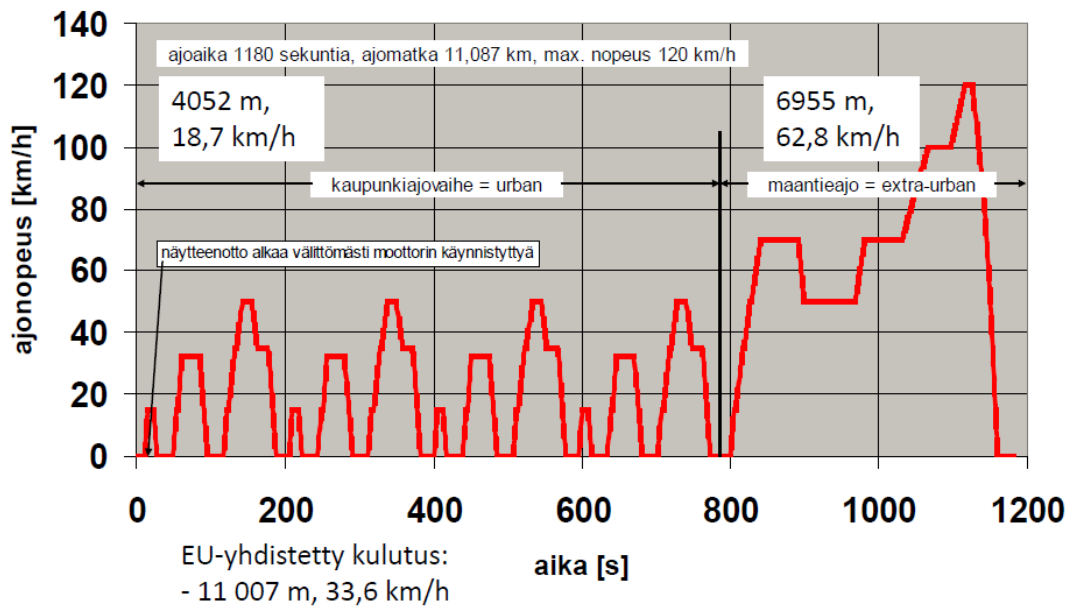
Nykyinen EU-kulutusnormin direktiivi 80/1268/ETY + 93/116/EY on peräisin vuodelta 1980. Direktiiviä on päivitetty vuosina 1989, 1993, 1999 ja 2004. Alun perin tarkempi kuvaus dynamometrikokeesta sisältyi direktiivin 70/220/ETY, jossa annettiin myös raja-arvot silloisille säännellyille pakokaasupäästöille. Mittaus koostuu neljästä samanlaisesta 195 sekunnin mittaisesta kaupunkiajosyyklistä (ECE 15) ja yhdestä 400 sekunnin mittaisesta maantieajosityyklistä (EUDC). [11, s. 18–19.]

Polttoaineenkulutus lasketaan mitattujen pakokaasupäästöjen perusteella. Pakokaasupäästöt kerätään testiajon aikana pussiin, josta ne analysoidaan ajon jälkeen. Mitattavat pakokaasupäästöt ovat hiilimonoksidi (HC), hiilidioksidi (CO<sub>2</sub>), palamattomat hiilivedyt (HC) sekä pienhiukkaspäästöt (PM ja PN). Päästöarvot ilmoitetaan muodossa g/km tai kpl/km ja polttoaineenkulutus muodossa l/km. Auton polttoaineenkulutus määritellään mitattujen päästöjen perusteella laskennallisesti. Polttoaineena NEDC-ajohjelman mukaisessa mittauksessa käytetään erityistä testipolttoainetta, jonka koostumus tiedetään tarkalleen. Polttoaineenkulutusta ei suoranaisesti mitata, vaan kulutustulokset perustuvat päästöistä laskettuihin arvoihin. [11, s. 18–19; 12, s. 193–194.] Päästökomponenteista ja niiden rajoituksista on kerrottu tarkemmin tämän työn luvuissa 12, 13 ja 14.

Kaupunkiajo-osuuden kokonaisajomatka on 4,052 km, keskinopeus 18,7 km/h ja maksiminopeus 50 km/h. Joutokäynnin osuus kaupunkiajoon käytetystä ajasta on 32 prosenttia eli 250 sekuntia. Maantieajo-osuuden ajomatka on 6,955 km, keskinopeus 62,6 km/h ja maksiminopeus 120 km/h. [12, s. 193.] Koko NEDC-kulutussykli on esitetty kuvassa 2.

Testisyklin kokonaisaika on 1180 sekuntia (19 min, 40 s) ja kokonaismatka 11,007 km. Keskinopeus on 33,6 km/h. Joutokäynnin osuus koko testin osalta on 25 prosenttia eli 295 sekuntia. Koska kaupunki- ja maantieajokyklit ovat erimittaiset, lasketaan yhdistetty kulutus painotetun keskiarvon mukaan, jossa kaupunkiajon painokerroin on 36,8 prosenttia ja maantieajon painokerroin 63,2 prosenttia. [11, s. 18–19; 12, s. 193.]

Kuten kuvasta 2 havaitaan, ovat auton nopeuden vaihtelut kuin viivoittimella piirrettyjä. Nämä direktiivin määrittelemät nopeudet ja nopeuden vaihtelut kiihdytyksistä jarrutuksiin ovat helpomman testattavuuden kannalta hyvät, mutta eivät vastaa autoilijan todellista arkiajoa. Koska joutokäynnin osuus on kokonaisuudessaan 25 prosenttia eli neljännes koko testiajasta, asettuvat autojen erilaiset sammutusautomaatiikat tärkeään asemaan polttoaineenkulutuksen pienentämisessä. Erilaisia sammutusautomaatioita muun mikrohybriditekniikan ohella käsitellään tämän työn luvussa 15.



Kuva 2. NEDC-kulutussykli [13].

Taloudelliseen ajamiseen kuuluvat ripeät, mutta ei repivät kiihdytykset. Sen sijaan hidastuksien tulisi olla maltillisia ja ennakoivia. Hidastaessa kannattaa lisäksi aina hyödyntää moottorijarrutusta, koska yleensä sen käyttäminen katkaisee polttoaineen syötön moottoriin ja alentaa näin ollen kulutusta.

Ajettaessa kulutussykliä manuaalivaihteisella autolla, vaihdetaan vaihteet annetun testiohjelman mukaan. Mikäli autossa on vaihto-opastin, noudatetaan sen antamia vaihto-ohjeita. Vaihto-opastin on tullut pakolliseksi kaikkiin uusiin autoihin 1.11.2014. Automaattivaihteisella autolla käytetään vaihteiston valitsimen asentoa, joka sallii suurimman vaihteen kytkeytymisen, eli käytännössä normaalia Drive-asentoa (D). [11, s. 19.]

Asetetut vastusarvot auton testaamisessa ovat polttoaineenkulutusta laboratoriossa mitattaessa suuressa asemassa. Vastusarvojen valinnalle dynamometriin on kolme vaihtoehtoa. Vastusarvot ovat autonvalmistajan määrittämiä ja ilmoittamia vastusarvoja, rullauskokeella mitattuja arvoja tai niin sanottuja taulukkoarvoja. Mikäli käytetään taulukkoarvoja, ovat ne huomattavasti suuremmat kuin rullauskokeella mitatut vastusarvot. Yleensä käytetäänkin autonvalmistajan ilmoittamia vastusarvoja, jotka testaa-va taho asettaa dynamometriin. Dynamometrin rullat vastustavat vetävien pyörien pyörimistä annettujen vastusvoimien summan suuruudella. [11, s. 18.] Suurimmat vastusvoimat ovat ilmanvastus, kiihdytysvastus ja vierintävastus. Suurin vastusvoima kaupunkiajosykyissä on kiihdytysvastus. Maantieajossa suurin vastusvoima on ilmanvas-

tus. Vierintävastus on kaupunki- ja maantieajosyklissä noin kolmannes vastusvoimista. [12, s. 194.]

Autonvalmistaja voi tehdä kulutustestin myös omassa laboratoriossaan. Tyyppihyväksyntäviranomainen tekee joka tapauksessa varmistusmittauksen, ja jos valmistajan mittaamat arvot eivät ylitä yli neljää prosenttia, voidaan ne hyväksyä virallisina mittaus tuloksina. [11, s. 18.]

Testattavan auton massa on auton omamassa lisättyä 100 kg:n kuormalla. Auton valmistajan on ilmoitettava autossa käytettävä moottoriöljyn ja jäähdytysnesteen, joiden on oltava valmistajan suosittelemia kyseiseen automalliin. Auton ei tarvitse olla uusi ajamaton, vaan sillä on oltava ajettu 3000–15 000 kilometriä ennen kulutustestiä. Testattavassa autossa käytettävät moottorin säädöt ja auton hallintalaitteet on oltava auton valmistajan määräysten mukaiset. Ennen tehtävää testiä auton on oltava vähintään 6 tuntia käytettävässä testitilassa, kuitenkin niin, että moottoriöljyn ja jäähdytysnesteen lämpötila on  $\pm 2$  °C ympäröivän testitilan lämpötilaan verrattuna. [14.] Testauksessa käytettävän tilan lämpötilan tulee olla suurin piirtein vakio välillä 20–30 °C. Tavoitearvo testitilan lämpötilalle on 23 °C. Ilmankosteuden täytyy olla välillä 5,5–12,2 g H<sub>2</sub>O/kg kuivaa ilmaa. [11, s. 18.]

Testin aikana autossa täytyy olla toiminnassa auton käytölle välttämättömät toimilaitteet. Lämmitys- tai ilmastointilaitte ei saa olla toiminnassa testin aikana. Myöskään ajovalojen ei tarvitse olla käytössä. Lämmitys- ja ilmastointilaitteen toimimattomuudella mahdollistetaan testitulosten vertailukelpoisuus, koska olisi vaikea määrittää käytetyt lämmitys- ja ilmastointilaitteen asetukset laitteiden valmistajakohtaisten säätöjen erilaisuudesta johtuen. Oman värinsä laitteiden säätöihin toisivat automaattiset ja manuaaliset lämmitys- ja ilmastointilaitteiden toiminnan eroavuudet. Todellisessa arkiarjossa todella harvoin ajetaan ilman toimivaa lämmitys- tai ilmastointijärjestelmää, josta tulee selkeä ero teoriassa mitatun ja todellisen kulutuksen välille. [12, s. 200–201.]

Käytettävien testirenkaiden on oltava sellaista tyyppiä, jotka auton valmistaja on määrittänyt alkuperäisvarusteeksi. Renkaiden ilmanpaine on oltava sellainen, jota suositellaan käytettäväksi testikuormitukselle ja nopeuksille. Öljyjen ja muiden nesteiden täytyy olla autoon suositeltuja ja autotehtaalla uuteen autoon käytettäviä laatuja. Testattavassa autossa käytettävien renkaiden tyyppi, merkki ja koko sekä rengaspaineet on ilmoitettava testausselesteessä testiä tekeväälle taholle. Lisäksi testausselesteessä on ilmoitettava autossa käytettävän öljyn ja jäähdytysnesteen laadut. [14.]

Ladattavien plug-in-hybridien kulutuslukemat perustuvat kahteen testiin, joissa ensimmäisessä auton ajoakut ovat täyteen ladatut ja toisessa testissä tyhjä. Kulutuslukemat perustuvat näiden kahden edellä mainitun testin keskiarvoon. Polttoaineenkulutus ja hiilidioksidipäästöt ilman saatavilla olevaa lataussähköä ovat siis huomattavasti korkeammat kuin ilmoitetut lukemat. [12, s. 201.]

Tällä hetkellä mitatut autojen kulutus- ja hiilidioksidipäästöarvot poikkeavat huomattavasti ilmoitetusta. Tekniikan Maailman vuonna 2012 tekemän testin [11, s. 14–25] mukaan testattujen autojen todelliset polttoaineenkulutuslukemat poikkeavat bensiinikäyttöisillä autoilla keskimäärin 28 prosenttia ja dieselkäyttöisillä autoilla 36 prosenttia ilmoitetuista arvoista. Suuret erot ilmoitettujen ja todellisten päästö- ja kulutusarvojen välillä johtuvat monesta tekijästä. Autonvalmistajien ilmoittamat vastusarvot on saatettu mitata aerodynaamisesti optimaalisella autolla, jossa on matalan vierintävastuksen renkaat. Sähkölaitteista vain pakolliset ovat käytössä testin aikana, mikä sekin aiheuttaa selkeää eroa laboratorio-olosuhteiden ja todellisen käytön välillä. Auton ollessa täyteen kuormattu on polttoaineenkulutus varmasti suurempi kuin laboratoriossa vain 100 kilogramman massalla lisätyssä autossa.

#### 4.2 WLTP, Worldwide Harmonized Light Vehicles Test Procedure

WLTP on valmisteilla oleva kansainvälinen kulutussykli polttoaineenkulutukselle ja päästöille. Suomen autolehden mukaan WLTP-sykli otetaan käyttöön aikaisintaan vuonna 2017. Autonvalmistajat ovat jarruttaneet syklin käyttöönottoa, koska se nostaa huomattavasti autojen polttoaineenkulutustietoja ja sitä kautta myös autojen päästötaasoja. Uusi sykli vastaa paremmin auton todellista käyttöä. Autonvalmistajat ovat ajaneet WLTP-syklin käyttöönotolle pidempiä siirtymäaikoja, jolloin valmistajilla olisi enemmän aikaa saada autot vähemmän kuluttaviksi. [15, s. 68.]

Eroavavaisuuksia WLTP- ja NEDC-kulutussykliä välillä löytyy kaikista mitattavista arvoista. WLTP-kulutussykli on pidempi ajassa ja matkassa mitattuna. Keskinopeus, kiihtyvyys ja huippunopeus ovat myös WLTP-syklissä korkeampia. Joutokäyntiosuus kokonaisajasta on NEDC-kulutussyklissä suurempi. Sykliä erot näkyvät taulukosta 1, jossa WLTP-kulutussyklin arvot koskevat yhteensä kaikkia neljää osiota.

Taulukko 1. Kulutussykliä vertailu [15, s. 68].

| NEDC vs. WLTP    |       |       |                  |
|------------------|-------|-------|------------------|
| Kulutussyklit    | NEDC  | WLTP  | Yksiköt          |
| Kokonaiskesto    | 1220  | 1880  | s                |
| Kokonaismatka    | 11,06 | 23,26 | km               |
| Keskinopeus      | 31,6  | 46,3  | km/h             |
| Huippunopeus     | 120,0 | 131,3 | km/h             |
| Kiihtyvyys       | 1,042 | 1,580 | m/s <sup>2</sup> |
| Joutokäyntiosuus | 33    | 13    | %                |

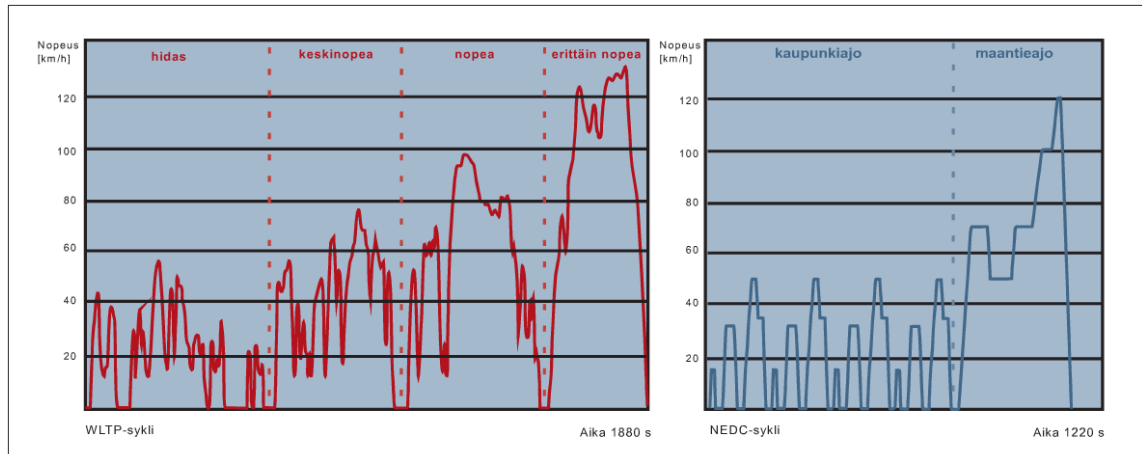
WLTP-sykli tunnistaa kolme ajoneuvoluokkaa ajoneuvon teho-painosuhteen perusteella. Teho-painosuhdetta laskettaessa ajoneuvon teho (W) jaetaan ECE R83 säännön mukaan määritetyllä ajoneuvon omamassalla (kg). Ajoneuvoluokat ja niiden luokitusperusteet ovat seuraavat:

- Luokka 1: teho-painosuhte yli 34 W/kg
- Luokka 2: teho-painosuhte 23–34 W/kg
- Luokka 3: teho-painosuhte 22 W/kg tai alle.

Suurin osa Suomeen tuotavista autoista kuuluvat luokkaan yksi, jossa teho-painosuhte on 34 W/kg. Omamassaltaan 1000 kg auto, jossa on vähintään 35 kW:n tehoinen moottori, kuuluu tähän luokkaan. [15, s. 68.]

WLTP-kulutussykliin kuuluu neljä osiota nopeuden mukaan jaoteltuna. Syklin osiot ovat: *hidas, keskinopea, nopea ja erittäin nopea*. Luokkaan yksi kuuluvat ajoneuvot ajavat läpi kaikki syklin neljä osa aluetta. Luokkaan kaksi kuuluvat ajoneuvot eivät aja erittäin nopean ajon osuutta. Jos luokkaan kaksi kuuluvan ajoneuvon huippunopeus on alle 90 km/h, ajetaan nopean ajon osuuden sijasta hitaan ajon osuus uudestaan. Luokkaan kolme kuuluvat ajoneuvot ajavat vain syklin kaksi hitainta osuutta. Jos luokkaan kolme kuuluvan ajoneuvon huippunopeus on alle 70 km/h, korvataan keskinopean ajon osuus syklistä hitaan ajon osuudella. [15, s. 68.] Kuvasta 3 näkyvät WLTP- ja NEDC-kulutussykliä erot.





Kuva 3. WLTP- ja NEDC-kulutussyklien erot [15].

Verrattaessa WLTP- ja NEDC-sykliden nopeuskäyriä suhteessa aikaan huomataan WLTP-syklissä jyrkempiä nousuja ja laskuja, eli nopeampia kiihdytyksiä ja hidastuksia. Myös tasaisen nopeuden ajamisen jaksot ovat hyvin lyhyitä. Yksi merkittävä tekijä todellisen kulutuksen mittaamisessa on joutokäyntiajan lyhentäminen 6,7 minuutista 4,1 minuuttiin, vaikka WLTP-sykli on pidempi ajassa ja matkassa mitattuna. NEDC-kulutussyklin joutokäyntiosuus on ollut käytetystä kokonaisajasta 33 prosenttia, jonka vuoksi erilaisista sammutusautomaatioista on ollut paljon hyötyä kulutuksen vähentämisessä. NEDC-sykli on ollut kaikille henkilöautotyypeille samanlainen katsomatta tehoon ja massaun, jonka vuoksi se ei ole ollut reilu pienimmille automalleille.

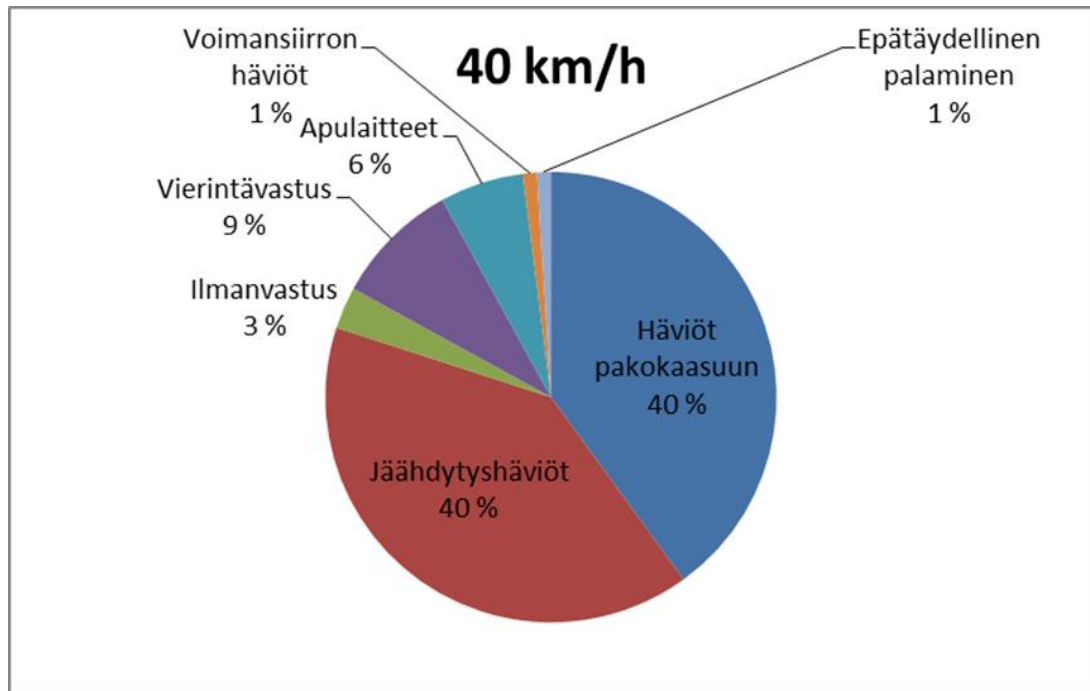
Kulutuskilometrit tulevat olemaan noin 10–20 prosenttia korkeammat WLTP-syklillä mitattuna, verrattuna vanhaan NEDC-sykliin. Tämä asettaa haasteita autojen verotukselle. Suomessa kuten monessa muissakin maissa on käytössä auto- ja ajoneuvoverotus, joka perustuu hiilidioksidipäästöihin. Kulutussyklin muuttaminen nostaisi autoilun verotusta tuntuvasti. [15, s. 68.] Kulutussykliden mittaustulosten suureen eroon olisikin syytä kiinnittää huomiota suunniteltaessa uuden syklin käyttöönottoa.

## 5 Polttoaineenkulutukseen vaikuttavat tekijät

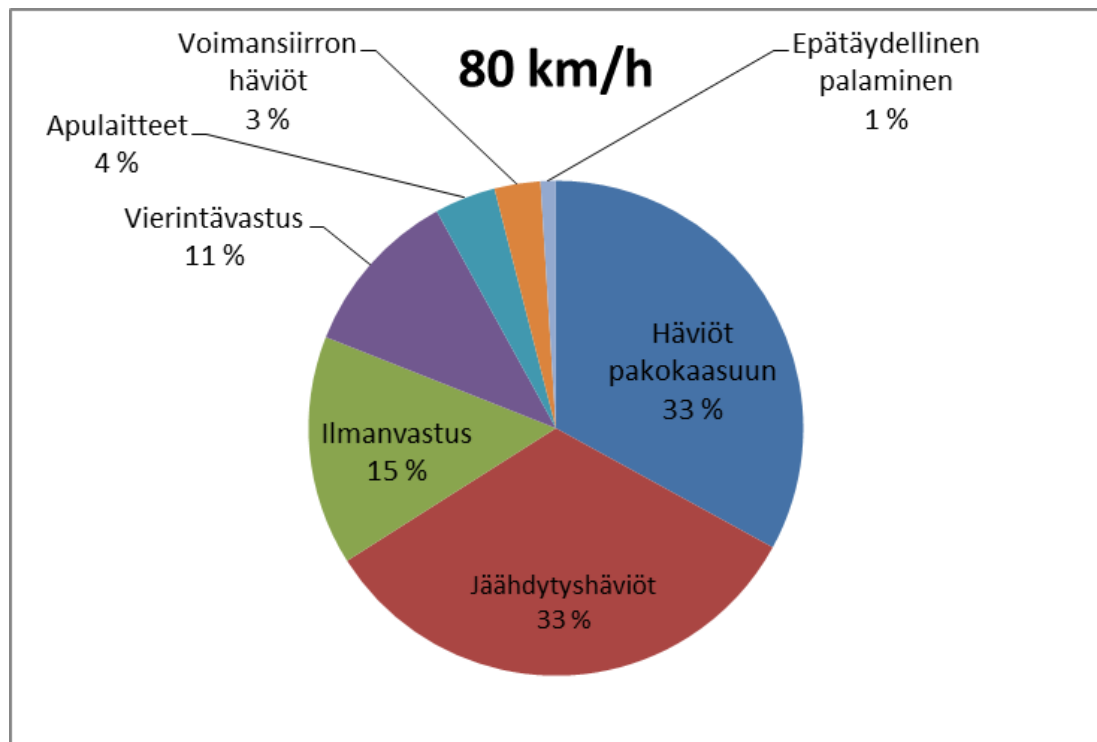
Auton polttoaineenkulutukseen vaikuttavia tekijöitä on useita. Kuljettajan ajotapa vaikuttaa polttoaineenkulutukseen ja auton kestävyys, mutta jos auto on rakennettu kovin epätaloudelliseksi, ei taloudellisella ajotavallakaan päästä kovin hyviin lopputuloksiin. Myös auton huolloilla ja ylläpidolla on suuri merkitys taloudellisuuden kannalta. Esimerkiksi auton rengaspaineista huolehtiminen vaikuttaa suoraan renkaiden kestoikään ja vierintävastukseen. Korkea vierintävastus taas näkyy suoraan auton polttoaineenkulutuksessa. On myös ajovastukseen vaikuttavia olosuhdetekijöitä, joihin kuljettaja ei omilla valinnoillaan voi vaikuttaa, kuten mäkien jyrkkyys ja tuulen suunta.

### 5.1 Polttoaineesta saatavan energian jakaantuminen polttomoottoriautossa

Polttoaineen sisältämästä energiasta hyötykäyttöön eli auton liikuttamiseen riittää noin 25–35 prosenttia riippuen käytettävästä polttoaineesta, moottorityypistä, moottorin ominaiskulutuksesta ja ajonopeudesta [16]. Energiaa hukataan moottorissa ennen kaikkea pakokaasujen ja jäähdytyksen kautta taivaan tuuliin [11, s.17]. Kuvista 4 ja 5 nähdään karkeasti polttoaineen sisältämän energian jakaantuminen eri häviöiden ja vastusvoimien kesken tasaisessa 40 ja 80 kilometrin tuntinopeudessa manuaalivaihteisella henkilöautolla. Tässä luvussa käsitellään ajovastusvoimia, jotka vastustavat auton liikumista. Auton liikumista vastustavia voimia ovat ilman-, vierintä-, mäennousu- ja kiihdytysvastus.



Kuva 4. Polttoaineen sisältämän energian jakaantuminen manuaalivaihteisella henkilöautolla nopeudessa 40 km/h [11, s. 17].



Kuva 5. Polttoaineen sisältämän energian jakaantuminen manuaalivaihteisella henkilöautolla nopeudessa 80 km/h [11, s. 17].

## 5.2 Ajovastukset

Auton ajovastuksia, joihin vaikuttavat auton, renkaiden ja ajoympäristön ominaisuudet, on useita. Polttomoottorin pyörittämiseen hukataan suuri määrä polttoaineen sisältämästä energiasta. Hukkaenergia siirtyy lähinnä lämpönä harakoille. Jäljelle jäävä, auton liikuttamiseen käytettävän energian täytyy voittaa ainakin ilman- ja vierintävastus. Lisäksi nopeutta kiihdyttäessä kulutetaan energiaa kiihdytysvastukseen ja ylämäessä mäennousuvastukseen. Kaikkiin neljään ajovastuslajiin vaikuttavat auton ominaisuuksien lisäksi ajoympäristö. Auton ajovastukset vaikuttavat suoraan kulutetun polttoaineen määrään.

### 5.2.1 Ilmanvastus

Ilmanvastus on vastusvoimista suurin maantienopeuksissa. Ilmanvastuksen suuruuteen vaikuttavat auton aerodynamiikka, ajonopeus, tuulen suunta ja nopeus sekä ilman tiheys. Auton ajonopeuden kaksinkertaistuessa ilmanvastuksen voittamiseen tarvittava moottorin teho kahdeksankertaistuu [12, s. 31]. Johtuen ilmanvastuksen suuresta kerautuvuudesta nopeuden suhteen vastusvoimat ovat maantieajonopeuksissa huomattavan suuret verrattuna taajama-ajonopeuksiin. Kuvia 4 ja 5 vertaamalla voidaan huomata ilman- ja vierintävastuksen suhde-ero. Suurin piirtein nopeudessa 60–70 km/h ilmanvastusvoima kasvaa ajovastusvoimista suurimmaksi riippuen autotyypistä, renkaista, sääolosuhteista sekä tienpinnan karheudesta.

Auton ominaisuuksista ilmanvastukseen vaikuttavat ilmanvastuskerroin sekä auton otsapinta-ala. Auton ilmanvastuskerroin mitataan auton valmistajan toimesta tuulitunnelissa. Ilmanvastuskerroin ei siis kerro suoraan ilmanvastusvoimaa, vaan siihen vaikuttaa myös auton otsapinta-ala. Vaikka autossa olisi pieni ilmanvastuskerroin, ei se takaa pientä ilmanvastusta, varsinkin auton otsapinta-alan ollessa suuri. Ilmanvastuskertoimen ja otsapinta-alan lisäksi ilmanvastusvoimaan vaikuttavat ajonopeus, ilman tiheys ja tuulen suunta.

### 5.2.2 Vierintävastus

Vierintävastus tarkoittaa vastusvoimaa joka auton renkaan on voitettava pyöriäkseen tien pinnalla. Vierintävastuksen suuruuteen vaikuttavat renkaan ominaisuuksien lisäksi tienpinnan tyyppi ja karheus. Toimenpide jolla kuljettaja voi helposti vaikuttaa vierintä-

vastuksen suuruuteen on rengaspaineiden tarkistaminen säännöllisesti. Vajaapaineinen rengas sekä nostaa vierintävastusta, että kuluttaa enemmän rengasta. Vierintävastukseen vaikuttaa huomattavasti renkaan pintakuvio. Auton valmistajien ekomalleissa ensiasennusvarusteena olevat matalan vierintävastuksen renkaat alentavat polttoaineenkulutusta ja sitä kautta myös päästöjä. Vierintävastusvoima kasvaa myös tien ollessa märkä. Erityisesti tien kulumaurissa ajaminen sadekeilillä kasvattaa vastusvoimaa, koska rengas joutuu syrjäyttämään veden pois urasta, jotta kulutuspinna koskettaisi tien pintaa. [12, s. 32, 33, 91.]

Vierintävastuksen kasvaminen nopeuden suhteen on lineaarista, eli vierintävastuskerroin ei kasva nopeuden kasvaessa, vaan pysyy kutakuinkin samana ajettaessa normaalinopeuksilla. Korkeilla nopeuksilla, joita Suomen teillä ei edes saa ajaa, on vierintävastuksen suuruudessa havaittavissa kasvamista. Erilaiset tien pinnat ja renkaiden ominaisuudet vaikuttavat vierintävastukseen enemmän kuin nopeus. [12, s. 32.] Taulukossa 2 on suuntaa antavia henkilöauton vierintävastuskertoimia erilaisilla tienpinnoilla. Vertailun vuoksi taulukossa on myös vierintävastuskerroin ajettaessa junalla kiskoja pitkin. Esimerkiksi 1500 kg painavan auton vierintävastuksen vaatima voima ajettaessa asfaltilla on noin 200 N.

Taulukko 2. Vierintävastuskertoimet [10, s. 378].

| Tienpinta        | Vierintävastuskerroin |
|------------------|-----------------------|
| Asfaltti, betoni | 0,013                 |
| Maapohja         | 0,05                  |
| Nupukivetys      | 0,015                 |
| Pelto            | 0,1...0,35            |
| Sepeli           | 0,02...0,025          |
| Pyörät kiskoilla | 0,001...0,002         |

### 5.2.3 Kiihdytysvastus

Auton nopeutta kiihdyttäessä vallitsee kiihdytysvastus. Kiihdytysvastuksen suuruus riippuu auton massasta ja nopeusvälistä, jolla auton kiihdytetään. Auton nopeutta kiihdytettäessä kiihdytysvastuksen lisäksi vallitsevat ilman- ja vierintävastus. Kun kiihdyttäminen tehdään nopeasti, jäävät ilman- ja vierintävastuksen osuudet pieniksi. Kiihdyttäminen kannattaa tehdä siis nopeasti ja mahdollisimman hyvällä moottorin hyötysuhteella. Moottorin hyvän hyötysuhteen hyödyntäminen tarkoittaa pienten pyörintänopeuksien ja mahdollisimman suuren moottorin kuormituksen käyttämistä. [12, s. 36–38.]

#### 5.2.4 Nousuvastus

Autolla ylä- tai alamäkeen ajettaessa vallitsee nousuvastus, joka on joko positiivinen tai negatiivinen. Ylämäkeen noustessa nousuvastusvoima on positiivinen ja alamäkeen rullatessa negatiivinen. Nousuvastusvoiman suuruus on riippuvainen auton massasta ja mäen jyrkkyydestä. Nousuvastusvoimaan ei vaikuta auton ajonopeus. Mäkien jyrkkyydet ilmoitetaan yleensä prosentteina. Esimerkiksi 4 prosentin mäen kaltevuus tarkoittaa, että tie nousee 4 metriä 100 metrin matkalla. Ylämäen positiivisen nousuvastuksen aiheuttamaa polttoaineenkulutuksen nousua voi olla vaikeaa kompensoida alamäessä negatiivisen nousuvastuksen vallitessa, koska moottorin hyötysuhde on huomionompi rullatessa alamäkeen moottorin kevyellä kuormituksella. [12, s. 38.] Nousuvastuksen suuruuteen kuljettaja voi vaikuttaa reittivalinnoillaan. Mikäli mahdollista olisi polttoaineenkulutuksen kannalta parempi valita ajoreittejä, joilla jyrkkiä nousuja on mahdollisimman vähän.

## 6 Ajovastusvoimien määrittäminen rullauskokeella

Auton vierintä- ja ilmanvastus on mahdollista määrittää rullauskokeella. Jokaisella joka on kiinnostunut oman autonsa ilman- ja vierintävastuksen suuruudesta on siis mahdollista testata vastusvoimat. Autoteknillisen taskukirjan [10] mukaan suoritettavaan rullauskokeeseen tarvitaan auton lisäksi sekuntikello ja mahdollisimman tasainen tieosuus, jossa auton nopeutta voidaan laskea muuta liikennettä häiritsemättä sekä tyyni ilma. Rullauskoe tehdään kytkemällä auton vaihde vapaalle ja antamalla auton rullata vapaasti rullauskokeen ohjeiden mukaisella nopeusvälillä. [10, s. 379.] Jotta nopeuden seurannasta saadaan mahdollisimman tarkka ja vältetään mittarivirheestä johtuvat epätarkkuudet, suositellaan käytettävän GPS-yhteydellä varustettua laitetta nopeuden mittaamiseen.

Tarvittavia tietoja ajovastusvoimien määrittämiseen ovat auton todellinen massa ja ot-sapinta-ala. Rullauskokeita on kaksi, jotka tehdään suurella ja pienellä nopeudella. Suuremmasta nopeudesta tehtävä hidastuksen nopeusväli on 60–55 km/h ja pienemmästä nopeudesta tehtävän hidastuksen nopeusväli on 15–10 km/h. [10, s. 379.] Ajovastusvoimat voidaan määrittää seuraavilla kaavoilla:

$$\text{keskinopeus: } v = \frac{v_1 + v_2}{2}$$

$$\text{keskihidastuvuus: } a = \frac{v_2 - v_1}{t}$$

$$\text{vierintävastuskerroin: } f = \frac{28,2 \cdot (a_2 \cdot v_1^2 - a_1 \cdot v_2^2)}{10^3 \cdot (v_1^2 - v_2^2)}$$

$$\text{ilmanvastuskerroin: } c_w = \frac{6 \cdot m \cdot (a_1 - a_2)}{A \cdot (v_1^2 - v_2^2)}$$

A on auton otsapinta-ala  $m^2$

a1 on keskihidastuvuus suurella nopeudella  $\frac{km/h}{s}$

a2 on keskihidastuvuus pienellä nopeudella  $\frac{km/h}{s}$

m on auton todellinen testimassa  $kg$

t on hidastukseen kulunut aika  $s$

v1 on keskinopeus suurella nopeudella  $km/h$

v2 on keskinopeus pienellä nopeudella  $km/h$

Tässä esitelty rullauskoe tehtiin osana ajodynamiikan kurssia, joka kuuluu auto- ja kuljetustekniikan insinöörikoulutukseen. Rullauskoetta oli työn tekijän lisäksi tekemässä auto- ja kuljetustekniikan opiskelija Tuomas Kokkonen. Rullauskoe tehtiin *Volkswagen Passat Variant EcoFuelilla* vuosimallia 2013. Kuvassa 6 on mittauksissa käytetty autoyksilö. Kyseinen automalli käyttää polttoaineenaan kaasua ja bensiiniä. Auton laskennallinen otsapinta-ala on noin  $2,48 m^2$  ja todellinen mittaussmassa on noin  $1750 kg$ . Autonvalmistaja ilmoittaa ilmanvastuskertoimeksi  $0,29$ . Rengaskoko autossa on  $235/45 R17$  ja rengaspaineet auton valmistajan suosittemat.



Kuva 6. Ajovastusmittauksissa käytetty auto.

Koepäivä oli 17. huhtikuuta tienpinnan ollessa melko karkea, mutta ilman tyyni. Rullauskokeita tehtiin samalla tieosuudella yhteensä 12. Suuren ja pienen nopeuden rullauskokeita tehtiin molempia yhteensä 6. Rullauskokeet tehtiin kahteen eri suuntaan samalla tieosuudella, jotta mahdollinen nousuvastus saatiin eliminoidua. Suuremmasta nopeudesta tehtyjen rullauskokeiden aikojen keskiarvo on 6,7 sekuntia ja hitaammasta nopeudesta tehtyjen rullauskokeiden aikojen keskiarvo on 8,8 sekuntia. Keskihidastuvuus laskettiin seuraavasti:

$$\text{Keskihidastuvuus suuremmasta nopeudesta } a1 = \frac{60-55}{6,7} = 0,75 \frac{\text{km/h}}{\text{s}}$$

$$\text{Keskihidastuvuus pienemmästä nopeudesta } a2 = \frac{15-10}{8,8} = 0,57 \frac{\text{km/h}}{\text{s}}$$

Rullauskokeella mitattu vierintävastuskerroin laskettiin seuraavasti:

$$f = \frac{28,2 \cdot (0,57 \cdot 57,5^2 - 0,75 \cdot 12,5^2)}{10^3 \cdot (57,5^2 - 12,5^2)} = 0,0158$$



Rullauskokeella mitattu ilmanvastuskerroin laskettiin seuraavasti:

$$c_w = \frac{6 \cdot 1750 \cdot (0,75 - 0,57)}{2,48 \cdot (57,5^2 - 12,5^2)} = 0,24$$

Tulosten perusteella voidaan päätellä mitattujen vastuskertoimien olevan suuntaa antavia. Laskettu vierintävastuskerroin 0,0158 on karkealla asfaltilla ajettuna oikeansuuntainen tulos. Autoteknillinen taskukirja antaa asfaltilla mitatun vierintävastuksen ohjearvoksi 0,013 [10, s. 378]. Laskettu ilmanvastuskerroin 0,24 on sekin samaa suuruusluokkaa auton valmistajan antaman ilmanvastuskertoimen kanssa, joka on 0,29. Mielienkiintoista mittauksissa oli se, että ilmanvastuskerroin on pienempi kuin auton valmistajan ilmoittama arvo.

## 7 Henkilöautojen verotus

### 7.1 Auton käytön verotus

#### Käyttövoimaverotus

Perinteisten bensiini- ja dieselmootoreiden rinnalle ovat tulleet kaasua- ja etanolikäyttöiset polttomootorit. Suomen ajoneuvoverotuksessa käyttövoimaverotus on määrätty silloin, kun käyttövoimana on dieselöljy, sähkö, sähkö ja bensiini, sähkö ja dieselöljy tai metaanipolttoaine, eli kaasua. Käyttövoimaverotus lasketaan auton kokonaismassan perusteella. Jokainen alkava 100 kg auton kokonaismassassa nostaa veron määrää. Käyttövoimaverotus Suomessa näkyvät taulukosta 3. Taulukossa on ilmoitettu päiväkohtainen käyttövoimaveron määrä sentteinä, jokaiselta alkavalta 100 kilogrammalta auton kokonaismassassa. [17.]

Taulukko 3. Käyttövoimaverotus [17].

| Käyttövoima               | Snt/pv/ alkava 100 kg |
|---------------------------|-----------------------|
| Dieselöljy                | 5,5                   |
| Sähkö                     | 1,5                   |
| Sähkö ja moottoribensiini | 0,5                   |
| Sähkö ja dieselöljy       | 4,9                   |
| Metaanipolttoaine         | 3,1                   |

Koska yleisesti puhutaan ja vertaillaan autojen vuotuista käyttövoimaveron määrää, on taulukkoon 4 laskettu käyttövoimaveron määrät henkilöautolle, jonka kokonaismassa on 2000 kg.

Taulukko 4. Käyttövoimaveron määrä vuodessa.

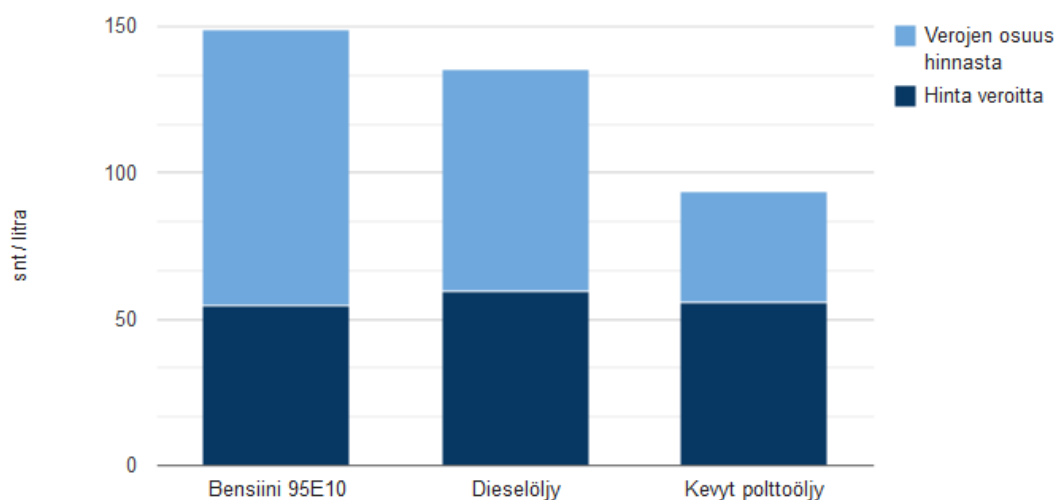
| Käyttövoima               | Käyttövoimavero vuodessa<br>(2000 kg / 365 pv) |
|---------------------------|--|
| Dieselöljyl               | 402 €  |
| Sähkö                     | 110 €  |
| Sähkö ja moottoribensiini | 37 €   |
| Sähkö ja dieselöljy       | 358 €  |
| Metaanipolttoaine         | 226 €  |

Sähkö- ja polttomoottorin yhdistelmissä käyttövoimaveron koskee sellaisia autotyyppisiä, joissa on ladattavat akut. Jos tällaisessa sähkö- ja polttomoottorin yhdistelmässä eli hybridissä on pelkästään ajon aikana latautuvat akut, peritään käyttövoimaveron polttomoottorin mukaan. Tällöin bensiinimoottorilla varustetussa hybridautoista ei peritä käyttövoimaveron. Dieselkäyttöisten autojen käyttövoimaveron korkein, joka johtuu dieselöljyn bensiiniä alhaisemmasta verotuksesta. Kaasukäyttöisille autoille on määrätty käyttövoimaveron vuoden 2013 alusta alkaen. Etanolia polttoaineena käyttävistä autoista ei käyttövoimaveron peritä, kuten ei myöskään bensiinikäyttöisistä autoista. [17.]

#### Ajoneuvovero

Käyttövoimaveron lisäksi Suomessa peritään ajoneuvoveron perusosaa, joka määräytyy joko auton kokonaismassan tai hiilidioksidipäästöjen mukaan. Hiilidioksidipäästöjen perusteella perittävään ajoneuvoveron on siirrytty Suomessa vuonna 2008 [18]. Ajoneuvoveron perusosaa peritään päästöjen perusteella vuonna 2001 ja sen jälkeen käyttöönotetuista autoista. Sitä vanhemmissa autoissa ajoneuvoveron perusosa lasketaan auton kokonaismassan perusteella. Suomessa nollapäästöisistäkin autoista, kuten sähköautoista, peritään ajoneuvoveron perusosaa. [17.]

Suoraan autoon liittyvien ajoneuvo- ja käyttövoimaveron lisäksi polttoaineesta maksetaan veroja ja veroluonteisia maksuja. Kuvasta 7 nähdään bensiinin, dieselöljyn sekä kevyen polttoöljyn sisältämät verot ja veroluonteiset maksut sentteinä (tilanne 15.4.2015). Näitä veroja ja veroluonteisia maksuja polttoaineen hinnassa ovat polttoainevero, huoltovarmuusmaksu ja arvonnlisävero. [19.]



Kuva 7. Polttoaineiden verotus [19].

## 7.2 Auton hankinnan verotus

Autoverotus Suomessa on hiilidioksidipäästöihin perustuva. Henkilöautojen hiilidioksidipäästöt on täytynyt ilmoittaa vuonna 2001 ja sen jälkeen käyttöönotetuille autoille. Autoveron määrä on enintään 6000 kg painaville henkilöautoille 5–50 prosenttia. Pienin 5 prosentin autovero määräytyy hiilidioksidipäästöiltään 0 g/km oleville autoille, eli lähinnä sähköautoille. Suurin 50 prosentin autovero määräytyy vähintään 360 g/km hiilidioksidipäästöillä oleville autoille. Käytettynä maahantuoduille autoille autovero määräytyy samalla tavalla kuin uusillekin autoille. Jos päästötietoja ei ole saatavissa, määräytyy autovero kokonaismassan mukaan. [20.]

Vuoden 2015 kesäkuussa talouspoliittinen ministeriövaliokunta on päättänyt autoveron alentamisesta portaittain vuosina 2016–2019. Päätös on esitys, jonka eduskunta käsittelee ja päättää lain lopullisesta sisällöstä ja hyväksymisestä. Esityksessä autoveroa alennetaan niillä autoilla joiden ominaishiilidioksidipäästöt ovat enintään 140 g/km. Verroa alennetaan vuosien 2016–2019 alussa samansuuruisina alennuksina. Tällä hetkellä Suomessa myytävien uusien autojen hiilidioksidipäästöjen keskitaso on 124 g/km. Näillä keskipäästöisillä autoilla autoveron alennus suhteellisesti on 13 prosenttia. Esimerkiksi vuonna 2015 keskimääräisillä hiilidioksidipäästöillä olevan uuden auton, joka maksaa 32 000 euroa, veronalennus on noin 260 euroa vuosittain, jolloin saman auton

voi teoriassa saada reilut 1000 euroa halvemmalla vuonna 2019. Eniten autoveron suhteellinen alennus tulee vaikuttamaan autoihin, joiden hiilidioksidipäästöt ovat alle 65 g/km. Käytännössä nämä alhaisen ominaishiilidioksidipäästötason autot ovat ladattavia hybridejä sekä sähköautoja. Myös nollapäästöisistä autoista peritään autoveroa, joka laskee nykyisestä 5 prosentista 2,7 prosenttiin. [21.]

Autoveron alentaminen hiilidioksidipäästöiltään alle 140 g/km olevilta autoilta, on valtiolta suoraa ohjausta ympäristöystävällisemmän autokannan suuntaan. Jää nähtäväksi se että miten veron alennus vaikuttaa uusien autojen myyntiin. Monet laskelmoivat auton ostajat saattavat jäädä odottelemaan vuoden 2019 alinta vähäpäästöisten autojen autoverotaso. Auton ominaishiilidioksidipäästöjen ollessa yli 140 g/km, ei nykyinen autovero muutu mitenkään vaan pysyy samalla tasolla, joten korkeamman päästötason auton ostajan ostopäätökseen kesäkuun 2015 esityksellä ei liene vaikutusta. Autokauppiaiden uusille autoille tekemät hinnantarkistukset saattavat ainakin osittain syödä verohyödyn uuden auton ostajalta autoveron alentamisen hitauden vuoksi. Tehtäessä vuonna 2019 lopullista arviota autonveronalennuksen vaikutuksesta autojen myyntihinnoihin voidaankin mahdollisesti huomata sen olleen pienempi kuin vuonna 2015 osataan arvioida. Mikäli autovero pienennettäisiin kerralla vuoden 2019 tasolle, vaikuttaisi se negatiivisesti ainakin vaihtoautovarastojen arvoon.

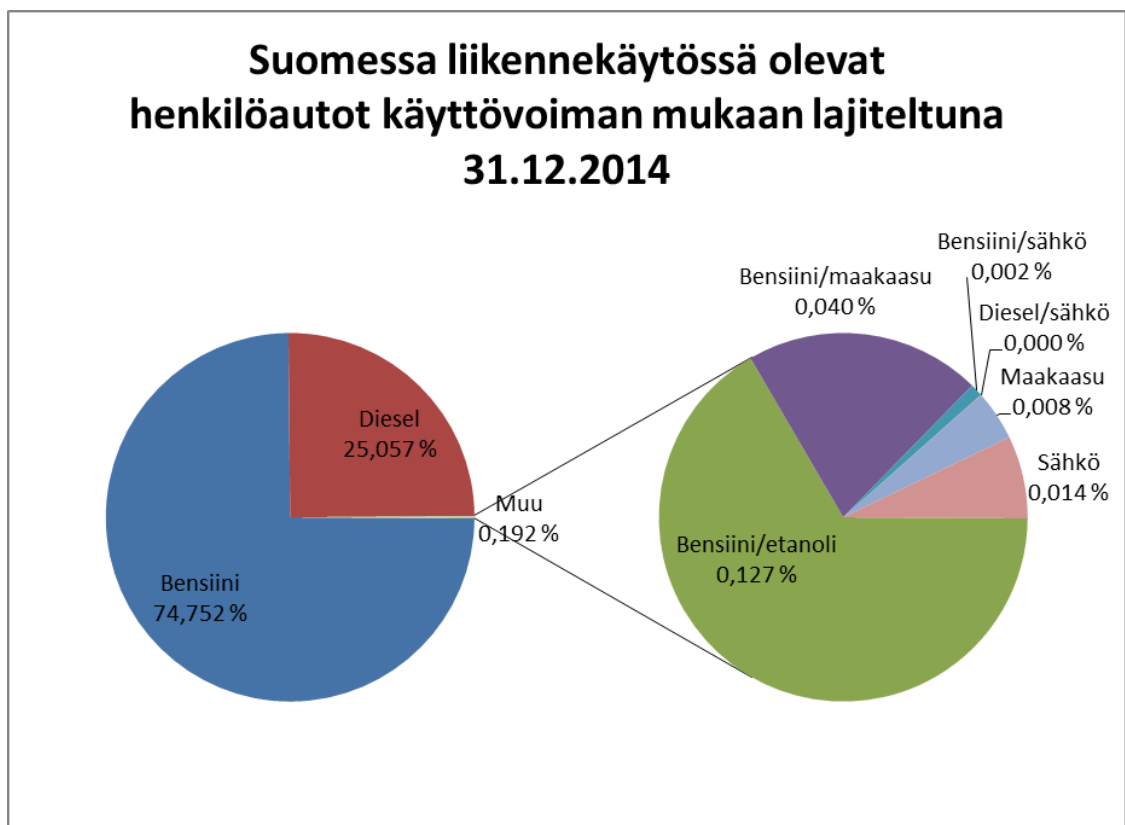
On huomattava, että autojen nykyiset hiilidioksidipäästöt perustuvat tehtyihin NEDC-kulutusmittauksiin, jotka eivät anna oikeaa kuvaa autojen todellisista päästöistä ja polttoaineenkulutuksista. Mikäli autojen kulutusmittauksissa siirrytään todellisempaan kulutussykliin, on sillä luonnollisesti autoveroa ja autojen hintoja nostava vaikutus. Tilausta todellisempia päästö- ja kulutuslukemia todentavalle testausmenetelmälle on selvästi olemassa, mutta autojen valmistajat eivät ole kovinkaan innokkaita muuttamaan nykyistä mittausjärjestelmää päästötason ja sitä kautta autojen hintojen nousun vuoksi.

Autoveron lisäksi henkilöautoista peritään ostettaessa arvonlisävero, joka on 24 prosenttia. Arvonlisävero lasketaan autoverottomasta hinnasta [22].

## 8 Henkilöautojen osuudet Suomessa käyttövoimien mukaan

Bensiini- ja dieselmkäyttöiset autot pitävät yhä pintansa suosituimpina henkilöautojen käyttövoimavaihtoehtoina Suomessa. Vuoden 2014 aikana kaikista Suomessa ensirekisteröidyistä henkilöautoista 60,2 prosenttia ovat bensiinikäyttöisiä, 39,1 prosenttia dieselmkäyttöisiä ja loput 0,7 prosenttia muita polttoaineita voimanlähteenään käyttäviä [23].

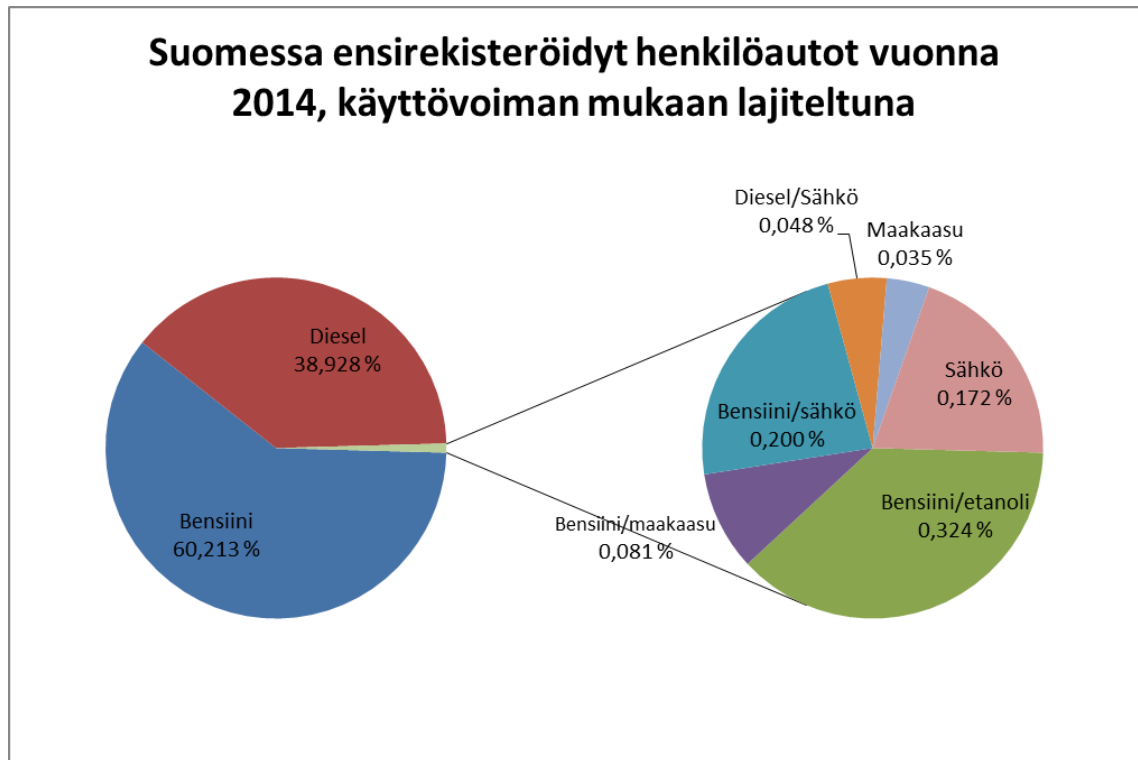
Kuvasta 8 nähdään miten pieni osuus suomessa liikennekäytössä olevista henkilöautoista käyttää käyttövoimanaan jotain muuta kuin bensiiniä tai dieselmöljyä. Muita polttoaineita kuin bensiiniä tai dieselmöljyä käyttävien henkilöautojen osuus Suomessa on vielä marginaalinen. Suurin piirtein noin neljännes henkilöautoista on dieselmkäyttöisiä ja kolme neljänneistä bensiinikäyttöisiä. Hybridiautot joissa polttomoottorin lisäksi on sähkömoottori, luokitellaan ajoneuvotilastoissa bensiini- ja dieselmkäyttöisten autojen luokkiin. Henkilöautoja oli Suomessa liikennekäytössä vuoden 2014 viimeisenä päivänä yhteensä 2 595 867 kappaletta ja kaikkia ajoneuvoja yhteensä 3 011 154. [24.]



Kuva 8. Suomessa liikennekäytössä olevat henkilöautot käyttövoiman mukaan [24].

Molemmassa sekä bensiini- että dieselmootoreissa on mahdollista käyttää uusiutuvista raaka-aineista valmistettavia biopolttoaineita, joten jo käytössä olevista autoista voidaan saada huomattavasti ympäristöystävällisempiä. Sähköautojen tulevaisuus on pitkälti kiinni akkutekniikan kehityksestä. Tällä hetkellä myynnissä olevien sähkökäyttöisten henkilöautojen toimintamatkat ovat hyvissä olosuhteissa Teslan valmistamalla sähköautolla enintään noin 500 kilometriä ja tavallisesti luokkaa 150–250 kilometriä. Suomen kylmät olosuhteet etenkin talvella lyhentävät sähkökäyttöisten autojen toimintamattoja. Yksi mahdollisuus ovat polttokennoautot, joissa auton liikuttamiseen tarvittava sähköenergia tuotetaan auton omissa polttokennoissa. Autonvalmistaja Toyota on ilmoittanut panostavansa polttokennoautojen tuotekehitykseen, pelkäänsä sähköä voimanlähteenään käyttävien autojen sijaan [25, s. 62]. Polttokennoautojen polttoaineena käytetään vetyä ja happea. Polttokennon polttoaineena voidaan käyttää vedyn lisäksi myös metaania tai metanolia. Sarjavalmisteisissa polttokennoautoissa käytetään polttoaineena ainakin vielä vain vetyä. [10, s. 648.]

Henkilöautoja ensirekisteröitiin Suomessa vuonna 2014 yhteensä 106 236 kappaletta [26]. Kuvasta 9 nähdään Suomessa vuonna 2014 ensirekisteröidyt henkilöautot käyttövoiman mukaan lajiteltuna. Vertailtaessa Suomessa liikennekäytössä olevia ja vuonna 2014 ensirekisteröityjä henkilöautoja käyttövoiman mukaan, huomataan ero bensiini- ja dieselkäyttöisten autojen osuuksissa. Liikennekäytössä olevien bensiinikäyttöisten henkilöautojen osuus on noin 75 prosenttia, kun niiden osuus ensirekisteröidyistä autoista on noin 60 prosenttia. Tähän vaikuttaa osaltaan Suomen autokannan hidas uusiutuminen. Autoalan tiedotuskeskuksen [18] mukaan Suomessa liikennekäytössä olevien henkilöautojen keski-ikä oli vuoden 2014 lopussa 11,4 vuotta, joka tarkoittaa sitä että vuonna 2015 ensirekisteröity auto on vuonna 2026 keski-ikäinen, mikäli pysytään samalla ajoneuvokannan hitaan uusiutuvuuden tasolla. Jotta Suomen autokanta saataisiin nykyaikaisemmaksi ja sitä kautta ympäristöystävällisemmäksi tarvitaan radikaaleja muutoksia autoilun verotukseen.



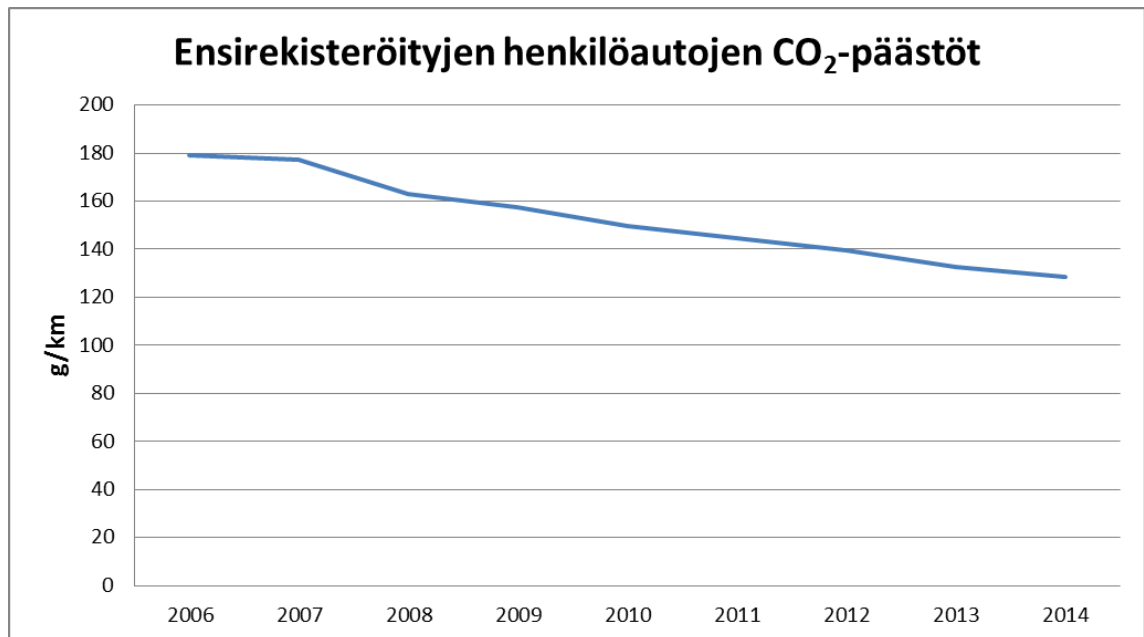
Kuva 9. Suomessa ensirekisteröidyt henkilöautot vuonna 2014 käyttövoiman mukaan [24].

Erilaisista henkilöautojen käyttövoimavaihtoehtoista kerrotaan luvussa 10. Käyttövoimavaihtoehtojen ominaisuuksien lisäksi luvussa 10 on kerrottu moottoreiden ominaisuuksista. Liikenteen päästöjä on käsitelty tarkemmin luvussa 12.

## 9 Henkilöautokannan kehitys Suomessa

Liikenteen kasvihuonepäästöt ovat laskeneet hitaasti, huolimatta uudesta ajoneuvotekniikasta. Osaltaan ajoneuvojen kasvava kokonaismäärä vaikuttaa päästöjen hitaaseen laskemiseen. Uusien autojen päästöjä rajoitetaan, mutta koska Suomessa on EU:n toiseksi vanhin autokalusto noin 11 vuoden keski-ikällä, vaikuttaa autokannan uusiutuminen hyvin hitaasti päästötasoon. Jotta henkilöautokannan keski-ikä saataisiin Suomessa laskemaan, täytyisi myydä vuosittain yli 150 000 henkilöautoa. Keskimäärin suomalainen auto kuuluu Euro 3 -päästöluokkaan, kun koko EU:n alueen henkilöautot kuuluvat keskimäärin luokkaan Euro 4. Euro-päästönormeista on kerrottu tarkemmin luvussa 14. Autokannan uusiutumisessa olisi ympäristöystävällisyyden lisäksi hyötynä autojen turvallisuustason nousu, uusien turvavarusteiden myötä. [27.]

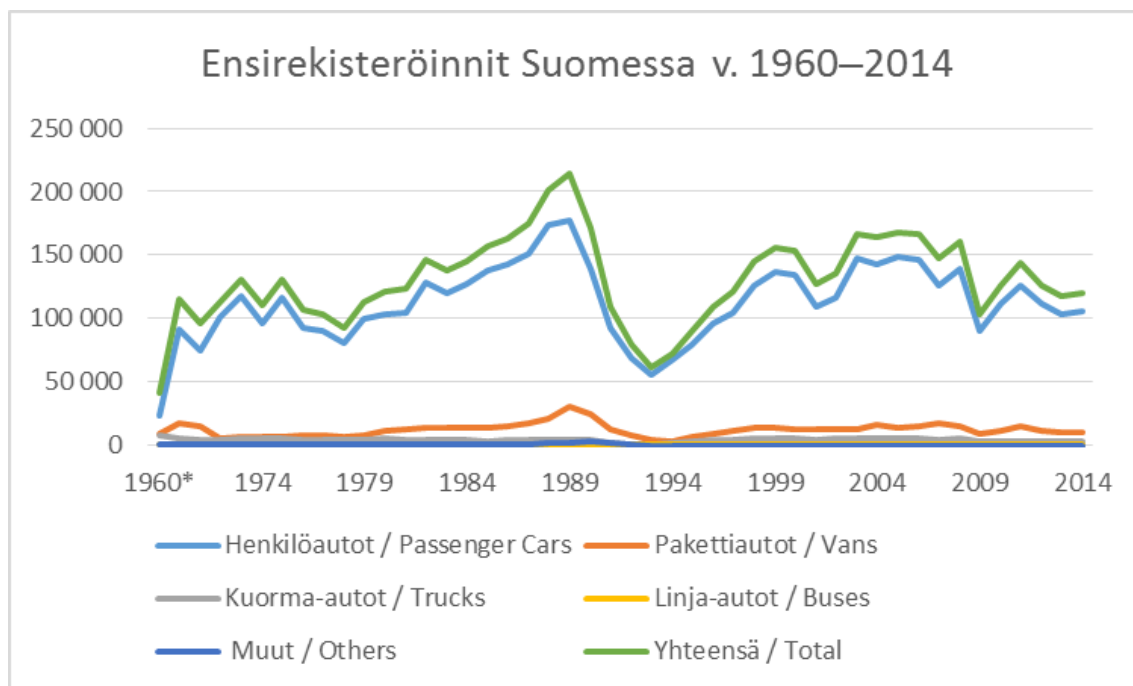
Ensirekisteröityjen henkilöautojen hiilidioksidipäästöt ovat kuitenkin laskeneet huomattavasti, kuten kuvasta 10 nähdään. Vuonna 2014 ensirekisteröityjen autojen hiilidioksidipäästöt olivat keskimäärin 128 g/km, kun ne vielä vuonna 2006 olivat noin 180 g/km. Hiilidioksidipäästötason laskua on edesauttanut autoverotuksen muuttuminen päästöperusteiseksi. EU on määrännyt asetuksessaan 443/2009 vuonna 2015 myytävien uusien autojen hiilidioksidipäästörajaksi 130 g/km. Mikäli autojen valmistajat eivät pysty täyttämään vaatimusta, joutuvat ne maksamaan sakkomaksuja rajan ylittäneistä hiilidioksidipäästöistä. Suomessa ensirekisteröityjen uusien autojen osalta on siis alitettu tämä vaatimus jo vuonna 2014.



Kuva 10. Suomessa ensirekisteröityjen autojen CO<sub>2</sub>-päästöt vuosina 2006–2014 [28].

Kuvassa 11 näkyvät Suomessa vuosina 1960–2014 ensirekisteröidyt ajoneuvot. Kuten kuvasta huomataan, ovat erityisesti henkilöautojen ensirekisteröinnit laskeneet viime vuosina. Vuonna 2014 ensirekisteröitiin noin 106 000 uutta henkilöautoa [26], josta täytyisi tehdä korkea hyppy yli 150 000 rekisteröityyn uuteen autoon vuodessa.





Kuva 11. Ensirekisteröidyt ajoneuvot Suomessa vuosina 1960–2014 [29].

Suomessa on vuonna 2015 aikavälillä 1.7.–31.12. voimassa romutuskampanja, jossa luovuttamalla vähintään 10 vuotta vanhan auton romutettavaksi, voi saada 1500 euron alennuksen ostaessa uuden henkilöauton. Ostettavan uuden auton hiilidioksidipäästöt saavat olla enintään 120 g/km, tai auton polttoaineena on joko kokonaan tai osittain korkeaseosetanoli, maa- tai biokaasu tai sähkö. [30.] Vastaavanlaisia kampanjoita tarvittaisiin varmasti lisää, samoin kuin tarkistusta Suomen autoverotukseen. Suomen korkean autoverotuksen vuoksi autoilijat ovat tottuneet pitämään autoaan pitkään ennen romutusta huolehtien autojensa kunnosta hyvin. Keskimääräinen romutusikä henkilöautoille Suomessa onkin noin 20 vuotta [27].

## 10 Henkilöautojen käyttövoimavaihtoehdot

Suosituimmat henkilöautojen käyttövoimat ovat olleet bensiini ja dieselöljy. Sähkökäyttöiset autot ovat vasta viime vuosina tehneet tuloaan automarkkinoille, vaikka niitä on käytetty ja suunniteltu aina 1800-luvulta saakka. Polttomoottorikäyttöisen auton etu on se, että vain osa käytettävästä polttoaineesta tarvitsee varastoida käytettävään autoon. Varsinaisen polttoaineen lisäksi polttomoottorin toimimiseen tarvitaan runsaasti ilmaa ja ilman saanti onkin polttomoottorin toimimisen edellytys. Sähkökäyttöisessä autossa kaiken auton liikuttamiseen tarvittavan energian täytyy kulkea auton mukana. Erilaisissa hybridautoissa hyödynnetään yleensä sekä polttomoottoria että sähkömoottoria.

Suurimmassa osassa hybridautoja sähkömoottorin parina toimii otto- eli bensiinimoottori. Joillain autonvalmistajilla on myös hybridimalleja, joissa polttomoottorina on dieselmoottori. Dieselmoottorin rasite ajoneuvon käyttäjälle Suomessa on vuotuinen käyttövoimavero, jollaista bensiinikäyttöisestä autosta ei peritä [17].

Tämä henkilöautojen käyttövoimia käsittelevä luku on kaikista laajin, koska ne ovat väistämättä muutoksen edessä. Tällä hetkellä fossiilisista polttoaineista suosituimpia ovat bensiini ja dieselöljy. Tulevaisuudessa tavoitteena on luopua kokonaan fossiilisista raaka-aineista valmistetuista polttoaineista. Erilaiset uusiutuvista lähteistä valmistetut biopolttoaineet, mukaan lukien sähköenergia nostavat osuuttaan polttoaineiden joukosta.

Tässä luvussa kerrotaan ensin bensiinistä ja dieselöljystä polttoaineena sekä niitä käyttävistä autoista, jonka jälkeen siirrytään käsittelemään muita tällä hetkellä käytössä olevia käyttövoimavaihtoehtoja sekä niitä käyttävien autojen ominaisuuksia. Käsitellyt käyttövoimat eivät suinkaan ole ainoat mahdolliset, vaan ne on valittu tämän hetken näkymien perusteella. Käsitellyt käyttövoimavaihtoehdot bensiinin ja dieselöljyn lisäksi ovat etanoli, kaasu, sähkö ja vety.

## 10.1 Bensiini

Bensiini polttomoottorin polttoaineena on hyvin perinteinen. Bensiini on fossiilinen polttoaine aivan kuten dieselöljy ja maakaasu. Johtuen bensiinin fossiilisuudesta on alettu kehittämään erilaisia uusiutuvista raaka-aineista peräisin olevia biopolttoaineita. Bensiininkin on lisätty biokomponenttina etanolia, jota voidaan tuottaa esimerkiksi jätteistä. Bensiiniä polttoaineena käyttävän polttomoottorin virallinen nimitys bensiinimoottorin sijaan on ottomoottori, sen kehittäjän mukaan.

### Ottomoottori

Nicolaus Otto esitteli ensimmäisen version bensiinikäyttöisestä Ottomoottorista jo vuonna 1876. Bensiinikäyttöisen polttomoottorin etuna on sen hyvä toimivuus kylmissä olosuhteissa, alhaiset hiukkas- ja typenoksidipäästöt verrattuna dieselmoottoriin. [31.] Vertailtaessa autoilun kustannuksia käyttövoiman perusteella, yleensä vertaillaan vain bensiini- ja dieselkäyttöisten autojen kustannuksia. Tänä päivänä on kuitenkin tarjolla

muitakin käyttövoimavaihtoehtoja kuten kaasu, sähkö ja etanoli. Luvussa 11 on vertailtu eri käyttövoimavaihtoehtojen taloudellisuutta.

Tiukentuvien Euro-päästönormien myötä on myös ottomoottoreita jouduttu kehittämään vähemmän kuluttaviksi ja päästöiltään puhtaammiksi. Päästönormien alittaminen on aikaisemmin ollut dieselmoottoreille haastavampaa kuin ottomoottoreille. Euro-päästönormeista on kerrottu tarkemmin luvussa 14. Ottomoottorin ongelmallisimmat päästöt ovat hiilimonoksidi (CO) eli häkä, sekä palamattomat hiilivedyt (HC) [31].

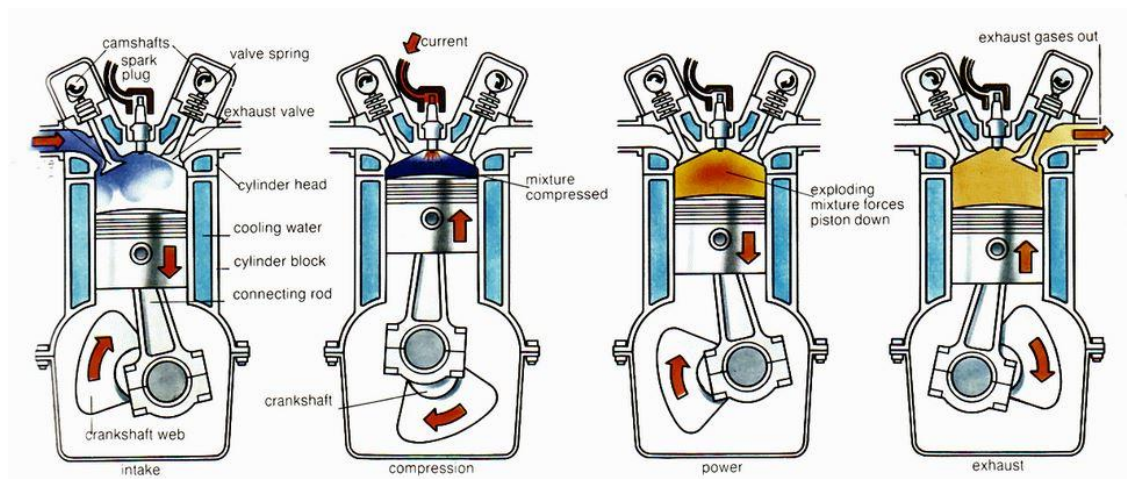
Viimeaikainen ottomoottoreiden kehityssuunta on suosinut moottoreiden ahtamista ja pienempiä iskutilavuuksia. Moottorin ahtamisen avulla voidaan käyttää iskutilavuudeltaan pienempiä ja kevyempiä moottoreita, jolloin normaalissa ajossa moottori kuluttaa vähemmän polttoainetta. Haluttaessa moottorista enemmän tehoa, tulee turboahdin mukaan ja antaa näin tarvittaessa suuremman tehon, kuin samankokoinen vapaasti hengittävä moottori. Myös niin sanottu kaksoisahtaminen on ollut suositumpaa viimeaikaisissa ottomoottorivaihtoehdoissa. Kaksoisahdetussa moottorissa on sekä mekaaninen että turboahdin. Kaksoisahtamisella saavutetaan ahtamisen hyödyt laajemmalla moottorin kierroslukalueella, kuin perinteisellä turboahtamisella. Alhaisilla moottorin kierrosluvuilla moottorin tehoa lisää mekaaninen ahdin. Korkeammilla kierrosluvuilla tehoa lisää antamaan tulee myös turboahdin. [31.]

Ottomoottorin hyötysuhde on melko huono verrattuna esimerkiksi sähkömoottoriin. Ottomoottorissa polttoaineen sisältämästä energiasta vain noin 20–25 prosenttia saadaan käytettyä auton liikuttamiseen ja apulaitteille, kuten ilmastoinnille ja latausjärjestelmälle. Suurimmat häviöt polttoaineen sisältämästä energiasta menevät pakokaasuille ja jäähtytykseen, yhteensä noin 70 prosenttia, riippuen moottorin ominaiskulutuksesta. Näiden lisäksi energiaa kuluu kitkahäviöiden voittamiseen noin viisi prosenttia. [16.] Vaikka mistään kovin energiatehokkaasta moottorista ei ottomoottorin kohdalla voida puhua, on se kuitenkin säilyttänyt asemansa jo pitkään suosittuna henkilöautojen voimanlähteenä. Luvussa 8 on kerrottu henkilöautojen jakaantumisesta Suomessa käyttövoimien mukaan.

Polttoaineensyötön kehityksen myötä on tapahtunut positiivista kehitystä ottomoottorin päästöjen ja polttoaineenkulutuksen suhteen. Nykyaikaisessa ottomoottorissa polttoaineensuihkutus tapahtuu suoraan palotilaan, juuri oikealla hetkellä ja optimaalisella polttoaineen määrällä. [32]

Ottomoottorin peruskonstruktio ja ajatus ovat pysyneet samana, vaikka polttoaineensyöttö, moottorissa käytetyt materiaalit ja mittatarkkuus ovatkin kehittyneet ajan saatossa. Henkilöautoissa käytettävät ottomoottorit ovat nykyään nelitahtisia. Aikaisemmin henkilöautoissa on käytetty myös kaksitahtisia ottomoottoreita, mutta nykyään ne ovat käytössä lähinnä pienkoneissa. [31.] Kuvasta 12 näkyvät nelitahtimoottorin tahdit, jotka ovat

- imutahti
- puristustahti
- työtahti
- pakotahti.



Kuva 12. Ottomoottorin neljä tahtia [33].

Imutahdin aikana moottori imee sylinteriin polttoaineen ja ilman syttymisherkan seoksen. Nykyaikaisissa polttoaineen suorasuihkutuksella varustetuissa moottoreissa polttoaine suihkutetaan imetyin ilman sekaan kerroksittain juuri oikealla hetkellä. Puristustahtissa mäntä puristaa ilman ja polttoaineen seoksen kokoon. Työtahti on varsinainen nelitahtisen polttomoottorin hyötytahti. Työtahtissa kokoon puristettu polttoaineen ja ilman seos sytytetään korkeajännitteisellä kipinällä, jonka seurauksena seos syttyy ja mäntä liikkuu palamisen voimasta alaspäin, aiheuttaen liikevoiman. Pakotahdin aikana palamisesta aiheutuneet pakokaasut työnnetään moottorista ulos pakoputken kautta.

## Bensiinilaadut Suomessa

Suomessa otettiin vuonna 2011 käyttöön enemmän etanolia sisältävä bensiinilaatu 95E10. Kyseisen polttoainelaadun soveltuvuus täytyy aina varmistaa ennen tankkaamista. Suomessa vuonna 2012 ja sen jälkeen käyttöön otettuihin autoihin 95E10 bensiinin täytyy soveltua. Motiva ylläpitää verkkosivustoa *e10bensiiini.fi* josta selviää 95E10 bensiinin soveltuvuus eri automalleihin. Joidenkin autonvalmistajien malleihin on voinut jo 70-luvulta lähtien tankata korkeamman etanolipitoisuuden omaavaa bensiiniä. Jos on epävarma auton bensiinilaadusta, niin on parempi tankata pienemmän etanolipitoisuuden ja suuremman oktaaniluvun omaavaa bensiinilaatua 98E5. Etanolissa on noin 40 prosenttia alhaisempi energiasisältö kuin bensiinissä. Nykyaikaiset polttoaineen suihkutuksella varustetut henkilöautot eivät kuitenkaan kuluta korkeamman etanolipitoisuuden bensiiniä sen enempää kuin pienemmän etanolipitoisuuden bensiiniä, johtuen etanolin palamista parantavasta vaikutuksesta. [34, s. 46.] Korkeaseosetanolin ominaisuuksista polttoaineena on kerrottu luvussa 10.3.

Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy on tutkinut kauppalaatuisten 95E10 ja 98E5 -bensiinien kulutuseroa. VTT:n tekemän tutkimuksen [35] mukaan ei ole juurikaan eroa ajaako 10 prosenttia vai 5 tilavuusprosenttia sisältävällä bensiinilaadulla. Julkisuudessa esitetyt väitteet suuristakin polttoaineenkulutuseroista näiden polttoaineiden välillä, ei ainakaan kyseisen tutkimuksen mukaan pidä paikkaansa. Tutkimuksen mukaan keskimääräinen kulutusero polttoainelaatujen välillä on noin yhden prosentin luokkaa, joka mahtuu tutkimuksen virhemarginaaliin.

Auton polttoainejärjestelmän kumi- ja muoviosat voivat haurastua ja metalliosat hapettua, mikäli auton polttoainejärjestelmää ei ole suunniteltu korkeamman etanolipitoisuuden bensiinille. Jotkin korkeaviritteiset nykymoottorit tarvitsevat korkeamman oktaanilaadun bensiinin, eikä niihin siksi sovellu käytettäväksi 95E10-bensiinilaatu. Oktaaniluku kertoo bensiinin puristuskestävyyden, eli sen miten hyvin polttoaine vastustaa itsesyttymistä. Ottomoottorissa korkeajännitteisen sähkökipinän on tarkoitus sytyttää bensiinin ja ilman seos puristustahdin loppuvaiheessa. Polttoaineen syttyessä ennen sytytyskipinää, puristuksen vaikutuksesta, puhutaan yleisesti nakutusilmiöstä. [36.]

Yksi syy nakuttamiseen voi olla polttoaineen liian alhainen oktaaniluku. Korkeampi oktaaniluku mahdollistaa suuremman puristussuhteen käyttämisen moottorissa. Oktaaniluku saadaan vertaamalla bensiinissä olevien kahden hiilivedyn suhteita. Nämä kaksi hiilivetyä ovat iso-oktaani ja n-heptaani. Iso-oktaani kestää hyvin puristusta ja n-

heptaani huonosti. Oktaaniluvun ollessa 100, sisältää bensiini näistä kahdesta hiilivedystä vain iso-oktaania. 95-oktaanisessa bensiinissä iso-oktaanin ja n-heptaanin suhde on 95/5. [36.]

Yleisesti tiedetään dieselpolttoaineita olevan kesä- ja talvilaatuisia. Myös bensiinilaatuja on kesä- ja talvilaatuisia. Bensiinin kesä- ja talvilaadut eroavat toisistaan lähinnä haihtuvuudeltaan. Käynnistettäessä ottomoottoria talvella kylmissä olosuhteissa täytyy bensiinin olla haihtuvampaa kuin kesällä, jotta voidaan taata hyvä kylmäkäynnistyvyys. Bensiinin haihtumiseen vaikuttaa bensiinin höyrynpaine. Talvilaatuisen bensiinin höyrynpaine on korkeampi kuin kesälaadun, jolloin se höyrystyy helpommin ja moottorin käynnistyvyys kylmänä on varmempaa. Kesällä korkeamman höyrystyvyyden omaava bensiini saattaa aiheuttaa käyntihäiriöitä, jolloin moottori ei käynnisty kuumana tai se käy epätasaisesti. [37.] Kesäaikana (1.4–30.9) myytävän bensiinin höyrynpaine on 45–70 kPa ja talviaikana (1.9–15.5) myytävän bensiinin höyrynpaine on 60–90 kPa [38].

Vähimmäisvaatimukset bensiinin laadulle määrittelee polttoaineen laatustandardi EN228. Suomen kylmien olosuhteiden vuoksi polttoaineilta vaaditaan eri ominaisuuksia kuin Keski-Euroopassa. Suomen Standardoimisliiton (SFS) standardissa SFS-EN 228:2012 on esitetty moottoribensiinin vaatimukset Suomessa. Standardissa määritellään korkeintaan 5 ja 10 tilavuusprosenttia sisältävät bensiinilaadut (95E10 ja 98E5). [38.]

Bensiinin tiheys on välillä 725–770 kg/m<sup>3</sup>. Tyypillisesti bensiinin tiheys on noin 750 kg/m<sup>3</sup>. Aikaisemmin ennen bensiinin biokomponentteja polttoaineen tiheys on kertonut myös bensiinin energiasisällön. Nykyään bensiinin sisältäessä biokomponentteja, ei tiheydestä pystytä suoraan päättelemään sen energiasisältöä. [38.]

## 10.2 Diesel

Dieselmoottorin kehittäjä Rudolf Diesel on patentoinut keksintönsä vuonna 1893. Maapähkinäöljyllä käyvän biodieselmoottorin hän esitteli vuonna 1900 Pariisin maailmannäyttelyssä. [39, s. 85.] Dieselmoottorin polttoaineena voidaan käyttää kaasuöljyä erillisillä biokomponenteilla lisätynä. Dieselmoottorin toiminta perustuu polttoaineen syttymiseen puristuksen voimasta. Toisin kuin ottomoottorissa sytytetään polttoaineen ja ilman seos korkeajännitteisellä sähkökipinällä, dieselmoottorissa polttoaineen ja ilman seos sytytetään puristamalla. Puristus-sytytyksestä johtuen voidaan dieselmoottorissa

hyödyntää korkeampaa puristussuhdetta, tästä johtuen myös dieselmoottorin hyötysuhde on parempi kuin ottomoottorissa. Parhaimmillaan dieselmoottorin hyötysuhde voi olla 40 prosenttia, kun se ottomoottorissa on noin 20–25 prosenttia. [40.] Hyötysuhdeella tarkoitetaan polttoaineen sisältämästä energiasta, moottorin pyörimisen kautta saatavaa hyötyenergiaa.

Vuoden 2014 lopussa dieselautojen osuus on noin 25 prosenttia kaikista Suomessa liikennekäytössä olevista henkilöautoista. Vuonna 2014 ensirekisteröidyistä henkilöautoista dieseliä polttoaineenaan käyttää noin 39 prosenttia. [41.]

Dieselmoottorin toimintaperiaate poikkeaa ottomoottorista puristus- ja sytytyksen lisäksi polttoaineensyötössä ja päästöjen jälkikäsittelyssä. Tämän päivän ajoneuvokäytössä olevat dieselmoottorit ovat nelitahtisia, kuten ottomoottoritkin ovat. Aiemmassa bensiniikäyttöisiä moottoreita käsittelevässä luvussa olevan nelitahtisen ottomoottorin toimintaperiaate on sama kuin dieselmoottorissa, lukuun ottamatta sytytystapaa, joka tapahtuu dieselmoottorissa puristamalla. Dieselmoottorissa ilman määrää ei kuristeta kuten ottomoottorissa, vaan moottorin teho säädetään polttoaineensyötön avulla. Polttoaineensyöttö dieselmoottorissa voidaan hoitaa monella tavalla. [32.]

#### Polttoaineen ruiskutus

Tämän päivän uusissa dieselmoottorisissa autoissa polttoaineensyöttö tapahtuu yhteispaineruiskutuksena. Aikaisempia polttoaineenruiskutustapoja ovat olleet rivipumppu, jakajapumppu ja pumppusuutin. Rivipumpussa jokaisella sylinterillä on oma pumppuelementti. Jakajapumppussa on yksi pumppumäntä, joka kehittää polttoaineen paineen ja jakaa polttoaineen sylintereille. Pumppusuutinmoottorissa sekä polttoaineen paine että suihkutuspaine hoidetaan samalla elementillä, jollainen löytyy jokaisesta sylinteristä. Yhteispaineruiskutuksessa on erillinen korkeapainepumppu, joka kehittää polttoaineen paineen ja polttoaineenruiskutusventtiilejä ohjataan sähköisesti. [32.]

#### Dieselmoottorin päästöt

Dieselmoottorin ottomoottoria suuremmat päästöt ovat typenoksidi- ja hiukkaspäästöt. Autonvalmistajat ovat joutuneet kehittämään entistä puhtaampia autoja johtuen tiukentuvista päästönormeista. Dieselmoottorin typenoksidipäästöjä on vähennetty käyttämällä pakokaasujen takaisinkierätystä (EGR), sekä SCR-katalysaattoria. (*Selective Catalytic Reduction*) Pakokaasujen takaisinkierätyksessä tavoitellaan pakokaasun läm-

pötilan alentamista, joka alentaa typenoksidipäästöjä. SCR-katalysaattorissa typen oksidit muutetaan typeksi ja vedeksi. [31.] Pakokaasujen jälkikäsittelystä on kerrottu enemmän luvussa 15.3.

Hiukkaspäästöjä on pyritty vähentämään hiukkassuodattimella. Joidenkin autonvalmistajien hiukkassuodattimet vaativat erityisen lisäaineen toimiakseen. Tämä lisäaine alentaa puhdistukseen tarvittavaa lämpötilaa hiukkassuodattimen regenerointivaiheessa. Hiukkassuodattimeen regeneroinnissa poltetaan suodattimeen kertyneet nokihiukkaset. Regeneroinnin käynnistyessä moottoriin syötetään polttoaineylimäärä, jolloin lämpötila hiukkassuodattimessa nousee ja nokihiukkaset palavat suodattimesta pois. Koska regenerointiin käytetään polttoaineen ylimäärää, lisää se hetkellisesti polttoaineenkulutusta ja sitä kautta hiilidioksidipäästöjä. [31.]

#### Dieselöljy polttoaineena

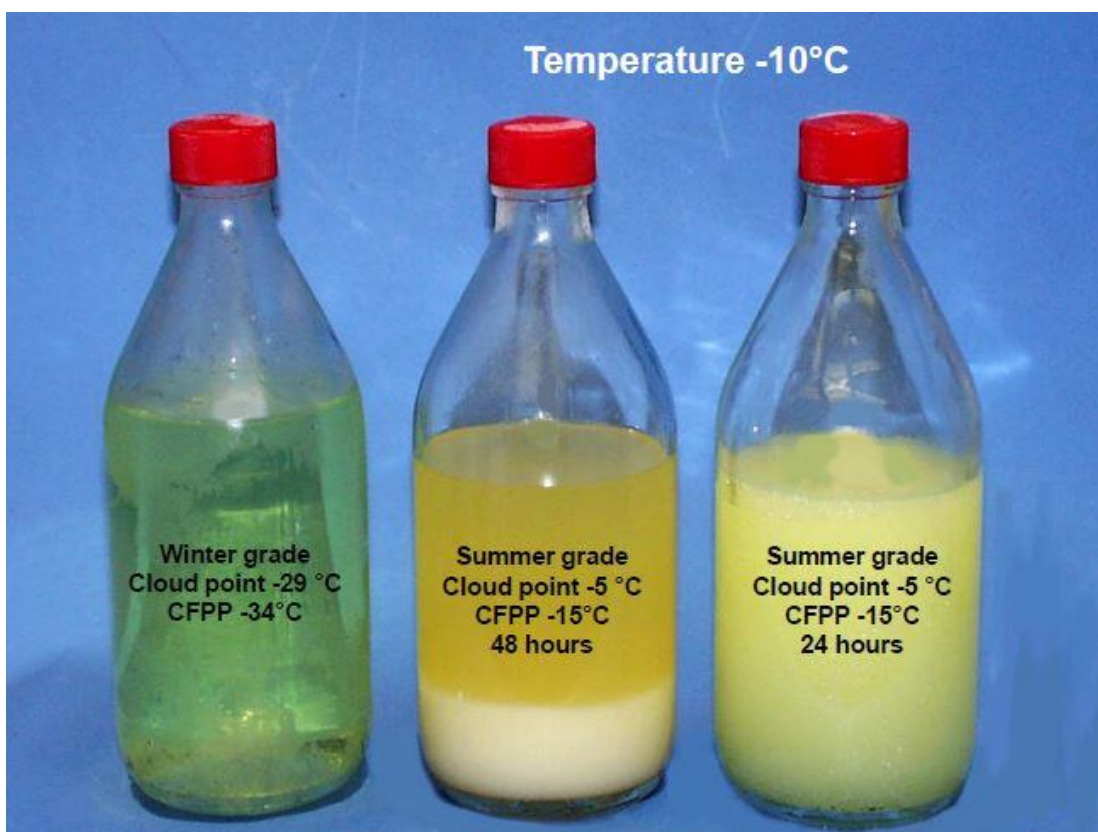
Dieselpolttoaineen laatuvaatimukset on esitetty eurooppalaisessa standardissa EN590. Suomen standardoimisliiton laatima standardi SFS-EN590 määrittää dieselin laatuvaatimukset suomessa. Diesellaadut on siis standardoitu Euroopan laajuisesti. Jos matkustaa autolla Euroopan ulkopuolella, kannattaa varmistaa että riittävän laatutason polttoainetta on saatavilla myös matkakohteissa joihin aikoo matkustaa. Lisäksi on olemassa Euroopan, Yhdysvaltojen ja Kaukoidän autonvalmistajien yhdessä laatima suositus dieselpolttoaineille. Tämä WWFC eli *Worldwide Fuel Charter* -luokitus on EN590 standardia tiukempi erityisesti polttoaineen biokomponenttien käytön, korroosionsuojan ja biologisen kasvuston esiintymisen suhteen. [38.]

Dieselpolttoaineet on perinteisesti totuttu jaottelemaan kesä- ja talvilaatuihin niiden käyttölämpötilojen mukaan. Tankkausasemilla nähdään edelleen myytävän kesä- ja talvilaatuisia dieselpolttoaineita. Kesä- ja talvilaadut eivät ole kuitenkaan ympäri vuoden samoja laatuja, vaan ne vaihtelevat vuodenaikojen mukaan. Esimerkiksi Nesteellä on tarjolla seitsemää eri diesellaatua jaoteltuna polttoaineen same- ja suodatettavuuspisteiden mukaan.

Dieselpolttoaineen samepiste tarkoittaa sitä lämpötilaa, jossa polttoaine alkaa samentua. Dieselöljyn samentuessa parafiini erottuu polttonesteestä, kuten kuvasta 13 nähdään. Kuvassa 13 vasemmanpuoleisessa pullossa on talvilaatuista polttoainetta, jonka samepiste on  $-29\text{ °C}$  ja alin käyttölämpötila on  $-34\text{ °C}$ . Kahdessa oikeanpuoleisessa pullossa on kesälaatuista dieseliä, joiden samepiste on  $-5\text{ °C}$  ja alin käyttölämpötila on



-15 °C. Keskimäinen pullo on ollut -10 °C lämpötilassa 48 tuntia ja oikeanpuoleinen 24 tuntia. Nämä kesälaatuiset polttoaineet eivät ole käyttökelpoisia enää kyseisessä lämpötilassa. Sen sijaan talvilaatuinen polttoaine on kirkasta ja käyttökelpoista. Alinta käyttölämpötilaa kutsutaan myös suodatettavuuslämpötilaksi. Suodatettavuuslämpötila on alin käyttölämpötila, jossa huolletun ja kunnossa olevan moottorin odotetaan toimivan ilman ongelmia.[38.]



Kuva 13. Dieselpolttoaineen samentuminen -10 °C lämpötilassa [38].

Taulukossa 5 on esitetty Nesteen diesellaadut jaoteltuna same- ja suodatettavuuspisteiden mukaan. Hyvänä muistisääntönä voidaan pitää sitä, että vuorokauden keskilämpötilan tulisi olla samepistettä korkeampi ja vuorokauden alin lämpötila tulisi olla korkeampi kuin suodatettavuuslämpötila. [38.]

Taulukko 5. Diesellaadut [42].

| Diesellaadut       | Samepiste °C                   | Suodatettavuus °C |
|--------------------|--------------------------------|-------------------|
| Pro Diesel -12/-22 | -12                            | -22               |
| Pro Diesel -32/-37 | -2                             | -37               |
| Diesel -0/-10      | <sup>+</sup> 0<br><sub>-</sub> | -10               |
| Diesel -5/-15      | -5                             | -15               |
| Diesel -10/-20     | -10                            | -20               |
| Diesel -15/-25     | -15                            | -25               |
| Diesel -40/-44     | -40                            | -44               |

Liian hyvistä same- ja suodatettavuuspisteistä ei ole hyötyä, vaan päinvastoin haittaa. Talvilaatuisen dieselpolttoaineen tiheys on alhaisempi kuin kesälaadun. Tästä johtuen talvilaatuista dieselpolttoainetta kuluu litroissa enemmän kuin kesälaatuista, koska polttoaineenkulutus kilogrammoina pysyy suurin piirtein samana. [38.] Erityisesti raskaan kaluston dieselmootoreissa, joissa polttoaineenkulutus on moninkertainen henkilöautoihin verrattuna, on suuri merkitys taloudellisesti sillä, ajaako kesä- vai talvilaatuilla dieselpolttoaineella. Lisäksi talvilaatuinen polttoaine on hieman kalliimpaa kuin kesälaatuinen polttoaine.

Dieselpolttoaineen syttymisherkkyys puristuksen voimasta ilmaistaan setaaniluvulla. Mitä korkeampi setaaniluku on, sitä herkemmin dieselpolttoaine syttyy. Dieselpolttoaineen laatustandardi EN590 määrittää alimmaksi sallituksi setaaniluvuksi 51. Autonvalmistajien yhdessä laatima WWFC-luokitus määrittää setaaniluvun alarajaksi 55. Korkean setaaniluvun hyödyt ovat polttoaineenkulutuksen ja päästöjen väheneminen, kylmäkäynnistyvyyden paraneminen ja moottorin käyntiäänien hiljentymisen. Korkea setaaniluku varmistaa polttoaineen syttymisen heti ruiskutuksen alussa ja myös sen, että palaminen tapahtuu hallitusti. Liian alhainen setaaniluku huonontaa moottorin käynnistyvyyttä, lisää moottorin käyntimelua sekä värähtelyä ja mekaanista rasitusta. [38.]

Jotta EU:n päästötavoitteisiin päästäisiin, täytyy dieselpolttoaineeseen lisätä biokomponentteja. Jotkin dieselpolttoaineen valmistajat käyttävät biokomponenttia FAMEa (*Fatty acid methyl ester*) eli rasvahappometyyliesteriä. Dieselpolttoaineen laatustandardi EN590 määrittää FAMEn maksimiosuudeksi 7 prosenttia polttoaineessa. FAMEn etuina ovat hiukkas-, hiilivety- ja häkäpäästöjen aleneminen. FAMEn haittapuolia ovat typenoksidipäästöjen kasvaminen, moottoriöljyn huononeminen, kumi- ja muoviosien kuluminen. Vaihtoehto FAMElle on HVO (*Hydrotreated vegetable oil*) eli vetykäsittely

kasviöljy. Dieselmotorissa voidaan käyttää jopa 100 prosentista HVO:ta ja sitä suosittelee myös autonvalmistajien laatusuositus WWFC. [38.]

Suomalainen metsäyhtiö UPM on aloittanut biopolttoaineen valmistuksen vuonna 2015. UPM:n valmistaman biopolttoaineen raaka-aineena käytetään selluntuotannon tähteenä syntyvää mäntyöljyä. Mäntyöljypohjaisen biodieselin setaaniluku on 60, joka tehostaa polttoaineen täydellistä ja puhtaampaa palamista moottorissa. [43.]

### 10.3 Etanoli

Etanolikäyttöiset ajoneuvot eivät suinkaan ole uusi keksintö. Jo 1920-luvulla T-Fordissa oli mahdollista käyttää polttoaineena bensiiniä, etanolia tai bentsolia. [39, s. 318.] Etanolin käyttö liikennepolttoaineena on varteenotettava vaihtoehto fossiilisten polttoaineiden käytölle. Suomalainen energiayhtiö St1 valmistaa Suomessa elintarviketeollisuuden jätteistä etanolipohjaista biopolttoainetta RE85. Korkeaseosetanoli RE85 sisältää 85 prosenttia etanolia ja loput 15 prosenttia bensiinin komponentteja. [44.] Etanolia voidaan myös valmistaa käyttäen raaka-aineena muun muassa sokeria tai muita tärkeilyspitoisia aineita tai selluloosaa. [39, s. 202–203.]

Etanolin energiapitoisuuden ollessa noin 25–30 prosenttia pienempi kuin bensiinissä, kuluu sitä myös litroissa mitattuna enemmän kuin bensiiniä. Toisaalta etanolin ilman tarve on pienempi kuin bensiinissä, joka mahdollistaa bensiiniä suuremman polttoainemäärän sylinterissä ja sitä kautta lisää tehoa. Korkea oktaaniarvo on myös selkeä etu verrattaessa etanolia bensiiniin. Puhtaan etanolin oktaaniarvo on 111 ja RE85-polttoaineen 106. [45, s. 3.] Korkean puristussuhteen mahdollistavasta moottorista ja pienemmästä ilman tarpeesta johtuen etanoli on suosittu polttoaine kilpa-autoissa. [39, s. 201.] Koska tällä hetkellä tieliikenteessä olevat etanolia polttoaineenaan käyttävät ajoneuvot ovat niin kutsuttuja FFV-ajoneuvoja (*Flexible-fuel vehicle*), ei korkeaa puristussuhdetta pystytä hyödyntämään bensiinin ominaisuuksista johtuen. Mikäli moottorin puristussuhde nostettaisiin etanolin mahdollistavaan tasoon, tapahtuisi moottorissa nakutusta käytettäessä bensiiniä polttoaineena.

FFV-autoihin on mahdollista tankata tavanomaisten fossiilisten polttoaineiden lisäksi vähintään yhtä biopolttoainetta. Näiden polttoainelaadun suhteen joustavien autojen moottorinohjausjärjestelmä tunnistaa käytettävän polttoainelaadun ja säätelee automaattisesti sytytystä ja polttoaineen sekä ilman syöttöä tarpeen mukaan. FFV-autojen polt-

toainejärjestelmissä on käytetty paremmin alkoholia kestäviä materiaaleja, jotka yhdessä säätyvän moottorinohjausjärjestelmän kanssa mahdollistavat joustavan polttoaine-laadun käyttämisen. Polttoainejärjestelmän paremmat materiaalivalinnat parantavat myös auton kestävyyttä fossiilisia polttoaineita käytettäessä. Polttoainejärjestelmän muutokset maksavat auton valmistusvaiheessa noin 200 euroa, mutta jos bensiinikäyttöistä autoa lähdetään muuttamaan FFV-autoksi, voi kustannus olla kymmenkertainen, olettaen että kaikki tarvittavat muutostyöt tehdään asianmukaisesti. [39, s. 206–207.]

Korkeaseosetanolia polttoaineenaan käyttävien FFV-ajoneuvojen polttoaineena voidaan käyttää yleensä 100–85 prosentista etanolia tai bensiiniä tai bensiinin ja etanolin sekoitusta vapaalla seossuhteella, kunhan ei ylitetä autonvalmistajan antamaa maksimiarvoa etanolin seossuhteelle. Rajoitteen puhtaan etanolin käyttämiseen asettavat etanolin huonot kylmäkäyntiominaisuudet. Tämän vuoksi etanoliautoissa on suositeltavaa käyttää suurempaa bensiinipitoisuutta kylmän sään vallitessa. Etanolin alhaisemman höyrynpaineen ja sitä kautta huonompien kylmäkäyntiominaisuuksien vuoksi Suomessa, Ruotsissa ja USA:ssa etanolin osuus polttoaineessa saa olla enintään 85 prosenttia. Lämpimimmissä maissa kuten Brasiliassa käytetään yleisesti 100-prosenttista etanolia autojen polttoaineena. [39, s. 320.]

Talvella kylmäkäynnistyksissä vaaditaan käytännössä aina lohkolämmittimen käyttöä moottorin käynnistyvyyden takaamiseksi. Volkswagenin valmistamissa Multifuel-malleissa on vakiovarusteena lohkolämmitin. Koska etanolia kulkeutuu moottoriöljyyn ja etanolin vesipitoisuus voi olla korkeakin, täytyy huoltovälien olla tavallista lyhyemmät. Volkswagenin Multifuel-malleissa huoltoväli on kiinteä 15 000 kilometriä tai yksi vuosi, joustavan enintään 30 000 kilometrin huoltovälin sijasta. Fordin valmistamissa Flexifuel-malleissa suositellaan moottoriöljyn vaihtoa 10 000 kilometrin välein ajettaessa jatkuvasti etanolipolttoaineella. [46; 47.]

Korkeaseosetanolin hinta tällä hetkellä on alhaisempi kuin bensiinin tai dieseliöljyn, mutta sen noin 25–30 prosenttia alhaisempi energiasisältö vähentää taloudellista hyötyä autoilijan kannalta. Etanolikäyttöisistä autoista ei kuitenkaan peritä Suomessa erillistä käyttövoimaveroa, joka parantaa etanolikäyttöisen auton kilpailuetua bensiini- ja dieselkäyttöisiin autoihin verrattuna [17].

Bensiinikäyttöisiin autoihin markkinoidaan muunnossarjoja, joiden avulla voidaan ajaa käyttäen korkeaseosetanolia polttoaineena. Halvimmillaan sadan euron hintaan myytävät jälkimuunnossarjat säätävät polttoaineensuihkutusta etanolille sopivaksi. On huo-

mattava, että autonvalmistajat eivät ole suunnitelleet bensiinikäyttöisiä autoja käytettäväksi korkeaseosetanolilla. Etanolin ominaisuudet aiheuttavat auton polttoainejärjestelmälle suuremmat vaatimukset, koska etanoli voi syövyttää muovi- ja kumiosia sekä aiheuttaa korroosiota polttoainejärjestelmän metalliosissa. Muutettaessa auton käyttövoimaa bensiinistä etanoliin tarvitaan myös muutoskatsastus, johon tarvitaan uuden auton päästöttestiä vastaava testi, joka maksaa useita tuhansia euroja. Liikenne- ja viestintäministeri Paula Risikko on esittänyt, että etanoliautojen muutoskatsastuskäytäntöjä lievennettäisiin. [48.]

Etanolikäyttöisen auton hiilidioksidipäästöt riippuvat pitkälti siitä miten polttoaineena käytettävä etanoli on tuotettu. Pienimmät hiilidioksidipäästöt saavutetaan tuottamalla etanoli jätteistä. Jätepohjaisen etanolin hiilidioksidipäästöt ovat noin 80 prosenttia pienemmät, kuin käytettäessä fossiilista bensiiniä tai dieselöljyä polttoaineena. [44.]

#### 10.4 Maa- ja Biokaasu

Kaasu on nousemassa varteenotettavaksi vaihtoehdoksi polttomoottorin polttoaineena. Kotimainen kaasunmyyntiyhtiö Gasum tuo Suomeen maakaasua Venäjältä sekä jalostaa biokaasua liikennekäyttöön. Gasumin tankkausasemilla myytävä maa- ja biokaasu ovat molemmat koostumukseltaan 98 prosenttista metaania ja kulkevat samassa kaasuputkistossa. Tankkausasemilta voidaan kaasua myydä biokaasuna sama määrä joka sitä on syötetty putkistoon. Maa- ja biokaasua on mahdollista myös nesteyttää ja näin ollen kuljettaa maakaasuverkoston ulkopuolisille tankkausasemille. Suomessa on tällä hetkellä 24 julkista kaasuautojen tankkausasemaa. [49.]

Kuvassa 14 on esitetty maa- ja biokaasun nykyiset ja suunnitteilla olevat tankkauspaikat. Gasumin pohjoisin kaasun tankkauspaikka on Tampereella. Muiden toimijoiden tällä hetkellä toiminnassa olevia tankkauspaikoista pohjoisin on Jepualla, Uudessa Kaarlepyyssä sijaitseva Jepuan Biokaasu Oy:n tankkausasema. [50.]



Kuva 14. Kaasun tankkausverkosto Suomessa [47].

Suomessa tuotetaan biokaasua jätevesilietteestä, biojätteestä sekä energiakasveista. Kun tarkastellaan maakaasun suoria hiilidioksidipäästöjä (tank-to-wheels), jotka syntyvät suorasta käytöstä ajettaessa kaasuautolla, ovat ne noin 15 prosenttia pienemmät kuin bensiinikäyttöisellä autolla ja noin 3 prosenttia pienemmät kuin dieselikäyttöisellä autolla. Biokaasun suorat hiilidioksidipäästöt ovat 0 grammaa kilometrillä, mutta kun tarkastellaan myös polttoaineen tuotannosta ja kuljetuksesta aiheutuvia päästöjä (well-to-wheels), ovat ne noin 80 prosenttia bensiiniä ja 75 prosenttia dieselöljyä pienemmät. Kaasuauton tyypin oksidi-, hiilimonoksidi- ja hiukkaspäästöt ovat samaa luokkaa kuin bensiinikäyttöisellä autolla. Kaasuauton hiilivetypäästöt voivat olla suuremmat kuin bensiinikäyttöisellä autolla. [49.]

Puhdas kaasu vaatii polttomoottorissa syttyäkseen sytytyskipinän, joten se sopii parhaiten ottomoottorin polttoaineeksi. Jotkin raskaan kaluston kaasukäyttöön tarkoitetut

polttomoottorit on tehty lisäämällä kipinäsytytys dieselmoottoriin. Kaasua on myös mahdollista sekoittaa dieselöljyn joukkoon, jolloin polttoaineen syttyminen tapahtuu dieselöljyn avulla. Tällaisissa niin kutsutuissa dualfuel-moottoreissa on mahdollista käyttää jopa 90 prosentista kaasua polttoaineena. [51.]

Kaasukäyttöisissä henkilöautoissa on yleensä mahdollisuus käyttää myös bensiiniä polttoaineena. Kehittyneimmissä kaasukäyttöisissä henkilöautoissa käytetään kaasua polttoaineena niin pitkään kuin kaasua riittää. Kaasun loputtua auto alkaa automaattisesti käyttää bensiiniä polttoaineenaan. Joissakin kaasukäyttöisissä autoissa on valintakytkin jolla käytettävä polttoaine voidaan valita. Kuvassa 15 nähdään bensiiniä ja kaasua polttoaineenaan käyttävän bifuel-auton kaasusäiliöt ja polttoainetankki. Bensiinitankki on merkitty kuvaan punaisella ja kaasusäiliöt sinisellä. Bifuel-auton bensiinitankki on yleensä samankokoinen tai vähän pienempi kuin bensiinikäyttöisen auton tankki. Kaasukäytöllä on siis mahdollista lisätä auton kokonaistoimintamatkaa. [51.]



Kuva 15. Kaasuauton polttoainevarastot [52].

Kaasun etu verrattuna bensiiniin ja dieselöljyyn polttoaineena on sen suurempi energiatiheys. Kaasun määrää mitataan kiloissa. Kilo maakaasua vastaa energiasisällöltään 1,56 litraa bensiiniä ja 1,39 litraa dieselöljyä. Näin ollen kaasua palaa vähemmän kuin bensiiniä tai dieselöljyä. Maakaasun hinta on tällä hetkellä noin 1,3 €/kg ja biokaasun hinta noin 1,45 €/kg. [50.] Suomessa kaasuautoista peritään käyttövoimaveroa,

joka on vuonna 2015 kokonaismassaltaan 2000 kg painoisella autolla 226,3 euroa vuodessa. [17.] Luvussa 11 on vertailtu autoilun kustannuksia eri käyttövoimilla.

Ajoneuvokäytössä maa- ja biokaasu paineistetaan 200 baarin paineeseen. Liikennekäyttöön tarkoitettu paineistetun maakaasun kirjainlyhenne on CNG (*Compressed Natural Gas*) ja biokaasun CBG (*Compressed Bio Gas*). Kaasuauton tankkaaminen tankkausasemilla vie suurin piirtein yhtä paljon aikaa kuin bensiinin tai dieselöljyn tankkaus. Kaasun tankkausliitin ja bensiinin täyttöputki ovat yleensä vierekkäin. Kuvassa 16 kaasun täyttöletku on kiinnitetty auton tankkausliittimeen. Täyttöletkun lukitus täytyy tehdä ennen tankkaamisen aloittamista. Kaasun julkiset tankkauspisteet ovat niin kutsuttuja nopeatankkausjärjestelmiä. Hidastankkausjärjestelmiä käytetään lähinnä kaupunkien varikoilla esimerkiksi bussien ja jäteautojen tankkaamiseen. Hidastankkausjärjestelmä on edullisempi kuin nopeatankkausjärjestelmä, koska varastotankkeja ei tarvita ollenkaan. [51.]



Kuva 16. Kaasuauton tankkausliitin [53].

Nesteytettyä kaasua polttoaineena käytävät ajoneuvot ovat harvinaisempia, johtuen nesteytetyn kaasun vaatimasta  $-162\text{ °C}$ :n lämpötilasta normaalissa ilmanpaineessa. Nesteytettyä kaasua käytetään yleisesti polttoaineena laivojen moottoreissa. Nesteytetyn kaasun kirjainlyhenne on LNG (*Liquefied Natural Gas*). [51].



Bensiinikäyttöisten autojen jälkimuunnossarjoja kaasukäyttöisiksi on saatavilla Suomessa usean eri yrityksen toimesta. Bensiinikäyttöisen auton muuntaminen kaasukäyttöiseksi maksaa noin 2000–3000 euroa sisältäen asennuksen. [54.] Kaasukäyttöiseksi auton muuntaminen vaatii kaasutankit, jotka yleensä asennetaan auton tavaratilaan, vähentäen tavaratilan tilavuutta jonkin verran.

## 10.5 Sähkö

Sähkökäyttöiset autot ovat vanha keksintö. Ensimmäiset sähköllä kulkevat autot on keksitty jo 1830-luvulla. Vielä 1900-luvun alussa sähköautot olivat polttomoottoriautoja suosituimpia. Sähkökäyttöisen käynnistinmoottorin ja polttomoottorin tehokkaamman jäähdytysjärjestelmän keksimisen ansiosta polttomoottoriautot syrjäyttivät sähköautot nopeasti. [55.] Akkutekniikan kehitys on ollut suurin hidaste sähköautojen yleistymiselle. Tämän päivän uusien sähköautojen toimintamatkat yhdellä latauksella yltyvät parhaimmillaan, hyvissä olosuhteissa noin 500 kilometriin. Suomen kylmät olosuhteet asettavat sähköautojen toimintamatkalle omat haasteensa. Erityisesti talvella lämmitykseen käytettävä energia on pois ajamiseen käytettävästä energiasta, jolloin toimintamatka lyhenee.

### Sähköauton tekniikkaa

Tämän päivän sähköautoissa sähköenergia varastoidaan yleensä litiumakuihin. Sähkökäyttöisissä henkilöautoissa olevat ajoakut ovat energiakapasiteetiltaan luokkaa 20–90 kilowattituntia. Sähköautojen ajoenergia on huomattavasti raskaampaa kuin polttomoottoriautoissa. Vertailuna esimerkiksi Teslan 85 kilowattitunnin litiumioni-akusto painaa 950 kilogrammaa, joka on pienen henkilöauton omamassa. Tällä 85 kilowattitunnin akustolla Teslan toimintamatka on noin 500 kilometriä. Kun vertailuun otetaan saman kokoluokan Audi A7, jonka noin 60 kilogrammaa painavilla dieselvarannoilla pääsee reilusti yli 1000 kilometriä, on polttomoottoriauton etulyöntiasema tässä suhteessa mit-tava.

Kuvassa 17 on sähköauto Nissan Leafin sähköjärjestelmä mukaan lukien akusto ja sähkömoottori. Kyseisessä autossa akut on sijoitettu lattian tasolle, mahdollistaen mahdollisimman alhaisen painopisteen ja sitä kautta vakaamman ja turvallisemman ajotuntuman. Sähköauton ajoakkujen sijoittaminen mahdollisimman alas on varsin yleinen käytäntö.



Kuva 17. Nissan Leafin sähköjärjestelmä [56].

Monet autonvalmistajat mukaan lukien hybridautojen valmistuksen uranuurtaja Toyota, ovat panostamassa polttokennoautoihin. Luvussa 10.7 on kerrottu tarkemmin vetykäyttöisistä polttokennoautoista. Lyhyesti kerrottuna polttokennoautossa auton liikuttamiseen tarvittava sähköenergia tuotetaan auton omassa polttokennostossa, jolloin sähköenergian varastointitarve vähenee, ja päästään pidempiä matkoja, lyhyemmillä tankkauspäilyillä.

Sähkömoottori auton voimanlähteenä on huomattavasti käyttökelpoisempi kuin polttomoottori. Sähkömoottorin etuja verrattuna polttomoottoriin on voiman ja väännön saatavuus heti sähkömoottorin käynnistyttyä, vähäisempi huollon tarve ja toimintavarmempi rakenne. Sähkömoottori voi toimia myös käänteisesti, ladata akkuja jarrutuksessa ja vähentää näin energiankulutusta erityisesti kaupunkiliikenteessä. Sähkömoottorin toimiessa generaattorina, toimii se myös tehokkaana moottorijarruna, vähentäen auton käyttöjarrujen kulumista. [57, s. 64.]

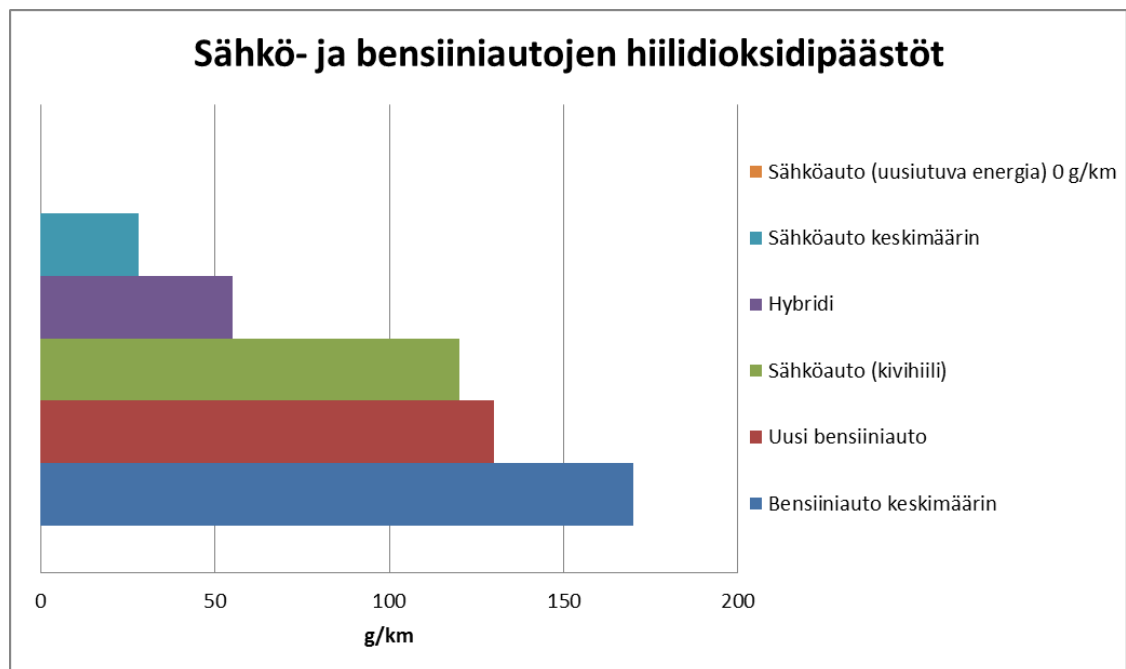
Varsinaista vaihteistoa ei tarvita, joten kitkahäviöitä ja voimansiirron valmistuskustannuksia on vähemmän kuin polttomoottoriautoissa. Sähkömoottorit ovat edullisia valmistaa ja rakenteeltaan yksinkertaisia. Rakenteen yksinkertaisuus mahdollistaa vähäisemmän huollontarpeen ja sähkömoottorit ovatkin henkilöautokäytössä käytännössä huoltovapaita. Ainoat kuluvat osat sähkömoottorissa ovat moottorin laakerit. Laakeritkin kestävät käytännössä koko auton eliniän. Tämän lisäksi sähkömoottorin käynti on

huomattavasti tasaisempaa ja äännettömämpää kuin polttomoottorin. Polttomoottorin ja sähkömoottorin hyötysuhteilla on suuri ero. Polttomoottorin hyötysuhde on noin 20–40 prosenttia, kun se sähkömoottorilla on parhaimmillaan yli 90 prosenttia. [57, s. 64.]

Jotkin autojen valmistajat, kuten BMW ovat tuoneet markkinoille niin kutsuttuja range extender -malleja, joissa on polttomoottorikäyttöinen generaattori huolehtimassa akkujen latauksesta tarvittaessa. Polttomoottori toimii siis eräänlaisena varavoimalana.

### Päästöt

Sähköauton paikalliset päästöt liikenteessä ovat vähäiset. Kaikille autoille tavanomaiset melu- ja pölypäästöt toki syntyvät, mutta paikalliset hiilidioksidipäästöt ovat puhtaat 0 g/km. Sähkön tuotannosta aiheuttavat päästöt ovat avainasemassa laskettaessa sähköauton todellisia globaaleja päästöjä. Tuotettaessa sähkö uusiutuvista lähteistä, päästään sähköauton kokonaishiilidioksidipäästöissä lähelle nollaa. Kivihiilellä tai öljyllä tuotetun sähkön päästöt ovat henkilöautokäytössä jopa korkeammat kuin polttomoottorikäyttöisen auton hiilidioksidipäästöt. Kuvassa 18 on verrattu sähkö- ja bensiinikäyttöisten autojen hiilidioksidipäästöjä. Huomattavaa on pieni ero bensiini- ja sähköauton välillä, kun sähköauton käyttämä sähkö on tuotettu kivihiilellä. Keskimääräiset päästöt bensiini- ja sähköautoille on laskettu Suomen koko autokannasta. [58.]



Kuva 18. Sähköautojen päästöt verrattuna bensiiniautoihin [58].

Sähköauton koko elinkaaren laskennalliset päästöt ovat helposti korkeammat kuin polttomoottorikäyttöisen auton, koska sähköauton valmistuksen ilmastovaikutus on kaksinkertainen verrattuna polttomoottoriauton valmistukseen, johtuen muun muassa sähköauton ajoakkujen valmistuksessa käytettävistä myrkyllisistä aineista. Mikäli sähkö tuotetaan uusiutuvista lähteistä, kuten vesi- tai tuulivoimalla, voidaan sähköauton koko elinkaaren ajalla päästä pienempiin kokonaispäästöihin kuin polttomoottoriautolla. Elinkaaren ajalta mitattavien päästöjen ero kuitenkin tasoittuu vasta vuosien päästä käyttöönotosta johtuen sähköauton valmistuksesta aiheutuvista suurista päästöistä verrattuna polttomoottoriautoon. [59.]

Sähköautot ovat yleistyneet melko hidasta tahtia, ottaen huomioon Suomen tavoitteet hiilidioksidipäästöjen alentamiseksi. Valtioneuvoston kanslian tekemän tulevaisuusselonteon [60, s. 100] mukaan Suomen henkilöautokannan ominaishiilidioksidipäästösuuntaa antavana tavoitteena on vuonna 2030 enintään 80–90 g CO<sub>2</sub>/km ja vuonna 2040 enintään 50–60 g/km ja vuonna 2050 enintään 20–30 g/km. Nämä tavoitteet on annettu fossiilisten polttoaineiden suoralle käytölle liikenteessä. Kyseiset tavoitteet biopolttoaineiden ja sähkön käytölle liikenteessä lasketaan mukaan lukien niiden tuotannosta aiheutuvat päästöt. Johtavien teollisuusmaiden G7-ryhmä on asettanut tavoitteeksi fossiilisista polttoaineista luopumisen 2100-luvun loppuun mennessä. Tällöin bensiini, dieselöljy sekä fossiiliset kaasut olisi korvattu uusiutuvista raaka-aineista valmistetuilla polttoaineilla. [61.]

### Sähköautojen lataus

Sähköautojen latausverkosto Suomessa on vielä melko suppea. Sähköisen liikenteen sivuston [62] mukaan Suomessa on tällä hetkellä noin 118 julkista latauspistettä. Kun otetaan huomioon sähköautojen marginaalinen lukumäärä Suomessa, (360 kappaletta vuoden 2014 lopussa) voidaan todeta latausverkoston olevan riittävä vielä tämän hetken tarpeisiin. Lisäksi sähköautoja ladataan kodin ja työpaikan sähköverkoista, jolloin julkiset latauspisteet täydentävät lataustarvetta. Monien suomalaisten taloyhtiöiden parkkipaikalta löytyy autojen lämmittämiseen tarkoitettut sähkötolpat. Näiden käyttäminen sähköauton lataamiseen olisi varsin järkevää. Lukuiset sähkötolpat ovat mitoitettu kylmien olosuhteiden aikaiseen käyttämiseen lyhytaikaisesti (enintään 2–3 tuntia). Kun sähköautoa ladataan kesähelteellä useita tunteja, on se aivan erilainen rasitus sähkötolpan kaapeloinnille. Koska sähkötolpat ovat olemassa, ei liene kovin suuritöistä vaihtaa paremmin sähköautojen latausta kestäviä kaapelointeja valmiiseen latausinfrastruktuuriin. [25, s. 60.]

Tällä hetkellä julkisista latauspisteistä saatava sähkön maksullisuus vaihtelee eri latauspisteiden välillä. Joillakin latauspisteillä sähköauton lataaminen on ilmaista, kun taas toisilla asemilla latauksesta peritään esimerkiksi kertaluonteinen maksu per lataus. Niillä latauspisteillä joilla sähköauton lataus on ilmaista, saavat sähköautoilijat todella hyvän edun verrattuna polttomoottoriautoilla autoileviin kuljettajiin. Sähköauton lataus on vain huomattavasti hitaampaa kuin polttomoottoriauton tankkaus. Sähköautoa voidaan ladata peruslatauksena, hidaslatauksena tai nopeana pikalatauksena. Hidaslataus kestää yleensä yli 6 tuntia, riippuen akkujen kapasiteetista ja jäljellä olevasta energiasta. Peruslatausta voidaan tehdä kotilatauspisteessä tai julkisella latauspisteellä. Peruslataukseen tarvittava aika vaihtelee yhdestä kuuteen tuntiin. Pikalatauksessa akkuja ei yleensä voi ladata täyteen, vaan noin 80 prosenttiin akkujen kapasiteetista. Pikalataukseen tarvittava aika on noin puoli tuntia. [63.] Sähköautojen valmistaja Tesla on sisällyttänyt autojensa myyntihintoihin sähkön lataamisen yrityksen omista latauspisteistä, koko auton elinkaaren ajalle [64].

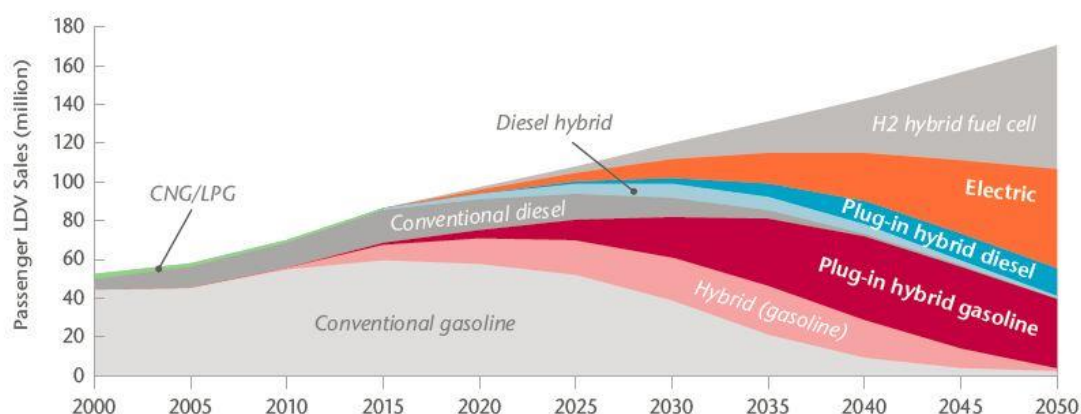
#### Sähköauton taloudellisuus

Sähköauton omistajalle ja sellaisen hankkimista suunnittelevalle, on olemassa epävarmuustekijöitä sähköauton kaupallisen arvon säilymisen suhteen. Mikäli akkutekniikka kehittyy hyvin nopeasti, voi tämän päivän uuden sähköauton kaupallinen arvo lähestyä hyvinkin pian nollaa euroa. Tällä hetkellä sähkökäyttöisen perheauton hinta on noin 35 000–40 000 euroa, kun vastaavan kokoisen polttomoottorikäyttöisen auton hinta on noin 25 000–30 000 euroa. Sähköauton käytön taloudellisuutta laskettaessa on otettava huomioon sähkökäyttöiselle autolle määrätty käyttövoimavero, joka on perheautokokoluokassa noin 100–130 euroa vuodessa. Koska sähköautojen käytönaikaiset suorat hiilidioksidipäästöt ovat puhtaat 0 g/km, on ajoneuvoneron perusosa aina minimimääräinen, joka osaltaan kompensoi verojen määrää polttomoottorikäyttöiseen autoon verrattuna.

Sähköauto on taloudellisimmillaan kaupunkiliikenteessä, jossa voidaan hyödyntää ajoakkujen lataamista hidastaessa sähkömoottorin toimiessa generaattorina. Maantiellä ajettaessa nousee erityisesti ilmanvastuksen osuus suureksi lyhentäen toimintamatkaa huomattavasti. Luvussa 11 on vertailtu erikäyttövoimien taloudellisuutta toisiinsa. Vertailussa on mukana myös sähkökäyttöinen auto.

## Sähköautojen tulevaisuus

Kansainvälinen energiajärjestö IEA (*International Energy Agency*) on esittänyt ennusteen sähkö-, hybridi-, sekä polttokennoautojen yleistymiselle. IEA:n ennuste on esitetty kuvassa 19, josta nähdään vetykäyttöisten autojen suurin osuus ja toiseksi suosituimpana ennusteessa ovat sähköautot. Suurimpina sähköautojen yleistymisen esteinä ovat akkutekniikan hidas kehitys sekä latausverkoston riittämättömyys. Mikäli akku- ja sähkömoottoritekniikkojen kehitys ottaa suuren harppauksen lähitulevaisuudessa, voivat sähköautot olla hyvinkin kilpailukykyinen vaihtoehto polttomoottoriautoille.



Kuva 19. IEA:n ennuste hybridi-, sähkö-, sekä polttokennoautojen yleistymiselle [65].

## ERA-sähköauto

Metropolia Ammattikorkeakoulun työryhmä on suunnitellut ja valmistanut ERA (*Electronic Race About*) sähköauton. Sähköauton suunnitteluun ovat osallistuneet myös Lahden ammattikorkeakoulu ja Lappeenrannan tekninen yliopisto. ERA-hankkeessa on ollut mukana yli 60 yritystä ja tutkimuslaitosta Suomesta ja ulkomailta. ERAn prototyyppi on esitelty yleisölle vuonna 2010. ERA-sähköauton tekniikka perustuu suoraveitisiin sähkömoottoreihin, joita on yhteensä neljä, jokaisella pyörällä omansa. ERAn suunnittelun lähtökohtia ovat olleet ympäristöystävällisyys ja energiatehokkuus. Auton rakenteella on haluttu näyttää mahdollisen tulevaisuuden auton tekniikkaa käytännössä. [66.] ERAssa on litium-titanaattiakut, jotka mahdollistavat erittäin suuren lataustehon sekä akkujen varauskapasiteetin pitkän säilymisen käytössä. ERAn akkujen pikalataukseen tarvittava aika on noin 10 minuuttia. Auton toimintasäde on noin 200 kilometriä [67, s.11.] Autolla on tehty muun muassa maailman nopeimman tieliikenteeseen

rekisteröidyn sähköauton nopeusennätys 281,36 km/h [68]. Kuvassa 20 on ERA-sähköauto.



Kuva 20. ERA-sähköauto [69].

#### Toroidion-sähköauto

Autosuunnittelija Pasi Pennanen on työryhmänsä kanssa suunnitellut ja julkistanut vuonna 2015 uudenlaisen sähköauton, joka kantaa mallinimeä Toroidion 1MW. Pennanen kertoo Helsingin Sanomien haastattelussa [70] 25.4.2015 Toroidionin olevan maailman tehokkain sähköauto, jossa on patentoitu uudenlainen voimalinja, joka voi mullistaa koko maailman sähköautoilun. Pennanen kertoo, että hän ja hänen tiiminsä ovat ratkaisseet perinteiset ongelmat, joita sähköautot tänä päivänä kohtaavat. Kuvassa 21 on sähköauto Toroidion 1MW.



Kuva 21. Toroidion 1MW [71].

Toroidionissa on jokaisella pyörällä omat sähkömoottorinsa, kuten sähköauto ERAssakin on. Sähkömoottoreissa käytetyn tekniikan kerrotaan olevan yksinkertainen ja energiaa vähän kuluttava, jolloin auton toimintamatka on huomattavasti pidempi kuin nykyisten sähköautojen. Lisäksi autossa oleva akkupaketti on vaihdettavissa ja se sisältää uutta tekniikkaa. Toroidionissa olevalla tekniikalla on mahdollisuudet mullistaa sähköautomarkkinat, jos sarjatuotantoon tulevan, kyseistä tekniikkaa käyttävän auton hinta on kilpailukykyinen. Toroidion on esitelty yleisölle Monacossa huhtikuussa 2015.

## 10.6 Hybridi

Hybridiautossa on vähintään kaksi toisistaan riippumatonta moottoria tai muuta liikevoimanlähdeä. Tämän päivän hybridiautoissa on yleensä polttomoottori ja yksi tai useampi sähkömoottori. Ranskalainen auton valmistaja PSA Peugeot Citroën on esitellyt vuonna 2016 myyntiin tulevan paineilmahybridin. Paineilmahybridissä käytetään sähkömoottorin sijaan paineilmalla toimivaa hydraulitekniikkaa. Paineilmahybridin säiliöihin tuotetaan paine käyttämällä hyödyksi polttomoottorissa ja jarruissa syntyvää ylimääräistä energiaa. Säiliöiden täytyminen kestää nopeimmillaan 10 sekuntia. Säiliöiden paine on 200 baaria. [72.] Erilaisia hybridiversioita tullaan varmasti tulevaisuudes-



sa näkemään. Tässä luvussa on käsitelty tällä hetkellä myynnissä ja sarjatuotannossa olevia sähköhybridejä ja niiden alaluokkia.

Täyshybridiautossa voidaan käyttää joko polttomoottoria tai sähkömoottoria, toisistaan riippumatta [39, s. 326]. Täyshybridin lisäksi on olemassa mikro-, rinnakkais- ja sarjahybridi. Viime vuosina autojen valmistajat ovat tuoneet markkinoille myös ladattavia hybridiautomalleja. Näillä ladattavilla niin kutsutuilla plug-in-hybrideillä voidaan ajaa muutamia kymmeniä kilometrejä pelkällä sähköenergialla. Hybridiauton selkeä etu verrattuna täyssähköautoon on sen riippumattomuus sähköenergian saannista. Erityisesti pitkien välimatkojen maissa, kuten Suomessa hybridiauto on sähköautoa monipuolisempi, koska sillä voidaan kaupunkiajon lisäksi ajaa maantiellä pitkiä taipaleita lataamatta akustoa. Kaikkien hybridien yhteisenä ominaisuutena on regeneratiivinen, akkuja lataava jarrutus, josta on kerrottu tarkemmin luvussa 15.1. Toyota Prius on ensimmäinen sarjatuotantoon tullut hybridiauto. Prius tuli markkinoille Japanissa vuonna 1997. Kuvassa 22 on ladattava täyshybridiauto Toyota Prius PHEV.



Kuva 22. Toyota Prius PHEV [73].

*Mikrohybridissä* ei ole varsinaista sähkökäyttöistä ajomoottoria, vaan latausgeneraattorin ominaisuuksilla saadaan auton polttoaineenkulutusta laskettua. Mikrohybridin erityisominaisuuksia verrattuna perinteiseen polttomoottoriautoon ovat jarrutusenergian talteenotto ja sammutusautomaatiikka. Näistä teknisistä ominaisuuksista on kerrottu tarkemmin luvussa 15. Mikrohybridissä ei ole suuria ajoakkuja, vaan ainoastaan käynnistysakku. Mikrohybridin teknisillä sovelluksilla pyritään alentamaan polttoaineenkulutusta tehostamalla polttomoottorin toimintaa. Mikrohybridin nimitys on hieman harhaanjohtava, koska sillä ei pystytä ajamaan pelkällä sähköenergialla, eikä sähköllä ajamiseen tarkoitettuja ajoakkuja ole ollenkaan.

*Rinnakkaishybridissä* sähkömoottorin tehtävänä on avustaa polttomoottoria kuormittavissa tilanteissa, kuten liikkeellelähdöissä ja ylämäissä. Molemmilla sekä polttomoottorilla, että sähkömoottorilla on mekaaninen yhteys auton vetopyöriin. Voima sähkö- ja polttomoottorin kesken pyritään jakamaan mahdollisimman energiatehokkaan lopputuloksen saamiseksi. [12, s. 156.] Rinnakkaishybriditekniikalla autosta on mahdollisuus saada tehokkaampi ja jotkin autonvalmistajat ovatkin tehneet urheilullisempia versioita lisäämällä polttomoottoriautoon sähkömoottorin.

*Sarjahybridin* polttomoottorilla ei ole mekaanista yhteyttä auton vetäviin pyöriin, vaan polttomoottorin tehtävänä on toimia generaattorin käyttäjänä, huolehtien akuston latauksesta. Yksi suosittu sarjahybridimalli on Opel Ampera, jonka auton valmistaja tosin luokittelee Range extender -sähköautoksi. Amperan polttomoottorin päätehtävänä on ladata akustoa. Akkujen lataus kyseisessä automallissa pystytään lataamaan myös sähköverkosta. Yksi syy valmistajan haluun luokitella auto sähköautoksi on joissain maissa sähköautojen hybridautoja keveämpi verotus. [12, s. 156]. Sarjahybridin etuna verrattuna polttomoottoriautoon on mahdollisuus käyttää polttomoottoria hyvällä hyötysuhteella optimaalista kierroslukualuetta hyödyntäen.

*Täyshybridissä* on yhdistetty rinnakkais- ja sarjahybridin ominaisuuksia. Täyshybridillä on mahdollisuus ajaa pelkällä sähköenergialla, mutta myös ainoastaan polttomoottorin turvin on mahdollista edetä. Yleensä käytetäänkin molempia, sekä polttomoottoria että sähkömoottoria. Toyota Prius on varmasti yksi tunnetuimpia täyshybriditekniikalla varustettuja autoja.

## 10.7 Vety

Vetykäyttöinen auto on vielä tällä hetkellä marginaalituote, mutta tulevaisuuden autona varsin varteenotettava vaihtoehto. Useat eri auton valmistajat ovat ilmoittaneet tuovansa vetykäyttöisen polttokennoauton markkinoille lähivuosina. Toyota, joka on ollut uranuurtaja hybridautojen valmistuksessa, on tuonut vuonna 2015 markkinoille uuden vetykäyttöisen automallin, joka on mallinimeltään Mirai. Toyota Mirai on kuvassa 23.

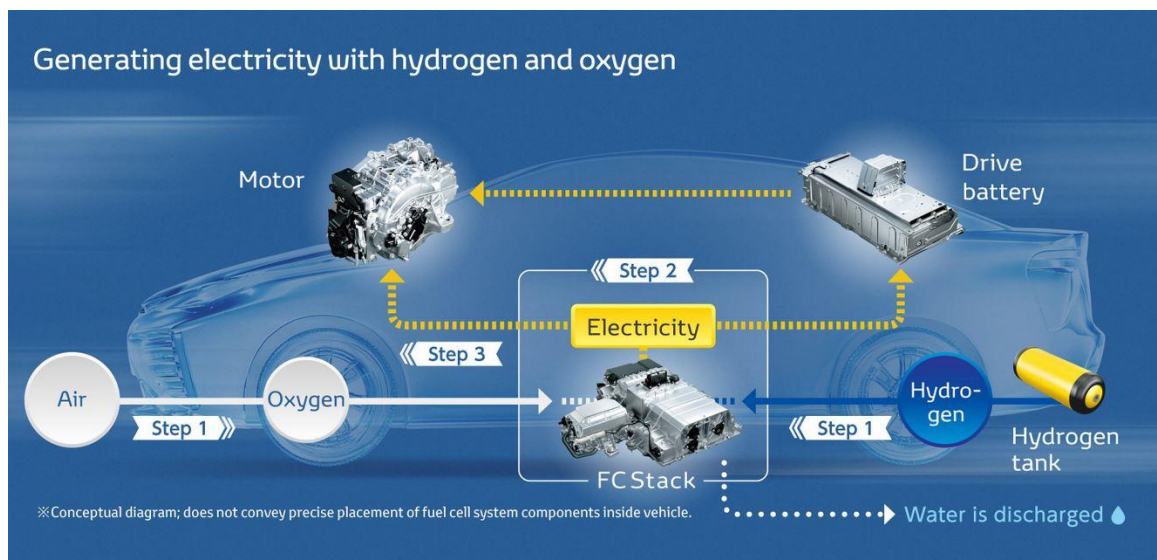


Kuva 23. Toyota Mirai [74].

Toyota Mirain hinta Saksassa on noin 78 000 euroa veroineen, joka osaltaan rajaa ostajakuntaa [75]. Toimintamatkaksi yhdellä tankkauksella Miraille luvataan noin 500 kilometriä, joka on varsin kilpailukykyinen ottaen huomioon nopea tankkaus verrattuna sähköautoon [76].

Vetykäyttöisen polttokennoauton toimintaideana on valmistaa ilman sisältämästä hapesta ja tankattavasta vedystä kemiallisen reaktion avulla sähköä polttokennossa. Tuotettavalla sähköllä ladataan ajoakkuja sekä käytetään sähkömoottoria. Polttokennoauton edut sähköautoon verrattuna on pienempien ajoakkujen tarve ja vedyn sähköä no-

peampi tankkaus. Polttokennoauto on myös ympäristöystävällinen, koska ajon aikana päästöinä tulee vain vettä. [76.] Tietysti kaikille autoille ominaiset melu- ja pölypäästöt polttokennoautotkin aiheuttavat ympäristöönsä. Vetyauton kokonaispäästöihin ja ympäristöystävällisyyteen vaikuttaa toki se, miten vety on tuotettu. Toyota Mirain tekniikkaa on esitelty kuvassa 24.



Kuva 24. Toyota Mirain tekniikkaa [77].

Vetyä on myös mahdollista käyttää kipinäsytytteisen ottomoottorin polttoaineena, mutta sen hyötysuhde on huomattavasti huonompi kuin vetypolttokennoautossa. Autonvalmistajat BMW, Ford ja Mazda ovat rakentaneet prototyyppisiä vetykäyttöisiä polttomoottoriautoja, mutta sarjavalmistukseen ne eivät ole vielä yltäneet. [78, s. 23.] Suurin hidaste vetypolttokennoautojen yleistymiselle on tankkausverkoston puuttuminen, kun sähköautoilla sellainen on jo olemassa, ainakin puhuttaessa hidaslatauksesta. Monet autonvalmistajat mukaan lukien Volkswagen näkee vetypolttokennoautojen olevan autojen käyttövoimakehityksen päämääränä [78, s. 25.] Polttokennon polttoaineena voidaan käyttää myös metaania tai metanolia, mutta ainakin vielä tämän päivän sarjavalmisteisissa polttokennoautoissa käytetään ainoastaan vetyä. [10, s. 648.]

Kotimainen kaasuntuottajayritys Woikoski Oy on avannut Suomen ensimmäisen vedyn tankkausaseman Mäntyharjun Voikoskelle ja toisen Helsingin Vuosaareen. Woikoski Oy:llä on myös tietyvästi Suomen ensimmäinen vetykäyttöinen polttokennoauto käytössään. Woikoski Oy:n käytössä oleva polttokennoauto malliltaan Hyundai ix35, on maksanut noin 100 000 euroa. Vetypolttoaineen hinta on tällä hetkellä noin 10 euroa kilolta. Vetyä voidaan tankata henkilöautoon noin 5–6 kiloa, jolla päästään noin 500–

600 kilometriä, riippuen autosta ja muista polttoaineenkulutukseen vaikuttavista tekijöistä. [79.]

Vetyä voidaan valmistaa usealla eri tavalla. Tällä hetkellä noin 90 prosenttia vedystä tuotetaan fossiilisista polttoaineista, pääasiassa maakaasua reformoimalla. [78, s.14.] Kestävämpää olisikin tuottaa vetyä esimerkiksi biokaasusta. Teollisuuden sivutuotteena syntyy myös vetyä, jota ei vielä täysin hyödynnetä. On arvioitu, että teollisuuden ylijäämävetyä riittäisi polttoaineeksi noin 6 miljoonalle henkilöautolle, joka on vielä melko pieni osuus Euroopan noin 190 miljoonasta autosta. [78, s. 22.] Joka tapauksessa vedyn nykyiseen tuotantoon fossiilisesta maakaasusta täytyy löytyä kestävämpi menetelmä, jotta polttokenoautosta saataisiin kokonaiskäyttöä ajatellen ympäristöystävällisempi vaihtoehto. Vetypolttokenoauto on toki ympäristöystävällisempi kuin maakaasua polttoaineenaan käyttävä auto, koska polttokenoauton paikallisena päästönä on vain vesi.

## **11 Taloudellisuus eri käyttövoimilla**

Auton taloudellisuudella tarkoitetaan sen polttoaineenkulutusta ja muita rahassa mitattavia kuluja, joita autoilla syntyy. Tässä luvussa taloudellisuutta vertaillaan saman automallin eri käyttövoimavaihtoehdoilla. Auton kuluihin sisältyvät auton hankintahinta, arvon alenema, rengas- ja polttoainekulut, vakuutusmaksut, verot, korjaus- ja huoltokustannukset. Näistä edellä mainituista kuluista tässä luvussa vertaillaan eri käyttövoimavaihtoehtojen taloudellisuutta polttoainekulujen, ajoneuvo- ja käyttövoimaverojen perusteella. Moottori-lehden [80] numerosta 2/2015 löytyvät kaikki muut paitsi auton arvon alenemasta ja auton hankintahinnasta aiheutuvat kulut 45 000 kilometrin matkalla 3 vuoden aikana. Tämä kuluvertailu onkin tehty Moottori-lehden testin perusteella, 18 000 ja 60 000 kilometrin matkoilla.

Tähän saakka ei ole ollut tarjolla sarjavalmisteista automallia, joka tarjoaisi kattavasti eri käyttövoimavaihtoehtoja. Perinteisesti lähes jokaisesta automallista löytyy bensiini- ja dieselkäyttöinen versio, mutta kaasulla ja sähköllä liikkuvat mallit ovat harvinaisempia. Volkswagen Golfin viimeisin mallisto sisältää bensiini-, dieselöljy-, etanoli-, kaasua-, sähkö-, ja hybridiversiot. Koska Golfin mallisto tarjoaa kattavasti lähes kaikki tällä hetkellä saatavilla olevat käyttövoimat, on taloudellisuuden vertailu kohtuullisen helppoa.

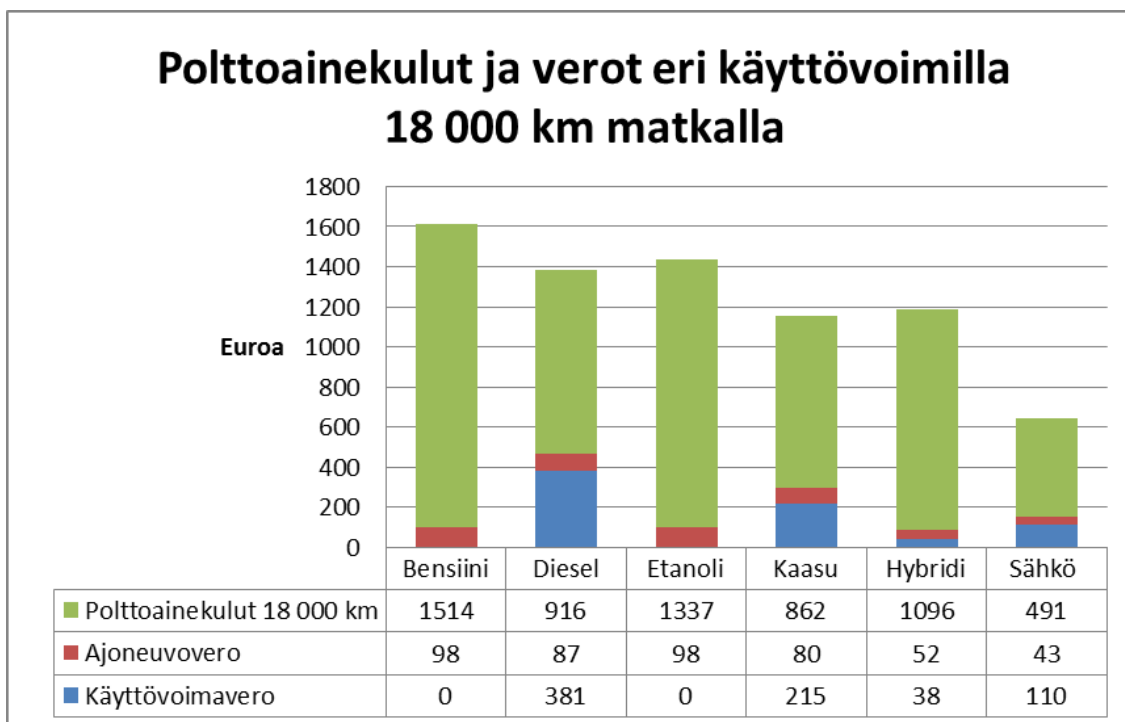
Kuten luvussa 4 on kerrottu, ei käytössä oleva NEDC-kulutusnormi anna todellista kuvaa autojen polttoaineenkulutuksesta ja päästöistä. Tämän vuoksi taloudellisuutta verrataan saksalainen autoliiton ADACin EcoTest-mittausten perusteella. Suomalaisen autoilijan keskimääräinen vuotuinen ajosuorite on noin 18 000 kilometriä ja on siksi otettu tämän taloudellisuusvertailun vertailumatkaksi. Keskimäärin kolmessa vuodessa suomalaisen autoilijan ajosuorite on noin 60 000 kilometriä, joka on toinen vertailumatka.

Polttoaineen hinta vaihtelee luonnollisesti markkinoiden, raaka-aineen saatavuuden ja maailmantilanteen mukaan. Vertailussa käytetyt polttoaineiden hinnat näkyvät taloukosta 6. Bensiinin, dieselöljyn ja etanolin yksikkönä on litra. Kaasun yksikkönä on kilogramma ja sähkön yksikkönä kilowattitunti. Polttoaineenkulutuksen ja hintojen lisäksi vertaillaan autojen ajoneuvo- ja käyttövoimaveroja.

Taulukko 6. Käyttövoimavertailussa käytetyt polttoaineiden hinnat [80].

|            |            |
|------------|------------|
| Bensiini   | 1,5 €/l    |
| Dieselöljy | 1,3 €/l    |
| Etanoli    | 1,0 €/l    |
| Kaasu      | 1,3 €/kg   |
| Sähkö      | 0,15 €/kWh |

Kuvasta 25 nähdään autojen polttoainekulut, sekä ajoneuvo- ja käyttövoimaverosuudet eri käyttövoimilla 18 000 kilometrin matkalla, kuvaajalla esitettynä. Bensiini- ja etanolikäyttöisen auton etuna on se, että käyttövoimaveroa ei peritä ollenkaan. Bensiinillä, dieselöljyllä, etanolilla ja kaasulla toimivien autojen ajoneuvoverotaso on suurin piirtein sama välillä 80–98 euroa vuodessa. Hybridi- ja sähkökäyttöisten autojen ajoneuvoverot ovat 52 ja 43 euroa vuodessa. [80.] On huomattava, että vertailut on tehty vuoden 2015 veromäärillä.

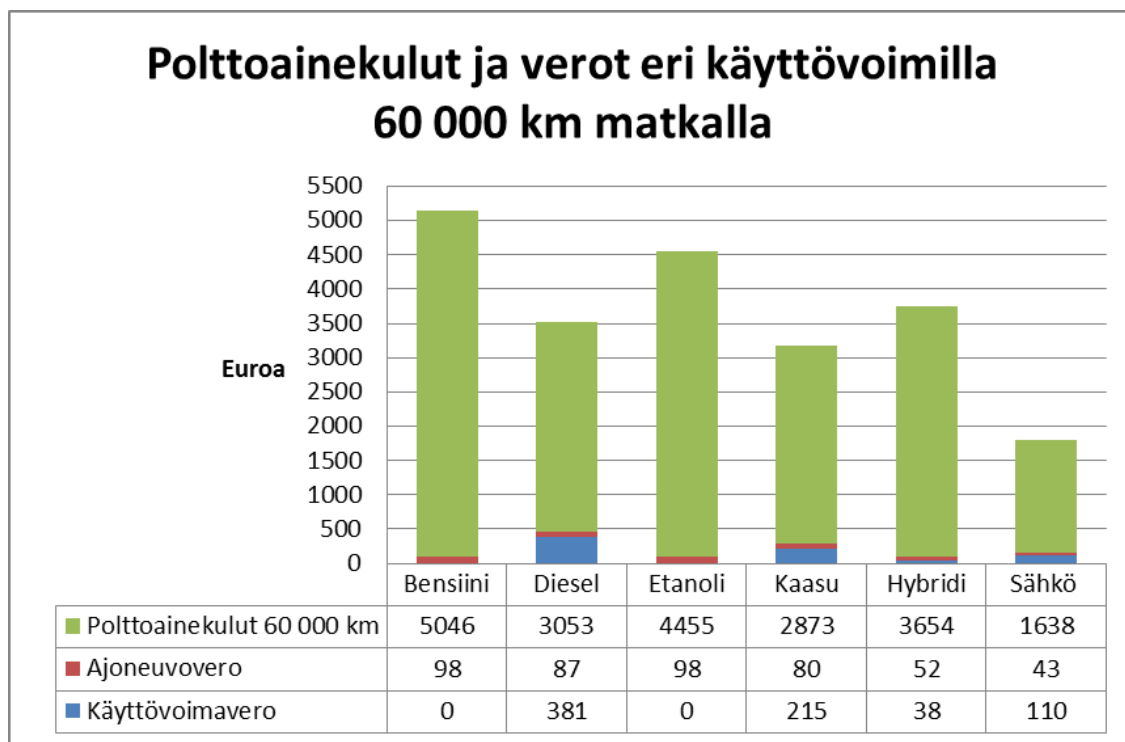


Kuva 25. Volkswagen Golfin polttoainekulut ja verot eri käyttövoimilla 18 000 kilometrin matkalla [80].

Edullisimmat polttoaine- ja verokulut 18 000 kilometrin matkalla ovat sähkökäyttöisessä autossa. Toiseksi edullisimmat kulut ovat kaasukäyttöisessä autossa, jonka jälkeen tulee dieselkäyttöisen auton kulut. Kalleimmat polttoaine- ja verokulut yhteensä ovat bensiinikäyttöisessä autossa. Jos sähköautoa käytetään lyhyillä matkoilla ja akkujen lataamiselle on hyvät mahdollisuudet, on se hyvin kilpailukykyinen vaihtoehto perinteisille polttomoottoriautoille. Hybridiauton etuna on polttomoottori, joka toimii vaikka auton ajoakut tyhjenisivätkin. Tässä vertailussa bensiini- ja etanoliautona on käytetty samaa multifuel-mallia. Vertailun tekohetkellä sähkö- ja hybridimallit ovat noin 14 000 euroa kalliimpia kuin vertailussa käytetty multifuel-auto on [80].

Kuvan 26 kuviosta nähdään käyttövoimien kustannuserot 60 000 kilometrin matkalla, joka on monelle auton omistajalle kolmen vuoden ajosuorite. Sijoitus kulujen edullisuudessa pysyy samana kuin 18 000 kilometrin matkalla, mutta suhteelliset erot kasvavat suuremmiksi. Pidemmällä 60 000 kilometrin matkalla dieselauton käyttövoimaveron osuus kokonaiskuluista luonnollisesti pienenee, joka parantaa sen kilpailukykyä. Kaasukäyttöisen auton kulut ovat edelleen toiseksi edullisimmat, heti sähkökäyttöisen auton jälkeen. On huomattava, että kaasuauton tankkauspisteitä on tiheimmin Etelä-Suomessa, mikä huonontaa kaasukäyttöisen auton kilpailukykyä Pohjois-Suomessa. Vertailussa käytettyjen etanoli- ja kaasuautojen etu on se, että niissä voidaan käyttää

bensiiniä rinnakkaispolttoaineena. Kaasukäyttöisen auton kustannusvertailu on tehty käyttäen polttoaineena pelkkää liikennekaasua, samoin kuin etanolikäyttöisen auton kustannukset on laskettu käyttäen polttoaineena ainoastaan etanolia.



Kuva 26. Volkswagen Golfin polttoainekulut ja verot eri käyttövoimilla 60 000 kilometrin matkalla [80].

Erilaiset käyttövoimavaihtoehdot tulevat varmasti lisääntymään eri automerkkien tarjoamana. EU:n tavoitteet uusiutuvista raaka-aineista valmistettavien biopolttoaineiden käytölle asettaa autonvalmistajille haasteita tarjota uusiutuvia polttoaineita käyttäviä autoja. Biopolttoaineita käyttävistä autoista kaasu- ja etanolikäyttöiset autot on mahdollista muuntaa bensiinikäyttöisistä autoista, joka on selkeä etu muutostöiden kustannuksia laskettaessa. Jotta kaasu- ja etanolikäyttöisistä autoista voidaan puhua uusiutuvia energialähteitä hyödyntävinä, täytyy kaasun ja etanolin olla valmistettu uusiutuvista lähteistä.

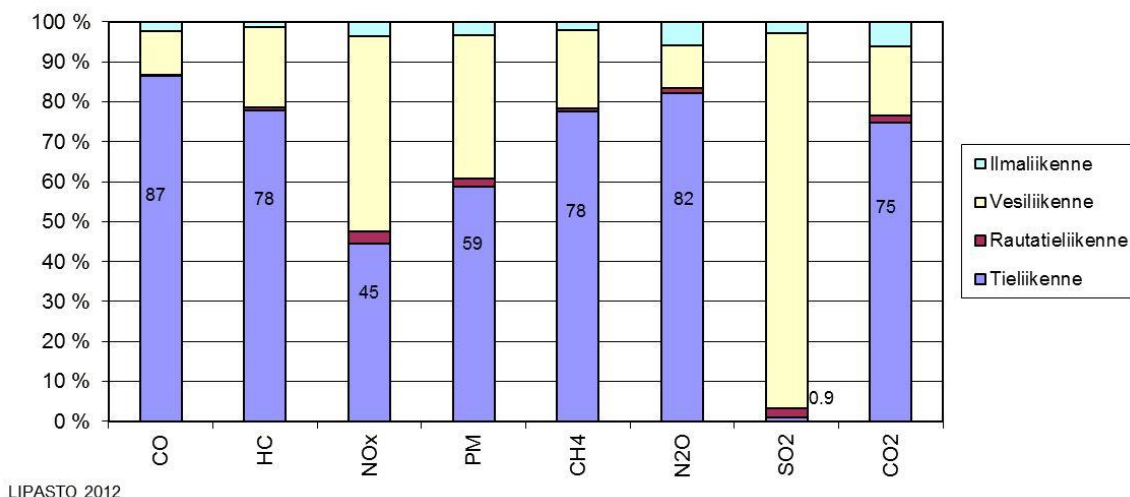


## 12 Liikenteen päästöt

Liikenteen päästöjä on tässä luvussa jaoteltu kasvihuonepäästöihin ja paikallisiin päästöihin. Kasvihuonepäästöjen vähentämisen tavoitteet ovat todella tärkeitä, jotta voidaan turvata ihmisen elinolosuhteet tulevaisuudessa.

Kuvasta 27 nähdään päästökomenttien jakaantuminen liikenteen eri osa-alueiden mukaan. Kuvasta huomataan tieliikenteen suuret osuudet kaikissa muissa paitsi rikki-dioksidipäästöissä, koska liikennepolttoaineiden rikkipitoisuutta on rajoitettu jo pitkään [38].

Liikenteen päästöosuudet liikennemuodoittain vuonna 2012



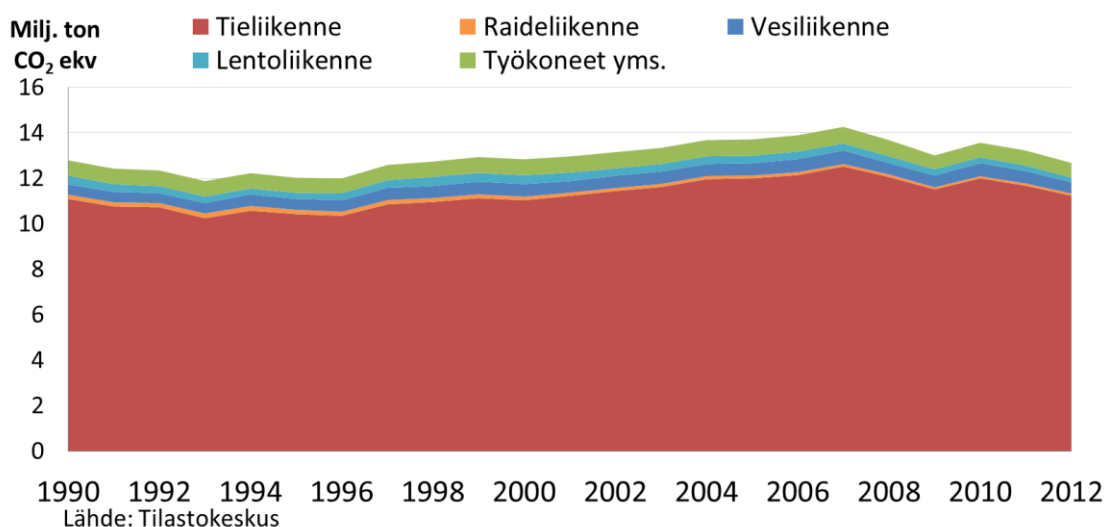
Kuva 27. Liikenteen päästöt vuonna 2012 [81].

### 12.1 Kasvihuonepäästöt

Liikenteen päästöistä ilmastonmuutokseen vaikuttavat lähinnä fossiilisten polttoaineiden käytössä vapautuva hiilidioksidi ( $\text{CO}_2$ ) ja muut kasvihuonepäästöt. Muita kasvihuonepäästöjä ovat muun muassa dityppioksidi ( $\text{N}_2\text{O}$ ), metaani ( $\text{CH}_4$ ) sekä fluoratut kasvihuonekaasut (niin kutsutut F-kaasut). Kasvihuonekaasujen osuus ilmakehässä on noussut vauhdilla viimeisen sadan vuoden aikana, johtuen pääasiassa ihmisen toiminnasta. Kasvihuonekaasut ovat maapallon ilmastolle haitallisia, koska ne estävät aurinkon lämpösäteilyn palautumista takaisin avaruuteen lämmittäen siten ilmastoa. Ilmaston lämpenemisellä on monia haitallisia vaikutuksia. Ilmaston lämpenemisen haittavai-

kutuksia ovat muun muassa sateiden jakautuminen epätasaisesti sekä merenpinnan kohoaminen. Liikenteen aiheuttamien kasvihuonepäästöjen osuus kaikista Suomen kasvihuonepäästöistä on noin viidennes. Kuvasta 28 nähdään tieliikenteen suuri osuus kaikista liikenteen kasvihuonepäästöistä. Kuvasta huomataan myös kasvihuonepäästöjen määrän nousseen vuoteen 2007 saakka, jonka jälkeen ne ovat lähteneet laskemaan hitaasti johtuen heikenneestä taloustilanteesta. [82.] Liikenteen kasvihuonepäästöistä tässä työssä käsitellään hiilidioksidia, koska sen osuus on kasvihuonepäästöistä suurin.

## Suomen liikenteen kasvihuonekaasupäästöt



Kuva 28. Liikenteen kasvihuonepäästöt Suomessa vuosina 1990–2012 [82].

### Hiilidioksidi

Hiilidioksidi ei ole pieninä pitoisuuksina ( $\leq 0,5$  % ilmassa) ihmiselle vaarallinen. Se on väritön ja hajuton kaasu. Ihminen tuottaa hiilidioksidia hengittäessään, joten sitä on luonnollisesti myös huoneilmassa. Suurina pitoisuuksina hiilidioksidi voi aiheuttaa hengenvaaran. Puhtaan hiilidioksidin hengittäminen aiheuttaa välittömästi tajuttomuuden ja melkein välittömän kuoleman, koska se syrjäyttää ilman sisältämän hapen. [83.] Koska polttomoottorikäyttöisten autojen tuottamat suhteelliset hiilidioksidipäästöt ilmaan ovat pienet, ei siitä normaalisti aiheudu suoraa vaaraa ihmiselle. Hiilidioksidipäästöt ovatkin suurin ongelma kasvihuoneilmiön syntymisen kannalta [84].

Polttomoottorin täydellisen palamisprosessin tuotteena syntyy hiilidioksidia ja vesihöyryä. Koska täydellinen polttoaineen palaminen on nykyisissä polttomoottoreissa mahdotonta toteuttaa, syntyy epätäydellisen palamisprosessin johdosta muitakin päästökomponentteja, kuten pienhiukkasia, typen oksideja, hiilivetyjä sekä hiilimonoksidia [10, s. 602].

Hiilidioksidipäästöjen määrä liikenteessä on suoraan verrannollinen fossiilisista raaka-aineista valmistettujen polttoaineiden määrään. Raakaöljystä valmistettu bensiini ja dieselöljy aiheuttavat vakiomäärän hiilidioksidipäästöjä palaessaan. Yksi litra bensiiniä tuottaa 2,35 kg hiilidioksidia, kun litra dieselöljyä tuottaa 2,66 kg hiilidioksidia. [84.] Dieselauton polttoaineenkulutus täytyy siis olla hieman pienempi kuin bensiiniauton, jotta päästään samaan hiilidioksidipäästölukemaan. Esimerkiksi jos bensiiniauton polttoaineenkulutus on 6 l / 100 km, saa dieselauton kulutus olla enintään 5,3 l/100 km, jotta päästään samaan hiilidioksidipäästötasoon.

Uusiutuvista raaka-aineista valmistetuista biopolttoaineista ei suoraan käytössä aiheudu ylimääräisiä hiilidioksidipäästöjä. Biopolttoaineiden valmistus aiheuttaa kuitenkin päästöjä, jotka täytyy ottaa huomioon auton käytön kokonaispäästöjä laskettaessa. [84.]

## 12.2 Paikalliset päästöt

Kasvihuonepäästöjen lisäksi liikenne aiheuttaa monia ilman- ja elämänlaatua heikentäviä päästöjä. Tässä käsitellyt muut kuin kasvihuonepäästöt ovat paikallisia päästöjä, jotka aiheuttavat haittaa siellä missä ajetaan. Liikenteen aiheuttamia paikallisia ilmansaasteita ovat hengitettävät hiukkaset ( $PM_{10}$ ), pienhiukkaset ( $PM_{2,5}$ ), typpioksidi ( $NO_2$ ), otsoni ( $O_3$ ), hiilimonoksidi (CO), rikkidioksidi ( $SO_2$ ) ja haihtuvat orgaaniset yhdisteet (VOC). Kaikki tässä luvussa käsitellyt liikenteen aiheuttamat ilmansaasteet ovat olleet laskusuunnassa 1990-luvun alusta lähtien. [85.] Tässä luvussa käsitellään hiilimonoksidi- (CO), hiilivety- (HC), typen oksidi- ( $NO_x$ ) sekä hiukkaspäästöjä (PM). Lisäksi paikallisena liikenteen päästönä käsitellään melupäästöjä, joista on ihmisille ja eläimille monia haittavaikutuksia.

### 12.2.1 Hiilimonoksidi

Hiilimonoksidia (CO) eli häkää syntyy epätäydellisen palamisen tuloksena. Polttomootorin palamisprosessissa syntyy nykytekniikallakin aina hieman hiilimonoksidia. Mikäli palaminen olisi täydellistä, syntyisi vain hiilidioksidia ja vesihöyryä. [10, s. 602.] Ilmassa olevaa hiilimonoksidia ei voida havaita, koska se on väritön, hajuton ja mauton kaasu. Häkää on pakokaasussa noin 4–7 prosenttia, mutta katalysaattori hapettaa siitä suurimman osan hiilidioksidiksi. Ulkoilmassa häkää on yleensä alle 0,001 prosenttia. Ihmiselle jo yli 0,1 prosentin häkäpitoisuudet voivat olla myrkyllisiä. [86.] Vanhemmissa autoissa, joissa ei katalysaattoria ole, ovat hiilimonoksidipitoisuudet huomattavasti korkeammat kuin katalysaattorilla varustetuissa autoissa. Ihmisille ja eläimille vaarallinen häkä siirtyy helposti ilmasta keuhkojen kautta vereen, jonka seurauksena se aiheuttaa elimistössä hapenpuutetta ja pahimmassa tapauksessa kuoleman. Hengitysilma tulee tappavaa, kun siinä on hiilimonoksidia vähintään 0,3 prosenttia. Häkä aiheuttaa vain paikallisia haittoja, koska se muuntuu ilmassa nopeasti hiilidioksidiksi. [87.]

### 12.2.2 Palamattomat hiilivedyt

Palamattomia hiilivetyjä syntyy epätäydellisen palamisen tuloksena, aivan kuten hiilimonoksidiakin. Pakokaasussa on hyvin monenlaisia hiilivety-yhdisteitä, ja tästä johtuen ovat niiden haittavaikutuksetkin ihmiselle hyvin moninaiset. Jotkin hiilivedyistä ovat täysin hajuttomia ja toisilla on selvästi tunnistettava haju. Osalla hiilivetyjä on ihmiselle ja eläimille suoria myrkytysvaikutuksia. Hiilivety päästöjen sisältämät monirengashiilivety- eli PAH-yhdisteet kuuluvat karsinogeenien ryhmään, jotka aiheuttavat syöpäsairauksia. Syövän syntymiseen vaaditaan kuitenkin pitkäaikaista altistumista hiilivety päästöille. Lisäksi hiilivedyt voivat aiheuttaa limakalvoärsytystä. [87.]

### 12.2.3 Pienhiukkaset

Hiukkasista käytetään lyhennettä PM (*Particulate matter*). Hengitettäviksi hiukkasiksi luetaan kooltaan alle 10 mikrometrin (PM<sub>10</sub>) kokoiset hiukkaset. Pienhiukkasiksi, joita pakokaasutkin sisältävät luetaan alle 2,5 mikrometrin kokoiset hiukkaset (PM<sub>2.5</sub>).

Liikenne tuottaa hiukaspäästöjä kahdella tapaa. Liikenteen hiukaspäästöjä sisältävät katupöly sekä pakokaasu. Jokainen auto huolimatta käyttövoimasta, tuottaa liikkueksaan katupölypäästöjä renkaan ja tien välisestä kontaktista johtuen. Katupölykin on hiukaspäästö, jonka hiukkaset ovat suhteellisen suurikokoisia (PM<sub>10</sub>) ja ne sisältävät

pääasiassa maaperästä löytyviä yhdisteitä, joita ovat alumiini, kalsium, kalium ja natrium. Katupölypäästöjen syntymistä voidaan yrittää vähentää kastelemalla teitä vedellä sekä lisäämällä katujen puhdistusta. Katupölypäästöt ovatkin pahimmillaan keväisin, hiekoitushiekkojen siivouksen aikaan. Katupölystä on haittaa ihmiselle hengitystieoireina, joita ovat muun muassa nuha ja yskä. Lisäksi voi esiintyä silmien kirvelyä. Keuhkoihin asti katupöly ei pääse suuren hiukkaskoon vuoksi. [88.]

Toinen liikenteestä johtuva hiukkaspäästöjen lähde ovat pakokaasut. Pakokaasut sisältävät terveydelle haitallisempia hiukkasia kuin katupöly, koska ne ovat kooltaan pienempiä ( $PM_{2.5}$ ). Pienemmän kokonsa ansiosta pakokaasujen sisältämät pienhiukkaset pääsevät hengitysteiden kautta syvemmillä ihmisen keuhkoihin, jopa keuhkorakkuloihin saakka. Pakokaasujen pienhiukkaset koostuvat pääosin hiilivedyistä, noesta ja sulfaateista. Polttomootoreista dieselmoottorit tuottavat eniten hiukkaspäästöjä. Dieselmoottoareiden suuremmista hiukkaspäästöistä ja tiukentuneista päästömääräyksistä johtuen on dieselautojen pakoputkistoihin lisätty hiukkassuodattimet, jotka vähentävät terveydelle haitallisia hiukkaspäästöjä. Koska maanteillä kulkevasta tavaraliikenteestä suurin osa kulkee dieselmoottoareiden voimin, synnyttää tavaraliikenne suurimman osan liikenteen hiukkaspäästöistä. [88.] Henkilöautokannasta noin neljäsosa on dieselkäyttöisiä.

#### 12.2.4 Typen oksidit

Typen oksideja on yhteensä kahdeksan, joista ilmansaasteita ovat typpimonoksidi (NO), typpidioksidi ( $NO_2$ ) sekä dityppioksidi ( $N_2O$ ) eli ilokaasu. Typen oksideja syntyy palamisen sivutuotteina, ilman typen sitoutuessa happeen. Näistä kolmesta ilman saasteiksi luokitelluista typenoksidityypistä käytetään yleisnimitystä typen oksidit ( $NO_x$ ). [89.]

Typpimonoksidi (NO) on hajuton, väritön ja mauton kaasu ja se muuttuu hapen vaikutuksesta vähitellen typpidioksidiksi ( $NO_2$ ). Typpimonoksidi (NO) on sen haitallisuuden lisäksi myös hyödyllinen ja ihmisen elimistölle välttämätön. Sen tehtäviä ihmisen elimistössä on mahdollistaa verisuonien laajeneminen, alentaen verenpainetta sekä ruoansulatuksessa välittää relaksaatiota. [90.]

Typpidioksidi ( $NO_2$ ) puhtaana esiintyessään on punaruskea, pistävän hajuinen ja myrkyllinen kaasu. Suurina pitoisuuksina esiintyessään typpidioksidi voi aiheuttaa limakal-

voärsytystä. Dityppioksidi ( $N_2O$ ) on kasvihuonekaasu, toisin kuin typpimonoksidi ja typidioksidi. Dityppioksidi lisää kasvihuoneilmiötä noin 300 kertaa voimakkaammin kuin hiilidioksidi ja se myös tuhoaa otsonia yläilmakehässä. [89.]

Typen oksidien haittavaikutuksia ympäristölle on niiden happosateita edesauttava vaikutus, sekä yhdessä hiilivetyjen kanssa aiheuttama savusumun muodostus. [10, s. 603.] Lisäksi typen oksidien aiheuttama ympäristöhaitta on typpilaskeuman vesistöön aiheuttama rehevöityminen [90].

Typen oksidit ( $NO_x$ ) voivat kulkeutua ilmassa mukana tuhansia kilometrejä, johtuen oksidien ominaisuudesta viipyä ilmassa monia päiviä. Johtuen typen oksidien mahdollisuudesta kulkeutua kauaskin varsinaisesta päästölähteestä, ovat ne muihin paikallisiin päästöihin verrattuna vaikutuksiltaan hyvin laaja-alaisia. [90.] Dityppioksidi ( $N_2O$ ) luokitellaan ilmastonmuutosta lisääväksi kasvihuonekaasuksi [82].

Typenoksidipäästöt ( $NO_x$ ) ovat erityisesti dieselmootoreiden ongelma, hiukkaspäästöjen lisäksi. Ottomootoreiden ongelmallisimmat päästöt ovat hiilivedyt (HC) ja hiilimonoksidi (CO) eli häkä. [31.]

### 12.2.5 Melupäästöt

Melupäästöt ovat nousseesta ajoneuvomäärästä johtuen kasvava ongelma. Liikenteen melusta on haittaa ihmisten terveydelle ja viihtyvyydelle. Liikenne onkin ylivoimaisesti suurin ympäristömelun lähde. Autoliikenteen melu syntyy renkaiden ja tien välisestä kontaktista, ilmanvastuksesta sekä voimansiirron ja moottorin aiheuttamista äänistä. Maantiiliikenteessä rengasmelu on suurin tekijä, kun taas pienemmillä nopeuksilla ajettaessa, ovat moottorin ja voimansiirron aiheuttamat melupäästöt voimakkaimpia. Ajotavalla voi vaikuttaa melupäästöjen syntyyn. Epätasainen, voimakkaita kiihdytyksiä ja jarrutuksia suosiva ajotapa on omiaan lisäämään liikennemelun tasoa. [91.]

Liikennemelua joutuu kokemaan esimerkiksi liikkeessaan jalankulkijana tai pyöräilijänä tai asuessaan liikenneväylien varrella. Liikennemelun katsotaan olevan merkittävää kun päiväajan (klo 7–22) keskiäänitaso on yli 55 desibeliä. Liikenteen melulle alttiit alueet kasvavat, kun liikennemäärät ja nopeudet kasvavat. Melulle alttiin alueen muotoon ja kokoon vaikuttavat esimerkiksi rakennukset, maaston muodot, kasvillisuus ja sääti-

lat. Myös autojen sisämelu on omiaan kasvattamaan melun ihmisille aiheuttamaa rasitusta. [91.]

Ihmisen havaitsema melutason muutos on noin 3 desibeliä. Liikenteen aiheuttama melutason kasvaessa 3 desibeliä, täytyy liikennemäärän kaksinkertaistua. Melun häiritsevyys ihmiselle on yksilökohtaista. Melun aiheuttamiin oireisiin vaikuttaa ihmisen altistumisaika melulle, sekä melun toistuvuus. Ihmisistä noin 10 prosenttia pitää 55 desibelin melutason ylitystä häiritseväenä ja 50:tä prosenttia ihmisistä häiritsee kun melutaso ylittää 65 desibeliä. [92.]

Melun vaikutukset ovat moninaiset. Suoran meluhaitan lisäksi voi melusta aiheutua myös tärinää. Melun aiheuttamat suorat haitat ihmisille ovat nukkumisen, työskentelyn, levon, viestinnän sekä oppimisen häiriintyminen. Melun terveyshaitat ihmiselle ovat stressitason nouseminen lisäksi erilaisten toimintahäiriöiden muodostuminen. Myös rakennukset kärsivät melun aiheuttamasta tärinävaikutuksesta. [91.]

Melupäästöjä rajoittavat monet lait ja asetukset. Ajoneuvojen tyyppihyväksynnässä on asetettu raja-arvot autojen sallituille melupäästöille. Sähkö- ja hybridautojen ongelmana on jalankulkijoiden kannalta niiden vähäinen melutaso. Koska jalankulkijat ja pyöräilijät ovat tottuneet, että polttomoottoriautoista lähtee ainakin jonkinlainen ääni, voivat hiljaiset sähkö- ja hybridautot edesauttaa vaaratilanteiden syntymistä liikenteessä.

### **13 EU:n tavoitteet liikenteen päästöjen vähentämiseksi**

EU on määrännyt päästönormit asetuksessa 443/2009 seuraavasti: vuonna 2012 kunkin autonvalmistajan mallistosta 65 prosenttia täytyy alittaa hiilidioksidipäästöraja 130 g/km. Vuonna 2015 vaatimus koskee kaikkia autoja. Jos autonvalmistaja ei pysty alittamaan vaadittua 130 g/km hiilidioksidipäästörajaa, joutuu se maksamaan korvauksia, jotka nousevat progressiivisesti ylityksen mukaan. [11, s. 18.]

Houkuttimena laskea autojen päästötasoa myönnetään autonvalmistajalle superbonuksia jokaisesta autosta, joka alittaa hiilidioksidipäästötason 50 g/km, niin että jokainen auto, joka vuonna 2012 on alittanut kyseisen päästörajan, vastaa 3,5 autoa laskettaessa keskimääräistä hiilidioksidipäästötasoa koko mallistolle. Vuoteen 2016 mennessä nämä superbonukset käytännössä häviävät, kun yksi alle 50 g/km päästöillä oleva auto vastaa yhtä autoa laskettaessa keskimääräistä päästötasoa. [93.]

Korvaukset vaaditun päästötason ylittämisestä vuosina 2012–2018 määritetään asetuksen 443/2009 [93] artiklassa 9 seuraavasti:

Jos valmistajan keskimääräiset hiilidioksidipäästöt ylittävät sen hiilidioksidipäästötavoitteen yli 3 g CO<sub>2</sub>/km:

$$((\text{Päästöylitys} - 3 \text{ g CO}_2/\text{km}) \times 95 \text{ EUR/g CO}_2/\text{km} + 1 \text{ g CO}_2/\text{km} \times 25 \text{ EUR/g CO}_2/\text{km} + 1 \text{ g CO}_2/\text{km} \times 15 \text{ EUR/g CO}_2/\text{km}) + 1 \text{ g CO}_2/\text{km} \times 5 \text{ EUR/g CO}_2/\text{km}) \times \text{uusien henkilöautojen lukumäärä.}$$

Samaan tapaan lasketaan myös päästötason ylitykset osalta 1–3 g CO<sub>2</sub>/km. Vuodesta 2019 alkaen jokainen gramma, joka ylittää autonvalmistajan malliston keskimääräisen ominaishiilidioksidipäästötason 130 g/km, maksaa 95 euroa per auto. Kyseinen määräys on osaltaan pakottanut autojen valmistajat kehittämään uusia sovelluksia päästöjen ja polttoaineenkulutuksen laskemiseksi automallistossaan. Yhtenä mahdollisuutena koko automalliston keskimäärin vähäisempään hiilidioksidipäästötasoon on suuripäästöisten autojen valmistajien fuusioituminen vähäpäästöisten autojen valmistajien kanssa. Pitkän aikavälin tavoite on saada henkilöautojen keskimääräiset hiilidioksidipäästöt enintään tasolle 95 g/km vuoteen 2020 mennessä [60, s. 99].

Lisäksi liikenteen päästöjen alentamiseksi EU:n ilmasto- ja energiapolitiikasta on annettu mittava lainsäädäntöpaketti vuonna 2009. Lainsäädäntöpaketti sisältää niin kutsutun 20–20–20 tavoitteen, jossa vuoteen 2020 mennessä tulisi EU:n energiankulutuksesta 20 prosenttia saada uusiutuvista energialähteistä ja kasvihuonepäästöjä tulisi alentaa 20 prosenttia, sekä energiatehokkuutta tulisi lisätä 20 prosenttia. Päästöjen alenemista ja uusiutuvien energialähteiden hyödyntämistä verrataan vuoden 1990 tasoon. Tavoitteeksi liikennepolttoaineiden bio-osuuden osalta on asetettu 10 prosenttia. [94.]

Suomi on sitoutunut tähän tavoitteeseen liikennepolttoaineiden osalta niin, että moottoribensiinin, dieselöljyn ja biopolttoaineiden energiasisällön kokonaismäärästä biopolttoaineiden osuus tulee olla [95]

- 6 % vuosina 2011–2014
- 8 % vuonna 2015
- 10 % vuonna 2016
- 12 % vuonna 2017
- 15 % vuonna 2018 ja
- 20 % vuonna 2020.



Ensimmäinen näkyvä askel biopolttoaineiden suuntaan nähtiin Suomessa vuonna 2011, kun markkinoille tuli 10 prosenttia etanolia sisältävä 95E10-bensiini. Ennen vuotta 2011 Suomessa myydyssä 95-oktaanisessa bensiinissä etanolin osuus oli 5 prosenttia. Kaikille vanhemmille automalleille enemmän etanolia sisältävä bensiini ei kuitenkaan sovellu. Autoille joissa 95E10 bensiiniä ei voi käyttää, on tarjolla 98E5-bensiini. Etanolia, joka on alkoholia, voidaan valmistaa esimerkiksi elintarviketeollisuuden jätteistä, jolloin se on uusiutuvaa biopolttoainetta. Hiilidioksidipäästöjen rajoittamisen ja biopolttoaineiden käytön lisäämisen lisäksi EU on asettanut uusille autoille Euro-päästönormit, joista on kerrottu seuraavassa luvussa.

## 14 Euro-päästönormit

Autojen päästöjä rajoitetaan erilaisilla määräyksillä ja toimenpiteillä ympäri maailman. Päästörajoitusten tavoitteena on hillitä kasvihuoneilmiön pahenemista ja vähentää terveydelle haitallisten päästöjen määrää. Euroopassa myytävien autojen enimmäispäästöt määrätään Euro-päästörajoituksissa. Ensimmäinen autojen päästöjä rajoittava direktiivi 70/220/EEC on astunut voimaan jo vuonna 1970, jossa rajoitettiin hiilimonoksidi- ja hiilivetyypäästöjä. Ensimmäisessä eurooppalaisessa päästädirektiivissä annettiin ohjeet myös päästöjen testaamisesta. Kyseinen direktiivi on ollut pohjana sitä seuraaville Euro-normeille vuoden 2005 Euro 4 -normiin saakka. [96.]

Henkilöautoille on omat Euro-normit sekä diesel-, että bensiinikäyttöisille. Ensimmäisen varsinaisen Euro-normin, Euro 1:n käyttöönotossa täytyi bensiinikäyttöisiin henkilöautoihin lisätä kolmitoimikatalysaattori, jolla voitiin alittaa hiilimonoksidille, hiilivedyille sekä typen oksideille määrättyt raja-arvot. Myöhempien Euro-normien voimaan tullessa on autoihin täytynyt lisätä muun muassa hiukkassuodatin, SCR-katalysaattori, pakokaasujen takaisinkierrätys sekä kehittää moottorinohjausta, polttoaineen suihkutusta ja ruis-kusta [31.]

Taulukossa 7 on esitetty bensiinikäyttöisten henkilöautojen Euro-päästönormien raja-arvot eri päästökomponenteille. Euro 1- ja Euro 2 -luokissa on määrätty yhteisraja-arvo hiilivedyille ja typen oksideille, kun ne myöhemmissä luokissa on eritelty. Huomattavaa on, että bensiinikäyttöisten henkilöautojen päästöjen raja-arvoissa ainoa muutos siirtäessä Euro 5 -luokasta Euro 6 -luokkaan on ollut pienhiukkasten lukumäärän rajoittaminen. Euro 6 -luokkaan siirtyminen onkin ollut dieselkäyttöisten autojen valmistajille haastavampaa tiukentuneiden hiilivety- ja typenoksidipäästörajojen vuoksi. Euro 5

-luokasta alkaen on alettu rajoittaa hiukkaspäästöjen massan lisäksi hiukkasten määrää. [96.] Taulukkoon 8 on avattu päästökomenttien lyhenteiden merkitykset.

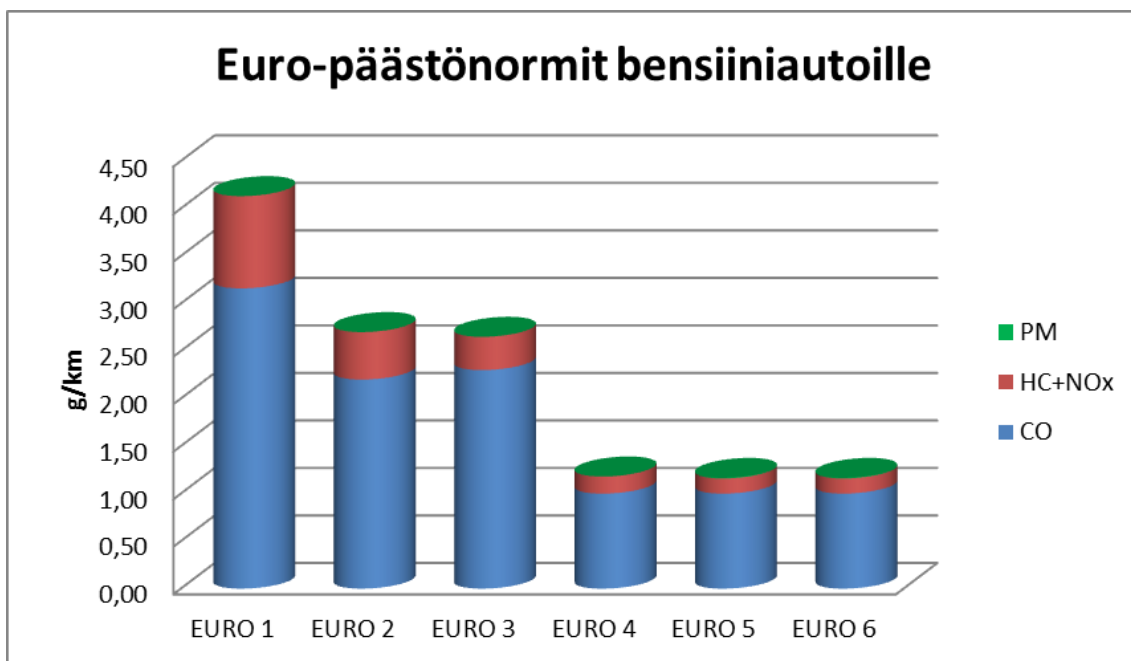
Taulukko 7. Bensiinikäyttöisten henkilöautojen Euro-päästöluokat [96].

| Luokka | Käyttöönotto | CO   | HC   | HC+NO <sub>x</sub> | NO <sub>x</sub> | PM    | PN                 |
|--------|--------------|------|------|--------------------|-----------------|-------|--------------------|
|        |              | g/km |      |                    |                 |       | kpl/km             |
| Euro 1 | 1.7.1992     | 3,16 | -    | 1,13               | -               | -     | -                  |
| Euro 2 | 1.1.1996     | 2,20 | -    | 0,50               | -               | -     | -                  |
| Euro 3 | 1.1.2000     | 2,30 | 0,20 | -                  | 0,15            | -     | -                  |
| Euro 4 | 1.1.2005     | 1,00 | 0,10 | -                  | 0,08            | -     | -                  |
| Euro 5 | 1.9.2009     | 1,00 | 0,10 | -                  | 0,06            | 0,005 | -                  |
| Euro 6 | 1.9.2014     | 1,00 | 0,10 | -                  | 0,06            | 0,005 | 6x10 <sup>11</sup> |

Taulukko 8. Päästökomenttien lyhenteet.

| Lyhenne         | Päästökomentti           | Yksikkö |
|-----------------|--------------------------|---------|
| CO              | Hiilimonoksidi           | g/km    |
| HC              | Palamattomat hiilivedyt  | g/km    |
| NO <sub>x</sub> | Typen oksidit            | g/km    |
| PM              | Pienhiukkasten massa     | g/km    |
| PN              | Pienhiukkasten lukumäärä | kpl/km  |

Kuvasta 29 nähdään, miten bensiinikäyttöisille autoille määrättyjen Euro-päästönormien raja-arvot ovat muuttuneet, siirryttäessä päästöluokasta seuraavaan. Kuten kuvasta nähdään, ovat raja-arvot pysytelleet viimeisissä kolmessa Euro-luokassa 4–6 lähes samalla tasolla. Lisänä Euro 6 -luokasta lähtien on tullut rajoitus partikkeleiden (PM) määrään, joka nähdään myös taulukosta 7.



Kuva 29. Euro-päästönormit bensiinikäyttöisille henkilöautoille [96].

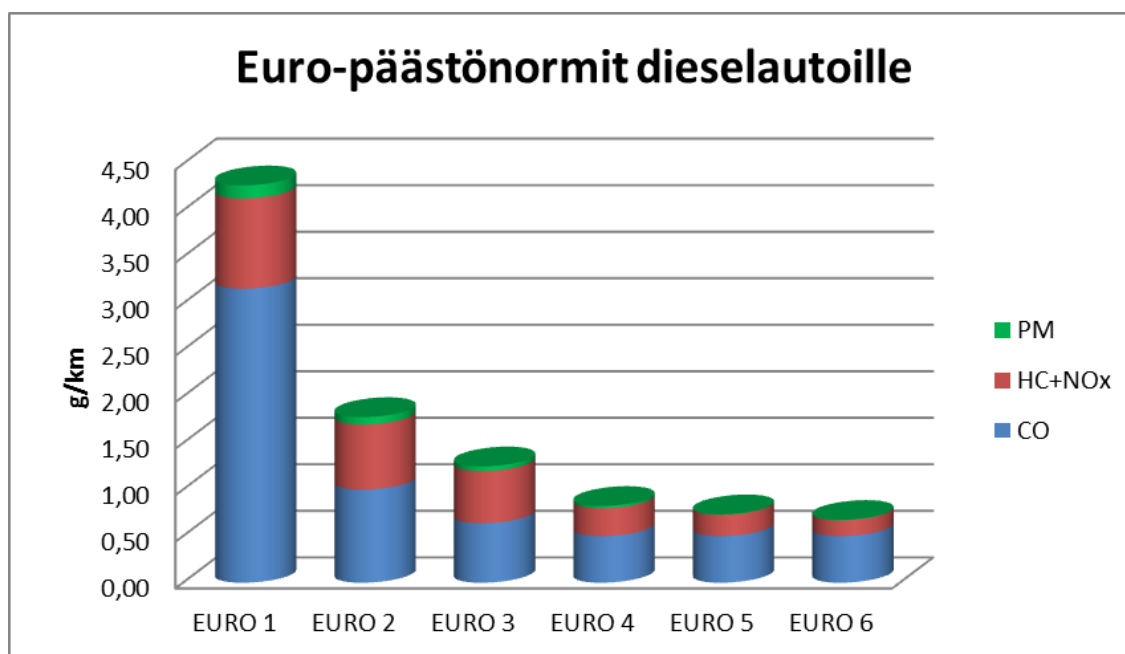
Diesikäyttöisten henkilöautojen Euro-päästönormin raja-arvot on esitetty taulukossa 9. Huomattavaa on että Euro 2 -luokka sisältää kaksi alaluokkaa, joista IDI-alaluokka on epäsuoralla polttoaineenruiskutuksella oleville moottoreille ja DI-alaluokka on suoralla ruiskutuksella oleville dieselmootoreille. Suoraruiskutteisille moottoreille sallittiin määräjäksi hieman korkeammat päästörajat. Euro 5 -luokassa on kaksi alaluokkaa: a ja b. Euro 5b -luokasta alkaen on alettu rajoittaa pienhiukkasten lukumäärää. [96.]

Taulukko 9. Diesikäyttöisten henkilöautojen Euro-päästöluokat [96].

| Luokka     | Käyttöönotto | CO   | HC | HC+NOx | NOx  | PM    | PN                 |
|------------|--------------|------|----|--------|------|-------|--------------------|
|            |              | g/km |    |        |      |       | kpl/km             |
| Euro 1     | 01.07.1992   | 3,16 | -  | 1,13   | -    | 0,180 | -                  |
| Euro 2 IDI | 01.01.1996   | 1,00 | -  | 0,70   | -    | 0,080 | -                  |
| Euro 2 DI  | 01.01.1996   | 1,00 | -  | 0,90   | -    | 0,100 | -                  |
| Euro 3     | 01.01.2000   | 0,64 | -  | 0,56   | 0,50 | 0,050 | -                  |
| Euro 4     | 01.01.2005   | 0,50 | -  | 0,30   | 0,25 | 0,025 | -                  |
| Euro 5a    | 01.09.2009   | 0,50 | -  | 0,23   | 0,18 | 0,005 | -                  |
| Euro 5b    | 01.09.2011   | 0,50 | -  | 0,23   | 0,18 | 0,005 | 6x10 <sup>11</sup> |
| Euro 6     | 01.09.2014   | 0,50 | -  | 0,17   | 0,08 | 0,005 | 6x10 <sup>11</sup> |

Dieselmootoreiden valmistajilta paljon kehitystyötä on vaatinut siirtyminen Euro 5 -luokasta Euro 6 -luokkaan. Erityisesti typenoksidipäästöarvojen alittaminen on vaatinut uuden tekniikan käyttöön ottamista. Monet henkilöautojen valmistajat ovat lisänneet typen oksideja pelkistävän SCR-katalysaattorin autoihinsa, tiukentuneiden päästönormien vuoksi. Lisäksi Euro 6 -luokan dieselautoissa on yleisesti käytössä pakokaasujen takaisinkierrätys, jonka avulla pakokaasujen lämpötilaa saadaan alemmaksi, jolloin typen oksidien määrä vähenee. [31.] Pakokaasujen takaisinkierrätyksestä on kerrottu tarkemmin luvussa 15.3.2.

Kuten myös kuvasta 30 huomataan, ovat Euro-päästönormien raja-arvot tiukentuneet dieselkäyttöisille autoille huomattavasti nopeammassa tahdissa, kuin bensiinikäyttöisille autoille.



Kuva 30. Euro-päästönormit dieselkäyttöisille henkilöautoille [96].

Päästönormien rajoissa pysymistä valvotaan tyyppihyväksynnällä, sarjatuotannon testauksella sekä kenttävalvonnalla. Tyyppihyväksyntä tehdään uusille ajoneuvomalleille, jotka ovat tulossa markkinoille. Tyyppihyväksyntään kuuluu testejä, joissa testataan ajoneuvon eri osa-alueita. Päästöjen osalta testaukseen kuuluu 5–6 testiä riippuen auton käyttövoimasta. Tyyppihyväksynnässä päästönormin raja-arvoissa pysymistä ajon aikana mitataan ajamalla NEDC-mittaussykli, kuten kulutusmittauksissakin. [31.] NEDC-syklistä on kerrottu tarkemmin luvussa 4.1.

Autonvalmistaja testaa omassa laadunvalvonnassaan, että valmistetut autot alittavat voimassa olevat tai tulevat päästönormit. Viranomaiset voivat halutessaan tehdä sarjatuotannon jälkitestauksia, joissa testataan päästönormeissa pysyminen. Määräaikaikatsastuksissa tehdään päästömittaukset, joilla varmistetaan sallitun päästötason säilyminen. Määräaikaikatsastuksessa mitattavia päästöjä ovat hiilimonoksidi- (CO) ja hiilivetypäästöt (HC). Hiilimonoksidin ja hiilivedyn määrää mitataan pitoisuusarvoina pakokaasusta. Lisäksi dieselautoista mitataan savutusarvo, jonka täytyy pysyä sallituissa rajoissa. Savutusarvoa kuvataan absorptio- eli k-kertoimella. [31.]

Bensiinikäyttöisissä autoissa, joiden kokonaismassa on enintään 3 500 kg ja jotka on otettu käyttöön 1.1.2000 alkaen, täytyy olla OBD-järjestelmä (*On-Board Diagnostics*). OBD-järjestelmä on auton sisäinen valvontajärjestelmä, joka valvoo muun muassa pakokaasuarvoja. Dieselkäyttöisissä autoissa OBD-järjestelmä on tullut pakolliseksi 1.1.2003 alkaen.. Katsastuksessa minkäänlaisia OBD-järjestelmän kautta luettavia virheilmoituksia pakokaasupäästöjen suhteen ei sallita. Järjestelmän mittaamia päästökäsitteitä ovat hiilimonoksidi (CO), hiilivedyt (HC), typen oksidit (NO<sub>x</sub>) sekä hiukkaset (PM). [31.]

## **15 Ympäristöystävällisyyden ja taloudellisuuden tähtäävä ajoneuvotekniikka**

Tiukkenevien päästömääräyksiensä vuoksi autonvalmistajat ovat ottaneet käyttöön erilaisia sovelluksia ja ominaisuuksia, joilla pyritään parantamaan autojen energiatehokkuutta ja sitä kautta ympäristöystävällisyyttä. Tässä kappaleessa on käsitelty autojen erilaisia sovelluksia sekä ominaisuuksia, joilla pyritään vähemmän kuluttavaan autoiluun. Tässä kappaleessa käsitellyt autojen tekniset sovellukset ja ominaisuudet ovat jarrutusenergian talteenotto, sammutusautomaattisuus, pakokaasujen puhdistus, moottorinlämmittimet, ajotietokoneet, renkaiden ominaisuudet sekä vaihteistojen toiminta taloudellisen ajamisen kannalta. Edellä mainitut sovellukset ja ominaisuudet on valittu tässä työssä käsiteltäviksi aiheiksi, koska ne ovat tällä hetkellä käytössä olevista teknisistä toteutuksista merkittävimpiä ympäristöystävällisen ja taloudellisen liikkumisen suhteen.

### **15.1 Jarrutusenergian talteenotto**

Jarrutusenergian talteenotto eli regeneratiivinen jarrutus on henkilöautoissa toteutettu kahdella eri toimintaperiaatteella. Sähkö- ja hybridi-autoissa jarrutusenergian talteenotto

on toteutettu käyttämällä sähkömoottoria käänteisesti generaattorina. Polttomoottoriautoissa jarrutusenergian talteenotto on toteutettu säätämällä latausgeneraattorin toimintaa. [57, s. 64; 97.]

Sähkö- ja hybridautojen jarrutusenergian talteenotto perustuu sähkömoottorin ohjaukseen. Kiihdyttäessä sähkömoottori toimii moottorina ja vauhtia hidastaessa generaattorina ladataan auton akkuja. Tällä tavoin saadaan mahdollisimman suuri hyöty hidastuksesta. Taloudellisen liikkumisen kannalta olisi parasta jos nopeus voitaisiin pitää mahdollisimman tasaisena, eikä suuria nopeuden vaihteluita olisi. Ikonen toteaa taloudellisen ajamisen oppaassaan (*Aja taloudellisesti*) [12], että hybridautolla on taloudellisinta hidastaa vaihteen ollessa vapaalla ja polttomoottorin sammutettuna, jolloin liike-energia saadaan mahdollisimman hyvin hyödynnettyä pitkänä rullausmatkana. Regeneratiivisen jarrutuksen aikana energiaa toki varastoituu akkuihin, mutta se ei ole yhtä tehokasta liike-energian käyttämistä kuin autolla rullaaminen vaihde vapaalla. [12, s. 174.] Tästä ei pidä kuitenkaan vetää johtopäätöksiä, että kaikilla autoilla olisi turvallista ja taloudellista ajaa moottori sammutettuna. Polttomoottoriauton moottorijarrutusta ja sitä kautta polttoaineensyötön katkaisemista kannattaa hyödyntää mahdollisimman hyvin, kun nopeutta täytyy hidastaa. Polttomoottorin sammuttaminen ajon aikana olisi sitä paitsi vaarallistakin, koska muun muassa jarru- ja ohjausjärjestelmät eivät toimi kuten ne on suunniteltu toimivan.

Mikrohybrideissä, joissa ei ole sähkömoottoria, hoidetaan jarrutusenergian talteenotto hyödyntämällä polttomoottorin moottorijarrutusta. Moottorijarruttaessa, kun polttoaineensyöttö katkaistaan, lisätään laturin latausjännitettä, jolloin moottorijarrutuksesta saadaan paras mahdollinen hyöty lataamalla akkua suuremmalla teholla. Vastaavasti kiihdyttäessä auton nopeutta, vähennetään polttomoottorin kuormaa, keventämällä laturin lataustehoa ja käyttämällä polttoaine mahdollisimman tehokkaasti auton nopeuden kiihdyttämiseen, ei niinkään akun lataamiseen tai sähkölaitteiden käyttämiseen. [32.] Auton käyttäjarruilla jarrutettaessa hukataan liike-energiaa jarrulevyjen tai rumpujen kautta lämpönä ilmaan, kun jarrupalat tai -kengät hidastavat auton vauhtia kitkan avulla. Tämän hukkalämmön tuottoa kannattaa pyrkiä välttämään, koska siinä kulutetaan saavutetun liike-energian lisäksi jarruosien kitkapintoja.

Mikrohybridautoissa joiden ominaisuuksiin kuuluvat jarrutusenergian talteenotto ja sammutusautomaatiikka, vaaditaan akulta ominaisuuksina nopeaa energian luovuttamista, hyviä varausominaisuuksia sekä kestävyyttä varaustilan vaihteluille, koska on paljon sellaisia tilanteita, joissa nykyautot toimivat pelkän akkuvirran varassa. Yleisesti

käytetäänkin AGM-akkuja (*Absorbent Glass Mat*). AGM-akussa on mikrolasikuitukudos, joka sitoo akkuhapon. Mikrolasikuitukudoksen ansiosta AGM-akku pystyy luovuttamaan perinteistä akkua suurempia energiamääriä ja se kestää paremmin varaustilan vaihteluita. Mikäli AGM-akku joudutaan vaihtamaan uuteen, saa tilalle vaihtaa vain AGM-akun ja lisäksi akun vaihtaminen täytyy yleensä päivittää auton järjestelmään diagnostiikkatestilaitteella. [98, s. 9.]

Kuljettajalta jarrutusenergian talteenotto vaatii mahdollisimman paljon moottorijarrutuksen käyttöä, jolloin järjestelmä toimii tehokkaasti keräten virtaa akkuun tai akkuihin. Ripeät kiihdytykset käyttäen moottorin mahdollisimman hyvää hyötysuhdetta on taloudellinen ajotapa, niin mikrohybridiautoilla, kuin muillakin polttomoottoriautoilla. Kuljettaja, joka rullaa autollaan aina vaihde vapaalla, ei saa järjestelmästä täyttä hyötyä.

## 15.2 Sammutusautomaatiikka

Sammutusautomaatiikkaa kutsutaan myös Start-Stop-järjestelmäksi. Sammutusautomaatiikalla pyritään välttämään polttomoottorin tyhjäkäyntiä, aina kun se on mahdollista. Toimiakseen sammutusautomaatiikka vaatii erilaisten ehtojen täyttymistä. Näitä ehtoja ovat muun muassa moottorin lämpötila, ilmastointilaitteen säädöt, ulkolämpötila, akun varaustila, vaihteen valinta, jarrutehostimen paine, sähkönkuluttajien kytkentä, ajonopeus sekä polkimien asento. Järjestelmästä saadut hyödyt vaihtelevat ajotilanteiden ja automallien välillä. Parhaimmillaan voidaan päästä jopa 15 prosentin säästöön polttoaineenkulutuksessa, joka tosin vaatii ajamista hyvin ruuhkaisessa liikenteessä, jossa täytyy tehdä useita pitkäkestoisia pysähdyksiä. NEDC-kulutussyklillä mitattuna, järjestelmän avulla saavutetut säästöt ovat noin 5–10 prosentin luokkaa. [98, s. 1.]

Sammutusautomaatiikka vaatii autolta monimutkaisempaa tekniikkaa, kuin ilman järjestelmää olevat autot. Erilaisia antureita, jotka mittaavat ehtojen täyttymistä on useita, olkoonkin että osa näistä antureista on jo olemassa olevia ilman sammutusautomaatiikkaakin olevissa autoissa. Näitä ehtoja on kuvattu kuvassa 31. Ehdot ja niiden arvot vaihtelevat eri automerkkien ja -mallien välillä. Näin ollen kuvassa esitetyt ehdot ovat viitteellisiä. Kuvassa olevien ehtojen lisäksi voi konepellin, oven tai turvavyön lukon avaus kytkää järjestelmän pois toiminnasta. [98, s. 1.]



Kuva 31. Sammutusautomaatiikan toimintaan vaikuttavat tekijät [98, s. 1–4].

Sammutusautomaatiikka toimii yleensä kun auto pysäytetään. Automaattivaihteisessa autossa riittää kun auto pysäytetään ja pidetään paikallaan jarrupolkimella. Moottori käynnistyy kun jarrupoljin vapautetaan ja aletaan painaa kaasua. Manuaalivaihteisissa autoissa järjestelmä toimii kun auto pysäytetään, vaihdetaan vaihde vapaalle ja nostetaan kytkinpoljin ylös. Kehittyneemmät järjestelmät, jollaista muun muassa Citroën käyttää, voi moottori sammua jopa nopeudesta 20 km/h. [99.] Tällainen vauhdista sammuva järjestelmä vaatii kuljettajalta enemmän huomiota järjestelmän toimintaan saattamiseksi, koska vaihde täytyy manuaalivaihteisessa autossa vaihtaa vapaalle jo auton liikkeessä. Järjestelmä onkin helpompikäyttöinen automaattivaihteisessa autossa.

Manuaalivaihteisen auton sammutusautomaatiikka käynnistää moottorin painettaessa kytkinpoljinta ennen liikkeelle lähtöä. Tämä vaatii kuljettajalta ennakoivia liikkeitä lähdössä. Bosch on kehittänyt sähköisen kytkinpolkimen, joka on suunniteltu toimimaan



saumattomasti yhteen sammutusautomaatiikan kanssa. Sähköisen kytkinpolkimen kehittämistä Bosch perustelee automaattivaihteistoa edullisempina valmistuskustannuksina, mahdollisuutena yhdistää manuaalivaihteisto hybriditekniikkaan sekä ajon taloudellisuutena, koska polttomoottori on mahdollista sammuttaa jo auton ollessa liikkeellä. Manuaalivaihteisessa autossa sähköinen kytkinpoljin mahdollistaa liikkeellelähdöt pelkästään kaasupoljinta painamalla ja pysäytykset jarrupolkimella aivan kuten automaattivaihteisissa autoissa. Sähköisellä kytkinpolkimella varustetussa autossa poljinta täytyykin painaa vain vaihdettaessa vaihdetta. [100.]

Sammutusautomaatiikka voidaan myös kytkeä pois toiminnasta, jos kuljettaja niin haluaa. Tilanne jossa voisi olla parempi kytkeä järjestelmä toimimattomaksi, on esimerkiksi ajotilanne, jossa pysähdykset ovat hyvin lyhyitä, eikä järjestelmän käyttämisestä ole taloudellista hyötyä. Mikäli jokin järjestelmän vaatimista ehdoista ei täyty, ilmoittaa auton ajotietokone järjestelmän toimimattomuudesta. Kuvassa 32 on malli sammutusautomaatiikan katkaisijasta sekä ilmoitus järjestelmän toimimattomuudesta.



Kuva 32. Sammutusautomaatiikan katkaisija ja ilmoitus järjestelmän toimimattomuudesta.

Sammutusautomaatiikka vaatii kestävämmän käynnistimen, johtuen moninkertaisista moottorin käynnistyskerroista verrattuna ilman sammutusautomaatiikkaa olevaan autoon. Start-Stop-järjestelmälle suunnitellussa käynnistimessä on vahvistettu muun muassa laakerointia, planeettavaihteiston rakennetta sekä hammaspyörän siirtolaitetta. [98, s. 7.] On olemassa myös yhdistettyjä käynnistin-generaattori-järjestelmiä, joissa sama laite hoitaa sekä auton käynnistyksen että virran tuottamisen. Myös akulta vaaditaan enemmän ominaisuuksia, joista on kerrottu edellisessä jarrutusenergian talteenottoa käsittelevässä luvussa.

### 15.3 Pakokaasujen puhdistus

Pakokaasujen puhdistusjärjestelmissä on täytynyt ottaa käyttöön entistä monimutkaisempia sovelluksia, johtuen tiukkenevista päästömääräyksistä. Kun vielä 1990-luvulla Euro 1 -päästönormin voimaan tullessa riitti katalysaattorin lisääminen pakoputkiston yhteyteen, vaaditaan nykyisen Euro 6 -normin täyttymiseen moottorinohjaukseltakin huomattavasti enemmän. [31.] Polttoaineensuihkutuksen (bensini-moottorit) ja -ruiskutuksen (dieselmoottorit) täytyy olla monin kerroin tarkempaa kuin kaksivuosi-kymmentä sitten. Tässä luvussa on esitelty tämän päivän polttomoottoreiden pakokaasujen käsittelyssä käytettäviä laitteita ja sovelluksia, joita ovat katalysaattorit, hiukkaspuhdistimet sekä pakokaasujen takaisinkierätykset.

#### 15.3.1 Katalysaattorit

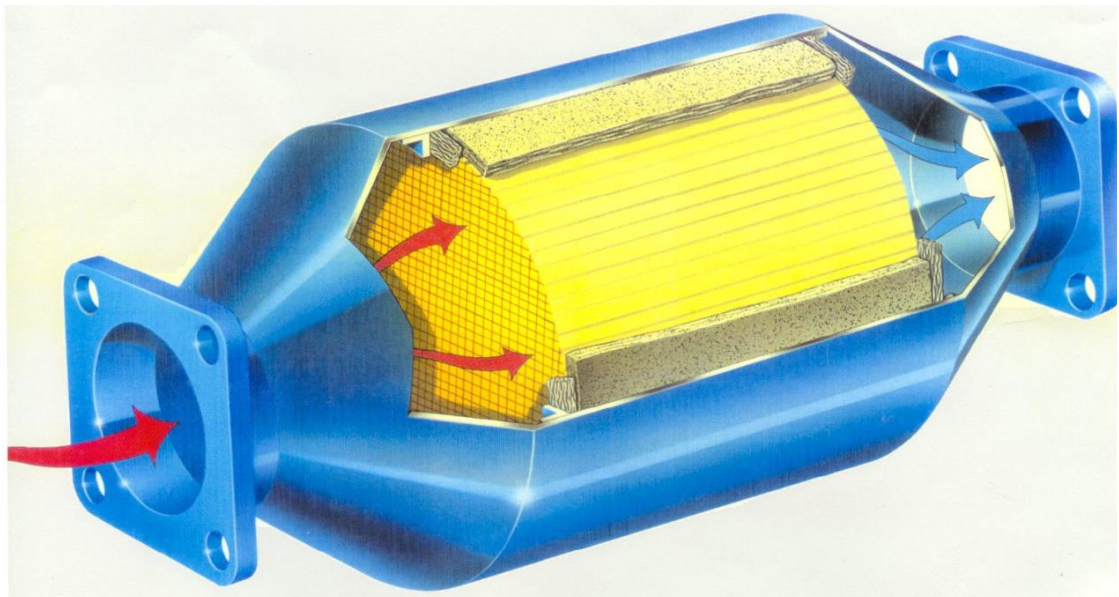
Polttomoottoreiden katalysaattoreita on kahta eri tyyppiä, jotka ovat bensini-moottorille suunniteltu kolmitoimikatalysaattori ja dieselmoottoreille suunniteltu hapetus-katalysaattori. Kolmitoimikatalysaattori pystyy pienentämään nimensä mukaisesti kolme eri päästökomenttia, jotka ovat hiilimonoksidi- (CO), hiilivety- (HC) ja typenoksidipäästöt (NO<sub>x</sub>). Hapetus-katalysaattorin avulla on mahdollista pienentää hiilimonoksidi- (CO) ja hiilivety-päästöjä (HC). Katalysaattori sijaitsee mahdollisimman lähellä moottoria pakoputkistossa. Moottorin läheinen sijainti edesauttaa katalysaattorin nopeaa lämpenemistä, jolloin se on mahdollisimman nopeasti toimintavalmis. [101.]

Kolmitoimikatalysaattorissa on joko keraaminen tai metallinen kennomainen rakenne, joka on pinnoitettu huokoisella väliaineella ja katalyyteillä. Katalyyteinä käytetään yleensä platinaa, rhodiumia tai palladiumia. Katalysaattorissa käytetyt jalometallit nostavat pakoputkiston hintaa huomattavasti. Kennorakenne ja väliaine mahdollistavat katalysaattorin suuren toiminnallisen pinta-alan mahdutettuna pieneen tilavuuteen. Suurta toiminnallista pinta-alaa tarvitaan, koska haitallisten päästöjen puhdistukset tapahtuvat pintareaktioina. [101.] Aukaistuna keskikokoisessa katalysaattorissa onkin toiminnallista pinta-alaa noin kahden jalkapallokentän verran [102].

Kolmitoimikatalysaattori rakentuu kahdesta osasta, jotka ovat pelkistyskatalysaattori ja hapetus-katalysaattori. Pelkistyskatalysaattorin tehtävänä on hajottaa haitalliset typen oksidit vaarattomiksi typeksi ja hapeksi. Hapetus-katalysaattorin tehtävänä on hajottaa

hiilimonoksidi- ja hiilivetypäästöt ihmiselle ja eläimille vaarattomiksi hiilidioksidiksi ja vedeksi. [101.]

Pelkistyskatalysaattori vaatii toimiakseen stökiömetrisen ilma-polttoaineseoksen, jolloin yhden polttoainekilon polttamiseen käytetään 14,7 kilogrammaa ilmaa. Tilavuutena ilmaistuna 1 litra polttoainetta vaatii 9500 litraa ilmaa palaakseen ihanteellisesti. Ilma-kerroin eli lambda-arvo ilmaisee ilma-polttonestemassasuhteen poikkeaman stökiömetrisestä polttonestemassasuhteesta. Lambda-arvon ollessa 1 on ilma-polttoaineseos ihanteellinen. Lambda- eli happiantureita on nykytekniikalla olevissa autoissa yleensä kaksi kappaletta. Ensimmäinen happianturi on ennen katalysaattoria ja toinen katalysaattorin jälkeen. [32.] Kuvassa 33 on havainnollistettu kolmitoimikatalysaattorin rakennetta.



Kuva 33. Kolmitoimikatalysaattorin rakenne [101].

Dieselmootoreiden päästöjä puhdistamaan käytetään hapetuskatalysaattoreita, koska dieselmootori käy ilmaylimäärällä savutuksen estämiseksi. Dieselmootorin yhteydessä ei kannata käyttää kolmitoimikatalysaattoria, johtuen pelkistyskatalysaattorin toimimattomuudesta hapettavissa olosuhteissa. Hapetuskatalysaattori ei pysty vähentämään typenoksidipäästöjä, jonka vuoksi autonvalmistajien on käytettävä nykyiseen Euro 6 -päästönormin raja-arvoihin päästäkseen SCR-katalysaattoreita (*Selective Catalytic Reduction*) sekä pakokaasujen takaisinkierrätystä. [31.]

SCR-järjestelmän toiminta perustuu pakokaasujen ruiskutukseen urea-vesiliuoksella ennen pelkistuskatalysaattoria. Urea-vesiliuoksen eli pelkistysaineen kaupp nimi on AdBlue. Pelkistysaine AdBluen ureapitoisuus on 32,5 prosenttia ja tästä johtuen sen jäätympiste on noin  $-11$  °C. Järjestelmä vaatii toimia talvella lämmityksen. Lämmitys voi olla hoidettu ohjaamalla moottorin jäähdytysnestekierto kulkemaan ureasäiliön kautta tai sähköisellä vastuksella. [101.]

Urean hajotessa syntyy ammoniakkia, joka reagoi typen oksidien kanssa muodostaen alkuainetyyppiä ja vettä. Pelkistysaineen kulutus henkilöautokäytössä on noin 0,7–1,0 l / 100 km. Koska autoilta vaaditut päästömääräykset täytyy täyttää myös käytössä, vaikuttaa pelkistysaineen loppuminen auton toimintaan. Joissain automalleissa moottorinohjausjärjestelmä alentaa moottorin tehoa kun pelkistysaine on loppumassa. Pelkistysaineen loputtua kokonaan moottori ei yleensä käynnisty ennen aineen täyttöä. [101.] Ennen pelkistysaineen loppumista kuljettajan onkin hyvä selvittää säiliön täyttömahdollisuudet ja aineen loppumisen vaikutukset auton toimintaan.

### 15.3.2 Pakokaasujen takaisinkierrätys

Nykyisten Euro 6 -päästönormien täyttämiseen dieselmoottorilta vaaditaan yleensä myös pakokaasujen takaisinkierrätys EGR (*Exhaust Gas Recirculation*). Pakokaasujen takaisinkierrätyksellä pyritään typenoksidipäästöjen alentamiseen aivan kuten SCR-järjestelmälläkin. Typen oksideja muodostuu eniten korkeassa lämpötilassa, ilmakehän hapen ja typen yhdistyessä. Eli mitä korkeampi palolämpötila on, sitä suuremmat ovat typenoksidipäästöt. Pakokaasujen takaisinkierrätyksen tarkoituksena on alentaa pakokaasujen lämpötilaa, johtamalla pakokaasut takaisin palotilaan moottorin imuilmana. [31.]

### 15.3.3 Hiukkassuodattimet

Hiukkassuodattimet puhdistavat nimensä mukaisesti pakokaasujen pienhiukkasia. Dieselmoottorit tuottavat typenoksidipäästöjen lisäksi pienhiukkasia bensiinimoottoreita enemmän. Euro 5- ja Euro 6 -päästönormeissa on rajoitettu pienhiukkasten massan lisäksi hiukkasten lukumäärää. Dieselautojen hiukkassuodattimien lyhenne on DPF (*Diesel Particulate Filter*). Dieselhiukkassuodattimet keräävät pienhiukkaset hiukkassoukkuun, josta ne poltetaan pois termisen regeneroinnin avulla. Hiukkassuodattimeen kertyneet hiukkaset poltetaan pois regenerointivaiheessa, syöttämällä moottoriin polt-

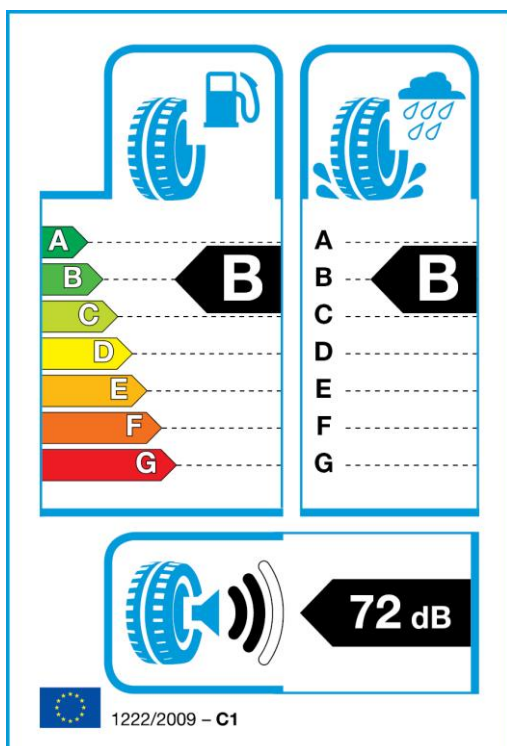
toaineylimäärää, joka nostaa hiukkassuodattimen lämpötilaa. Mikäli hiukkassuodattimella varustetulla autolla ajetaan vain lyhyitä kaupunkimatkoja, voi olla että hiukkassuodattimen puhdistusvaihe eli regenerointi ei pääse koskaan toimintaan. Hiukkassuodattimen tukkeuduttua täytyy suodatin yleensä puhdistaa huollossa. Dieselautoilla joissa on hiukkassuodatin, olisikin hyvä ajaa pidempiä matkoja aina aika ajoittain, jotta vältetään suodattimen tukkeutuminen. Joidenkin hiukkassuodatintyyppien toimintaan vaaditaan lisäaine. Lisäaineen on tarkoitus alentaa suodattimen regeneroinnissa tarvittavaa lämpötilaa. [31.]

#### 15.4 Renkaat

Renkaille on asetettu tällä vuosikymmenellä tiukkenevia vaatimuksia erityisesti niiden rullaavuuden suhteen. Koska renkaan vierintävastus vaikuttaa suoraan auton polttoaineenkulutukseen ja sitä kautta päästöihin, ovat renkaiden valmistajat tuoneet markkinoille erilaisia ekorenkaita, joiden vierintävastuksen kerrotaan olevan alhaisempi kuin tavanomaisella renkaalla. Näitä matalan vierintävastuksen renkaita on ensiasennettu autonvalmistajien ekomalleihin, joissa polttoaineenkulutus ja hiilidioksidipäästöt on pyritty saamaan mahdollisimman alhaisiksi.

Eurooppalainen EY-asetus 1222/2009, joka määrittelee vaatimukset renkaiden merkinnöistä, on tullut voimaan marraskuun 2012 alusta alkaen. Rengasmerkinnällä täytyy ilmoittaa renkaan polttoainetaloudellisuus eli vierintävastus, märkäpito ja ohiajomelu. Polttoainetaloudellisuus ja märkäpito ilmoitetaan luokilla A–G, kuten energiamerkinnöissäkin. Rengasmerkintä on pakollinen kesärenkaissa ja nastattomissa talvirenkaissa. On huomattava, että rengasmerkintä ja sen luokat eivät kerro pohjosmisiin olosuhteisiin tarkoitettujen talvirenkaiden todellisesta talvipidosta, vaan märkäpidosta lämpimällä säällä. [103.] Vierintävastuksesta on kerrottu tarkemmin luvussa 5.2.2.

Kuvassa 34 on EU:n vaatimukset täyttävä rengasmerkintä, jollainen uusien renkaiden myyjän on esitettävä. Kesärenkaita valittaessa on suositeltavaa valita sellainen rengas, jossa molemmat sekä vierintävastus, että märkäpito ovat mahdollisimman korkeaa luokkaa. Ero parhaimman A-luokan ja huonoimman G-luokan välillä polttoaineenkulutuksessa on noin 7 prosenttia. Tällä hetkellä on rengasmarkkinoilla olemassa kesärenkaita, joiden polttoainetaloudellisuus ja märkäpito ovat molemmat hyvää luokkaa A tai B. [103.]



Kuva 34. Rengasmerkintä [103].

Polttoaineenkulutukseen vaikuttavat renkaiden ominaisuuksien lisäksi käytetyt rengaspaineet. Mikäli rengaspaineet ovat alhaiset, voi polttoaineenkulutus nousta jopa 20 prosenttia, verrattuna suositelluilla rengaspaineilla ajamiseen. Suositellut rengaspaineet ovatkin monesti valittu mukavuutta painottaen. Yleensä rengaspaineita voidaan nostaa 10–20 prosenttia suositelluista paineista, kuitenkin ajo-ominaisuuksien tuntuvasti heikentymättä. Paineiden nosto tulee tehdä sekä etu- että taka-akselille yhtäaikaista. Vajaapaineista rengasta voi olla vaikea huomata ulkoisesti. Siksi rengaspaineet olisikin syytä tarkistaa vähintään kuukauden välein. [12, s. 90–92.] Monilla suomalaisilla autoilijoilla on yleinen käytäntö tarkistaa rengaspaineet kaksi kertaa vuodessa, aina talvi- ja kesärenkaiden vaihdon yhteydessä. Se on kuitenkin liian harvoin jo lämpötilan vaihteluistakin johtuen. Erityisesti talvirengaskautena lämpötilanvaihtelut voivat olla suuria.

EU:n vaatimassa rengasmerkinnässä oleva meluindikaattori kuvaa renkaan ohiajomenetason tasoa, verrattuna tyyppihyväksyntäsäädöksiin [104]. On huomattava että auton sisämelun tasoon on renkaan lisäksi vaikutusta auton äänierityksellä. Myös tienpinnan tyyppi vaikuttaa suuresti rengasmelun tasoon, niin auton ohiajommelua, kuin sisämeluaikin tarkastellessa.

Rengasmerkinnässä olevassa meluindikaattorissa on kolme tasoa, kuten kuvasta 34 näkyy. EU:n tyyppihyväksyntäsäädökset täyttävällä renkaalla on indikaattorissa kaksi mustaa aaltoa. Kolme mustaa aaltoa tarkoittaa renkaan melutason ylittävän tyyppihyväksynnän tason. Yksi musta aalto puolestaan tarkoittaa renkaan olevan melutasoltaan 3 desibeliä alhaisempi, kuin tyyppihyväksyntä edellyttää. [104.]

Uusien EU:n alueella myytävien autojen ensiasennusrenkaissa täytyy olla rengaspainevahti 1.10.2014 alkaen. Rengaspainevahti vähentää renkaiden kulumista, rengasrikkoja ja vajaapaineisilla renkailla ajamista sekä parantaa taloudellisuutta. Rengaspainevahteja on sekä aktiivisia että passiivisia. Aktiiviset rengaspainevahdit mittaavat jokaisen renkaan todellisia rengaspaineita renkaissa olevien paineantureiden avulla. Passiiviset rengaspainevahdit toimivat renkaiden pyörintänopeusantureiden avulla. Järjestelmä vertaa renkaiden pyörintänopeuseroja toisiinsa ja alkuperäisiin asetuksiin. Vajaapaineisen renkaan vierintäkehä pienenee rengaspaineen laskiessa, jolloin myös renkaan pyörintänopeus muuttuu. Passiivinen järjestelmä on aktiivista järjestelmää helpompi toteuttaa, koska renkaiden pyörintänopeusanturit ovat olleet autoissa jo pitkään valmiina. Pyörintänopeusanturit on tarvittu muun muassa lukkiutumattoman jarrujärjestelmän ja ajonvakautusjärjestelmän toimintaa varten jo ennen rengaspainevahtien pakollisuutta. Aktiivisen rengaspainevahdin lisäkustannukset ovat noin 100–700 euroa. [105.]

## 15.5 Vaihteistot

Henkilöautojen vaihteistoissa on enemmän vaihtoehtoja kuin aikaisemmin. Euroopassa pitkään suosituimman manuaalivaihteiston varteen otettavaksi vaihtoehdoksi ovat tulleet erilaiset automaattivaihteistot. USA:ssa automaattivaihteistot ovat olleet suosituin vaihteistotyyppi henkilöautoissa jo pitkään. Manuaalivaihteiston etuja ovat aikaisemmin olleet niiden parempi hyötysuhde, koska niiden pyörittämiseen ei ole mennyt niin paljon energiaa, kuin käytettäessä perinteisiä automaattivaihteistoja. [106.]

Automaattivaihteisen auton ajaminen on myös liikenneturvallisempaa erityisesti taajamaliikenteessä, koska kuljettajan ei tarvitse keskittyä vaihteiden vaihtamiseen. Tämä edellyttää tietysti, että manuaalivaihteisen auton vaihteiden vaihtamisesta vapautunut huomio käytetään liikenteen seuraamiseen eikä muihin oheistoimintoihin. Tähän lukuun on koottu tietoa tällä hetkellä yleisimmin käytössä olevista vaihteistoista.

## Manuaalivaihteisto

Manuaalivaihteiston etuja ovat sen kestävyys, vähäinen huollon tarve, sekä hyvä hyötysuhde. Suomalaiset autoilijat ovat tottuneet käyttämään manuaalivaihteisia autoja, koska jo autokouluissa ja ajokokeissa yleisimmin käytetyt autot ovat manuaalivaihteisia. Manuaalivaihteistojen vaihemäärät ovat lisääntyneet vuosien saatossa. Vielä 1980-luvulla yleistä oli, että autoissa on neljä vaihdetta eteenpäin ajamiseen, kun nykyisin uusissa autoissa on viisi tai kuusi vaihdetta eteenpäin. Vaihteiden lukumäärän lisääntyminen johtuu paremman polttoainetalouden tavoittelusta. Yleensä suurin vaihde onkin niin kutsuttu ylivaihde, jonka välityssuhde on alle yksi. Mikäli manuaalivaihteiston vaihteiden lukumäärää lisättäisiin vielä nykyisestä, olisivat ne monimutkaisemman rakenteen lisäksi työläämpiä käyttää kuin nykyiset enintään kuusivaihteiset vaihteistot. Kuorma-autoissa on jo pitkään ollut yleisesti yli kymmenen ajovaihdetta, jotta moottorin taloudellinen käyntinopeusalue voitaisiin hyödyntää mahdollisimman hyvin. [106.]

Koska autoilijat ovat tottuneet manuaalivaihteisiin autoihin, myytäneen niitä vielä pitkään autojen yhtenä vaihteistovaihtoehtona. Taloudellista ajamista tavoitellessa on manuaalivaihteisto automaattivaihteistoa käyttäjäriippuvaisempi. Kuljettajan taidoista ja tahdosta riippuu miten taloudellisesti manuaalivaihteisella autolla ajetaan. Automaattivaihteisella autolla onkin useampien kuljettajien helpompi saavuttaa matalampia kulukslukemia kuin manuaalivaihteisella autolla ajettaessa.

Manuaalivaihteistojen yhteyteen ovat tulleet vaihto-opastimet, jotka ohjaavat kuljettajaa taloudellisempaan ajamiseen. Vaihto-opastin on tullut pakolliseksi kaikkiin uusiin autoihin 1.11.2014. Myös autojen polttoaineenkulutusta ja päästöjä mittaavassa NEDC-kulutussyklin ajamisessa noudatetaan vaihto-opastimen antamia vaihteiden vaihto-ohjeita. [11, s. 19.] Vaihto-opastimien antamia vaihto-ohjeita ei kaikissa ajotilanteissa kannata noudattaa. Esimerkiksi kun edessä on ylämäki ja auton kuorma on sen verran suuri, että vaihdetta joutuisi mäessä vaihtamaan, on turvallisempaa ajaa pienemmällä vaihteella mäen päälle, kuin vaihtaa vaihdetta kesken ylämäen.

## Robottivaihteisto

Robottivaihteisto eli automatisoitu manuaalivaihteisto, on varsinkin pienemmissä henkilöautoissa yleinen vaihteistotyyppi. Ohjainlaite, joka on robottivaihteiston aivot, käyttää kytkintä ja vaihtaa vaihteet kuljettajan puolesta. Henkilöautoissa robottivaihteistot ovat yleensä synkronoituja, mutta raskaassa kalustossa ne voivat olla synkronoimattomia-



kin. Robottivaihteiston etuna verrattuna perinteiseen momentinmuuntimella olevaan automaattivaihteistoon on sen parempi polttoainetalous. Robottivaihteiston miinuspuolia verrattuna perinteisen automaattivaihteistoon on sen hitaus ja kulmikkaus käytössä, koska vaihteet eivät vaihdu yhtä pehmeästi. [106.]

#### Suorakytkentävaihteisto

Jotkin autonvalmistajat ovat siirtyneet automaattivaihteistoissaan lähes kokonaan suorakytkentävaihteistojen käyttämiseen. Suorakytkentävaihteistoissa on kaksi kytkintä, joista toinen on ajotilanteessa käytössä oleva ja toisessa on odottamassa seuraava vaihde. Suorakytkentävaihteiston käytön etuina on tasainen veto kiihdytystilanteissa sekä parempi polttoainetalous verrattuna perinteiseen automaattivaihteistoon, koska voimaa ei hukata momentinmuuntimen käyttämiseen. [106.]

#### Perinteinen automaattivaihteisto

Puhuttaessa perinteisestä automaattivaihteistosta tarkoitetaan yleensä momentinmuuntimella varustettua vaihteistoa. Perinteisissä automaattivaihteistoissa välitys tapahtuu nesteen avulla, jolloin myös vaihtotapahtumat ovat pehmeämpiä kuin mekaanisesti välitetyissä robottivaihteistoissa. Nykyisin on yleistä ajettaessa automaattivaihteiston suurimmalla vaihteella, että momentinmuunnin on lukittu, jolloin saavutetaan parempi polttoainetalous erityisesti maantieajossa. [106.]

Automaattivaihteistojen vaihdemäärät ovat lisääntyneet aivan kuten manuaalivaihteisissäkin autoissa. Kun vielä 1980-luvun automaattivaihteisissa autoissa oli kolmesta viiteen ajovaihdetta, on nykyisissä automaattivaihteistoissa yleisesti kuudesta yhdeksään ajovaihdetta. Vaihteiden lukumäärän lisäämisellä tavoitellaan moottorin taloudellimman käyntinopeusalueen käyttämistä. [106.]

Monissa automaattivaihteisissa autoissa on erilaisia ajomoodeja, joista voidaan valita sopivin. On esimerkiksi eco-, sport- ja winter-ajomoodit, normaalin drive-ajomoodin lisäksi. Nykyaikaiset automaattivaihteistot pystyvät vaihteiston ohjauksen avulla sopeutumaan erilaisten kuljettajien ajotyyleihin sekä kompensoimaan vaihteiston kulumisesta aiheutuvia muutoksia vaihteiston käyttäytymisessä. [106.]

## Portaaton automaattivaihteisto

Portaattomat eli CVT-vaihteistot (*Continuously Variable Transmission*) ovat suorakyt-kentävaihteistojen lisäksi vakiinnuttaneet asemaansa henkilöautojen vaihteistovaihtoehdona. Portaattoman vaihteiston etuina ovat sen lukuisat välitysvaihtoehdot sekä tasaisen kiihtyvyyden mahdollistaminen. Portaattomissa vaihteistoissa voiman välitys tapahtuu yleensä metallihihnan avulla. Vaihteiston toimintaperiaatetta hyödynnetään yleisesti muun muassa moottorikelkoissa. Vaihteisto mahdollistaa auton kiihdyttämisen moottorin samalla käyntinopeusalueella. Mikäli tiedetään moottorin taloudellisimman käyntinopeusalueen eli pienimmän ominaiskulutuksen olevan esimerkiksi 1500 kierrosta minuutissa, voidaan auton kiihdyttäminen tehdä käyttämällä vain kyseistä käyntinopeutta. [106.]

### 15.6 Moottorien esilämmityslaitteet

Polttomoottorin esilämmittäminen talvella kylmissä olosuhteissa alentaa päästöjä ja polttoaineenkulutusta sekä vähentää moottorin mekaanista kulumista. Henkilöautoissa käytettäviä moottorinlämmittimiä on kahta eri päätyyppiä. Yleisin lämmitintyyppi Suomen olosuhteissa on sähkökäyttöinen, niin kutsuttu lohkolämmitin. Toinen moottorinlämmittintyyppi on polttoainekäyttöinen lämmitin. Lohkolämmitin on Suomen henkilöautokannassa yleisempi lämmitintyyppi, mutta tiukkenevat päästömääräykset ovat osaltaan vaikuttaneet polttomoottoreiden lämmöntuottoon siten, että talvella tarvitaan polttoainekäyttöinen lämmitin tai auton omalla sähkövirralla toimiva lämmitysvastus.

Vanhemmissa autoissa on moottorissa pakkastulppa, jonka tilalle voitiin asentaa lämmitinvastus suoraan auton jäähdytysnestettä lämmittämään. Myös jäähdytysnesteletkuun asennettavat niin kutsutut letkulämmittimet ovat yleisiä vanhemmassa autokalustossa. Uudemmissa autoista pakkastulpat puuttuvat, jonka vuoksi on siirrytty käyttämään säteilylämmittimiä, jotka lämmittävät moottorin sylinteriryhmää tai öljypohjaa. Säteilylämmittimen lämmitysteho on heikompi kuin suoraan jäähdytysnestettä lämmittävät vastukset, koska säteilylämmittimen lämmitystehosta säteilee lämmitystehoa enemmän hukkaan. [12, s.112.] Sähköisten moottorinlämmittimien teho on noin 300–600 wattia [107].

VTT:n vuonna 2013 tekemässä tutkimuksessa [107] on selvitetty polttomoottoreiden esilämmittämisen vaikutuksia polttoaineenkulutukseen ja pakokaasupäästöihin kylmis-

sä olosuhteissa. Tutkimuksessa olivat mukana niin bensiini- ja dieselkäyttöisten autojen lisäksi hybridauto sekä korkeaseosetanolia polttoaineenaan käyttävä FFV-auto (*Flexible-fuel vehicle*).

Tutkimuksen tulokset osoittavat, että polttomoottorin lämmittäminen ei ole taloudellisesti kannattavaa, kun verrataan esilämmityksen ansiosta säästettyä polttoainetta esilämmitykseen kuluneeseen sähköön tai polttoaineeseen. Merkittävämpi vaikutus esilämmityksellä on moottorin kylmäkäynnistyksen jälkeisiin pakokaasupäästöihin. Pakokaasupäästöt alenivat erityisesti kylmäkäynnistystä seuraavien ensimmäisten neljän kilometrin aikana. [107.]

Tutkimuksen tulosten perusteella suositellaan esilämmittimien käyttöä alle 0 °C lämpötiloissa. Vähimmäislämmitysaika sähköisillä lämmittimillä on noin puoli tuntia ja polttoainekäyttöisillä lämmittimillä noin 10–15 minuuttia. Lämpötilan ollessa –10 °C tai alhaisempi, suositellaan esilämmityksajaksi sähköisillä lämmittimillä 2–3 tuntia ja polttoainekäyttöisillä lämmittimillä 20–30 minuuttia. Huomattavaa polttoainekäyttöisten lämmittimien käytössä on, että auton moottoria tulisi käyttää kylmäkäynnistyksen jälkeen yhtä kauan, kuin lämmitintä on käytetty. Näin turvataan akkuvirran riittävyys seuraavaan käynnistykseen. Polttoainekäyttöistä lämmitintä tulisi käyttää myös kesäaikaan vähintään kerran kuukaudessa, jotta turvataan sen toimivuus ilman ylimääräisiä huoltoja. [107.] Taulukossa 10 on esitetty moottorin tarvittavat esilämmitysaajat lämmitintyyppien mukaan.

Taulukko 10. Suositeltavat esilämmitysaajat talviolloissa [100].

| Ulkoilman lämpötila | Suositeltava lämmitysaika lämmitintyypeittäin |                    |
|---------------------|---|--------------------|
|                     | Sähköiset esilämmittimet                      | Polttoainelämmitin |
| 0...–5 °C           | ½–1 tuntia                                    | 10–15 minuuttia    |
| –5...–10 °C         | 1–2 tuntia                                    | 15–20 minuuttia    |
| alle –10 °C         | 2–3 tuntia                                    | 20–30 minuuttia    |

VTT:n tekemän tutkimuksen [107] mukaan hybridauton esilämmittäminen vähentää eniten polttoaineenkulutusta. Tämä johtuu siitä, että polttomoottorin ollessa lämmin, sitä tarvitsee käyttää vähemmän auton sisätilojen lämmittämiseen. Kylmän moottorin normaalilämpöiseksi saattamisessa hukataan eniten energiaa. Normaalilämpöisestä moottorista saatava hukkalämpö on ikään kuin ilmaista lämmitysenergiaa, koska sitä syntyy joka tapauksessa. Otettaessa kylmästä moottorista energiaa auton sisätilojen lämmittämiseen, on polttoaineenkulutus pidemmän ajan korkealla, kuin lähdeettäessä

liikkeelle esilämmitetyllä moottorilla. Hybridiautolla voidaan ajaa pidempiä matkoja sähköllä polttomoottorin ollessa lämmin, jolloin saadaan polttoaineenkulutusta pienemmäksi. [107.]

Auton sisätilojen lämmittäminen vaatii paljon energiaa ja siksi varsinkin lyhyitä matkoja ajettaessa olisi taloudellisempaa ajaa pienemmällä lämmityslaitteen säädöillä. Mikäli lämmityslaitteen lämpötilan säätöä pidetään korkealla, menee polttomoottorin normaaliämpöiseksi saattamiseen pidempi aika, jolloin polttoaineenkulutuskin on korkeampi. Kun moottori on lämmennyt normaaliin käyntilämpötilaansa, voidaan lämmityslaitteen lämpötilan säätöä nostaa haluttuun tasoon. [12, s.120–122.]

Tiukentuneiden päästönormien johdosta polttomoottoreiden polttoaineenkulutus on täytynyt kuristaa mahdollisimman pieneksi. Tästä on toki monia hyviä puolia, mutta kylmissä olosuhteissa tiukat päästönormit kääntyvät hieman itseään vastaan. Koska nykyaikaisesta polttomoottorista syntyy varsin vähän hukkalämpöä, on erityisesti dieselkäyttöisiin autoihin jouduttu lisäämään vakiovarusteeksi polttoainekäyttöinen lisälämmitin, joka käyttää samaa polttoainetta kuin auton polttomoottori. Luonnollisesti lisälämmittimen aiheuttamat päästöt nostavat auton kokonaispäästötasoa. Lisälämmittimen käyttäminen täytyisi ottaa huomioon tarkasteltaessa auton polttoaineenkulutusta ja päästöjä. Monissa autoissa, joissa polttoainekäyttöinen lisälämmitin on vakiovarusteena, kytkeytyy lämmitin automaattisesti päälle moottorin ja auton sisälämpötilan sitä vaatiessa. Lisälämmittimen kuluttama polttoaine ei välttämättä näykään auton ajotietokoneen keräämissä polttoaineenkulutustiedoissa. Luotettavin keino seurata auton polttoaineenkulutusta onkin pitää tankkauspäiväkirjaa, jolloin saadaan tietoa auton todellisesta polttoaineenkulutuksesta.

Joissain polttomoottoriautoissa on auton lämpenemistä nopeuttamaan lisätty sähkövastus. Sähkövastus voi olla lämmittämässä joko jäähdytysnestettä tai lämmityslaitteen puhallusilmaa. Sähkövastuksen teho on yleensä noin 1000 wattia. Lämmitysvastuksen käyttäminen lisää turvallisuutta erityisesti talvella, koska auton laseista saadaan nopeammin parempi näkyvyys ulos. Myös mukavuus on erillisen lämmitysvastuksen tuomia etuja. Vastuksen ottaessa energiansa auton latausjärjestelmän kautta, lisää se polttomoottorin kuormaa, koska latausgeneraattori tarvitsee pyöriäkseen enemmän voimaa ja sitä kautta polttoainetta. Lohkolämmittimen kanssa yhdessä toimiva erillinen sisätilanlämmitin on talvikäytössä turvallisuutta lisäävä varuste. Erillisen sisätilanlämmittimen käyttämisen etuina on parempi näkyvyys heti autolla ajetuista ensimetreistä lähtien sekä mukavuus lähdettäessä liikkeelle valmiiksi lämpimällä autolla.

## 15.7 Ajotietokoneet

Ajotietokoneet erilaisine toimintoineen ovat henkilöautoissa yleisiä varusteita. Taloudelliseen ajamiseen ajotietokoneiden antamaa informaatiota kannattaa hyödyntää aktiivisesti. On hyvin motivoivaa kun keskkulutuksen laskemisen huomaa suoraan ajotietokoneen keräämistä tiedoista. Yleensä ajotietokoneiden kautta saadaan tietoa ainakin polttoaineen hetkellisestä kulutuksesta, keskkulutuksesta, sekä keskinopeudesta. Yleistä on myös että ajotietokone kerää tietoa keskkulutuksesta viimeisen tankkauksen jälkeen sekä laskee jäljellä olevan ajomatkan auton tankissa olevalla polttoainemäärällä.

Kulutustietoja tarkastellessa on hyvä muistaa, että auton matkamittarivirhe vaikuttaa kulutustietojen paikkaansa pitävyYTEEN. Mikäli ajetaan todellisia ajokilometrejä 95 matkamittarin mitatessa matkan pituudeksi 100 kilometriä, heittää kulutusmittauskin 5 prosenttia todellisesta polttoaineenkulutuksesta. Myös rengaskoon muuttaminen vaikuttaa mittarivirheeseen ja sitä kautta kulutustietojen paikkaansa pitävyYTEEN. Lisäksi kulutusmittareissa voi olla virhemarginaalia, vaikka matkamittari olisikin tarkka.

Autojen varusteena yleistyvistä navigaattoreista on hyötyä erityisesti sähkö- ja hybridi-autojen toimintamatkaa laskettaessa. On olemassa järjestelmiä, joissa kuljettajan asettaessa navigaattoriin hänen määränpänsä, laskee auton ajotietokone onko jäljellä olevalla energiamäärällä mahdollista ajaa kohteeseen, vai tarvitaanko välilataus. Esimerkiksi Mercedes-Benz S 500 Hybrid -mallissa auton energianhallintajärjestelmä optimoi jäljellä olevan energiankäytön, niin että polttoaineenkulutus ajettavalla matkalla olisi mahdollisimman alhainen. [108.]

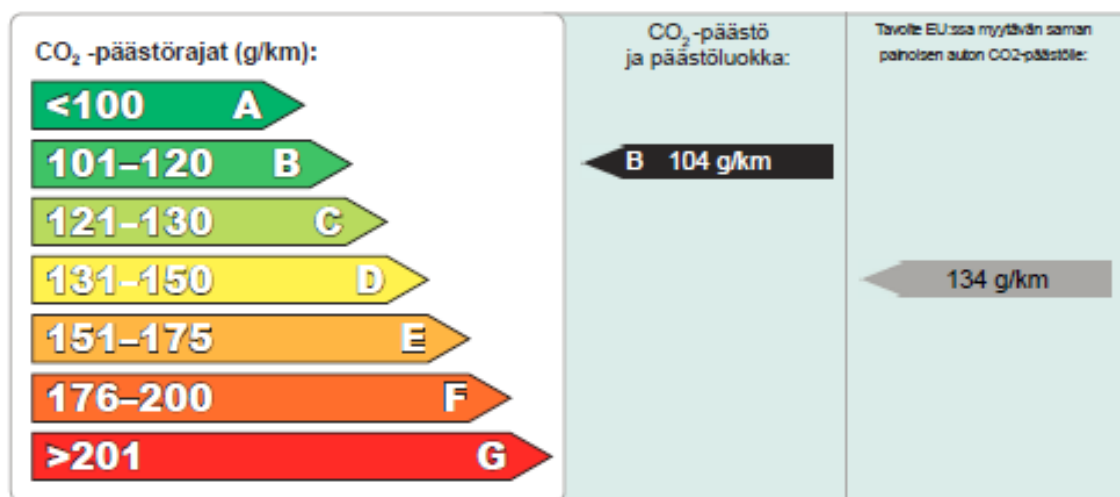
## 16 Henkilöautojen energiamerkintä

Henkilöautojen energiamerkintä on käyttöön otettu Suomessa 1.3.2010 alkaen. Energiamerkinällä ilmoitetaan auton päästöluokka, sekä polttoaineenkulutus. Energiamerkintä ei ole pakollinen Suomessa, mutta sillä voidaan korvata asetuksen 938/2000 vaatima ilmoitusvelvollisuus auton hiilidioksidipäästöistä ja polttoaineenkulutuksesta. [109.] Kuluttajavirasto on laatinut oman ohjeistuksensa autojen päästö- ja kulutustietojen ilmoittamisesta koskien. Energiamerkintä kattaa myös Kuluttajaviraston tiedotteessaan antamat ohjeistukset autojen päästö- ja kulutustietojen ilmoittamisesta kuluttajille.

[110.] Energiamerkinnän voi hakea sekä uusille että käytetyille autoille liikenteenturvallisuusvirasto Trafín ylläpitämästä autovertaamosta [111.].

Energiamerkinnästä selviää auton päästöluokka, joita on yhteensä seitsemän. Luokat perustuvat auton ilmoitettuihin hiilidioksidipäästöihin, jotka on mitattu NEDC-kulutusyökin mukaisesti. Päästöluokat alkavat A:sta ja päättyvät G:hen. Kuvasta 35 nähdään päästöluokat ja niille asetetut hiilidioksidipäästörajat. Energiamerkinnästä saadaan selville myös auton polttoainekustannukset keskimääräisellä 18 000 kilometrin vuosisuoritteella, vuotuinen ajoneuvovero, autoveroprosentti, käyttövoima, polttoainenkulutus, muut päästöt sekä melu. Palvelusta [111] löytyy tiedot sellaisista autoista, jotka on käyttöön otettu vuonna 2001 tai sen jälkeen ja joiden päästötiedot on rekisteröity tietokantaan. Liitteenä 2 on esimerkki täydellisestä energiamerkinnästä.

Energiamerkintä on havainnollinen ja se antaa kuluttajille paremmat mahdollisuudet verrata autoja keskenään niiden ympäristöystävällisyyden ja taloudellisuuden näkökulmasta. Energiamerkinnän luokat sekä luokkien väritys on samanlainen kuin kodinkoneissa käytetyssä luokituksessa. Vähäpäästöisimmät luokat A–C ovat merkitty vihreällä värillä ja suuremmat päästöt omaavat luokat D–G ovat merkitty keltaisesta punaiseen. Päästöluokitus ei sisällä tietoa auton massasta. Tämän vuoksi energiamerkintään on sisällytetty tieto EU:n tavoitteesta omamassaltaan yhtä painavan auton CO<sub>2</sub>-päästölle, kuten kuvasta 35 nähdään.



Kuva 35. Henkilöautojen energiamerkintä [112].

## 17 Yhteenveto

Työn tavoitteena oli tuottaa opintomateriaalia liikenneopettajan erikoisammattitutkinnon osaan 3.9 ympäristöystävällisen ja taloudellisen liikkumisen asiantuntijana toimiminen. Tutkinnon osa 3.9 on uusi, joten työssä suunniteltiin ja tuotettiin koulutusmateriaali, joka palvelee mahdollisimman hyvin liikenneopettajan erikoisammattitutkintoon tähtääviä tutkinnon suorittajia. Idea työn tekemisestä syntyi aidosta tarpeesta saada ajantasaista tietoa ympäristöystävällisemmän ja taloudellisemmän liikkumisen asioista.

Tutkinnon osan 3.9 osaamisvaatimukset ovat melko laajat, mistä johtuen ei ollut tarkoituskaan koota kaikkea tutkinnon perusteissa vaadittua tietoa, vaan antaa perusta tutkinnon osan suorittamiseen. Liikenneopettajaksi aikovan ja tutkinnon osan 3.9 suorittajien lähtötaso vaihtelee jonkin verran. Tällä työllä on osaltaan haluttu antaa pohjaa erityisesti niille, joille käsitellyt aiheet eivät ole kovin tuttuja.

Työssä on aluksi käsitelty ammatillista koulutusjärjestelmää Suomessa, jatkuen liikenneopettajan koulutuksen esittelyyn. Näiden kahden aiheen käsittely heti alussa antoi hyvän käsityksen ammatillisen koulutuksen kokonaisuudesta sekä liikenneopettajan koulutuksen sijoittumisesta suomalaiseen tutkintojärjestelmään.

Ammatillisen ja liikenneopettajan koulutuksen käsittelyn jälkeen siirryttiin liikenneopettajan erikoisammattitutkinnon osan 3.9 käsittelyyn. Käsitellessä tutkinnon osan vaatimuksia, jotka opetushallitus on antanut, huomataan niiden olevan melko vaativat ja laajat. Tutkinnon osan 3.9 vaativuudesta ja laajuudesta johtuen, sen suorittaminen antaa oletettavasti hyvät valmiudet toimia tämän päivän monipuolisen ajoneuvotekniikan parissa, sisältäen eri käyttövoimavaihtoehdot, ympäristöystävällisyyteen ja taloudellisuuteen tähtäävän ajoneuvotekniikan sekä liikkumisen suunnittelun. Huomattavaa on, että tutkinnon osa 3.9 on valinnainen kaikkiaan kahdeksasta valinnaisesta tutkinnon osasta. Tutkinnon suorittaja, joka valitsee kyseisen tutkinnon osan tehtäväksi, saa siitä asiallisen ja hyvän perustan toimia ympäristöystävällisen ja taloudellisen liikkumisen asiantuntijana.

Polttoaineenkulutustarvittausten hallinta ja esittely kuuluvat tutkinnon osan 3.9 perusteisiin, joten työssä käsiteltiin kahta kulutussykliä, joista toinen on voimassa oleva NEDC-kulutussykli ja toinen tulevaisuuden kulutussykli WLTP. Näiden kahden kulutussyklin vertailu antoi kokonaiskuvaa siitä mihin asioihin polttoaineenkulutuksen sekä päästöjen mittaamisessa tulisi kiinnittää huomiota.

Ajovastukset kuuluvat oleellisena osana ympäristöystävälliseen ja taloudelliseen autoiluun, koska jos ajovastukset ovat kovin suuret, on taloudellinen ja sitä kautta ympäristöystävällinen liikkuminen mahdotonta. Ajovastusten käsittelyn yhteydessä on kerrottu itse tehdystä kokeellisesta ajovastusten määrittämisestä. Kokeellinen ajovastusten määrittäminen oli osa insinöörikoulutukseen sisältynyttä ajodynamiikan kurssia. Työssä esitelty ajovastusten määrittäminen rullauskokeella on varsin mielenkiintoinen ja suositeltava lähestymistapa ajoneuvotestauksen aloittamiseen.

Työssä on käsitelty laajasti henkilöautoilun verotusta, koska verotus on oleellinen osa taloudellisuutta. Nykyinen hiilidioksidipäästöperustainen verotus ohjaa taloudellisemman autokannan hankkimiseen sekä vähemmän kuluttavaan autoiluun. Verotuksen käsittelyn jälkeen tehdään katsaus Suomen henkilöautokantaan ja sen uusiutumiseen. Selvitystä tehdessä huomattiin Suomen henkilöautokannan olevan verrattain vanhaa ja hitaasti uusiutuvaa. Verotuksen keinoin autokannan uusiutumista kyllä yritetään vauhdittaa, mutta se että riittääkö nyt vuonna 2015 kaavailut verotusuudistukset vauhdittamaan autokannan uusiutumista jää nähtäväksi.

Henkilöautojen suosituimpina käyttövoimina ovat pitkään olleet bensiini ja dieselöljy. Lyhyellä aikavälillä tuskin kovin radikaalia muutosta tapahtuu suosituimpien käyttövoimien järjestyksessä, mutta pidemmällä aikavälillä on autojen käyttövoimana alettava käyttämään enemmän uusiutuvia polttoaineita. Bensiinin ja dieselöljyn lisäksi työssä on käsitelty mahdollisia tulevaisuuden läpimurtoa odottavia autojen käyttövoimia.

Puhuttaessa ympäristöystävällisestä autoilusta, kuuluu keskusteluun oleellisena osana päästöt sekä niiden vaikutukset luontoon ja ihmisiin. Globaalisti huolestuttavimmat päästöt ovat kasvihuonepäästöt. Kasvihuonepäästöistä merkittävin on hiilidioksidi. Onkin hyvä, että hiilidioksidipäästöjä pyritään rajoittamaan erilaisilla laeilla ja asetuksilla. EU:n asettamia rajoituksia liikenteen päästöille on käsitelty työn yhtenä osana, joka antoi hyvän kuvan siitä kuinka konkreettisiin toimiin autonvalmistajien ohjauksessa on lähdetty.

Ympäristöystävällisempään ja taloudellisempaan autoiluun tähtäävän ajoneuvotekniikan osiossa on käsitelty aiheita, jotka ovat tällä hetkellä merkityksellisimpiä. Ajoneuvotekniikan käsittelyssä on hyödynnetty auto- ja kuljetustekniikan insinöörikoulutukseen sisältyviä laajoja autotekniikan opintoja. Autotekniikka kehittyy jatkuvasti ja kiihtyvällä vauhdilla. Pysyäkseen ajoneuvotekniikan kehityksessä mukana, on suositeltavaa seurata autoalan julkaisuja säännöllisesti.



Työn yhteyteen liitteeksi tuotettua diamateriaalia voidaan käyttää tutkinnon suorittajan itseopiskelumateriaalina, aivan kuten työn kirjallista osaakin voidaan käyttää. Diamateriaalia on myös mahdollista käyttää lähiopetuksessa sellaisenaan, tai aihetta opettavan lehtorin muokkaamana. Myös diamateriaalia olisi hyvä tarkastella vähintään vuosittain ja päivittää sitä aina tarpeen tullen

Tämän työn tekeminen on ollut hyvin auto- ja kuljetustekniikan insinööriopintoja syventävää ja tukevaa tekemistä. On ollut ilo huomata, miten avuliaasti eri tahot auttavat omalla asiantuntemuksellaan ja vastaavat nopeasti esitettyihin, insinööriopintojen sisältöä koskeviin kysymyksiin. Insinööriopintojen tekeminen on monivaiheinen prosessi, jonka jokainen vaihe on tarpeellinen. Riittävä ja asiantunteva ohjaus on työn tekemisen kannalta välttämätöntä. Toivon, että työstä on hyötyä mahdollisimman monelle liikenneopettajaksi aikovalle ja myös muille aiheista kiinnostuneille.

## Lähteet

- 1 Tietoa Hämeen ammatti-instituutista. 2015. Verkkodokumentti. Hämeen ammatti-instituutti. <<http://www.hami.fi/tietoa/Sivut/default.aspx>>. Luettu 19.7.2015.
- 2 Suomen koulutusjärjestelmä. 2015. Verkkodokumentti. Opetushallitus. <[http://www.oph.fi/koulutus\\_ja\\_tutkinnot](http://www.oph.fi/koulutus_ja_tutkinnot)>. Luettu 16.2.2015.
- 3 Ammatillinen perustutkinto vai ammattitutkinto. 2014 Verkkodokumentti. Mikkelin ammattikorkeakoulu. <[http://www.mamk.fi/instancedata/prime\\_product\\_julkaisu/mamk/embeds/mamk\\_wwwstructure/22992\\_Ammatillinen\\_perustutkinto\\_vai\\_ammattitutkinto.pdf](http://www.mamk.fi/instancedata/prime_product_julkaisu/mamk/embeds/mamk_wwwstructure/22992_Ammatillinen_perustutkinto_vai_ammattitutkinto.pdf)>. Luettu 9.3.2015.
- 4 Näyttötutkinto-opas: näyttötutkinnon järjestäjien ja tutkintotoimikuntien käyttöön. 2012. Verkkodokumentti. Opetushallitus. <[http://www.oph.fi/download/143969\\_Nayttotutkinto-opas\\_2012.pdf](http://www.oph.fi/download/143969_Nayttotutkinto-opas_2012.pdf)>. Luettu 9.3.2015.
- 5 Laki ajokorttilain muuttamisesta 70/2015.
- 6 Susimetsä, Marko ja Ruuhela-Kaitera, Erja (toim.). 2014. Ohjaus ja arviointi liikenneopettajan erikoisammattitutkinnoissa: opas valmistavan koulutuksen työpaikkaohjaajille ja tutkintotilaisuuksien arvioijille. Verkkodokumentti. Hämeen ammattikorkeakoulu. <<http://urn.fi/URN:ISBN:978-951-784-673-8>>. Luettu 3.3.2015.
- 7 Näyttötutkinnon perusteet, liikenneopettajan erikoisammattitutkinto. 2014. Verkkodokumentti. Opetushallitus. <[http://www.oph.fi/download/156396\\_Liikenneopettajan\\_erikoisammattitutkinto\\_8\\_011\\_2014.pdf](http://www.oph.fi/download/156396_Liikenneopettajan_erikoisammattitutkinto_8_011_2014.pdf)>. Luettu 3.3.2015.
- 8 Torvinen, Pekka. 2015. Helsinki ei kaippaa vuonna 2030 autopaikkoja – syynä älyautot. Verkkodokumentti. Helsingin Sanomat. <<http://www.hs.fi/kaupunki/a1436415174140>>. Luettu 10.7.2015.
- 9 Ebner, Hans-Thomas. 2015. NEDC and WLTP. Verkkodokumentti. Verband der Automobileindustrie. <<https://www.vda.de/en/topics/environment-and-climate/nedc-and-wltp/nedc-and-wltp.html>>. Luettu 20.3.2015.
- 10 Autoteknillinen taskukirja. 2003. 6. painos. Helsinki: Autoalan Koulutuskeskus Oy.
- 11 Ahonen, Hannu & Honkanen, Veli-Matti & Koisaari, Tapio. 2012. Testi autojen CO<sup>2</sup>- päästöistä. Tekniikan maailma 15/2012, s. 14–25.

- 12 Ikonen, Markku. 2013. Aja taloudellisesti. Verkkodokumentti. Turun ammattikorkeakoulu. <<http://julkaisut.turkuamk.fi/isbn9789522163936.pdf>>. Luettu 20.3.2015.
- 13 NEDC-kulutussykli. 2013. Verkkodokumentti. Motiva Oy. <[http://www.motiva.fi/liikenne/henkiloautoilu/valitse\\_auto\\_viisaasti/henkiloautojen\\_energiamerkinta/eu-kulutussykkit](http://www.motiva.fi/liikenne/henkiloautoilu/valitse_auto_viisaasti/henkiloautojen_energiamerkinta/eu-kulutussykkit)>. Päivitetty 6.8.2013. Luettu 20.3.2015.
- 14 Komission direktiivi 93/116/EY.
- 15 Riikonen, Pauli. 2014. Kulutus- ja päästömittaus uudistuu. Suomen Autolehti 10/2014, s. 66–68.
- 16 Ottomoottorin energiajakauma. 2005. Verkkodokumentti. BioAge Group. <[http://www.greencarcongress.com/2005/02/doe\\_cofunds\\_12\\_.html](http://www.greencarcongress.com/2005/02/doe_cofunds_12_.html)>. Luettu 12.4.2015.
- 17 Ajoneuvoveron rakenne ja määrä. 2015. Verkkodokumentti. Trafi. <[http://www.trafi.fi/tieliikenne/verotus/ajoneuvovero/veron\\_rakenne\\_ja\\_maara#kayttovoimavero](http://www.trafi.fi/tieliikenne/verotus/ajoneuvovero/veron_rakenne_ja_maara#kayttovoimavero)>. Luettu 30.3.2015.
- 18 Autoilun verotus. 2015. Verkkodokumentti. Autoalan tiedotuskeskus. <[http://www.autoalantiedotuskeskus.fi/tieliikenne/autoilun\\_verotus](http://www.autoalantiedotuskeskus.fi/tieliikenne/autoilun_verotus)>. Luettu 10.4.2015.
- 19 Öljytuotteiden hinnat ja verojen osuus. 2015. Verkkodokumentti. Öljy ja biopolttoaineala ry. <<http://www.oil.fi/fi/tilastot-1-hinnat-ja-verot/16-oljytuotteiden-hinnat-ja-verojen-osuus>>. Luettu 18.5.2015.
- 20 CO<sub>2</sub>-perusteinen autovero. 2014. Verkkodokumentti. Suomen tulli. <[http://www.tulli.fi/fi/suomen\\_tulli/julkaisut\\_ja\\_esitteet/asiakasohjeet/autoverotus/autotiedostot/025.pdf](http://www.tulli.fi/fi/suomen_tulli/julkaisut_ja_esitteet/asiakasohjeet/autoverotus/autotiedostot/025.pdf)>. Luettu 7.6.2015.
- 21 Talouspoliittinen ministeriövaliokunta päätti autoveron alennuksista. 2015. Verkkodokumentti. Valtioneuvoston kanslia. <[http://vnk.fi/artikkeli/-/asset\\_publisher/talouspoliittinen-ministerivaliokunta-paatti-autoveron-alennuksista](http://vnk.fi/artikkeli/-/asset_publisher/talouspoliittinen-ministerivaliokunta-paatti-autoveron-alennuksista)>. Luettu 24.6.2015.
- 22 Henkilöauton hinnanmuodostus. 2013. Verkkodokumentti. Autoalan tiedotuskeskus. <[http://www.autoalantiedotuskeskus.fi/tilastot/verotus\\_ja\\_hintakehitys/henkiloauton\\_hinnanmuodostus](http://www.autoalantiedotuskeskus.fi/tilastot/verotus_ja_hintakehitys/henkiloauton_hinnanmuodostus)>. Luettu 22.7.2015.
- 23 Henkilöautojen ensirekisteröinnit käyttövoiman mukaan kuukausittain. 2015. Verkkodokumentti. Autoalan tiedotuskeskus. <[http://www.autoalantiedotuskeskus.fi/tilastot/ensirekisteroinnit/vuosittain/2014/henkiloautojen\\_ensirekisteroinnit\\_kayttovoiman\\_mukaan\\_kuukausittain](http://www.autoalantiedotuskeskus.fi/tilastot/ensirekisteroinnit/vuosittain/2014/henkiloautojen_ensirekisteroinnit_kayttovoiman_mukaan_kuukausittain)>. Luettu 22.5.2015.

- 24 Liikennekäytössä olevat ajoneuvot käyttövoimittain 31.12.2014. 2014. Verkkodokumentti. Trafi.  
<[http://www.trafi.fi/filebank/a/1424697964/877b04c44539e16724893dbb0ae77930/16929-Liikennekayttoiset\\_ajoneuvot\\_kayttovoimittain\\_31122014.pdf](http://www.trafi.fi/filebank/a/1424697964/877b04c44539e16724893dbb0ae77930/16929-Liikennekayttoiset_ajoneuvot_kayttovoimittain_31122014.pdf)>. Luettu 24.5.2015.
- 25 Linja-aho, Vesa. 2015. Sähköinen Pohjola – Sähköautoilun tulevaisuus. Tuulilasi 6/2015, s. 58–62.
- 26 Henkilöautojen ensirekisteröinnit vuonna 2014. 2015. Verkkodokumentti. Ajoneuvotilastopalvelu. Trafi.  
<[http://trafi2.stat.fi/PXWeb/pxweb/fi/TraFi/TraFi\\_\\_Ensirekisteroinnit/010\\_ensirek\\_tau\\_101.px/?rxid=10e727eb-deb4-462c-ab2f-7efa0977bb0a](http://trafi2.stat.fi/PXWeb/pxweb/fi/TraFi/TraFi__Ensirekisteroinnit/010_ensirek_tau_101.px/?rxid=10e727eb-deb4-462c-ab2f-7efa0977bb0a)>. Luettu 26.5.2015.
- 27 Ympäristövastuullinen autoala. 2015. Verkkodokumentti. Autoalan tiedotuskeskus. <<http://www.esitteemme.fi/aut/WebView/>>. Luettu 17.6.2015.
- 28 Henkilöautojen ensirekisteröinnit hiilidioksidipäästöjen mukaan vuosittain. 2015. Verkkodokumentti. Autoalan tiedotuskeskus.  
<[http://www.autoalantiedotuskeskus.fi/tilastot/ensirekisteroinnit/aikasarjat/ensirekisteroityjen\\_henkiloautojen\\_co2\\_paastot\\_g\\_km\\_vuosittain\\_2006\\_-\\_2014](http://www.autoalantiedotuskeskus.fi/tilastot/ensirekisteroinnit/aikasarjat/ensirekisteroityjen_henkiloautojen_co2_paastot_g_km_vuosittain_2006_-_2014)>. Luettu 11.7.2015.
- 29 Autojen ensirekisteröinnit ajoneuvolajeittain 1960–2014. 2015. Verkkodokumentti. Autoalan tiedotuskeskus.  
<[http://www.autoalantiedotuskeskus.fi/tilastot/ensirekisteroinnit/aikasarjat/autojen\\_ensirekisteroinnit\\_ajoneuvolajeittain\\_1960\\_-\\_2014](http://www.autoalantiedotuskeskus.fi/tilastot/ensirekisteroinnit/aikasarjat/autojen_ensirekisteroinnit_ajoneuvolajeittain_1960_-_2014)>. Luettu 17.6.2014.
- 30 Romutuspalkkiokampanja. 2015. Verkkodokumentti. Romustuskampanja.fi.  
<<http://romutuskampanja.fi/>>. Luettu 17.6.2015.
- 31 Parviainen, Heikki. 2014. Koulutusmateriaalia kurssilta moottoritekniikan järjestelmät. Metropolia Ammattikorkeakoulu. Helsinki.
- 32 Perhoniemi, Kimmo. 2015. Koulutusmateriaalia kurssilta moottorinohjausjärjestelmät. Metropolia Ammattikorkeakoulu. Helsinki.
- 33 Kaksi- ja nelitahtinen moottori. 2013. Verkkodokumentti. Making different.  
<<http://www.makingdifferent.com/2-stroke-engine-and-4-stroke-engine>>. Luettu 6.5.2015.
- 34 Ahonen, Hannu. 2010. Kohta tankissa–95E10-bensiini. Tekniikan maailma 22/2010 s. 46–48.
- 35 Laurikko, Juhani. 2011. Tutkimus: polttoaineenkulutus kauppalaatuisilla bensineillä. Verkkodokumentti. Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy.  
<[http://www.vtt.fi/files/news/2011/E-10/VTT-R-04065-11\\_E10vsE5\\_final\\_wsign.pdf](http://www.vtt.fi/files/news/2011/E-10/VTT-R-04065-11_E10vsE5_final_wsign.pdf)>. Luettu 15.5.2015.

- 36 Oktaaniluku kertoo puristuskestävyyden. 2001. Verkkodokumentti. Tieteen kuva-lehti. <<http://tieku.fi/teknologia/oktaaniluku-kertoo-puristuskestavyden>>. Luettu 15.5.2015.
- 37 Bensiinin kesä- ja talvilaatujen ero. 2015. Verkkodokumentti. Öljy- ja polttoainealari. <[http://www.oil.fi/fi/ajankohtaista/ukk?field\\_kategoria\\_tid=11](http://www.oil.fi/fi/ajankohtaista/ukk?field_kategoria_tid=11)>. Luettu 14.5.2015.
- 38 Engman, Ari. 2014. Koulutusmateriaalia kurssilta poltto- ja voiteluaineet. Neste Oyj / Metropolia Ammattikorkeakoulu. Helsinki.
- 39 Lampinen, Ari. 2009. Uusiutuvan liikenne-energian tiekartta. Verkkodokumentti. Pohjois-Karjalan ammattikorkeakoulu. <[http://www.pkamk.fi/julkaisut/sahkoinenjulkaisu/B17\\_verkkojulkaisu.pdf](http://www.pkamk.fi/julkaisut/sahkoinenjulkaisu/B17_verkkojulkaisu.pdf)>. Luettu 21.5.2015.
- 40 Dieselmoottori. 2015. Verkkodokumentti. Motiva Oy. <[http://www.motiva.fi/liikenne/henkiloautoilu/valitse\\_auto\\_viisaasti/ajoneuvotekniikka/moottoritekniikka/dieselmoottori](http://www.motiva.fi/liikenne/henkiloautoilu/valitse_auto_viisaasti/ajoneuvotekniikka/moottoritekniikka/dieselmoottori)>. Luettu 18.5.2015.
- 41 Dieselautojen osuus henkilöautokannasta ja ensirekisteröinneistä 1990–2014. 2015. Verkkodokumentti. Autoalan tiedotuskeskus. <[http://www.autoalantiedotuskeskus.fi/tilastot/suomen\\_autokanta/autokannan\\_kehitys/dieselautojen\\_osuus\\_henkiloautojen\\_ensirekisteroinneista\\_ja\\_henkiloautokannasta](http://www.autoalantiedotuskeskus.fi/tilastot/suomen_autokanta/autokannan_kehitys/dieselautojen_osuus_henkiloautojen_ensirekisteroinneista_ja_henkiloautokannasta)>. Luettu 22.5.2015.
- 42 Neste-dieselit. 2015. Verkkodokumentti. Neste Oyj. <<https://www.neste.fi/artikkeli.aspx?path=2589%2C2655%2C2710%2C2821%2C2944%2C3361>>. Luettu 18.5.2015.
- 43 UPM Bioverno – Kotimainen ja uusiutuva diesel. 2015. Verkkojulkaisu. UPM biopolttoaineet. <<http://www.upmbiopolttoaineet.fi/upm-bioverno/Pages/Default.aspx>>. Luettu 18.5.2015.
- 44 RE85 – Tehokkaampi bioetanoli suomalaisesta jätteestä. 2015. Verkkodokumentti. St1 Oy. <<http://www.st1.fi/tuotteet/re85>>. Luettu 30.7.2015.
- 45 Sutinen, Jussi. 2013. E85-biopolttoaineen käyttö henkilöautossa. Verkkodokumentti. Metropolia Ammattikorkeakoulu. <<http://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-2013052811429>>. Luettu 24.7.2015.
- 46 TSI Multifuel. 2015. Verkkodokumentti. VV-Auto. <<http://www.volkswagen.fi/VV-Auto/vw5.nsf/HTML/050.040.030.030?OpenDocument>>. Luettu 30.7.2015.
- 47 Ford Flexifuel. 2015. Verkkodokumentti. Ford Motor Company. <<http://www.ford.fi/Innovaatiot/Fordflexifuel>>. Luettu 30.7.2015.

- 48 Etanoliautoja lisää muutoskatsastusta helpottamalla. 2014. Verkkodokumentti. Liikenne- ja viestintäministeriö. <<http://www.lvm.fi/tiedote/4426177/risikko-etanoliautoja-lisaa-muutoskatsastusta-helpottamalla>>. Luettu 1.6.2015.
- 49 Tontti, Minna. 2015. Kaasuautoilun esitysmateriaali. Gasum Oy. Espoo.
- 50 Ailio, Anna. 2015. Viestintäpäällikkö, Gasum Oy, Espoo. Esite kaasun liikennekäytöstä sähköpostin liitetiedostona 11.6.2015.
- 51 Biokaasuajoneuvoihin liittyvä kysymyksiä. 2011. Verkkodokumentti. Tietokeskus Liikennebiokaasu.fi. <[http://www.liikennebiokaasu.fi/index.php?option=com\\_content&view=category&layout=blog&id=2&Itemid=3#A](http://www.liikennebiokaasu.fi/index.php?option=com_content&view=category&layout=blog&id=2&Itemid=3#A)>. Luettu 27.5.2015.
- 52 Kaasuauton polttoainejärjestelmä. 2015. Verkkodokumentti. Skoda Auto. <<http://www.skoda-auto.com/SiteCollectionImages/models/new-octavia/octavia/octavia-g-tec/new-overview/octavia-gtec-cng-02.jpg>>. Luettu 27.5.2015.
- 53 Kaasuauton tankkausliitin. 2015. Verkkodokumentti. Gasum Oy. <<http://gallery.gasum.fi/material/520d89ab5273a00f4434488257ecaac4>>. Luettu 27.5.2015.
- 54 Penttinen, Sari. 2013. Kaasuautoilua ei juuri tunneta. Verkkodokumentti. Maaseudun Tulevaisuus. <<http://www.maaseuduntulevaisuus.fi/maaseutu/kaasuautoilua-ei-juuri-tunneta-1.32927>>. Luettu 30.7.2015.
- 55 Sähköauto. 2015. Verkkodokumentti. Wikipedia. <<http://fi.wikipedia.org/wiki/sahkoauto>>. Luettu 8.6.2015.
- 56 Nissan Leafin sähköjärjestelmä. 2014. Verkkodokumentti. Ecomento. <<http://ecomento.com/wp-content/uploads/2014/06/nissan-leaf-battery-replacement.jpg>>. Luettu 9.6.2015.
- 57 Linja-aho, Vesa. 2015. Sähköauton sielunelämää. Tuulilasi 6/2015, s. 64–65.
- 58 Sähkö- ja bensa-autojen päästöt. 2015. Verkkodokumentti. YLE. <[http://yle.fi/uutiset/onko\\_sahkoauto\\_paastoton/8034654](http://yle.fi/uutiset/onko_sahkoauto_paastoton/8034654)>. Luettu 13.6.2015.
- 59 Sähköauton ympäristöystävällisyys. 2012. Verkkodokumentti. CO2-raportti. <[http://www.co2-raportti.fi/?page=ilmastouutisia&news\\_id=3551](http://www.co2-raportti.fi/?page=ilmastouutisia&news_id=3551)>. Luettu 13.6.2015.

- 60 Valtioneuvoston tulevaisuusselonteko ilmasto- ja energiapolitiikasta. 2009. Verkkodokumentti. Valtioneuvoston kanslia. <[http://vnk.fi/documents/10616/622958/J2809\\_Valtioneuvoston+tulevaisuusselonteko+ilmasto-+ja+energiapolitiikasta.pdf/c21e8c2d-eba2-4df5-a854-7eb0edb2b30c](http://vnk.fi/documents/10616/622958/J2809_Valtioneuvoston+tulevaisuusselonteko+ilmasto-+ja+energiapolitiikasta.pdf/c21e8c2d-eba2-4df5-a854-7eb0edb2b30c)>. Luettu 8.6.2015.
- 61 G7-maiden tavoitteena luopua fossiilisista polttoaineista. 2015. Verkkodokumentti. Ilta Sanomat. <<http://www.iltasanomat.fi/autot/art-1433986031599.html>>. Luettu 13.6.2015.
- 62 Suomen julkiset sähköautojen latauspisteet. 2015. Verkkodokumentti. Sähköinenliikenne.fi. <<http://www.sahkoinenliikenne.fi/suomen-julkiset-latauspisteet>>. Luettu 10.6.2015.
- 63 Ladattavan ajoneuvon ostajan opas. 2015. Verkkodokumentti. Sähköinenliikenne.fi. <<http://www.sahkoinenliikenne.fi/oppaat/ladattavan-ajoneuvon-ostajan-opas>>. Luettu 13.6.2015.
- 64 Tesla sähköauto. 2015. Verkkodokumentti. Auto-Outlet. <<http://www.auto-outlet.fi/tesla/>>. Luettu 30.7.2015.
- 65 Electric and Plug-in Hybrid Vehicle Roadmap. 2010. Verkkodokumentti. IEA. <[https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/EV\\_PHEV\\_brochure.pdf](https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/EV_PHEV_brochure.pdf)>. Luettu 13.6.2015.
- 66 ERA-autoprojekti. 2014. Verkkodokumentti. Metropolia Ammattikorkeakoulu. <<http://www.metropolia.fi/tutkimus-ja-kehitys/hankkeet/teollinen-tuotanto/era-auto/>>. Luettu 16.6.2015.
- 67 Ruotsalainen, Sami. 2012. Ajoneuvojen ja työkoneiden sähköisen voimansiirron kehittämisen loppuraportti. Verkkodokumentti. Metropolia Ammattikorkeakoulu. <[http://www.transec.fi/files/611/Ajoneuvojen\\_ja\\_tyokoneiden\\_sahkoisen\\_voiman\\_siirron\\_kehittaminen\\_Loppuraportti.pdf](http://www.transec.fi/files/611/Ajoneuvojen_ja_tyokoneiden_sahkoisen_voiman_siirron_kehittaminen_Loppuraportti.pdf)>. Luettu 16.6.2015.
- 68 Petrell, Santeri. 2014. Maailman nopein sähköauto. Verkkodokumentti. Moottori-lehti. <<http://www.moottori.fi/ajoneuvot/jutut/maailman-nopein-sahkoauto/>>. Luettu 16.6.2015.
- 69 ERA-sähköauto. 2011. Verkkodokumentti. Metropolia Ammattikorkeakoulu. <<https://www.flickr.com/photos/electricraceabout/5715616030/in/album-72157627397010001/>>. Luettu 14.6.2015.
- 70 Sippola, Jussi. 2015. Verkkodokumentti. Helsingin Sanomat. Pasi Pennanen rakensi automaailman kohutuimman uutuuden – näin se tapahtui. <<http://www.hs.fi/autot/a1429846808770>>. Luettu 13.6.2015.
- 71 Toroidion 1MW. 2015. Verkkodokumentti. Toroidion Ltd. <[http://www.toroidion.com/launch/gallery/Toroidion\\_1MW\\_Concept\\_6.jpg](http://www.toroidion.com/launch/gallery/Toroidion_1MW_Concept_6.jpg)>. Luettu 13.6.2015.

- 72 Taskinen, Kimmo. 2013. Tulevaisuuden auto liikkuu paineilmalla. Verkkodokumentti. Helsingin Sanomat. <<http://www.hs.fi/autot/a1362731858662>>. Luettu 6.7.2015.
- 73 Toyota Prius PHEV. 2012. Verkkodokumentti. Toyota Auto Finland Oy. <[http://t1-cms-2.images.toyota-europe.com/toyotaone/fifi/toyota-prius-plugin-2012-exterior-tme-001-full\\_tcm-3018-44038.jpg](http://t1-cms-2.images.toyota-europe.com/toyotaone/fifi/toyota-prius-plugin-2012-exterior-tme-001-full_tcm-3018-44038.jpg)>. Luettu 3.7.2015.
- 74 Toyota Mirai. 2015. Verkkodokumentti. Toyota Auto Finland Oy. <[http://mb.cision.com/Public/11234/9723259/b53fb54792ceed06\\_org.png](http://mb.cision.com/Public/11234/9723259/b53fb54792ceed06_org.png)>. Luettu 3.7.2015.
- 75 Ajossa Toyotan polttokennoauto. 2015. Verkkodokumentti. MTV Internet. <<http://www.mtv.fi/lifestyle/autot/artikkeli/ajossa-toyotan-polttokennoauto-onko-aika-vihdoin-kypsa-uu-delle-teknikalle/5136150>>. Luettu 30.7.2015.
- 76 Uusi Toyota Mirai. 2015. Verkkodokumentti. Toyota Auto Finland Oy. <<http://www.toyota.fi/toyota/ymparisto-teknologia/mirai/index.json>>. Luettu 30.7.2015.
- 77 Powering the future. 2015. Verkkodokumentti. Toyota Motor Corporation. <[http://www.toyota-global.com/innovation/environmental\\_technology/fuelcell\\_vehicle/](http://www.toyota-global.com/innovation/environmental_technology/fuelcell_vehicle/)>. Luettu 30.7.2015.
- 78 Vetytiekartta. 2013. Verkkodokumentti. Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy. <[http://www.vtt.fi/Documents/2013\\_VTT-R-02257-13.pdf](http://www.vtt.fi/Documents/2013_VTT-R-02257-13.pdf)>. Luettu 13.6.2015.
- 79 Nikula, Paula. 2014. Vetyautoille tankkausketju Suomeen. Verkkodokumentti. Kauppalehti. <<http://www.kauppalehti.fi/uutiset/vetyautoille-tankkausketju-suomeen/6wVvpwGG>>. Luettu 14.6.2015.
- 80 Munukka, Petri. 2015. Käyttövoimavertailu 3 vuotta/45 000 km. Moottori 2/2015, s. 62–67.
- 81 Liikenteen päästösuudet liikennemuodoittain. 2012. Verkkodokumentti. Teknologian tutkimuskeskus Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy. <<http://lipasto.vtt.fi/lipstot.png>>. Luettu 23.6.2015.
- 82 Liikenteen kasvihuonepäästöt. 2014. Verkkodokumentti. Liikenne- ja viestintäministeriö. <<http://liikennejarjestelma.fi/ymparisto/paastot-ilmaan/liikenteen-kasvihuonekaasupaastot/>>. Luettu 17.6.2015.
- 83 Turvallisuusohje, Hiilidioksidi CO<sub>2</sub>. 2015. Verkkodokumentti. AGA. <[http://www.aga.fi/internet.lg.lg.fin/fi/images/AGA%20Carbon%20Dioxide%20Safety%20Instruction%20FI634\\_120448.pdf](http://www.aga.fi/internet.lg.lg.fin/fi/images/AGA%20Carbon%20Dioxide%20Safety%20Instruction%20FI634_120448.pdf)>. Luettu 23.6.2015.



- 84 Autoala ja ilmastonmuutos. 2015. Verkkodokumentti. Autoalan tiedotuskeskus. <[http://www.autoalantiedotuskeskus.fi/ymparisto/autoala\\_ja\\_ilmastonmuutos](http://www.autoalantiedotuskeskus.fi/ymparisto/autoala_ja_ilmastonmuutos)>. Luettu 17.6.2015.
- 85 Liikenteen muut päästöt ilmaan. 2014. Verkkodokumentti. Liikenne- ja viestintäministeriö. <<http://liikennejarjestelma.fi/ymparisto/paastot-ilmaan/liikenteen-muut-paastot-ilmaan-suomen-talousalueella/>>. Luettu 17.6.2015.
- 86 Elomaa, Teemu. 2015. Häkämyrkytys vaatii nopeaa hoitoa. Verkkodokumentti. Potilaan lääkärilehti. <<http://www.potilaanlaakarilehti.fi/uutiset/hakamyrkytys-vaatii-nopeaa-hoitoa/#.Vb4PifIPiLU>>. Luettu 2.8.2015.
- 87 Laurikko, Juhani. 1993. Päästökomponenttien vaikutukset ihmiselle. Verkkodokumentti. Suomen kulttuurirahasto & Juhani Korpivaaran rahasto. <[http://www.autotieto.net/pakokaasutkurssi/oppimateriaalit/paastojen\\_vaikutus\\_ihmiseen.htm](http://www.autotieto.net/pakokaasutkurssi/oppimateriaalit/paastojen_vaikutus_ihmiseen.htm)>. Luettu 27.6.2015.
- 88 Liikenteen hiukkaspäästöt. 2015. Verkkodokumentti. Helsingin yliopisto. <<http://www.hiukkastieto.fi/node/199>>. Luettu 27.6.2015.
- 89 Hyttinen Elina. 2011 Jätteenpolton typenoksidipäästöjen vähentäminen. Verkkodokumentti. Lappeenrannan teknillinen yliopisto. <<http://urn.fi/URN:NBN:fi-fe201107251921>>. Luettu 10.7.2015.
- 90 Lukin, Taavi. 2010. Alusliikenteen aiheuttamat rikin ja typen oksidipäästöt itämerellä ja niiden vaikutukset ympäristölle sekä ihmisen terveydelle. Verkkodokumentti. Kymenlaakson ammattikorkeakoulu. <<http://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-2010112415440>>. Luettu 10.7.2015.
- 91 Liikennesektorin ympäristökäsikirja. 2004. Verkkodokumentti. Liikenne- ja viestintäministeriö. <[http://www.motiva.fi/files/2097/Liikennesektorin\\_ymparistokasikirja.pdf](http://www.motiva.fi/files/2097/Liikennesektorin_ymparistokasikirja.pdf)>. Luettu 11.7.2015.
- 92 Liikenteen jäljet. 2000. Verkkodokumentti. YTV. <[http://www.motiva.fi/files/2099/Liikenteen\\_jaljet.pdf](http://www.motiva.fi/files/2099/Liikenteen_jaljet.pdf)>. Luettu 11.7.2015.
- 93 Euroopan parlamentin ja neuvoston asetus 443/2009.
- 94 EU:n ilmasto ja energiapaketti. 2008. Verkkodokumentti. Ulkoasiainministeriö. <<http://www.eurooppatiedotus.fi/public/default.aspx?contentid=132603#.Vb4vavPiLV>>. Luettu 2.8.2015.
- 95 Biopolttoaineet liikenteessä. 2015. Verkkodokumentti. Öljy- ja biopolttoaineala ry. <<http://www.oil.fi/fi/ymparisto-biopolttoaineet/biopolttoaineet-liikenteessa>>. Luettu 2.8.2015.

- 96 EU light duty vehicle emissions. 2015. Verkkodokumentti. Transport Policy. <[http://transportpolicy.net/index.php?title=EU:\\_Light-duty:\\_Emissions](http://transportpolicy.net/index.php?title=EU:_Light-duty:_Emissions)>. Luettu 27.6.2015.
- 97 Hybridiautotyypit. 2015. Verkkodokumentti. Motiva Oy. <[http://motiva.fi/liikenne/henkiloautoilu/valitse\\_auto\\_viisaasti/ajoneuvotekniikka/moottoritekniikka/hybridiautot/hybridiautotyypit](http://motiva.fi/liikenne/henkiloautoilu/valitse_auto_viisaasti/ajoneuvotekniikka/moottoritekniikka/hybridiautot/hybridiautotyypit)>. Luettu 3.8.2015.
- 98 Start-Stop-järjestelmät 2012. Verkkodokumentti. Autodistribution International. <[http://www.eurecar.org/sites/default/files/inline-media/euretech-flash/EureTechNews\\_Dec\\_2012\\_FIN.pdf](http://www.eurecar.org/sites/default/files/inline-media/euretech-flash/EureTechNews_Dec_2012_FIN.pdf)>. Luettu 2.7.2015.
- 99 Kajander, Jani. 2013. Koeajo: Citroën C3 Picasso e-HDi. Verkkodokumentti. Tuulilasi. <<http://www.tuulilasi.fi/koeajot/citroen-c3-picasso-e-hdi-92-exclusive-bmp>>. Luettu 3.8.2015.
- 100 eClutch saves fuel and makes driving easier. 2013. Verkkodokumentti. Robert Bosch GmbH. <<http://www.bosch-presse.de/presseforum/details.htm?locale=en&txtID=6362>>. Luettu 6.7.2015.
- 101 Vaihtoehtoiset polttoaineet ja ajoneuvot. 2006. Verkkodokumentti. Motiva Oy. <[http://www.motiva.fi/files/2131/Vaihtoehtoiset\\_polttoaineet\\_ja\\_ajoneuvot.pdf](http://www.motiva.fi/files/2131/Vaihtoehtoiset_polttoaineet_ja_ajoneuvot.pdf)>. Luettu 3.7.2015.
- 102 Laurikko, Juhani. 1993. Katalysaattorin rakenne. Verkkodokumentti. Suomen kulttuurirahasto & Juhani Korpivaaran rahasto. <[http://www.autotieto.net/pakokaasutkurssi/oppimateriaalit/katalysaattorin\\_rakenne.htm](http://www.autotieto.net/pakokaasutkurssi/oppimateriaalit/katalysaattorin_rakenne.htm)>. Luettu 27.6.2015.
- 103 EU-rengasmerkintä. 2013. Verkkodokumentti. Motiva Oy. <[http://motiva.fi/liikenne/henkiloautoilu/valitse\\_auto\\_viisaasti/eu\\_n\\_rengasmerkinta](http://motiva.fi/liikenne/henkiloautoilu/valitse_auto_viisaasti/eu_n_rengasmerkinta)>. Luettu 7.5.2015.
- 104 Ohiajomelu—enemmän hiljaisuutta. 2015. Verkkodokumentti. Nokian renkaat Oyj. <<http://www.nokianrenkaat.fi/innovatiivisuus/rengastietoa/eu-uudet-rengasmerkinnat/rengasmerkinnan-kolme-luokittelukriteeria/ohiajomelu/>>. Luettu 11.7.2015.
- 105 Rengaspainevahti pakolliseksi vain ensimmäiseen rengassarjaan. 2014. Verkkodokumentti. Liikenne- ja viestintäministeriö. <<http://www.lvm.fi/tiedote/4419525/rengaspainevahti-pakolliseksi-vain-ensimmaiseen-rengassarjaan>>. Luettu 12.7.2015.
- 106 Hautala, Pekka. 2013. Koulutusmateriaalia kurssilta tehonsiirto. Metropolia Ammattikorkeakoulu. Helsinki.

- 107 Rautalin, Jan & Nuottimäki, Jukka. 2013. Henkilöauton moottorin esilämmityksen vaikutus päästöihin ja energian kulutukseen. Verkkodokumentti. Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy. <[http://www.transec.fi/files/779/Henkiloauton\\_moottorin\\_esilammityksen\\_vaikutus\\_paastoihin\\_ja\\_energian\\_kulutukseen\\_-\\_VTT-R-06328-13.pdf](http://www.transec.fi/files/779/Henkiloauton_moottorin_esilammityksen_vaikutus_paastoihin_ja_energian_kulutukseen_-_VTT-R-06328-13.pdf)>. Luettu 11.7.2015.
- 108 Esittely: Mercedes-Benz S 500 Plug-In Hybrid. 2015. Verkkodokumentti. Plugit Finland Oy. <<http://plugit.fi/fi-fi/article/sahkoautot/mercedes-benz-s-500-plug-in-hybrid/190/>>. Luettu 3.8.2015.
- 109 Henkilöautojen energiamerkinän käyttö. 2010. Verkkodokumentti. Motiva ym. <[http://www.motiva.fi/files/2947/Henkiloautojen\\_energiamerkinan\\_kaytto\\_1.1.2010.pdf](http://www.motiva.fi/files/2947/Henkiloautojen_energiamerkinan_kaytto_1.1.2010.pdf)>. Luettu 4.5.2015.
- 110 Ympäristöväittämien käyttö autojen markkinoinnissa. 2009. Verkkodokumentti. Kuluttajavirasto. <<http://www.kkv.fi/globalassets/kkv-suomi/ajankohtaista/tiedotteet/kuluttajavirasto/ymparistovaittamatautot.pdf>>. Luettu 4.5.2015.
- 111 Käytetyn auton energiamerkintä. 2015. Verkkopalvelu. Trafi. <[services.netwheels.fi/ekotrafi\\_kaytetty\\_auto/default.aspx](http://services.netwheels.fi/ekotrafi_kaytetty_auto/default.aspx)>. Luettu 4.5.2015.
- 112 CO<sub>2</sub>-päästöluokat. 2015. Verkkodokumentti. Trafi. <<http://autovertaamo.trafi.fi/>>. Luettu 4.5.2015.
- 113 Ympäristöystävällisen ja taloudellisen liikkumisen asiantuntijana toimiminen, tutkinnon osan ammattitaitovaatimukset. 2014. Verkkodokumentti. Opetushallitus. <[http://www.oph.fi/download/151411\\_Lp\\_18\\_421\\_2013\\_Liikenneopettajan\\_eat.pdf](http://www.oph.fi/download/151411_Lp_18_421_2013_Liikenneopettajan_eat.pdf)>. Luettu 10.3.2015.

### 3.9 Ympäristöystävällisen- ja taloudellisen liikkumisen asiantuntijana toimiminen

#### Tutkinnon osan ammattitaitovaatimukset:

Tutkinnon suorittaja osaa

- toimia ympäristöystävällisen kaluston hankinnan ja liikkumisen suunnittelussa.
- toimia taloudellisen ja ekologisen liikkumisen kouluttajana sekä neuvonantajana

#### Arviointi (arvioinnin kohteet ja kriteerit)

| Tutkinnon suorittaja osaa toimia ympäristöystävällisen kaluston hankinnan ja liikkumisen suunnittelussa                          |  |
|--|--|
| Arvioinnin kohteet   | Arvioinnin kriteerit   |
| Ympäristö- ja liikennesuunnitelmat, niiden keskeisten sisältöjen tunteminen ja analysointi                                       | Tutkinnon suorittaja <ul style="list-style-type: none"> <li>• neuvoo asiakasta, miten päästöt rasittavat ympäristöä suunnitelmien pohjalta,</li> <li>• kertoo mitkä aiheuttavat päästöjä</li> <li>• esittelee suunnitelmien globaalit- ja lähitavoitteet ympäristön suojelussa</li> <li>• vertailee ja analysoi em. suunnitelmia</li> <li>• tekee asiakkaalle ympäristösuunnitelman ja laskelman energian kulutuksesta ja päästöjen vähentämisestä</li> </ul>  |
| Ympäristöystävällinen ajoneuvotekniikka  | Tutkinnon suorittaja <ul style="list-style-type: none"> <li>• vertailee sekä lähi- että kaukoliikenteen eri liikkumismuotoja energian kulutukseen perustuen</li> <li>• esittelee EU-direktiiviin mukaan tutkitun kulutustestin suoritustavan</li> <li>• kertoo eri moottorityyppien erot taloudellisuuden näkökulmasta</li> <li>• neuvoo asiakasta mitä vaikutuksia voi saada käyttämällä taloudellisuuteen tähtääviä auton valmistajien teknisiä sovellutuksia</li> <li>• auttaa asiakasta vertailemaan eri polttoainevaihtoehtoja ympäristöystävällisyyden näkökulmasta</li> </ul> |
| Suomessa toimivat ympäristön suoje- luun ja energian kulutuksen vähentämi- seen keskittyneet yhdistykset, järjestöt ja yritykset | Tutkinnon suorittaja <ul style="list-style-type: none"> <li>• selvittää miten voi työssään hyödyntää ko- timaisia ympäristön suoje luun ja energian säästöön tähtääviä yhdistyksiä, järjestöjä ja yrityksiä</li> <li>• vertailee yhdistysten tavoitteita ja toimintatapoja</li> <li>• esittää yhteistyöehdotuksen valitsemansa yhdistyksen kanssa</li> </ul>   |

|  |   |
|--|---|
| Yrityksen ajoneuvojen ja henkilöiden liikkumisen suunnittelu   | <p>Tutkinnon suorittaja</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• kartoittaa yrityksen liikkumistarpeen ja vertaa sitä yrityksen liikkumisen tietoihin</li> <li>• tekee yrityksen liikkumisesta kehitysehdoituksen sisältävän suunnitelman ympäristöystävällisyyden näkökulmasta</li> <li>• tekee yrityksen tarvitsemalle kuljetuskapasiteetille suunnitelman tarvittavista kalustohankinnoista jolla yrityksen toiminnan ympäristöystävällisyys paranee</li> <li>• auttaa yrityksen henkilökuntaa valitsemaan ympäristöystävällisen työmatkamuodon</li> </ul> |
| <b>Tutkinnon suorittaja osaa toimia taloudellisen ja ekologisen liikkumisen kouluttajana sekä neuvonantajana</b> |   |
| <b>Arvioinnin kohteet</b>  | <b>Arvioinnin kriteerit</b>   |
| Autoliikkeen taloudellisuus- asiantuntijana toimiminen   | <p>Tutkinnon suorittaja</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• neuvoo asiakasta mistä eri automerkkien –ja mallien EU-normin mukaisesti mitatut kulutuserot johtuvat</li> <li>• neuvoo asiakasta miten kulutuserot vaikuttavan asiakkaan tarpeen mukaiseen liikkumiseen</li> <li>• kertoo autonvalmistajien taloudellisuuteen kohdistuvista ratkaisuista</li> <li>• auttaa asiakasta valitsemaan käyttötarpeeseensa sopivimman kokonaistaloudellisen auton</li> </ul>   |
| Taloudellisen ajon koulutuksen toteuttaminen   | <p>Tutkinnon suorittaja</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• suunnittelee taloudellisen ajon koulutuksen</li> <li>• toteuttaa taloudellisen ajon koulutuksen asiakkaan lähtökohdista</li> <li>• kerää palautetta pitämästään koulutuksesta ja sen pohjalta analysoi ja arvioi onnistumistaan</li> </ul>   |

### **Ammattitaidon osoittamistavat**

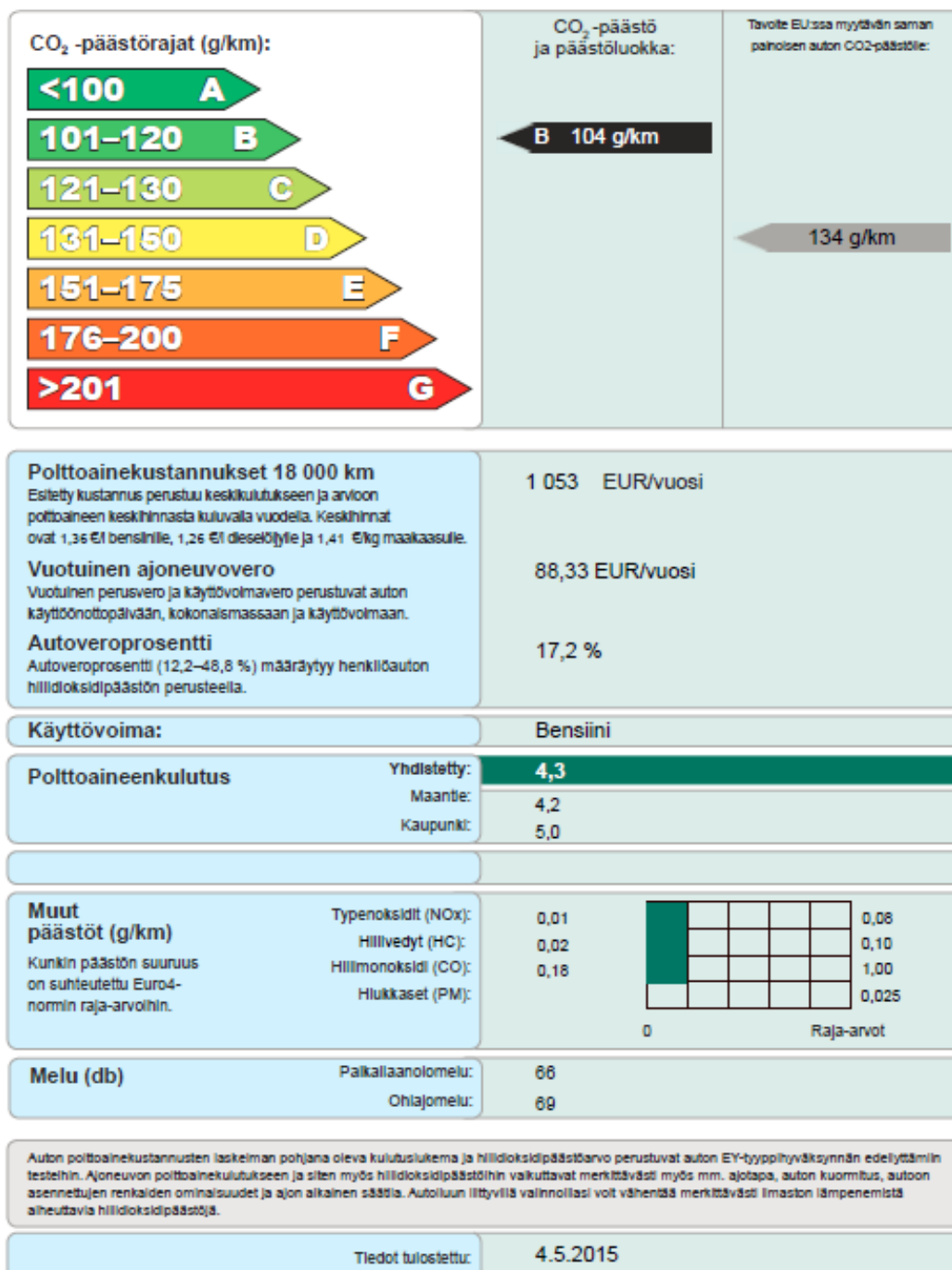
Tutkinnon suorittaja osoittaa ammattitaitonsa käytännön työtehtävissä, joita ovat mm.

- taloudellisen ja ekologisen ajotavan monipuolinen toteutus
- ajo-opetustilanteiden toteutus
- oman toiminnan kehittäminen

Arvioijat seuraavat ja arvioivat tutkinnon suorittajan toimintaa ja antavat toiminnasta kirjallisen arvion.

Tutkinnon suorittaja voi täydentää tutkintosuorituksiaan prosessin aikana tuotetuilla dokumenteilla. Arvioituina ne muodostavat osan arviointiaineistosta.

## Auton päästöluokka ja polttoainetaloudellisuus



Kuva 1 Malli henkilöauton energiamerkinnästä [111].

Koulutusmateriaalin diaesitys (vain työn tilaajan käyttöön)

Yhteystietolista liikenneopettajaopiskelijoille (vain työn tilaajan käyttöön)