

Opinnäytetyö (AMK)

Käyttöpainotteinen auto- ja kuljetustekniikka

NAUTOS13K

2017

Jukka-Pekka Aronen

KEVENNÄ KAASUA AJOISSA!

– Taloudellisen ajamisen perusteet



OPINNÄYTETYÖ (AMK / YAMK) | TIIVISTELMÄ

TURUN AMMATTIKORKEAKOULU

Käyttöpainotteinen auto- ja kuljetustekniikka

Kesäkuu 2017 | Sivumäärä: 30

Ohjaaja: Markku Ikonen

Jukka-Pekka Aronen

KEVENNÄ KAASUA AJOISSA! – TALOUDELLISEN AJAMISEN PERUSTEET

Tämän opinnäytetyön antoi toimeksi Turun ammattikorkeakoulu Oy ja sen tarkoituksena oli tutkia eri koehenkilöiden ajotottumuksia ja ajamisen taloudellisuutta. Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli opettaa koehenkilöitä ajamaan taloudellisemmin kuin ennen ajokoulutusta, sekä saada koehenkilöt ymmärtämään oman ajamisensa epätaloudelliset puolet, jotta he pystyisivät kehittymään taloudellisina kuljettajina. Työssä käytiin myös läpi, kuinka vakionopeudensäädin vaikuttaa polttoaineen kulutukseen.

Koe suoritettiin pienellä henkilöautolla, jossa oli 1,3 litran vapaasti hengittävä bensiinimoottori. Informaatiota testiajoista kerättiin ajoneuvon OBD-pistokkeeseen asennettavalla lukijalla. Työssä käytettiin Drivelooper-OBD-lukijaa, joka antoi erilaisia parametreja, kuten matka, aika, keskinopeus, moottorin pyörintänopeus, kulutus l/100 km, ajotyylit, Looper-pisteet, CO₂-päästöt sekä pysähdysten ja moottorijarrutusten määrä. Drivelooper toimi matkapuhelimen kautta Internetissä ja sieltä ohjelma tallensi ajatut reitit käyttäen GPS-yhteyttä.

Kokeen ensimmäisellä kierroksella yhdeksän koehenkilön keskiarvokulutus oli 5,2 l/100 km. Taloudellisen opastuksen jälkeen toisella kierroksella kulutus oli laskenut arvoon 4,8 l/100 km. Opastuksen ansiosta koehenkilöt pudottivat keskiarvollisesti -8 % polttoaineen kulutusta. Vakionopeudensäädintestissä todettiin, että vakionopeudensäätimen käyttö vähentää polttoaineen kulutusta tietyissä tapauksissa. Koehenkilöllä oli vaikeuksia pitää nopeus tasaisena, joten tämä heikensi saatujen tulosten tarkkuutta.

ASIASANAT:

taloudellinen ajo, polttoaine, päästöt, Drivelooper, ajovastukset

BACHELOR'S / MASTER'S THESIS THESIS | ABSTRACT

TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Automotive and transportation engineering

June 2017 | Total number of pages: 30

Instructor: Markku Ikonen

Jukka-Pekka Aronen

RELEASE THE THROTTLE IN TIME!

- Basics of economic driving

This thesis was commissioned by Turku University of Applied Sciences and its purpose was to study the driving habits of different drivers and the economy of driving. The aim was to teach different drivers to drive more economically than they drove before driving habit training. Another goal was to make the drivers recognize their uneconomical habits so that they can develop their driving skills. The study also researched how the cruise control system affects fuel consumption.

The study was performed using a small car, which has a 1.3 liter naturally aspirated petrol engine. Information about the test drives was collected by a reader which was mounted to the car's OBD-plug. The reader is called the Driveloper. This device measures different parameters like distance, average speed, engine speed, consumption in l/100 km, driving style, Looper points, CO₂ emissions, number of stops and engine brakings. The Driveloper uses mobile phone Internet and GPS connections for saving the driven routes.

The average consumption of the nine drivers during the first round was 5.2 l/100 km. After driving habit training, the consumption decreased to 4.8 l/ 100 km. The training thus resulted in an average of -8 % change in fuel consumption. The cruise control study showed that the system decreases fuel consumption in some cases. The drivers had difficulties to keep the speed constant, so this resulted in some decrease in the precision of the results.

KEYWORDS:

Fuel, Emissions, Driveloper, Economic driving, driving resistance

SISÄLTÖ

| | |
|---|-----------|
| KÄYTETYT LYHENTEET TAI SANASTO | 6 |
| 1 JOHDANTO | 7 |
| 2 POLTTOAINEET JA PAKOKAASUPÄÄSTÖT | 8 |
| 2.1 Polttoaineet | 8 |
| 2.2 Pakokaasupäästöt | 9 |
| 3 POLTTOAINEENKULUTUS | 14 |
| 3.1 Ajoastukset | 14 |
| 3.2 Olosuhteet | 17 |
| 4 KOKEELLISEN OSAN TAVOITTEET JA MENETELMÄT | 19 |
| 5 KOKEELLISEN OSAN TOTEUTTAMINEN | 20 |
| 5.1 OBD-ohjelmiston esittely | 20 |
| 5.2 Ajoreitti | 21 |
| 6 TULOKSET | 24 |
| 6.1 Koehenkilöiden ajamat kulutustulokset | 24 |
| 6.2 Drivelooper-ohjelman antama informaatio | 25 |
| 6.3 Vakionopeudensäätimen vaikutus polttoaineen kulutukseen | 26 |
| 7 POHDINTA | 28 |
| LÄHTEET | 29 |

LIITTEET

Liite 1. Taloudellisen ajon kymmenen käskyä

KAAVAT

| | |
|---|----|
| Kaava 1. Vierintävastus. | 14 |
| Kaava 2. Ilmanvastus. (Autoteknillinen taskukirja Bosch 2003, 603). | 15 |

KUVAT

| | |
|---|----|
| Kuva 1. 1980 Toyota Tercel on saman kokoluokan auto kuin nykyajan Toyota Yaris. | 16 |
| Kuva 2. 2015 Toyota Yaris | 16 |
| Kuva 3. Kylmän moottorin polttoaineen kulutus l/10km. | 18 |
| Kuva 4. Driveloooper OBD-Lähetin. | 20 |
| Kuva 5. Koko ajoreitin pituus yhteen suuntaan. | 21 |
| Kuva 6. Maantieosuus, ajonopeudet 60–80 km/h | 22 |
| Kuva 7. Kaupunkiosuus, ajonopeudet 40–50 km/h | 22 |
| Kuva 8. Vakionopeussäätimen kulutustesti. Ajonopeudet 81–120 km/h | 23 |

KUVIOT

| | |
|--|----|
| Kuvio 1. Hiilimonoksidipäästöt kulkuneuvoittain. | 9 |
| Kuvio 2. Hiilivetypäästöt kulkuneuvoittain. | 10 |
| Kuvio 3. Typpioksidipäästöt kulkuneuvoittain. | 11 |
| Kuvio 4. Rikkidioksidi päästöt kulkuneuvoittain. | 12 |
| Kuvio 5. hiukkaspäästöt Suomessa ajoneuvoluokittain. | 13 |
| Kuvio 6. Eri kuljettajien lasketut keskiarvot eri parametreista. | 26 |
| Kuvio 7. Vakionopeudensäätimen kulutustesti. | 27 |

TAULUKOT

| | |
|--|----|
| Taulukko 1. Vierintävastuskertoimet eri alustoilla. | 15 |
| Taulukko 2. Yhdeksän henkilön polttoainekulutuksen tulokset. | 25 |

KÄYTETYT LYHENTEET TAI SANASTO

| Lyhenne | Lyhenteen selitys |
|-----------|---|
| Bluetooth | Avoin standardi laitteiden langattomaan kommunikointiin lähietäisyydellä. |
| E10 | Etanolipitoinen bensiini joka sisältää maksimissaan 10 % etanolia. |
| E5 | Etanolipitoinen bensiini joka sisältää maksimissaan 5 % etanolia. |
| GPS | Maaailmanlaajuinen paikantamisjärjestelmä (Global Positioning System) |
| HVO | Vetykäsitelty kasviöljy (Hydrtreated Vegetable Oil) |
| IEA | Kansainvälinen energiajärjestö (International Energy Agency) |
| OBD | On board diagnostics |
| PAH | Polyaromaattiset hiilivedyt |

1 JOHDANTO

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli tutkia eri koehenkilöiden ajotottumuksia ja ajamisen taloudellisuutta. Tavoitteena oli opettaa koehenkilöitä ajamaan taloudellisemmin kuin ennen taloudellisen ajon koulutusta, sekä saada koehenkilöt ymmärtämään oman ajamisensa epätaloudelliset puolet, jotta he pystyisivät kehittymään taloudellisina kuljettajina. Opinnäytetyön toimeksi antoi Turun ammattikorkeakoulu Oy. Opinnäytetyöhön osallistui koehenkilöinä eri ikäisiä ja eri sukupuolta edustavia henkilöitä. Opinnäytetyön koehenkilöt pyrittiin valitsemaan mahdollisimman kattavasti eri ikäluokkia edustaen. Opinnäytetyössä käytiin myös läpi, kuinka vakionopeudensäädin vaikuttaa polttoaineen kulutukseen.

Kasvihuoneilmiöön ja globaaliin saastumiseen on alettu kiinnittää enemmän huomiota. On kehitetty taloudellisempia ajoneuvoja ja kuljettajien ajotottumuksiin on pyritty vaikuttamaan luontoa säästäen. International Energy Agency:n vuoden 2014 tiedot sisältävässä raportissa ajoneuvoliikenne tuottaa 23 % maailman hiilidioksidipäästöistä (IEA 2016). Suomessa vastaava luku on vuonna 2013 ollut sama 23 %. Ajoneuvoliikenne aiheuttaa siis noin neljänneksen maailman hiilidioksidipäästöistä. Hiilidioksidipäästöjä ei voida puhdistaa pakokaasuista, vaan ainoa tapa jolla sitä pystytään vähentämään, on käyttää polttoainetta vähemmän. (Ikonen 2013, 10)

Polttoaineen kulutuksen vähentämiseksi on kehitetty taloudellisempia ajotapoja. Taloudellinen ajo riippuu kolmesta tekijästä, jotka ovat ajoneuvo, kuljettaja ja olosuhteet. Taloudellisella ajolla vähennetään moottoriin syötettävää polttoainetta, joka vähentää suoraan verrannollisesti hiilidioksidipäästöjen määrää. (Ikonen 2013, 48)

2 POLTTOAINEET JA PAKOKAASUPÄÄSTÖT

2.1 Polttoaineet

Bensiini on yksi tunnetuimmista öljyjaloiteista. Se on hiilen ja vedyn yhdistelmä. Se muodostuu monenlaisista hiilivety-yhdisteistä, joiden kemiallinen kaava vaihtelee. Bensiini on fossiilinen polttoaine, joka on uusiutumaton. Bensiinin valmistus aloitetaan raakaöljyn jakotislauksesta, josta saadaan erilaisia jakeita, joista yksi on bensiniijae. Tislauksen jälkeen jäljelle jääneet pohjajakeet tyhjiötislataan uudestaan. Tyhjiötislauksen avulla saadaan pohjajakeita pilkottua ja niistä syntyy bensiniitiseleitä. Tislausprosessien jälkeen tiseleet johdetaan reformointi-, krakkaus- ja alkylointiyksikköihin. Tarkoituksena on pilkkoa hiilivetyjä ja muuttaa niiden rakennetta haaroittuvaksi, jotta oktaaniluku kasvaisi, mikä lisää bensiniin puristuskestävyyttä. (Helsingin yliopisto 2002)

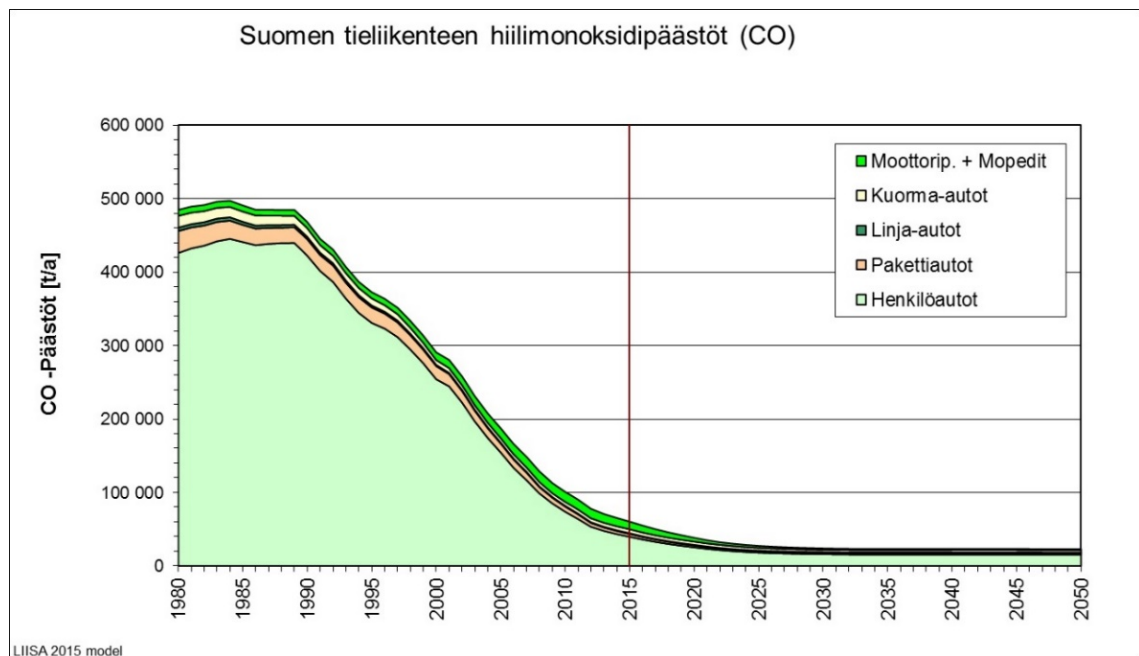
Bensiinin tiheys vaihtelee $720\text{-}775\text{ kg/m}^3$, joten litra bensiniä painaa noin $0,75\text{ kg}$ (Bosch 2003, 280). Bensiini sisältää energiaa litraa kohden 9 kWh , mikä on hieman vähemmän kuin dieselissä. Litraa bensiniä syntyy 2350 g CO_2 -päästöjä. Nykyään ajoneuvojen polttoainebensiniin on sekoitettu etanolia, joka heikentää bensiniin energiasisältöä. E10-bensiniä käytävissä autoissa uusiutuvan energian osuus on noin 7 prosenttia ja E5-bensiniin soveltuvissa ajoneuvoissa uusiutuvan energian osuus on noin 3 prosenttia. (Motiva 2017a.)

Dieselin tiheys vaihtelee $0,815\text{-}0,855\text{ kg/m}^3$, joten litra dieseliä painaa noin $0,85\text{ kg}$ (Bosch 2003, 280). Diesel sisältää energiaa litraa kohden $10,05\text{ kWh}$, joten samankokoinen dieselmoottori vie vähemmän polttoainetta kuin vastaavan kokoinen bensiniinmoottori (Motiva 2010). Dieselmoottoreiden parempi hyötysuhde vaikuttaa vähentävästi kulutukseen. Dieselmoottoreissa hyötysuhde on parhaimmillaan yli 40 % moottorista riippuen, kun taas bensiniinmoottorin paras hyötysuhde jää yleensä selvästi alle 40 %:n. Litraa dieselistä syntyy 2660 g CO_2 -päästöjä. Dieselpolttoainetta on helpompi valmistaa uusiutuvista raaka-aineista kuin bensiniä. Parhaita uusiutuvia dieseleitä voidaan käyttää sellaisenaan eli 100 %:n seoksena. Tällaisista dieselpolttoaineista käytetään nimitystä HVO (Hydrotreated Vegetable Oli) eli vetykäsittely kasviöljy. (Motiva 2017b.)

2.2 Pakokaasupäästöt

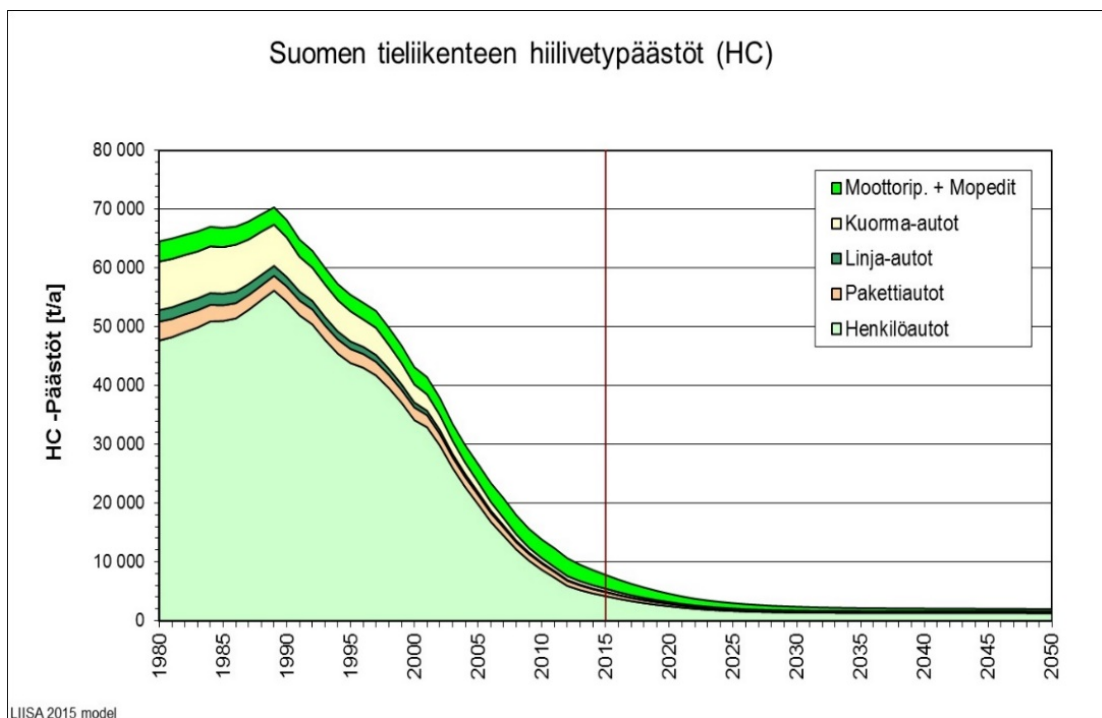
Polttoaineet koostuvat hiilivedyistä ja vähäisistä määristä muita epäpuhtauksia. Moottorin käydessä polttoaineessa oleva hiili ja vety yhtyvät hapen kanssa, jolloin lopputuloksena on hiilidioksidia (CO_2) ja vettä (H_2O). Moottorin lävitse kulkee myös inerttiä typpikaasua (N_2). Hiilidioksidin, veden ja typen osuus pakokaasuista on 99 %. Jäljellejäävä prosentti koostuu hiilimonoksidista (CO), hiilivedyistä (HC), typenoksideista (NO_x), rikkioksideista (SO_2) ja partikkeleista (PM). (Nieminen 2005,47; Ikonen 2013,17.)

Hiilimonoksidi (CO) eli häkä on helposti tappava hajuton ja mauton kaasu. Hiilimonoksidi syrjäyttää veressä happimolekyylin sitoutumalla hapen paikalle hemoglobiiniin, jolloin ihminen ei saa riittävästi happea. Jopa 0,3 % häkää hengitysilmassa voi johtaa kuolemaan. Vähäpäästöisissä autoissa hään määrää rajoitetaan katalysaattorilla. Oheisesta kuviosta (kuvio 1) voidaan todeta, että häkäpäästöt ovat vähentyneet jyrkästi vuoden 1990-jälkeen. Päästöjen vähenemiseen vaikuttavat 90-luvun uudet päästönormit ja vähäpäästöisten ajoneuvojen yleistyminen. Uusia bensiiniautoja ei enää voitu myydä ilman katalysaattoria. (Bosch 2003, 602.)



Kuvio 1. Hiilimonoksidipäästöt kulkuneuvoittain (VTT Lipasto 2015).

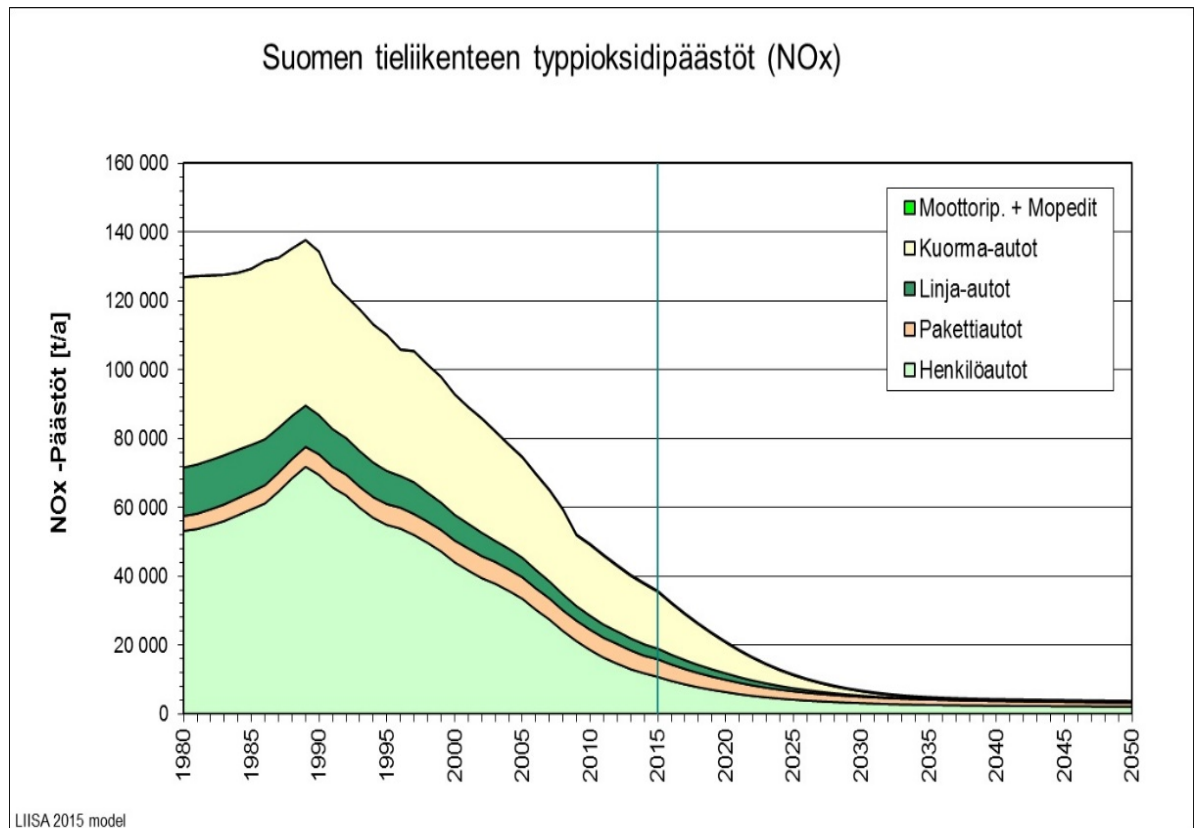
Hiilivedyt (HC) syntyvät, kun palaminen on esimerkiksi katkonaista. Hiilivedyt ovat suoraan pakoputkesta tulevaa palamatonta polttoainetta. Hiilivetyjen suuri määrä pakokaasussa kertoo moottorin huonosta toiminnasta, kun kyseessä ei ole kaasuttimella varustettu ajoneuvo. Vähäpäästöisessä ajoneuvossa hiilivetyjen määrällä on vaikutus auton katalysaattorin toimintaan ja kestävyYTEEN. Palamattoman polttoaineen joutuessa katalysaattoriin se palaa katalysaattorissa nostattaen sen lämpötilaa voimakkaasti, mikä saattaa vaurioittaa katalysaattoria. Kaasutinautojen määrän vähentyminen 90-luvulla vähensi hiilivety päästöjen määrää huomattavasti. Hiilivedyt sisältävät mm. PAH-yhdisteitä (polyaromaattisia hiilivety-yhdisteitä), jotka tutkitusti aiheuttavat syöpää. (Bosch 2003, 603.) (kuvio 2).



Kuvio 2. Hiilivety päästöt kulkuneuvoittain (VTT Lipasto 2015).

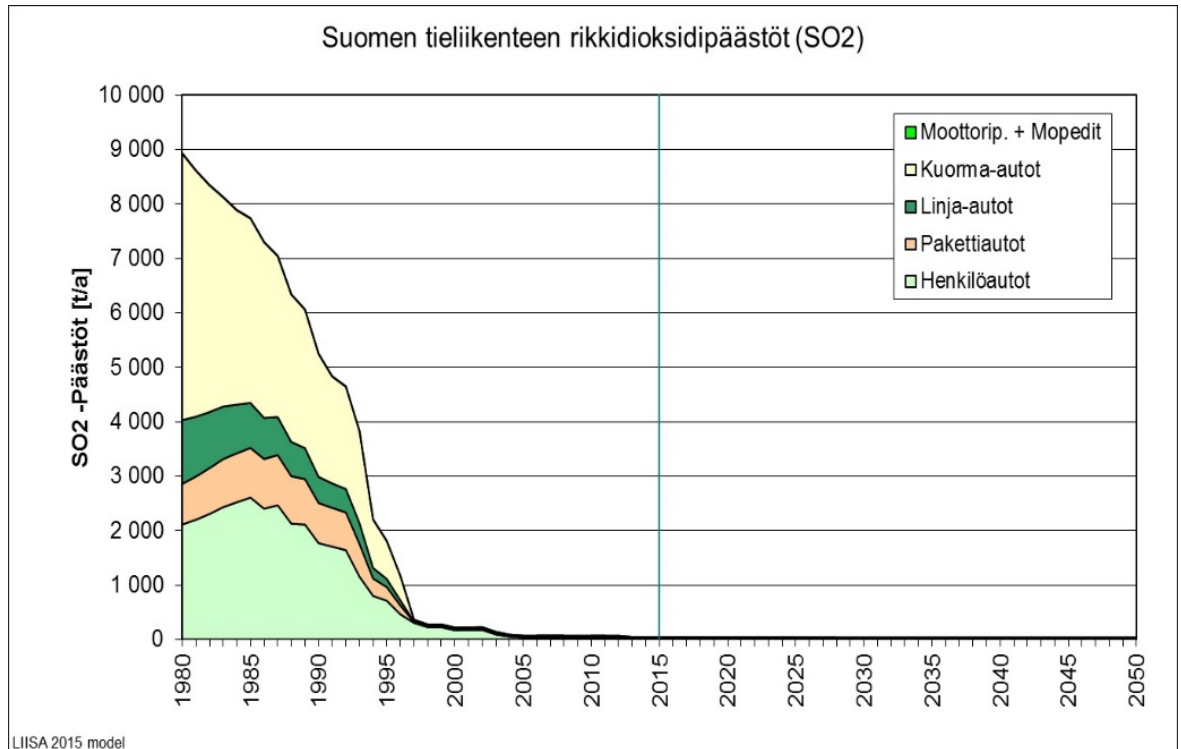
Typenoksidit (NO_x) syntyvät, kun ilman typpi sitoutuu happeen. Typenoksideja muodostuu koko ajan moottorissa, mutta erityisesti ajettaessa lujaa ja kiihdytettäessä voimakkaasti, koska korkea lämpötila lisää niiden muodostusta. Typpimonoksidi NO muuttuu vähitellen ilmassa typpidioksidiksi (NO_2). Typpidioksidi ärsyttävät hengityselimiä ja ovat osasyynä luonnossa tapahtuville happosateille. Oheinen kuvio osoittaa kuorma- ja linja-autojen olevan suurin typenoksidien tuottaja. Nämä ajoneuvot toimivat poikkeuksetta

dieselpolttoaineella. Dieselmoottori toimii aina ilma ylimäärällä, joten moottorissa on enemmän myös typpeä, joka muodostuu oksideiksi korkeissa lämpötiloissa. (Bosch 2003,603; Nieminen 2005, 52.) (kuvio 3).



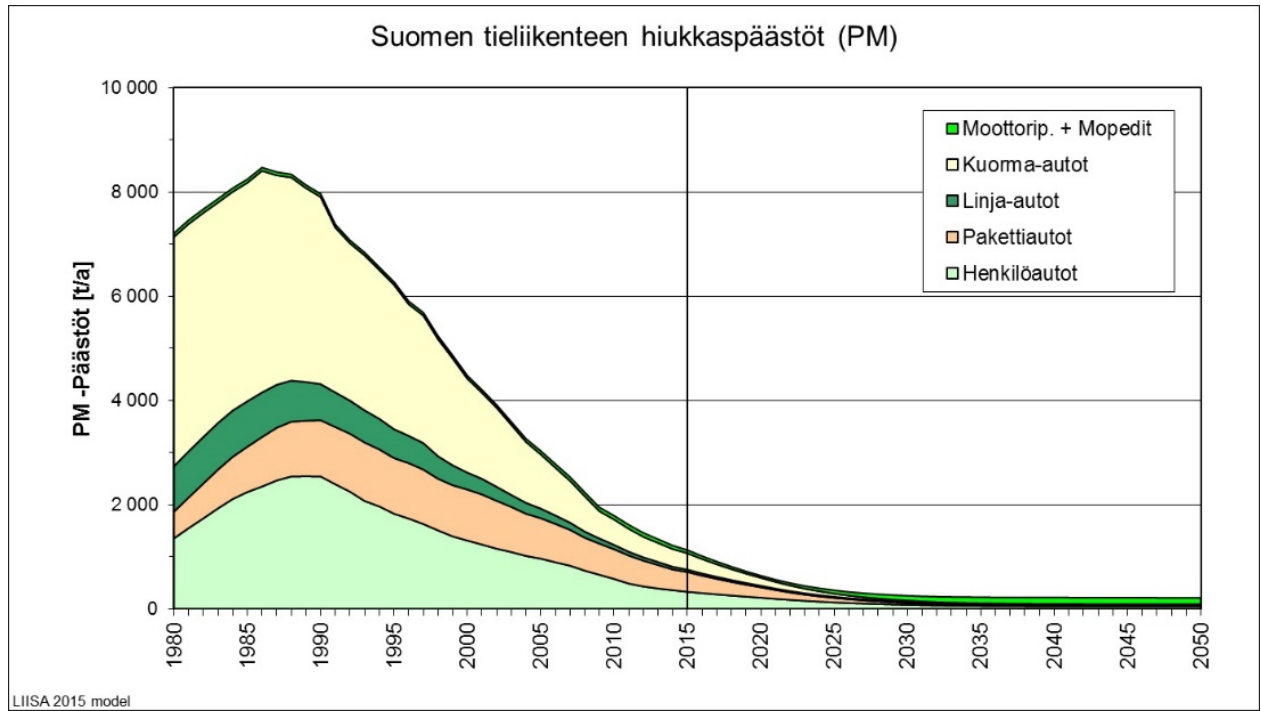
Kuvio 3. Typpioksidipäästöt kulkuneuvoittain (VTT Lipasto 2015).

Rikkidioksidi SO_2 syntyy, kun polttoaineen rikki yhtyy palamisprosessissa hapen kanssa. Suurin osa polttoaineen rikistä muuntuu eri rikkioksideiksi SO , SO_2 , SO_3 . Rikin määrää pyritään vähentämään polttoaineesta, koska sitä ei pystytä puhdistamaan pois pakokaasuista ja rikillä on katalysaattorin toimintaa heikentävä vaikutus bensiinimoottoreissa. Katalysaattoriautojen lisääntymisen 90-luvulla polttoaineiden rikkimäärää on jouduttu vähentämään (kuvio 4). Dieselmoottorin katalysaattorissa rikki aiheuttaa hiukkasiin sitoutuvia sulfaattiyhdisteitä. (VTT Lipasto 2015). Nykyään maantieliikenteen polttoaineet ovat käytännössä rikkittömiä, koska bensiinin rikkipitoisuus on 7 mg/kg ja dieselin 3 mg/kg (Neste 2015).



Kuvio 4. Rikkidioksidi päästöt kulkuneuvoittain (VTT Lipasto 2015).

Partikkelit (*PM*) ovat mikroskooppisen pieniä hiukkasia, jotka ovat pääasiallisesti hiiltä, mutta sitovat itseensä myös pakokaasussa olevia haitallisia yhdisteitä, kuten hiilivetyjä. Dieselkäyttöiset autot tuottavat 10-kertaisen massan partikkeleja verrattuna bensiinikäyttöiseen autoon, mutta jos tarkasteltavaa hiukkaskokoa pienennetään yhden mikronin läpimittaiseen ja sitä pienempiin hiukkasiin, on hiukkasten lukumäärä sama. Pienimmät hiukkaset pääsevät ihmisen hengityselimien läpi keuhkoihin saakka ja lisäävät syöpäriskiä partikkelipäästöjen kehityksestä. Partikkeleja suodatetaan erilaisilla hiukkaskeräimillä. (VTT Lipasto 2015.) Oheinen kuvio 5 kuvaa Suomen tieliikenteen hiukkaspäästöjä.



Kuvio 5. hiukkaspäästöt Suomessa ajoneuvoluokittain (VTT Lipasto 2015).

3 POLTTOAINEENKULUTUS

3.1 Ajovastukset

Ajoneuvon liikkessa ajoneuvoon kohdistuu ajovastuksia ja häviötä, jotka pyrkivät estämään ajoneuvon liikettä. Näiden vastusten ja häviöiden takia polttoaineen kulutus vaihtelee erilaisissa olosuhteissa ja eri ajoneuvojen kesken. Ajovastuksia ovat vierintävastus, ilmanvastus, kiihdytys- ja nousuvastus. Häviöstä puhuttaessa tarkoitetaan moottorista ja vaihteiston voimalinjasta syntyvää häviötä. (Ikonen 2013, 28.)

Vierintävastus syntyy, kun renkaan pinta ja ajorata kohtaavat. Vastukseen siis vaikuttavat ajoradan rakenne, renkaan ominaisuudet ja ajoneuvon massa. Ajettavan alustan ollessa pehmeä (hiekkä, lumi) vastustava voima on suuri ja alustan ollessa kova ja sileä (asfaltti, kova hiekkatie) vastustava voima on pieni. Renkaan ominaisuudet vaikuttavat vierintävastukseen seuraavasti: rengaspaineiden ollessa vähäinen, vierintävastus kasvaa, koska tiehen koskettaa suurempi renkaan pinta-ala ja vastaavasti vastus pienenee renkaan ilmanpaineen ollessa valmistajanohjeen mukainen. Alhaiset ilmanpaineet voivat lisätä polttoaineenkulutusta jopa 20 %. (Ikonen 2013,32; Euromaster 2017) Vierintävastusvoima määritellään oheisella kaavalla (kaava 1).

Vierintävastusvoima F_r

$$F_r = f_r * m * g$$

Kaava 1. Vierintävastus. (Bosch 2003, 603).

Vierintävastusvoimaan F_r vaikuttavat renkaiden vierintävastuskerroin f_r , ajoneuvon massa m ja putoamiskiikkyvyys g . Vierintävastuskerroin tavallisessa henkilöautossa on noin 0.01 kovalla tien pinnalla. Oikeilla rengaspaineilla voidaan saavuttaa jopa pienempi vierintävastus, kuin 0,01. (Ikonen 2013,32; Taulukko 1.)

Taulukko 1. Vierintävastuskertoimet eri alustoilla (Bosch 2003, 378)

| Tienpinta | Vierintävastus kerroin |
|-------------------------|------------------------|
| nupukivetys | 0,015 |
| pienkivetys | 0,015 |
| betoni, asfaltti | 0,013 |
| seveli, jyrätty | 0,02 |
| seveli, jyrätty, pietty | 0,02 |
| maapohja | 0,05 |
| pelto | 0,1-0,35 |

Kun ajoneuvo etenee ajoradalla, sen kori puskee ilmassa läpi ja näin ollen ilmassa pyrkii estämään ajoneuvon etenemistä. Pienissä nopeuksissa ilmanvastus ei ole merkittävä tekijä, mutta maantienopeuksilla ilmanvastus alkaa kasvaa nopeasti. Kun ajoneuvon nopeus kaksinkertaistuu, ilmanvastusvoima (kaava 2) kasvaa nelinkertaiseksi. (Ikonen 2013,31)

$$F_l = 0,5 * \rho * C_D * A(v + v_0)^2$$

Kaava 2. Ilmanvastus. (Bosch 2003, 603).

Ilmanvastusvoimaan vaikuttavat ilman tiheys (ρ), ajoneuvon korin otsapinta-ala (A), ilmanvastuskerroin (C_d) ja ajonopeus (v). Ajoneuvokohtaiset erot syntyvät ilmanvastuskertoimen ja otsapinta-alan muuttuessa, kun ajonopeus pysyy vakiona. Mitä leveämpi ja korkeampi ajoneuvo on, sen suurempi on otsapinta-ala. Vastaavasti ajoneuvon ollessa matala ja kapea saavutetaan pienempi otsapinta-ala. Tavallisen kokoluokan henkilöautoissa otsapinta-ala vaihtelee $2,0\text{m}^2$ - $2,5\text{m}^2$ välillä. (Ikonen 2013, 31.)

Ilmanvastuskerroin testiautossa 80 km/h (22 m/s) nopeudella voidaan määrittää seuraavilla arvoilla. Stabiililla säällä (ei korkea- tai matalapaine) ilman tiheys on $1,395 \text{ kg/m}^3$. Testiauton, Toyota Yaris 2015, ilmanvastuskerroin on 0,287 ja otsapinta-ala on karkeasti $2,5 \text{ m}^2$ (Auto-data 2017). Ilmanvastusvoimaksi saadaan $F_l = 0,5 * 1,395 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 0,287 * 2,5 \text{ m}^2 * (22 \frac{\text{m}}{\text{s}})^2 = 242 \text{ N}$ (Bosch 2003, 379; Ikonen 2013, 31).

Tavalliset henkilöautot olivat 1900-luvulla pääasiallisesti kulmikkaita ja isokokoisia, joten niissä oli suuri ilmanvastus (kuva 1). Nykypäivänä ajoneuvovalmistajat pyrkivät tekemään mahdollisimman pienen ilmanvastuskertoimen omaavia autoja. Ilmanvastuskerrointa pienentävät pyöreät muodot ja parhain kerroin saadaan muotoilemalla ajoneuvo pisaran malliseksi (kuva 2). Henkilöautoissa ilmanvastuskerroin on yleensä 0,22-0,30 välillä (Ikonen 2013, 32).



Kuva 1. 1980 Toyota Tercel on saman kokoluokan auto kuin nykyajan Toyota Yaris (Hatchheaven 2017).



Kuva 2. 2015 Toyota Yaris (Autotrader 2017).

Ajoneuvon kiihdyttämiseen vaaditaan ylimääräistä energiaa. Kun ajoneuvon nopeus nousee, sitä vastustaa täten suurempi vastusvoima. Vastustavaa voimaa kutsutaan kiih-

dytysvastukseksi. Kiihdytysvastukseen vaikuttavat ajoneuvon massa ja kiihdytettävä nopeusväli. Vastus saadaan laskettua liike-energian kaavasta ($E = 0,5 * m * v^2$). Testiauton (kuva 2) vaatima energia kiihdytettäessä 0-80km/h olisi tällöin $E = 0,5 * 1115kg * 22(\frac{m}{s})^2 = 269830 J \approx 270KJ \approx 75Wh$. (Ikonen M. 2013, 36)

Henkilöautojen bensiinikäyttöisissä moottoreissa maksimitehoalue on 5000 – 6000 rpm, kun pienin ominaiskulutus saavutetaan alueella, joka on noin 2000-3000 rpm. Dieselmoottoreissa maksimitehon alue saavutetaan jo 3000-4500 rpm alueella ja pienin ominaiskulutus saavutetaan kierrosalueella 1500-2500 rpm. (Ikonen 2013, 45.)

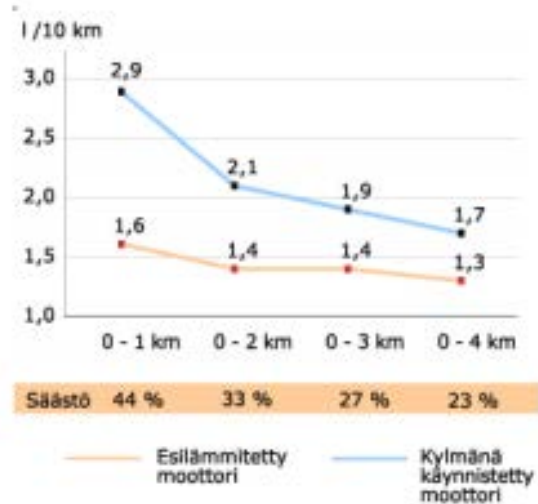
”Olennainen osa oikeaoppista kiihdyttämistä on ennakoimalla aikaansaatu kiihdytysten määrän minimointi. On muistettava, että taloudellisinkin kiihdytystapa valuu hukkaan, jos saavutettu nopeus on pian kiihdytyksen jälkeen jarrutettava pois.” (Ikonen M. 2013, 45.)

Ajoneuvon noustessa mäkeä pitkin siihen kohdistuu nousuvastusvoima. Nousuvastusvoima riippuu auton massasta ja mäen jyrkkyydestä. Mäen jyrkkyys esitetään liikenne-merkeissä prosentteina ja tällä tarkoitetaan, että mäki nousee sadan metrin matkalla liikennemerkissä olevan prosentin verran metreinä. Suomessa tiet pyritään rakentamaan enintään 4-6 prosentin nousulla. Polttoaineen kulutus kasvaa jopa kaksinkertaiseksi, kun nousee 4 prosentin mäkeä. (Ikonen 2013, 38.)

3.2 Olosuhteet

Polttoaineen kulutukseen vaikuttavat monet seikat, kuten kuljettaja, ajoneuvo ja olosuhteet. Kuljettaja pystyy omilla valinnoillaan vaikuttamaan paljon polttoaineen kulutukseen ja tarvittaessa kehittämään sitä taloudellisempaan suuntaan. Kuljettajan ajotottumukset vaikuttavat polttoaineen kulutukseen. Suurimmat erot eri kuljettajien kesken syntyvät kaupunkiajossa. Kaupunkiajossa on paljon kiihdytyksiä, jarrutuksia ja pysähdyksiä. Kiihdytyksissä korostuu oikeaoppinen vaihteiden vaihtaminen ja pyörimisnopeuden säätely. Kuljettaja pystyy vaikuttamaan pysähdyksiin eli kiihdytystarpeen minimointiin ennakoimalla liikennetilanteet, kuten liikennevalot ja risteysalueet. Mikäli hidastaminen on tehtävä pysähdyksiin saakka, on kannattaa pitää vaihde päällä. Vaihteen ollessa päällä auto jarruttaa moottorilla, jolloin polttoaineen suihkutusta katkaistaan hetkellisesti kokonaan. (Ikonen 2013, 50.)

Olosuhteiden vaikutus polttoaineen kulutukseen korostuu talvella. Pakkasessa auton käynnistäminen ja lyhytkestoinen kaupunkiajo alilämpöisellä moottorilla nostattavat kulutusta huomattavasti (kuva 3). Talvella tiellä on lunta ja sohjoa, jotka vastustavat pyörän pyörintää ja kasvattavat vierintävastuksen määrää. (Ikonen 2013, 50)



Kuva 3. Kylmän moottorin polttoaineen kulutus l/100 km (Motiva 2006).

Ajoneuvon vaikutus polttoaineen kulutukseen riippuu monesta osatekijästä. Auton paino (vierintävastus), auton muodot (ilmanvastus), moottorin koko ja hyötysuhde. Ajoneuvon painon vaikutus polttoaineen kulutukseen on huomattava. Sadan kilon lisäys 1500 kg ajoneuvoon lisää kulutusta 4–5 prosenttia (Ikonen 2013, 136). Tavallisten henkilöautojen aerodynaamisia ominaisuuksia heikentävät erilaiset kattotelineet ja polkupyörätelineet henkilöauton katolla tai takana. Nykypäivän moottorit on saatu tehokkaammiksi ja koko pienemmäksi. Tällä on ollut positiivinen vaikutus polttoaineen kulutuksen vähenemiseen. (Ikonen 2013, 50)

4 KOKEELLISEN OSAN TAVOITTEET JA MENETELMÄT

Opinnäytetyön kokeellisen osan tarkoituksena oli tutkia eri koehenkilöiden ajotottumuksia ja ajamisen taloudellisuutta. Tavoitteena oli opettaa koehenkilöitä ajamaan taloudellisemmin kuin ennen opetusta sekä saada koehenkilöt ymmärtämään oman ajamisensa epätaloudelliset puolet, jotta he pystyisivät kehittymään taloudellisina kuljettajina. Kuljettajat ajoivat ensimmäisen testikierroksen ilman opastusta. Ensimmäisen testikierroksen jälkeen henkilöitä opastettiin taloudelliseen ajamisen perusteisiin ja tämän jälkeen suoritettiin toinen testikierros. Toisen testikierroksen jälkeen kuljettajille jaettiin taloudellisen ajamisen tiedote, jossa oli kymmenen helposti toteutettavaa kohtaa (liite 1). Työssä käytiin myös läpi, kuinka vakionopeudensäädin vaikuttaa polttoaineen kulutukseen. Vakionopeustesti ajetaan molempiin suuntiin vakionopeudensäätimellä ja ilman.

Tutkimuksessa käytettiin bensiinikäyttöistä Toyota Yaris henkilöautoa, joka oli vuosimallia 2015. Henkilöauton omamassa on 1050 kg ja se on varusteltu 1,33 litraisella vapaasti hengittävällä bensiinimootorilla. Ajoneuvossa on 6-vaihteinen manuaali vaihdelaatikko.

5 KOKEELLISEN OSAN TOTEUTTAMINEN

5.1 OBD-ohjelmiston esittely

Drivelooper on ajoneuvon OBD-porttiin asennettava lähetin (kuva 4). Lähetin lähettää Bluetooth-yhteyden avulla matkapuhelimeen tietoa ajamisen eri parametreista. Eri parametreja ovat matka, aika, keskinopeus, moottorin pyörintänopeus, kulutus l/100km, ajo-tyyli ("Looper-pisteet"), CO₂-päästöt, pysähdysten ja moottorijarrutusten määrä. Ohjelma tallentaa myös ajatut reitit käyttäen GPS-yhteyttä. Tallennetuista reiteistä nähdään kaikki kiihdytykset, jarrutukset ja vaihteiden vaihdot. Reittejä voi myös vertailla keskenään. Looper tarjoaa ohjelmistoon myös tankkauspäiväkirjan, josta pystyy seuraamaan käytettyä polttoaineen määrää. Looper-pisteitys määräytyy ajamisen taloudellisuuden perusteella. Ohjelma lukee myös vikakoodit ajoneuvosta. (Drivelooper 2017)

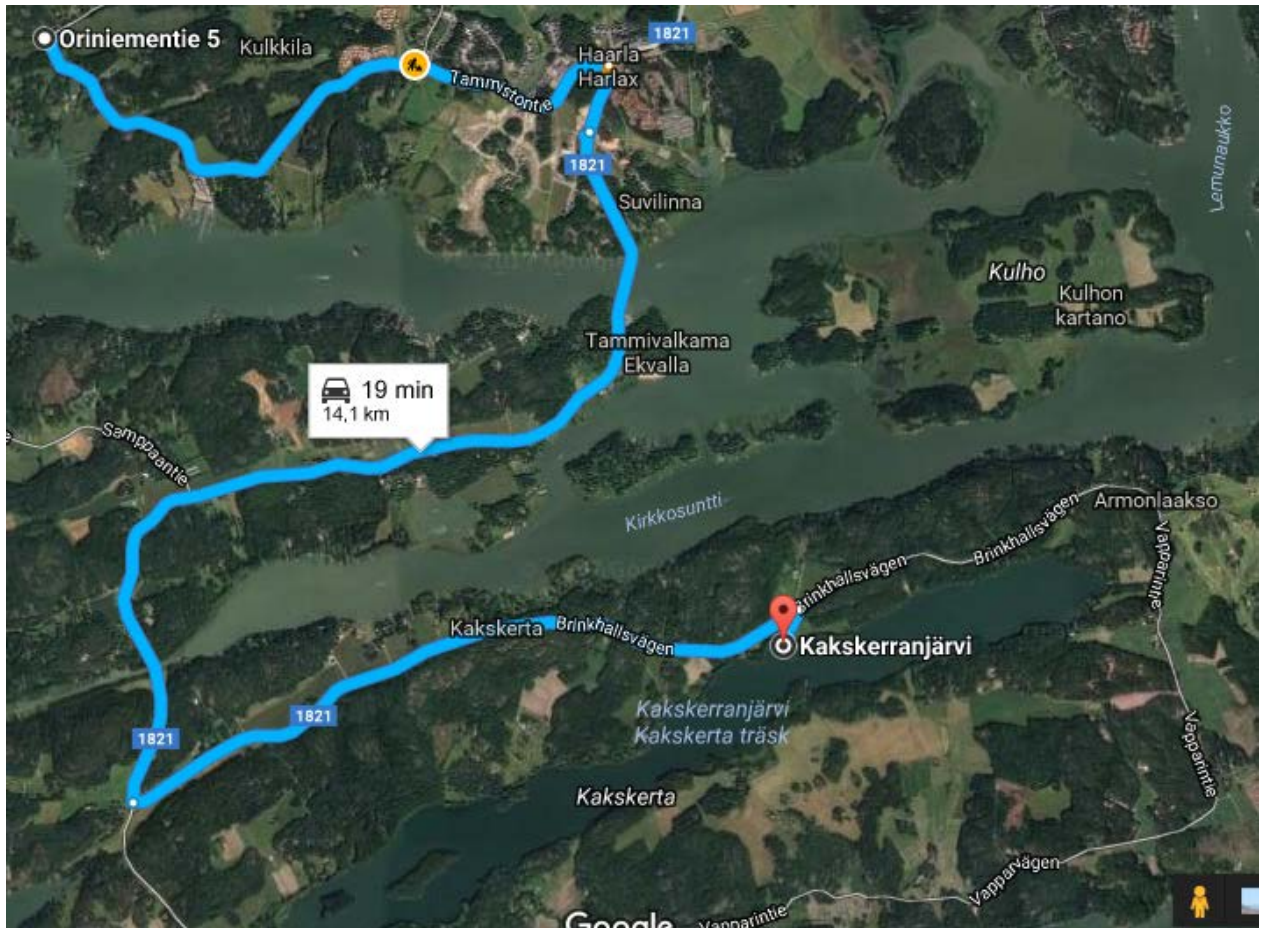
Drivelooper-ohjelmisto tarvitsee toimiakseen ajoneuvon, jossa on OBD2-portti. OBD-Portti löytyy ajoneuvoista, jotka ovat 2001 tai uudempia ajoneuvoja. Ohjelmisto tukee tällä hetkellä vain Android-pohjaisten puhelimien käyttöjärjestelmää, joten se ei toimi Windows - tai IOS-pohjaisissa matkapuhelimeissa. Drivelooper ohjelmiston jälleenmyynti hinta on 24,90 €, joten se on halpa tapa seurata ja parantaa omaa taloudellista ajoa.



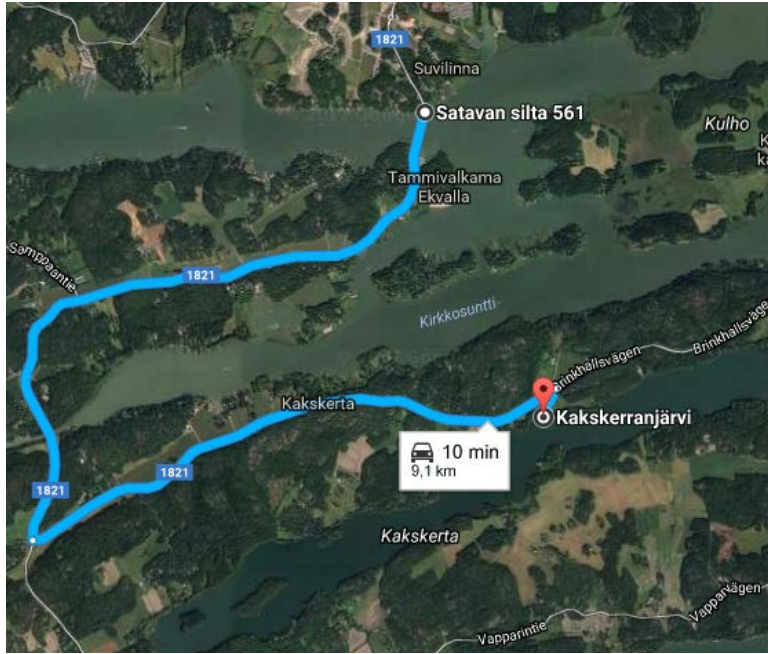
Kuva 4. Drivelooper OBD-Lähetin (Drivelooper 2017)

5.2 Ajoreitti

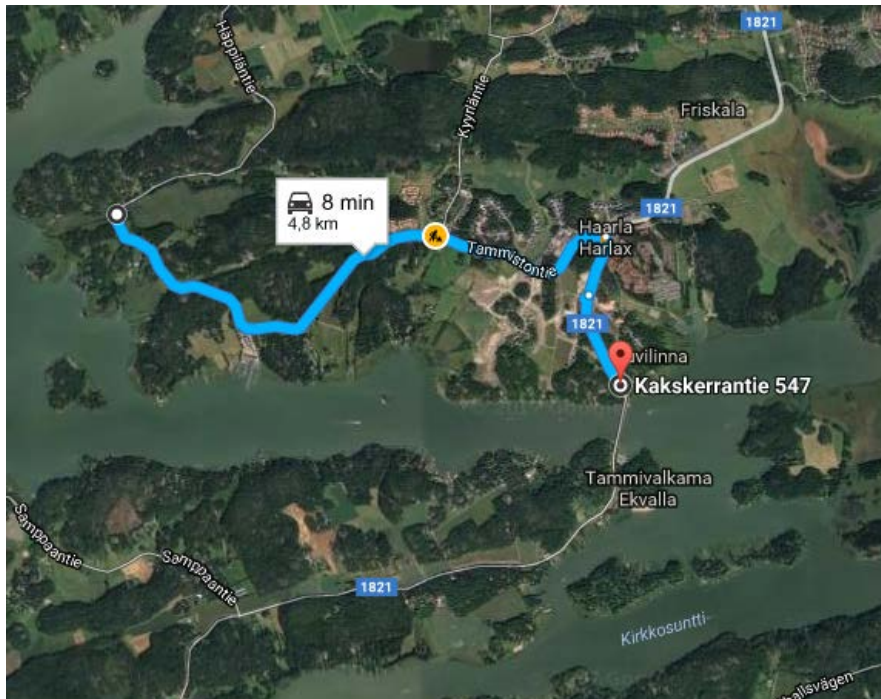
Polttoaineen kulutustesti suoritettiin Turun Hirvensalon ja Kaksikerran ympäristössä. Reitti sisälsi kaupunki- ja maantienopeuksia. Ajoreitillä ei ole liikennevaloja, joten niitä simuloitiin pysähtymällä linja-autopysäkeille. Pysäkeillä oleskeltiin 10-30 sekuntia ja kaikki koehenkilöt pysähtyivät samoilla pysäkeillä. Pysähdyksiä tuli 11 kappaletta. Koko ajoreitin pituus oli 27,8 km (kuva 5), josta 18,2 km oli maantienopeutta (kuva 6) ja 9,6 km oli kaupunkinopeutta (kuva 7). Testi toistettiin kaksi kertaa, ensimmäisellä ajokerralla saatiin vertauspohja ja toisella ajokerralla pyrittiin vähentämään polttoaineen kulutusta, mikäli se oli mahdollista.



Kuva 5. Koko ajoreitin pituus yhteen suuntaan. (Google maps 2017)

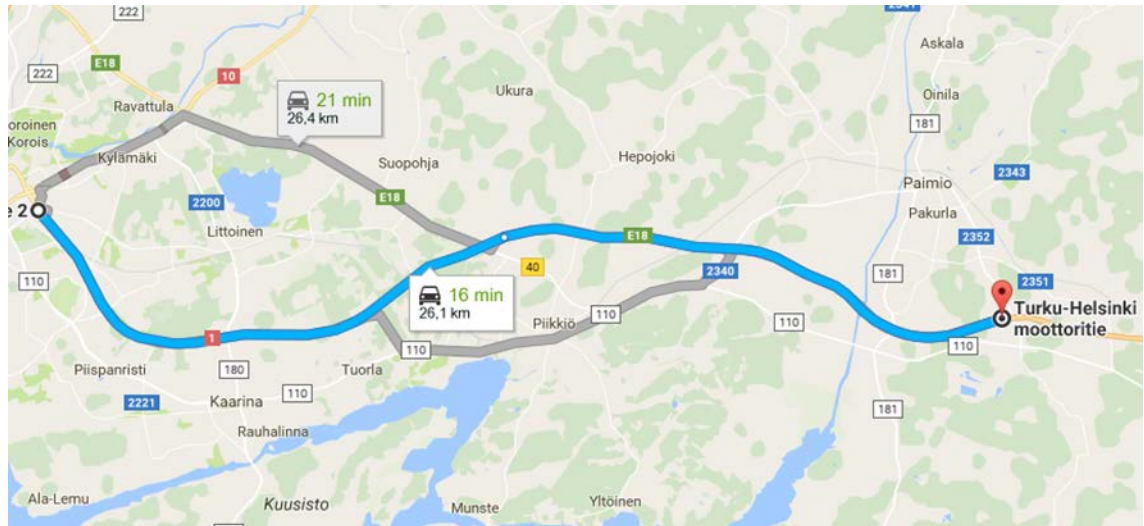


Kuva 6. Maantiesuus, ajonopeudet 60-80km/h (Google maps 2017)



Kuva 7. Kaupunkiosuus, ajonopeudet 40-50km/h (Google maps 2017)

Vakionopeussäätimen testi suoritettiin Turku – Paimio välillä. Polttoaineen kulutus mitattiin molempiin suuntiin. Ensimmäinen ajo ajettiin vakionopeussäädin päällä ja toinen ajo ilman vakionopeussäädintä. Ajoreitin yhteispituus oli noin 26 km suuntaansa. Ajoreitti on esitetty kuvassa (kuva 8).



Kuva 8. Vakionopeussäätimen kulutustesti. Ajonopeudet 80-120km/h (Google maps 2017)

6 TULOKSET

6.1 Koehenkilöiden ajamat kulutustulokset

Ensimmäisellä Turussa ja Turun saaristossa ajettulla mittauslenkillä yhdeksän koehenkilön kulutustulokset vaihtelivat välillä 4,8-5,7 l/100 km. keskiarvotulos oli 5,2 l/100 km. Pienimmän tuloksen ajoi koehenkilö, joka on koulutukseltaan laivainsinööri. Suurimman kulutuksen ajoi henkilö, joka ei vähään aikaa ole ajanut autoa ja ajotapa on aina ollut epätaloudellinen.

Ensimmäisen ajolenkin jälkeen koehenkilöt saivat tietää, että kyseessä on kulutustesti. Samalla tarkastettiin ensimmäisen ajon antamia tietoja, kuten kulutus l/100 km, moottorijarrutusten määrä ja kesto, äkkinäisten kiihdytysten ja jarrutusten määrä ja kulutetun polttoaineen määrä. Koehenkilöt saivat opastusta taloudelliseen ajoon, jonka jälkeen seurasi uusi mittausajo.

Toisella ajokerralla, ohjeistuksen jälkeen, kulutustulokset laskivat välille 4,6-5,2 l/100 km. Absoluuttinen säästö kuljettajien kesken oli 0-0,6 l/100 km. Suhteellisen kulutus vaihteli 0 prosentista aina -12 prosenttiin. Ensimmäisellä ajolla parhaan kulutuksen ajanut henkilö ei suorittanut toista ajoa, koska tulos oli niin hyvä. Koeryhmä saavutti keskiarvollisesti 4,82 l/100 km polttoaineen kulutuksen. Litramääräinen vähennys oli 0,4 litraa. Kaikki mitatustulokset esitelty taulukossa 2.

Taulukko 2. Yhdeksän henkilön polttoainekulutuksen tulokset.

| kuljettaja | kuljettajan ikä sukupuoli ja ammatti | Ensimmäisen ajon tulos 1/100km | Toisen ajon tulos1/100 km | Absoluuttinen ero 1/100km | Suhteellinen ero 1/100km |
|------------|--------------------------------------|--------------------------------|---------------------------|---------------------------|--------------------------|
| 1 | Insinööri, mies, 25v. | 4,8 | 0,0 | 0,0 | 0 |
| 2 | Sairaanhoitaja, nainen, 25v. | 5,0 | 4,7 | 0,3 | -6 % |
| 3 | Sähkömies, mies, 23v. | 5,5 | 4,9 | 0,6 | -12,20 % |
| 4 | Kirjanpitäjä, nainen, 52v. | 5,7 | 5,2 | 0,5 | -9,60 % |
| 5 | Vakuutusvirkailija, nainen, 49v. | 5,1 | 4,7 | 0,4 | -8,50 % |
| 6 | Siivooja, mies, 35v. | 5,0 | 4,8 | 0,2 | -4,10 % |
| 7 | Vakuutusvirkailija, mies, 53v. | 5,0 | 4,6 | 0,4 | -8,60 % |
| 8 | Sähkömies, mies, 59v. | 5,3 | 4,9 | 0,4 | -7,50 % |
| 9 | Sairaanhoitaja, nainen, 48v. | 5,2 | 4,8 | 0,4 | -8,50 % |
| | Tulosten keskiarvo | 5,2 | 4,8 | 0,4 | -8,00 % |

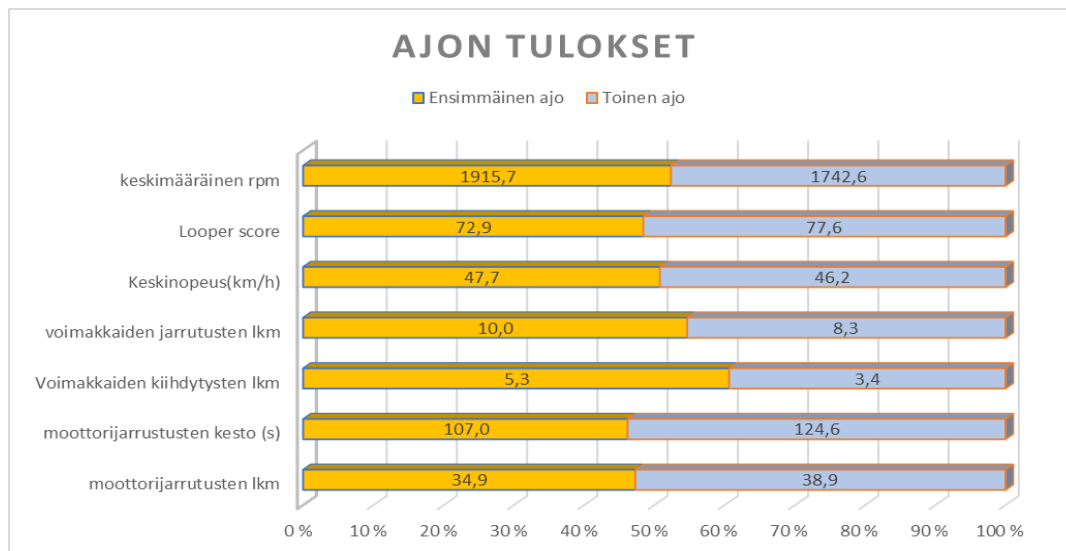
Testien suoritus aika ja sääolosuhteet olivat kaikille samanlaiset, joten esimerkiksi liikeneruuhkan aiheuttamaa tyhjäkäyntiajan pitenemistä ei ollut. Kuitenkin, jos pysähdys oli pitempi, mitä sen oli tarkoitus olla, se pyrittiin huomioimaan seuraavalla pysähdyksellä vähentämällä ylimääräinen aika seuraavan pysähtymisen tyhjäkäyntiajasta.

6.2 Drivelooper-ohjelman antama informaatio

Kulutustestissä käytettiin kulutusmittaukseen auton omaa polttoaineen keskikulutusmittausta ja muu tieto hankittiin Drivelooperin avulla. Koehenkilöiden suurin muutos ajotahtumassa tuli keskimääräisessä moottorin kierrosnopeudessa. Havaintojen perusteella 6 koehenkilöä 9:stä ajoi ensimmäisen kierroksen liian suurilla kierrosnopeuksilla.

Voimakkaiden jarrutusten tai kiihdytysten lukumäärä väheni niukasti. Jarrutusten määrään ensimmäisen kierroksen aikana saattoi vaikuttaa se, että tie ei ollut tuttu ja pysähtymiset tulivat yllättäen. Testiosuudella jokaisen pysähtymisen jälkeen kiihdyttiin niin, että tavoitevauhti saavutetaan mahdollisimman nopeasti, mutta taloudellisesti. Keskinopeus laski toisella ajokerralla noin 1,5 km/h. Keskinopeuteen vaikuttivat toisella osuudella runsas moottorijarrutusten lisääntyminen ja pysähdysten ennakointi, koska testirata

tunnettiin ensimmäisen kierroksen jälkeen. Looper-pisteisiin vaikuttavat kaikki kyseisessä kuviossa (kuvio 6) olevat arvot. Pisteiden kautta tavallisen ihmisen on helppo seurata ja verrata omaa ja muiden kuljettajien kehittymistä taloudellisena ajajana.



Kuvio 6. Eri kuljettajien lasketut keskiarvot eri parametreista.

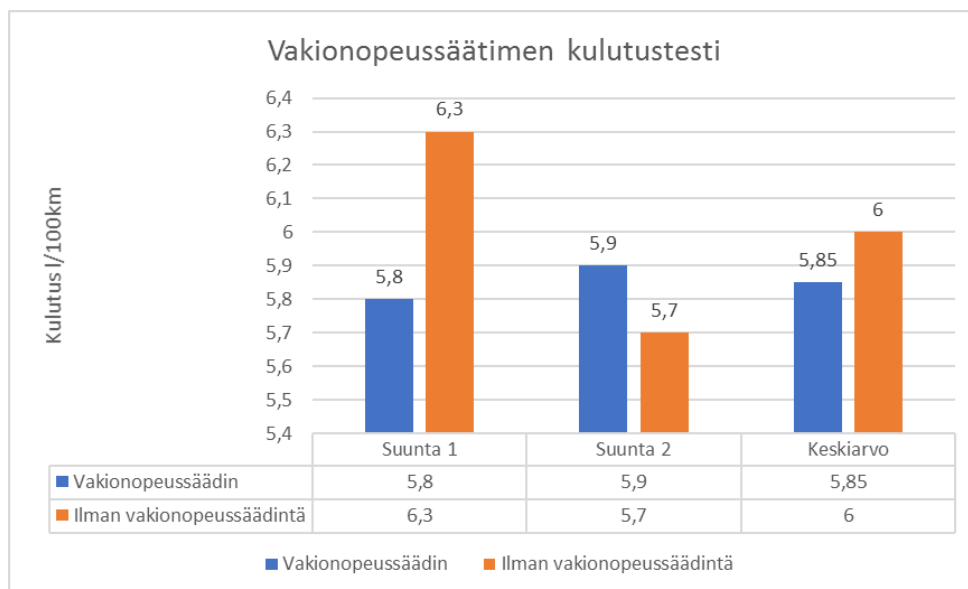
6.3 Vakionopeudensäätimen vaikutus polttoaineen kulutukseen

Testissä ilmenneiden tulosten mukaan vakionopeudensäätimen käyttö vaikuttaa polttoaineen kulutukseen positiivisesti eli sen käyttö vähensi polttoaineen kulutusta. Testihenkilöllä oli ongelmia pitää kaasuläpän asentoa vakiona. Ajonopeuden vaihdellaessa syntyy niin sanottu pumppausilmiö. Kaasupoljinta pumpattaessa kaasuläpän asento muuttuu jatkuvasti aiheuttaen bensiinin epätasaisen suihkutuksen sylintereihin. Vakionopeudensäätimen avulla kaasuläppä pysyy vakioasennossa, joten näitä häviöitä ei tule.

Vakionopeudensäätimen käyttö ei kuitenkaan ole joka tilanteessa järkevää. Tien ollessa todella vaihteleva ja maastoinen, säätimen käyttöä ei suositella ainakaan manuaalivaihteisissa autoissa. Kun vaihteet eivät vaihdu itsestään ja auto etenee mäkeä ylöspäin liian suurella vaihteella, kuormittuu moottori liikaa ja näin polttoainetta kuluu enemmän.

Vakionopeudensäätimen käyttö 52 km:n matkalla pudotti keskiarvillisesti polttoaineenkulutusta 2,5 prosenttia. Suhteellinen pudotus vaihtelee eri kuljettajien kesken. Kuljettajan tuomat erot tulevat kaasupolkimen ja vaihteiston käytöstä. Matkakohtaiset erot olivat huomattavat. Suunta 1:n kohdalla oli kova puuskittainen vastatuuli ja suunta 2:n kohdalla iso alamäki, jota hyödyntämällä pystyi säästämään polttoainetta. Suunta 2:n kohdalla

vastatuuli oli muuttunut myötätuuleksi, joka saattoi vaikuttaa tuloksiin. Yhteenvedona vakionopeustestistä (kuvio 7) voidaan todeta, että muuttujia oli kyseisenä päivänä ja tällä tieosuudella paljon, joten tuloksia voidaan pitää vain suuntaa-antavia.



Kuvio 7. Vakionopeudensäätimen kulutustestin tulokset.

7 POHDINTA

Ajoneuvojen fossiiliperäisten uusiutumattomien polttoaineiden käyttöä tulisi vähentää, koska ne aiheuttavat CO₂- päästöjä, jotka lisäävät globaalia ilmaston lämpenemistä eli ilmastomuutosta. Fossiiliset polttoaineet tulevat loppumaan tulevaisuudessa, joten niitä pitäisi käyttää harkiten. Kehitys ei ole vielä niin pitkällä, että pystyttäisiin valmistamaan 100 prosenttia polttoaineesta uusiutuvasta materiaalista.

Tämän opinnäytetyön tarkoitus oli perehdyttää lukija taloudellisen ajon perusteisiin ja esitellä tutkimustuloksia aiheesta. Mielestäni onnistuin tutkimuksissa hyvin, koska jokaisen kuljettajan keskikulutus ja muut parametrit saatiin pudotettua. Koehenkilöiden keskikulutus väheni keskimäärin 8,5 Prosenttia. Koehenkilöt myös ymmärsivät oman ajon epätaloudelliset kohdat ja osasivat muuttaa ajotapaansa opinnäytetyön tekijän ohjeiden avulla taloudellisempaan suuntaan.

LÄHTEET

- Auto-data 2017. Tekniset ominaisuudet, Toyota Yaris III. Viitattu 3.3.2017
http://www.auto-data.net/fi/?f=showCar&car_id=24133
- Autotrader 2017. Toyota Yaris. Viitattu 1.3.2017 <http://www.autotrader.co.nz/new-cars-for-sale/toyota-yaris/32781>
- Bosch, R. 2003, Autoteknillinen taskukirja, 6 painos, Jyväskylä: Gummerus Oy.
- Drivelooper 2017. OBD-Lukija DriveLooper. Viitattu 8.3.2017 <https://www.tokmanni.fi/autotarvikkeet-muut/obd-lukija-drive-looper/6430058141068/dp>
- Euromaster 2017. Vierintävastus vaikuttaa polttoaineen kulutukseen. Viitattu 26.2.2017 https://www.euromaster.fi/kuluttajat/renkaat/yleista_tietoa_renkaista/rengasmerkintajarjestelma/vierintavastus.
- Google maps 2017. Karttatieto. Viitattu 13.3.2017
- Hatchheaven 2017. Toyota Tercel. Viitattu 1.3.2017 <http://hatchheaven.com/archives/3324>
- Helsingin yliopisto 2002. Öljynjalostamon tuotantoprosessit. Viitattu 20.2.2017 Viitattu 20.2.2017 <http://www.helsinki.fi/kemia/opettaja/aineistot/oljytuotteet/tuotantoprosessit.htm>
- Ikonen, M. 2013, Aja taloudellisesti. Turun ammattikorkeakoulun Oppimateriaaleja 80. Turku: Turun ammattikorkeakoulu.
- IEA 2016. International Energy Agency, Key CO₂ mission trends 2016. Viitattu 17.2.2017 <http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/KeyCO2EmissionsTrends.pdf>
- Motiva 2006. Taloudellinen ajaminen. Viitattu 26.2.2017 https://www.motiva.fi/files/2130/Taloudellinen_ajaminen_-_alykas_ajotapa.pdf
- Motiva 2017a. Bensiini. Viitattu 20.3.2017 http://www.motiva.fi/ratkaisut/kestava_liikenne_ja_liikkuminen/nain_liikut_viisaasti/valitse_auto_viisaasti/energialahteet/bensiini

Motiva 2017b. Diesel. Viitattu 20.3.2017 http://www.motiva.fi/ratkaisut/kestava_liikenne_ja_liikkuminen/nain_liikut_viisaasti/valitse_auto_viisaasti/energialahteet/diesel

Neste 2015. Tuotetiedote. Viitattu 25.2.2017 https://www.neste.fi/sites/neste.fi/files/Bensiiniopas_2015_0.pdf

Nieminen, S. 2005, Auton rakenne: 1, moottori ja tehonsiirto, Helsinki: WSOY.

Motiva 2010. Polttoaineiden lämpöarvot, hyötysuhteet ja hiilidioksidin ominaispäästökertoimet sekä energian hinnat 2010. Viitattu 30.3.2017 https://www.motiva.fi/files/3193/Polttoaineiden_lampoarvot_hyotysuhteet_ja_hiilidioksidin_ominaispaastokertoimet_seka_energianhinnat_19042010.pdf

VTT Lipasto 2015. Suomen tieliikenteen pakokaasupäästöjen laskentajärjestelmä. Viitattu 25.2.2017 <http://lipasto.vtt.fi/liisa/index.htm>

Taloudellisen ajon kymmenen käskyä

1. Vältä turhia hidastuksia ja jarrutuksia ennakoimalla liikennetilanteet.
2. Vältä turhia kiihdytyksiä.
3. Vältä tyhjäkäyntiä.
4. Vaihda vaihteet ajoissa, jottei moottorin pyörimisnopeus nouse liian korkealle.
5. Suunnittele ajoreittisi ja ajoajankohta.
6. Älä turhaa käytä lisälaitteita kuten ilmastointia, takalasinlämmittintä tai penkinlämmittäjiä.
7. Tarkasta rengaspaineet riittävän usein. Voit käyttää hieman suositeltua korkeampaa painetta.
8. Nopeutta vähennettäessä aloita hidastus niin aikaisin, että voit rullata vapaalla tai käytä moottorijarrua.
9. Vältä kylmäkäynnistystä.
10. Vältä ylimääräisen tavaran kuljettamista autossa.