

Risto Peltomäki, Simo Savolainen

# E85 vaihtoehtona bensiinille

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Auto- ja kuljetustekniikka

Insinöörityö

18.5.2017

Tekijä(t) Otsikko	Risto Peltomäki, Simo Savolainen E85 vaihtoehtona bensiinille
Sivumäärä Aika	31 sivua 18.5.2017
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	Auto- ja kuljetustekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	Tuotetekniikka
Ohjaaja(t)	Lehtori Heikki Parviainen
<p>Insinööriyössä tutkittiin E85-korkeaseosetanolipolttoainetta. Päätaavoitteena oli esittää 95 E10 -bensiinistä E85-korkeaseosetanoliiin siirtymiseen liittyvät hyödyt ja haitat autoilijalle. Sen lisäksi tarkasteltiin E85:n soveltumista moottoritehon kasvattamiseen.</p> <p>Polttoainevertailu tehtiin insinööriyönä ammattikorkeakoulu Metropolialle keräämällä aiheeseen liittyvää tietoa kirjallisuuslähteistä ja tekemällä E85-päivitetylle autolle käytännön kokeita autolaboratoriossa. Vertailukohteina kokeissa käytettiin polttoaineenkulutusta, moottoritehoa ja pakokaasupäästöjä. Lisäksi tutkittiin sytytysennakon vaikutusta moottoritehoon.</p> <p>Työn lopputuloksena saatiin kirjallisuuslähteiden tietoihin ja käytännön kokeisiin perustuva esitys E85-polttoaineeseen siirtymisen hyödyistä ja haitoista.</p> <p>Polttoaineenkulutus osoittautui n. 24 % korkeammaksi E85:lla moottoritehon pysyessä vähintään samana. E85:n ja 95 E10:n välisestä hintaerosta johtuen E85 oli kuitenkin kokonaiskustannuksiltaan edullisempaa. Pakokaasupäästöt pysyivät sallituissa rajoissa vähintään samalla tasolla kuin bensiinillä. Sytytysennakon säädöllä saatiin positiivinen muutos moottoritehoon.</p> <p>Insinööriyötä voi hyödyntää tietolähteenä E85-muutostyötä harkitessa.</p>	
Avainsanat	Bioetanoli, E85, flexfuel, etanolikonversio, polttoaineet

Author(s) Title	Risto Peltomäki, Simo Savolainen E85 as an Alternative to Gasoline
Number of Pages Date	31 pages 18 May 2017
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Automotive Engineering
Specialisation option	Automotive Design Engineering
Instructor(s)	Heikki Parviainen, Senior Lecturer
<p>The purpose of this thesis was to study E85 ethanol fuel. The main goal was to find out the benefits and disadvantages of using E85 ethanol fuel instead of 95 E10 gasoline. The suitability of E85 fuel for increasing engine power output was also examined.</p> <p>This fuel comparison was carried out as a Bachelor's thesis for Metropolia University of Applied Sciences by collecting related information from literature sources and making practical tests for a E85-updated car in the institution's testing laboratory. As benchmarks, fuel consumption, engine power and exhaust emissions were used. In addition, the effects of adjusting the engine's ignition timing were investigated.</p> <p>The result of the thesis was a presentation on the benefits and disadvantages of switching to E85 fuel based on data from literature sources and practical experiments.</p> <p>Fuel consumption proved to be about 24 % higher with E85 and the engine power output remained at least on the same level. Due to the price difference between E85 and 95 E10, however, the E85 was more cost-effective than 95 E10. The exhaust emissions remained within the permissible limits with both fuels and no significant differences were found between them. Adjustment of the ignition timing had a positive effect on engine power output.</p> <p>The thesis can be used as a source of information for anyone considering E85 update.</p>	
Keywords	Bioethanol, E85, flexible fuel, ethanol conversion, fuels

# Sisällys

## Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	E85-korkeaseosetanoli	2
2.1	Valmistus, saatavuus ja verotus	2
2.2	Polttoaineen ominaisuudet	4
2.3	Flexfuel-autot (FFV)	6
3	E85-muutostyö	8
3.1	Koeauto	8
3.2	eFlexFuel-laitteisto	8
3.3	Vaatimukset autolle	10
3.4	Lambda-anturin toiminta	11
3.5	Muutokatsastus	11
3.6	Muutossarjan asentaminen	12
4	Koejärjestelyt	13
4.1	Kulutusmittaus	13
4.2	Tehomittaus	15
4.2.1	E85 ja 95 E10	15
4.2.2	E85 ja sytytyksen ajoitus	16
4.3	Päästömittaus	16
5	Tulosten vertailu	17
5.1	Polttoaineenkulutus	17
5.2	Moottoriteho	18
5.2.1	E85 ja 95 E10	18
5.2.2	E85 ja sytytyksen ajoitus	20
5.3	Päästöt	22
6	Hyötysuhteen parantaminen	24
6.1	Puristussuhde	24
6.2	Sytytyksen ajoitus	25

7 Yhteenveto

27

Lähteet

29

## Lyhenteet

95 E10	Bensiini, jossa on enintään 10 prosenttia etanolia.
API	<i>American Petroleum Institute</i> . Suorituskykyvaatimuksia sisältävä API-luokitus moottoriöljyille.
CO	Hiilimonoksidi.
CO <sub>2</sub>	Hiilidioksidi.
E85	Alkoholipolttoainesekoitus, jossa on enintään 85 prosenttia etanolia ja vähintään 15 prosenttia bensiiniä.
FFV	<i>Flexible-fuel vehicle</i> . Kahdella polttoaineella, joko korkeaseosetanolilla tai bensiinillä toimiva ajoneuvo.
FSI	<i>Fuel-stratified injection</i> . Volkswagenin suoraruiskutukseen perustuva moottorityyppi.
HC	Hiilivedyt.
NO <sub>x</sub>	Typen oksidit.
PVC	<i>Polyvinyl chloride</i> . Polyvinyylikloridi, yleinen muovilaatu.
RON	<i>Research Octane Number</i> . Kokeellisesti määritetty oktaaniluvun yksikkö, joka kuvaa polttoaineen puristuskestävyyttä.
RPM	<i>Revolutions per minute</i> . Moottorin kierrosnopeuden yksikkö (kierrosta minuutissa).
TSI	<i>Twincharged Stratified Injection</i> . Volkswagenin suoraruiskutukseen perustuva, yhdellä tai kahdella ahtimella varustettu moottorityyppi.

## 1 Johdanto

Vaihtoehtoisten energialähteiden käyttäminen teollisuuden ja liikenteen energianlähteinä on alati kiristyvien päästörajoitusten ja -tavoitteiden takia ajankohtaista. Hybridit ja sähköautot ovat nykypäivän kasvava trendi, ja uusia teknologioita kehitetään kiihtyvällä tahdilla. Perinteinen polttomoottoritekniikka hallitsee kuitenkin yhä liikenteen autokantaa yleisimpänä käyttövoiman tuottajana.

Energiayhtiöt ovat kehittäneet vaihtoehtoja raakaöljystä jalostetuille polttoaineille, ja näitä uusiutuviin luonnonvaroihin perustuvia polttoaineita kutsutaan biopolttoaineiksi. Biopolttoaineiden etuna täysin uutta tekniikkaa käyttäville vaihtoehtoilta on niiden potentiaalinen käytettävyys nykyisen autokannan polttomoottoreissa sekä helppous jakelussa polttoainejakeluverkoston kautta.

Tässä insinööriyössä keskitytään bioetanolista ja bensiinistä koostuvaan E85-korkeaseosetanoliiin. Insinööriyössä vertaillaan E85-korkeaseosetanolin ja 95 E10 -bensiiinin ominaisuuksia kirjallisuuslähteiden avulla. Sen lisäksi vertailua tuettiin käytännön kokeilla.

Kokeita varten koeautollemme tehtiin E85-muutostyö suomalaisen StepOne Tech Oy:n kehittämällä eFlexFuel E85 -päivityslaitteistolla. Tärkeimpänä tavoitteena oli selvittää 95 E10 -bensiinistä E85-korkeaseosetanolin käyttöön siirtymisen hyödyt ja haitat autoilijan näkökulmasta. Tavoitteena oli myös pohtia moottorin hyötysuhteen parantamista E85:n ominaisuuksia hyödyntämällä.

Työ tehtiin Metropolia Ammattikorkeakoululle ja työtapana oli kirjallisuuteen ja omien mitaustulosten arviointiin perustuva tutkimustyö. Polttoaineiden vertailua varten tehtiin teho-, polttoaineenkulutus- ja päästömittauksia kummallakin polttoaineella Metropolian autolaboratoriossa.

## 2 E85-korkeaseosetanoli

### 2.1 Valmistus, saatavuus ja verotus

Polttoainetta, joka sisältää vähintään 15 tilavuusprosenttia bensiiniä ja enintään 85 tilavuusprosenttia etanolia, kutsutaan E85-korkeaseosetanoliksi. Korkeaseosetanolissa käytettävää bioetanolia valmistetaan enimmäkseen sokereiden ja hiivan käymisellä eli fermentoinnilla. Yleisimpänä raaka-aineena käytetään sokerijuurikasta- ja ruokoa, mutta myös muita viljelyskasveja, kuten maissia ja vehnää käytetään. Suurimpia tuottajamaita ovat USA ja Brasilia, joista jälkimmäisessä bioetanolia on käytetty 1970-luvulta lähtien yhtenä tärkeimpänä liikennepolttoaineena. (1, s. 28; 2 s. 55.)

Suomessa bioetanolia valmistetaan elintarviketeollisuuden biojätteestä ja sen yksi merkittävä tuottaja on St1 Oy:n tytäryhtiö St1 Biofuels Oy. St1:n RE85-tuotenimellä myytävässä korkeaseosetanolissa etanolipitoisuus voi vaihdella 70–85 tilavuusprosentin välillä lähinnä vuodenajan mukaan. Talvella Suomen kylmistä olosuhteista johtuen tuotteen etanolipitoisuus voi olla pienempi kylmäkäynnistyksen helpottamiseksi. Biojätteestä valmistettava bioetanoli valmistetaan lähellä jätteen syntysijaa kuljetustarpeita ja samalla tuotannon fossiilista hiilijalanjälkeä vähentäen. (3; 4.)

St1 Biofuels Oy:n tavoitteena on kasvattaa tuotantoa huomattavasti vuoteen 2020 mennessä uusilla tuotantolaitoksilla. Tähän vaikuttaa uusiutuvan energian velvoite. EU on asettanut tavoitteeksi, että vuoteen 2020 mennessä 20 prosenttia liikennepolttoaineista tulisi olla uusiutuvaa. (5.)

Suomessa E85-polttoainetta myyviä huoltoasemaketjuja ovat St1:n lisäksi ABC sekä Shell. Kirjoitushetkellä E85-polttoainetta löytyi lähes 130 huoltoasemalta litrahinnan ollessa noin yhden euron tuntumassa. Vastaavasti 95 E10 -bensiinin keskihinta oli noin 1,50 euroa/litra. (6.)

Jakelupisteitä oli vuonna 2012 noin kolmekymmentä (7). Niiden määrä on siis yli nelinkertaistunut viidessä vuodessa ja kasvu näyttää jatkuvan. Insinööriyön käytännön kokeissa käytettiin St1:n RE85-korkeaseosetanolia sekä 95 E10 Extra -bensiiniä (kuva 1).





Kuva 1. Insinööriyön testeissä käytettyjä polttoaineita tankkauspisteessä.

Suomessa liikennepolttoaineiden energiaverotus perustuu hiilidioksidipäästöihin ja polttoaineen energiasisältöön eli sitä voidaan kutsua ympäristöohjaavaksi. Öljytuotteiden polttoainevero muodostuu energiasisältöverosta ja hiilidioksidiverosta sekä huoltovarmuusmaksusta. (8.)

Valmisteverolainsäädännössä määritellyn polttoaineveron suuruus on riippumaton kuluttajahinnasta, sillä se määritellään sentteinä tuotelitraa tai -kiloa kohti. Veron määrä ei vaihtele kuluttajahinnan mukaan, mutta prosentuaalinen osuus muuttuu kuluttajahinnan muuttuessa. (8.)

E85-korkeaseosetanolin verotuksessa huomioitavaa on biokomponenttien fossiilisia polttoaineita alhaisempi vero. Käytännössä vero muodostuu siis polttoaineessa käytettävien komponenttien mukaan. Mitä enemmän bensiiniä E85-korkeaseosetanoli sisältää, sitä suurempi vero on johtuen bensiinin korkeammasta verosta. (8.)

## 2.2 Polttoaineen ominaisuudet

### Puristuskestävyys

Puristuskestävyys ilmaisee polttoaineelle sallittua puristussuhdetta ennen moottorille vahingollista nakutusta. Nakutuksella tarkoitetaan polttoaineseoksen ennen aikaista syttymistä. Polttoainelaadun oktaaniluku kertoo sen puristuskestävyyden. Yleisimpänä oktaaniluvun yksikkönä käytetään niin sanottua RON-lukua (research octane number). 95E 10 -bensiinin RON-luku on 95 ja E85-korkeaseosetanolin vähintään 104. Korkeampi oktaaniluku tarkoittaa korkeampaa puristuskestävyyttä. (9.)

Etanolin bensiiniä korkeammasta puristuskestävyydestä johtuen E85 aiheuttaa vähemmän nakutusta kuin bensiini, ja sitä voidaan soveltaa esimerkiksi kilpakäytössä korkean viritystasteen moottoreissa. Korkea oktaaniluku vähentää vahingollisen nakutuksen riskiä ja mahdollistaa sytytysennakon ja puristussuhteen nostamisen sekä ahdetussa moottorissa korkeamman ahtopaineen käytön. (10.)

### Palamisnopeus

E85-korkeaseosetanolin palamisnopeus on noin 0,38 m/s ja 95 E10 -bensiinillä arvo on noin 0,34m/s. E85:n palamisnopeus on siis lähes 12 % 95 E10 -bensiniä nopeampi. Käytännössä E85:n palotapahtuma sylinterissä kestää kuitenkin bensiiniä hieman pidempään, sillä samalla teholla E85:n ainemäärä on suurempi. Ero on kuitenkin niin vähäinen, että normaalissa matalaviritteisessä henkilöauton moottorissa polttoaineen palamisnopeudenmuutosta ei tarvitse huomioida. (11, s. 29–36; 12.)

### Energiasisältö

Etanoli sisältää noin 35 % happea, mistä johtuen sen energiasisältö on alhaisempi kuin bensiinillä. Energiasisältöä mitataan lämpöarvolla. Mitä alhaisempi lämpöarvo on, sitä enemmän kuluu polttoainetta saman tehomäärän tuottamiseen moottorissa. Etanolin tehoallinen lämpömäärä on noin 27 MJ/kg. Bensiinillä vastaava arvo on noin 43 MJ/kg, siis etanolia huomattavasti suurempi. Etanolin energiasisällön alhaisuus näkyy käytännössä E85:llä 20–30 % suurempana polttoainekulutuksena bensiiniin verrattuna. (13, s. 9–10.)

## Höyrystyminen

Etanolin höyrystymislämpö on korkeampi kuin bensiinillä ja höyrynpaine on huomattavasti alhaisempi. Näistä ominaisuuksista johtuen puhdasta etanolia on vaikeampi saada alhaisilla lämpötiloilla höyrystymään ja tämä vaikuttaa suoraan etanolin syttymiseen tai toisin sanoen moottorin käynnistyvyyteen polttoainekäytössä. Kylmäkäynnistämisen parantamiseksi E85-polttoaineeseen on lisätty bensiiniä ja valtaosa E85:n käynnistymistä helpottavista höyryistä muodostuukin bensiinin komponenteista. (13, s. 10, s. 29.)

## Päästöt

E85-polttoainetta käyttävän auton päästöissä on pieniä eroja bensiinikäyttöiseen verrattuna. E85:lla HC- (palamattomat hiilivedyt) ja CO-päästöt (hiilimonoksidi) ovat lämpimissä olosuhteissa yhtä suuret tai pienemmät kuin bensiinillä. Kylmissä olosuhteissa päästöt voivat olla suurempia. NO<sub>x</sub>-päästöt (typen oksidit) ovat E85:lla yhtä suuret tai jopa 20 % pienemmät kuin bensiinillä. (14, s. 132–133.)

Merkittävä eroavaisuus löytyy aldehydipäästöistä, jotka kasvavat E85-polttoainetta käytettäessä. Aldehydipäästöt voivat olla bensiiniin verrattuna E85:lla yli kymmenkertaiset tai jopa satakertaiset kylmissä olosuhteissa (−7 °C). Aldehydeillä on osoitettu olevan haitallisia terveysvaikutuksia. Aldehydien määrä päästöissä kasvaa polttoaineen etanolipitoisuuden mukaan. Katalysaattorit pystyvät poistamaan pakokaasuista pieniä määriä aldehydejä, mutta suurempien määrien kanssa poistokyky voi heikentyä. (14, s. 133; 15.)

E85-polttoaineella varsinaiset pakoputkesta mitattavat CO<sub>2</sub>-päästöt (hiilidioksidi) ovat vain hieman pienemmät kuin bensiinillä. Biojätteistä peräisin olevaa etanolia pidetään kuitenkin lähes hiilidioksidineutraalina, sillä toisin kuin fossiilisten polttoaineiden kohdalla raaka-aineen sisältämä hiilidioksidi palaa takaisin kiertoon eli sen ajatellaan päätyvän muutenkin ilmakehään. (16, s. 39.)

## Vaikutus materiaaleihin

Etanolilla voi olla haitallisia vaikutuksia tavallisen bensiinikäyttöisen auton komponentteihin, jotka on alun perin suunniteltu vain bensiiniä silmällä pitäen. VTT:n tutkimuksen (13, s. 24) mukaan etanolin lisäämisellä 10 tilavuusprosenttiin asti ei ole merkittäviä vai-

kutuksia materiaaleihin. Suuremmilla etanolipitoisuuksilla suositellaan välttämään jatkuva kosketusta polttoaineeseen muun muassa sinkityillä osilla, pinnoittamattomilla ja seostamattomilla alumiiniosilla ja messinkisillä osilla. Muoveista ja kumeista ongelmia voi tulla ulkoisesti pehmitetyllä PVC:llä (polyvinyylidikloridi), polyeetteripohjaisella polyuretaanilla, nailonilla ja tavallisella kumilla.

Etanolin haitalliset vaikutukset perustuvat sen kemialliseen reagointiin eri aineiden kanssa. Etanoli on liuotin ja sitoo itseensä vettä. Sillä on korroosiota edistävä vaikutus, ja se voi esimerkiksi haurastaa etanolille sopimattomia polttoaineletkuja. Tehdasvalmisissa flexfuel-autoissa nämä seikat ovat jo lähtökohtaisesti materiaalivalinnoissa huomioitu, mutta esimerkiksi etanolikonversiossa on käyttäjän itse syytä pohtia etanolin sopivuutta eri komponenttien kanssa.

### 2.3 Flexfuel-autot (FFV)

FFV-auto (flexible-fuel vehicle) tai flexfuel-auto on polttomoottorilla varustettu auto, jossa voidaan käyttää polttoaineena sekä bensiiniä että etanolibensiiniseosta (E85). FFV-autolla E85-polttoainetta käytettäessä ei käytännössä pitäisi olla merkittävää eroa auton tehossa tai kiihtyvyydessä. Suurin ero tulee vastaan polttoaineenkulutuksessa. Etanolin bensiiniä alhaisemmasta energiasisällöstä johtuen polttoainetta kuluu n. 20–30 prosenttia enemmän. E85-polttoaine on kuitenkin Suomessa tällä hetkellä bensiiniä huomattavasti edullisempaa. (17.)

Etanolin käyttö henkilöautoissa juontaa juurensa ottomoottorin alkuaikoihin. Kenties tunnetuimpana etanolikokeilijana voidaan pitää Henry Fordia, jonka voidaan sanoa olleen aikaansa edellä ajatellessaan 1900-luvun alussa tulevaisuuden polttoaineeksi etanolia T-Fordia suunnitellessaan. T-Ford oli suunniteltu kulkemaan etanolilla tai bensiinillä säädettävän kaasuttimen avulla. (2, s. 7.)

Suomessa liikennekäytössä olevia flexfuel-autoja on Trafín ajoneuvotilastojen (18) mukaan alle neljä tuhatta. Määrä ei ole suuri, kun sitä verrataan vaikkapa liikennekäytössä olevien bensiinikäyttöisten autojen lukumäärään, vajaan kahteen miljoonaan. Ensirekisteröinnitkin ovat vähentyneet jyrkästi viime vuosina. Esimerkiksi vuoden 2015 ja 2016 ensirekisteröintitilastojen mukaan käyttövoimansa korkeaseosetanolista tai bensiinistä saavien autojen ensirekisteröintien määrä laski n. 87 prosenttia.

Flexfuel-autojen ensirekisteröintien määrän laskua Suomessa selittänee se, että monet autovalmistajat ovat joko lopettaneet tai lopettamassa FFV-autojen valmistamisen kokonaan. Näitä autovalmistajia ovat ainakin Ford, Audi ja Volvo, joiden flexfuel-mallit ovat esimerkiksi Ruotsissa olleet aiemmin erityisen suosittuja. Suosio on ollut seurausta Ruotsin edullisemmasta flexfuel-autojen verotuksesta. Sittenmin Ruotsissa kiinnostus flexfuel-autoja kohtaan on lopahtanut E85-polttoaineen hinnan nousun myötä. (19.)

Tehdasvalmisteisten flexfuel-autojen ohella vanhankin bensiinikäyttöisen auton voi muuttaa E85-polttoaineelle sopivaksi. Suomen markkinoilta löytyy tähän tarkoitukseen ainakin kaksi muutossarjaa, joiden hinnat ovat noin 200–500 euroa tuotteesta ja muutettavan auton sylinterimäärästä riippuen. Osittain tehdasvalmisteisten flexfuel-autojen epävarman tulevaisuudenkin takia tässä insinööriyössä haluttiin keskittyä juuri muutos-sarjalla tehtävään polttoainepäivitykseen.

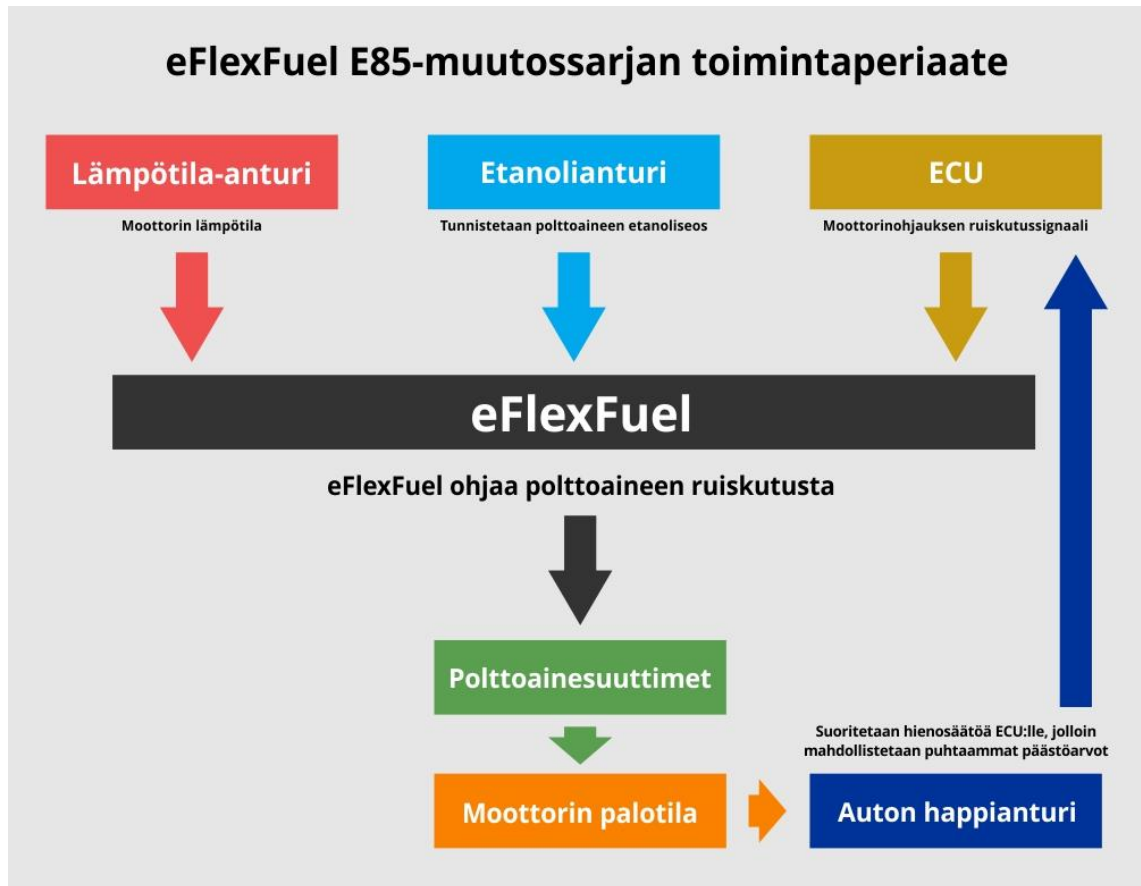
### 3 E85-muutostyö

#### 3.1 Koeauto

Muutostyön kohteena käytettiin bensiinikäyttöistä vuoden 2000 Nissan Primera -henkilöautoa 2-litraisella ja nelisynterisellä SR20DE-moottorilla. Muutostyötä ennen autolla oli ajettu noin 150 000 kilometriä bensiinillä. Auton yleinen toimintakunto ja lambdaan toiminta tarkastettiin ennen asennusta suoritettuna päästömittauksen perusteella. Muutosarjan valmistajan suosituksesta autoon vaihdettiin polttoainesuodatin ja sytytystulpat ennen asennusta. Muita muutoksia autoon ei tehty.

#### 3.2 eFlexFuel-laitteisto

Muutostyössä käytettiin suomalaisen StepOnetech Oy:n valmistamaa eFlexFuel-laitteistoa. Laite on suunniteltu täysautomaattiseksi E85-järjestelmäksi, jonka avulla bensiinikäyttöisessä autossa voidaan käyttää myös E85-polttoainetta. Laitteen toiminta perustuu polttoaineen ruiskutussignaalin muunteluun eli käytännössä ruiskutusajan pidentämiseen polttoaineen etanolipitoisuuden perusteella. Laitteessa sanotaan olevan myös oppiva kylmäkäynnistystoiminto kylmäkäynnistyksen helpottamiseksi. Kuvassa 2 havainnollistetaan laitteiston toimintaperiaatetta. (20.)



Kuva 2. eFlexFuelin toimintaperiaate (20).

Laitteiston komponentteja (kuva 3) ovat ohjainyksikön lisäksi etanolianturi, jonka avulla ohjainyksikkö säätelee polttoaineen ruiskutusta sekä johtosarja, lämpötila-anturi sekä moottorityypin mukaan valittavat suutinliittimet. Lämpötila-anturin avulla ohjainyksikkö osaa säätää kylmäkäynnistyksessä polttoaineseoksen rikastusta vallitsevan lämpötilan mukaan.



Kuva 3. Muutossarjan komponentit (20).

Muutossarjan toimintaa voi seurata Bluetooth-yhteyden avulla eFlexFuel Commander - mobiilisovelluksella. Sovelluksen kautta nähtäviä tietoja ovat polttoaineen etanolipitoisuus, suutinten käyttöaste ja moottorin säteilylämpötila.

### 3.3 Vaatimukset autolle

Muutossarja on tarkoitettu vain bensiinillä toimiviin moottoreihin, ja se soveltuu lähes kaikkiin moottorityyppeihin, joiden polttoaineensyöttö perustuu monipisteruiskutukseen. Muutossarjaa ei voida käyttää suoraruiskutukseen perustuvien moottorityyppien kuten Volkswagen-konsernin FSI:n ja TSI:n kanssa. Autolta vaaditaan normaalia toimintakuntoa ja lambda-anturin toimintaa. Laitteiston ja E85-polttoaineen kanssa polttoaineensyötön kasvaessa suutinten riittävyteen on myös kiinnitettävä huomiota. (21.)

Moottoriöljyn laaduksi suositellaan API SN -luokitettua öljyä (21). API SN on vuonna 2010 esitetty luokitus, jossa on otettu erityisesti huomioon yhteensopivuus tiivistemateriaalien kanssa ja voitelukykyyn säilyminen E85-polttoainetta käytettäessä (22).



### 3.4 Lambda-anturin toiminta

Lambda-anturin tehtävä on mitata pakokaasujen jäännöshapen pitoisuutta ja kertoa se sähköisellä ohjaussignaalilla moottorinohjaukselle. Henkilöautoissa yleisesti käytössä oleva kapeakaistainen lambda-anturi mittaa, onko seos laihaa vai rikasta. Seosta kutsutaan laihaaksi, kun siinä on liian paljon happea suhteessa polttoaineeseen ja rikkaaksi, kun polttoainetta on liian paljon suhteessa ilmaan. (23.)

Seossuhteen eli lambda-arvon ( $\lambda$ ) ollessa 1 seos on stoikiometrinen. Lambda-arvon ollessa yksi on polttoaineseoksessa juuri se määrä happea, jolla polttoaine palaa täydellisesti. Moottorinohjaus pyrkii säätämään lambda-antaman signaalin avulla seossuhteen stoikiometriseksi, jolloin moottoritehon, päästöjen ja kulutuksen suhde on ihanteellisin. (23.)

Muutettaessa bensiiniauto toimimaan E85-korkeaseosetanolilla ei muutoksia lambda-anturin toimintaan tarvita, sillä lambda-anturi mittaa vain jäännöshapen määrää eli palotapahtuman täydellisyyttä. Lambda on ihannearvossaan 95 E10:llä, kun ilman ja polttoaineen suhde on 14,7. E85:llä suhde on 9,1 eli ilmaa tarvitaan vähemmän. Näillä suhteilla molemmilla polttoaineilla lambda-arvo on yksi. Flexfuel-autoissa on usein molempia polttoaineita samaan aikaan tankattuna, jolloin lambda-arvo 1 syntyy seossuhteiden 9,1 ja 14,7 välillä.

### 3.5 Muutoskatsastus

Muutossarjan asennuksen jälkeen auto on muutoskatsastettava, jotta sitä voidaan laillisesti käyttää tieliikenteessä. Vuonna 2016 otettiin käyttöön etanolimuunnetun auton muutoskatsastusta koskeva kevennetty menettely, jonka mukaan muunnossarjan valmistajan tyyppikohtainen selvitys riittää eikä muunnoslaitteiston valmistajan tarvitse antaa selvitystä laitteiston toimivuudesta päästöjen osalta kyseisessä ajoneuvotyypissä. Lisäksi aikaisempi vaatimus moottorinlämmittimen pakollisuudesta poistettiin. Aikaisemmin muutoslaitteiston asentamisen sai suorittaa vain laitteiston valmistajan valtuuttama pätevä asentaja, mutta tämäkin vaatimus on poistettu. Tämä lisää teknisesti suhteellisen yksinkertaisen muutostyön kiinnostavuutta ja vähentää siitä aiheutuvia kustannuksia omatoimiselle autoilijalle. (24; 25.)

Etanolikäyttöiseksi voidaan muuttaa viimeistään 31.12.2006 käyttöönotettu Euro 1-, 2- tai 3-päästönormin mukainen bensiinikäyttöinen auto. Myös vanhimmat Euro 4 -päästönormin mukaiset autot on mahdollista muutoskatsastaa, kunhan käyttöönotto on tapahtunut ennen 1.1.2007. (25.)

### 3.6 Muutossarjan asentaminen

Muutossarja asennettiin koeautoon valmistajan käyttöohjeita (21) noudattaen. Asentamisessa tarvittiin tavanomaisia työkaluja kuten ruuvimeisseliä polttoaineletkun kiristämiseksi ja yleismittaria suutinliitinten napaisuuden tarkistamiseen. Ohjainyksikkö asennettiin tukevasti sellaiseen paikkaan, missä se ei ole tiellä eikä altistuneena korkeille lämpötiloille. Ohjainyksikön ja suutinten välille liitettiin johtosarja, jonka kautta ohjainyksikkö saa +12 V:n käyttöjännitteensä ja lähettää suutinten avautumista ohjailevan signaalin. Ohjainyksikkö maadoitettiin auton koriin omalla maadoituskaapelillaan. Lämpötila-anturi sijoitettiin niin, että se tunnistaa moottorin lämpötilan mahdollisimman hyvin. Hyvänä sijoituspaikkana voi olla esimerkiksi moottorin sylinterikannen pinta, jota tässä asennuksessa myös käytettiin. Etanolisensori asennettiin polttoainelinjaan mahdollisimman lähelle polttoainekiskoa.

Asentamisessa ei havaittu ongelmia ja koeautomme kohdalla asennus koettiin helpoksi ja nopeaksi. Muutossarjan voi myös halutessaan asentuttaa valmistajan valtuuttamissa asennuspisteissä.

## 4 Koejärjestelyt

Työn tarkoituksena oli verrata 95 E10 -bensiniin ja E85-korkeaseosetanolin käyttöä henkilöautossa. Kirjallisuustietoja haluttiin täydentää kokeilla, joiden tarkoituksena oli havainnoida työn teoriapohjan toteutumista käytännössä. Vertailun tavoitteena ei ollut tuottaa täysin tieteellistä tutkimusta vastaavaa selvitystyötä, ja tästä syystä esimerkiksi tulosten tarkempaan virhearviointiin ei paneuduta. Tuloksia arvioidaan käytännönläheisesti havaintojen ja pohdinnan kautta.

Testien vertailukohteiksi valittiin polttoaineenkulutus, moottoriteho ja pakokaasupäästöt. Lisäksi haluttiin tutkia etanolin korkeammasta oktaaniluvusta saatavaa etua moottorin tehon lisäämisessä sytytysennakkoa säätämällä. Mittaukset tehtiin Metropolian autolaboratoriossa. Laitteistona käytettiin MAHA LPS 3000 PKW -alustadynamometriä ja AVL Gas 1000 -pakokaasuanalysointia sekä polttoaineen punnituksessa digitaalista ripustusvaakaa (mittaustarkkuus 20 g).

### 4.1 Kulutusmittaus

Polttoaineenkulutusta mitattiin dynamometrillä yhtä suurella kuormalla kummallakin eri polttoaineella. Mittausta varten tehtiin kuvan 4 mukainen ulkoinen polttoainejärjestelmä, joka koostuu polttoainesäiliöstä ja -pumpusta sekä polttoainekiskoon liitettävistä sisäänmeno- ja paluuletkuista. Polttoainelinjassa käytettiin moottorin omaa paineensäädintä. Sisäänmenoletkun välille liitettiin polttoainesuodatin ja polttoainetankille tehtiin linja korvausilmalle.

Polttoaineiden etanolipitoisuudet tarkastettiin eFlexFuel Commander -sovelluksella etanolianturin tietoihin perustuen. Polttoaineenkulutus mitattiin punnitsemalla ulkoisen polttoainesäiliön massa ennen kulutustestin aloittamista ja sen jälkeen. Punnitustulosten erotuksesta saatiin laskettua testissä kuluneen polttoaineen massa.



Kuva 4. Kulutusmittaukseen tehty ulkoinen polttoainesäiliö.

Testi aloitettiin täyttämällä ulkoinen polttoainesäiliö ja tyhjentämällä auton polttoainekis-koon jäänyt polttoaine. Tämän jälkeen säiliölle tehtiin alkutilanteen punnitus.

Kuorman simulointiin valittiin maksiminopeudeksi 80 km/h ja autoa ajettiin dynamomet-rillä 40 minuuttia nelosvaihteella moottorin kaasuläppä tasakaasulle lukittuna. Dynamo-metrillä mitattuna kuorman suuruus oli noin 13 kilowattia. Mittausajan päätyttyä moottori sammutettiin ja ulkoinen polttoainejärjestelmä otettiin irti loppupunnitusta varten. Testi toistettiin sekä E85:llä että 95 E10:llä.

## 4.2 Tehomittaus

### 4.2.1 E85 ja 95 E10

Moottorin huipputeho mitattiin dynamometrillä (kuva 4) ensin 95 E10:llä ja sen jälkeen E85:llä. Dynamometrillä mitattiin moottoriteho ja moottorin vääntömomenti kierrosno-peudesta 2000 (kierroksia minuutissa) alkaen ja päättyen kierrosnopeuteen 6500.



Kuva 5. Moottorin tehomittaus MAHA LPS 3000 PKW -alustadynamometrillä

#### 4.2.2 E85 ja sytytyksen ajoitus

Suomessa myytävät polttoaineet ovat kansainvälisessä vertailussa hyvälaatuisia ja korkeakantaanisia. Tehdasasetuksissa autot säädetään toimimaan luotettavasti myös puristuskestävyydeltään heikommilla bensiinilaaduilla. Koska koeautossa sytytyksensäätö on toteutettu yksinkertaisesti, sen kokeileminen koettiin mielekkääksi.

Etanolin korkeampi puristuskestävyys mahdollistaa aikaisemman sytytyksen ilman nakutusta. Koeautomme moottorissa sytytysennakkoa säädettiin virranjakajan asentoa kiertämällä. Sytytysennakon asteluku tarkistettiin ajoituslampulla kampiakselin hihnapyörältä. Tehdasasetuksena ajoitus on säädetty 15 asteeseen. Koska haluttiin tutkia sytytysennakon vaikutusta moottoritehoon, päädyttiin kokeilemaan sytytysennakkoa 10-20 asteen välillä. Pohjatietona raja-arvoille käytettiin MIT:n (Massachusetts Institute of Technology) tutkimusta (11, s. 41), jonka mukaan suurin puristusaine saavutettaisiin noin 20–17 asteen sytytysennakolla. Nakutuksen kannalta turvalliset raja-arvot määriteltiin dynamometrissä nakutuskuulokkeiden avulla 95 E10-polttoaineella. Tehomittaus tehtiin E85:llä ja sytytysennakko pidettiin raja-arvojen sisällä, sillä raja-arvoja ylittämällä ei saavutettu enää korkeampaa tehoa.

#### 4.3 Päästömittaus

Pakokaasupäästöt mitattiin tehomittauksen yhteydessä pakokaasuanalysointilaitteella joutokäynnillä (kierrosnopeudella 800) ja korotetulla tyhjäkäynnillä (kierrosnopeudella 2000). Päästöistä mitattiin hiilimonoksidi (CO), palamattomat hiilivedyt (HC), hiilidioksidi (CO<sub>2</sub>), happi (O<sub>2</sub>) ja jäännöshapen määrää kuvaava lambda-arvo.

## 5 Tulosten vertailu

### 5.1 Polttoaineenkulutus

Polttoaineenkulutusta mitattiin punnitsemalla polttoaineen massa. Koska henkilöauton polttoaineenkulutuksessa käytetään yleensä suurena tilavuutta (l), muutettiin saadut mittaustulokset kilogrammoista litroiksi. Tähän käytettiin St1:n tuotetiedoista (4; 26) saatuja tiheyden arvoja.

Taulukon 1 mittaustuloksissa E85-korkeaseosetanolin kulutukseksi mitattiin 4,96 kg ja 95 E10 -benssiinin 3,86 kg. Laskuja varten tiheys muutettiin muotoon  $\text{kg/dm}^3$ . Mitattu kulutus jaettiin polttoaineen tiheydellä, josta lopputulokseksi saatiin kulutus litroina. Kulutuksen suhde kuvaa litrakulutuksien suhdetta toisiinsa ja se laskettiin litrakulutuksien osamääristä.

Taulukko 1. Kulutusmittauksen tulokset

Polttoaine	Mitattu kulutus kg	Polttoaineen tiheys $\text{kg/m}^3$ (15 °C)	Kulutus litroina	Kulutuksen suhde
<b>E85</b>	4,96	778	6,38	1,24
<b>95 E10</b>	3,86	750	5,15	0,81

Tuloksista huomataan, että E85-korkeaseosetanolia kului lähes neljäsosa (24 %) enemmän kuin 95 E10:tä. Vaikka etanolin tiheys on bensiiniä suurempi, sen energiasisältö on kuitenkin bensiiniä alhaisempi. Tämän takia polttoainetta tarvitaan enemmän saman tehon saavuttamiseksi kuin bensiinillä, mikä myös testituloksista voidaan havaita.

eFlexFuelin valmistajan mukaan (20) E85:lla polttoainetta kuluu noin 28 % bensiiniä enemmän. Tätä alkuolettaa alhaisempaa testikulutusta selittänee mahdollisesti talvilaatuisen E85:n suhteellisen matala noin 76 %:n etanolipitoisuus ja käytettyjen menetelmien mahdolliset mittavirheet.

Kuluttajan kannalta kiinnostavaa polttoaineen valinnassa on pääasiassa polttoaineen kulutuksesta ja hinnasta aiheutuvat kustannukset. Kirjoitushetkellä bensiinin litrahinta oli

noin 1,5-kertainen E85:een verrattuna. Taulukossa 2 litrahintoina käytettiin Öljy- ja biopolttoaine ry:n öljytuotteiden kuluttajahintaseurannan (27) 15.4.2017 päivitettyjä kuuden kaupungin otantaan perustuvia keskihintoja.

Polttoainekustannus saatiin kulutuksen ja polttoaineen litrahinnan tulosta, joka kertoo kulutusmittauksessa kuluneen polttoainemäärän kokonaishinnan. Polttoainekustannusten osamääristä saatiin kustannusten suhdetta toisiinsa kuvaava kustannuksen suhde, jota voidaan käyttää polttoainekulutuksen kokonaishinnan laskemiseen eri polttoaineilla.

Taulukko 2. Kulutuskustannukset

Polttoaine	Kulutus litroina	Polttoaineen hinta € / l	Polttoainekustannus €	Kustannuksen suhde
E85	6,38	1,000	6,38	0,84
95 E10	5,15	1,471	7,58	1,19

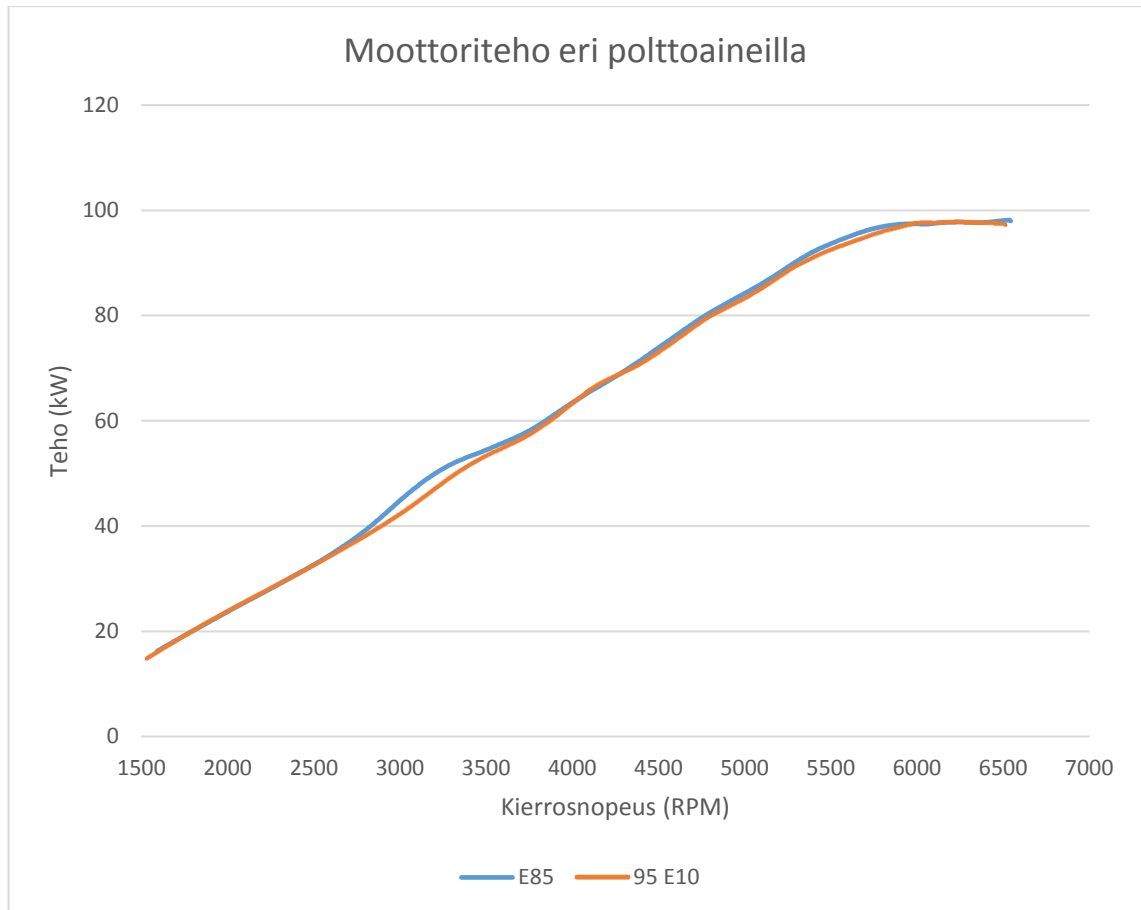
Taulukon 2 kustannuksen suhteesta nähdään, että kulutusmittauksen tuloksilla ja valituilla hinnoilla 95 E10:llä kustannukset ovat noin 19 % E85:tä suuremmat. Käytettäessä E85-korkeaseosetanolia sen alhaisempi litrahinta kompensoi suurempaa kulutusta.

## 5.2 Moottoriteho

### 5.2.1 E85 ja 95 E10

Tehomittausten tuloksista vertailtiin moottoritehoa sekä moottorin vääntömomenttia. Mittaustulokset asetettiin yhteen moottoritehoa ja toiseen moottorin vääntöä kuvaavaan kaavioon. Vertailun havainnollistamiseksi kummankin eri polttoaineen tulokset näkyvät samoissa kaavioissa. Moottoritehon tulokset näkyvät kuviossa 1 ja moottorin vääntömomentin tulokset kuviossa 2.

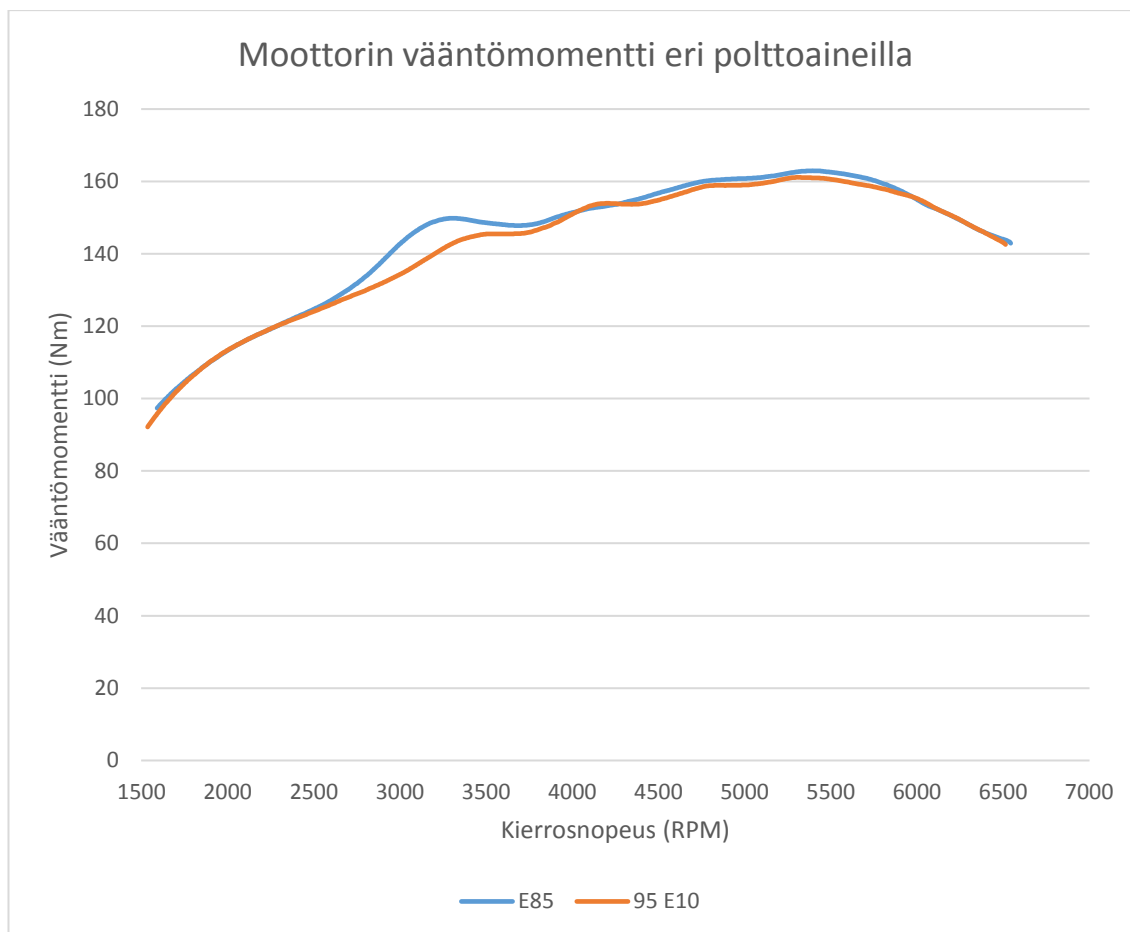




Kuvio 1. Moottoriteho E85- ja 95 E10 -polttoaineilla.

Kuvion 1 tehokäyristä huomataan, että moottoritehossa ei ole suurta eroa eri polttoaineilla. Tämä tukee olettamaa, jonka mukaan flexfuel-autossa polttoaineen ei pitäisi vaikuttaa sen tuottamaan tehoon. Kuvaajasta voidaan päätellä, että muutossarjalla ohjattu polttoaineenrikastus E85:lla toimii käytännössä vähintäänkin riittävästi eri kierrosalueilla.

Tehokäyristä voidaan havaita E85-polttoaineella maksimissaan noin 3 kilowatin tehon nousu kierroslukujen 2700 ja 3500 välillä. Tämä ero voi selittyä etanolin korkeammalla palamisnopeudella tai rikkaammalla seossuhteella. Dynamometrillä ajettaessa autossa ei ollut laajakaistalambdamittaria, joten tarkempaa seossuhdetta ei saatu selville.



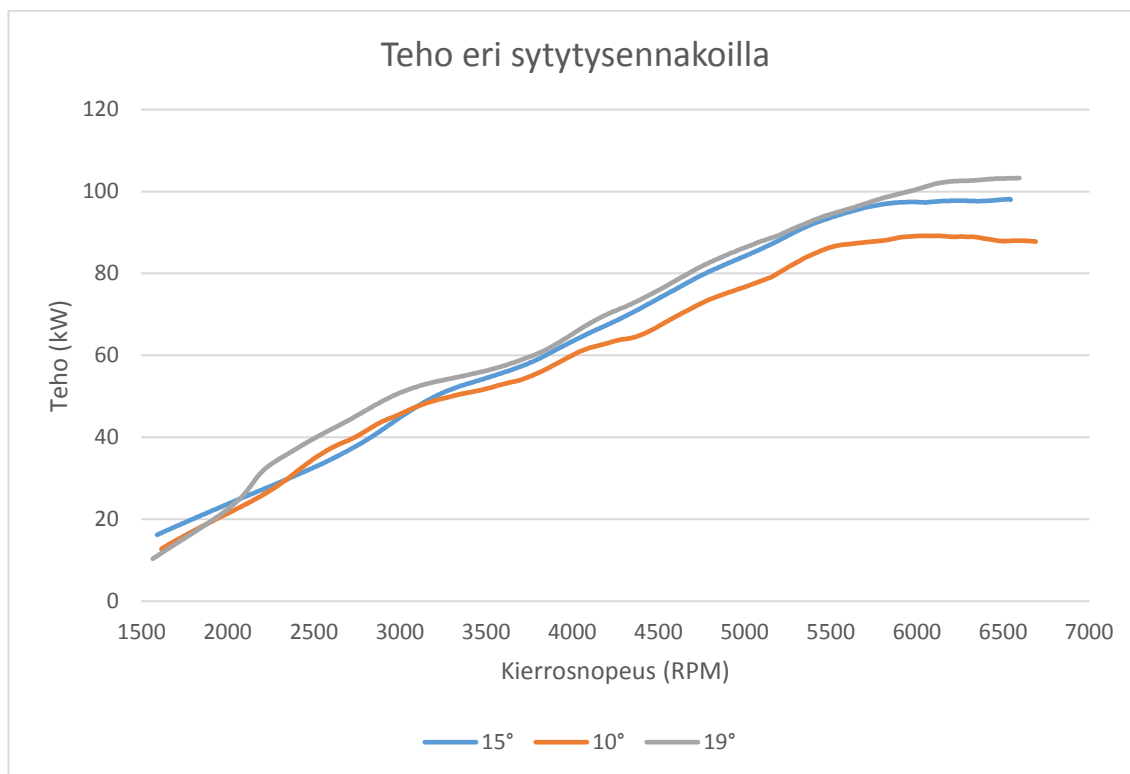
Kuvio 2. Moottorin vääntömomentti E85- ja 95 E10 -polttoaineilla.

Kuvion 2 mukaisista vääntömomentin tuloksista huomataan, että moottorin vääntömomentti kasvoi hieman polttoaineen vaihdon myötä E85:llä. Suurin ero vääntömomentissa tapahtui kierrosluvuilla 2500–3700, jolloin saavutettiin maksimissaan noin 6 newtonmetrin ero väännössä. Tuloksista voidaan havaita, että E85:llä moottorin vääntömomentti on koko kierrosalueella vähintään yhtä korkea kuin bensiinillä.

### 5.2.2 E85 ja sytytyksen ajoitus

Sytytyssennakon lisäämisen tiedetään vaikuttavan moottorin tehoon ja vääntöön kasvattamalla huippupainetta sylinterissä. Sen vaikutuksen suuruudesta haluttiin saada tarkempaa tietoa käytännössä. Sytytyssennakon asteluvuiksi valittiin kolme eri säätöarvoa ja näillä saadut tulokset näkyvät kuviossa 3. Astelukujen arvot valittiin kokeilemalla eri astelukuja ennalta määritettyjen turvallisten raja-arvojen sisällä ja tuloksiin käytettiin ver-

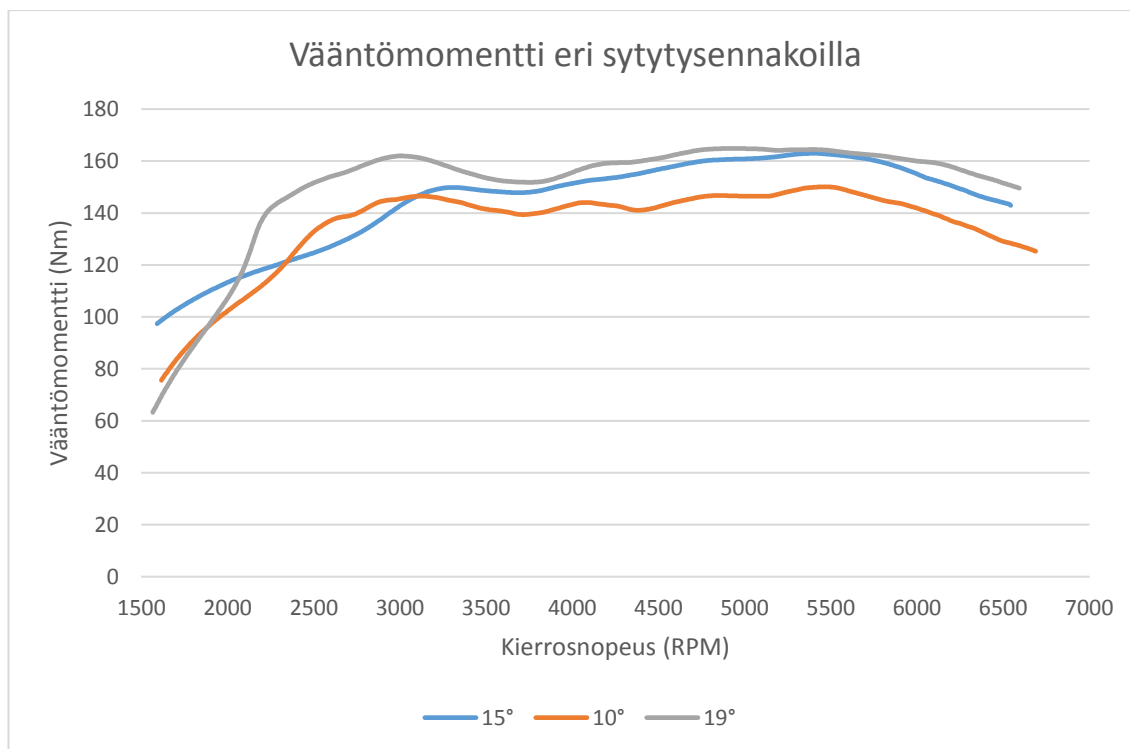
tailuarvoina tehdasasetusta 15°, sitä myöhäisempää ennakon arvoa 10° sekä aikaisempaa ennakon arvoa 19°. Jokaisella kolmella arvolla moottori toimi normaalisti eikä käynnissä huomannut eroa.



Kuvio 3. Moottoriteho eri sytytysennakoilla (E85-polttoaineella).

Kuvion 3 tehokäyrästä nähdään, että dynamometrissä E85-korkeaseosetanolilla saatiin paras teho sytytysennakon ollessa 19 astetta. Tästä arvosta sytytysennakkoa nostamalla tehon huomattiin laskevan. Tehokäyrästä voidaan havaita, että hieman yllättäen sytytyksen säätö 10 asteeseen toi pienen tehonlisäyksen kierroslukujen 2500 ja 3000 välillä. Tämä tehoero on mahdollisesti selitettävissä moottorin geometrialla. Kierrosluvusta 3000 lähtien myöhäisempi 10 asteen sytytys antoi heikomman tehon kuin 15 ja 19 asteen sytytysennakot, kuten oletuksenakin oli.

Dynamometrillä hieman erilaisista lähtökiihdytyksistä johtuen tehokäyrää on mielekästä tulkita vasta kierrosluvulta 2000 lähtien. Sytytysennakon aikaistaminen tehdasarvosta 15 astetta lukemaan 19 astetta tuotti lähes koko kierrosalueelle paremman moottoritehon. Tehonkasvua kierroslukujen 2000 ja 3200 välillä syntyi maksimissaan noin +7 kilowattia tehdasasetukseen verrattuna. Sitä voi pitää huomattavana erona etenkin, kun ajatellaan, että moottoria enimmäkseen käytetään juuri tällä kierrosvälillä normaalin ajon aikana.



Kuvio 4. Moottorin vääntömomentti eri sytytysennakoilla (E85-polttoaineella).

Kuvion 4 vääntömomentin tuloksista nähdään, että 15 ja 19 asteen sytytysennakoilla on huomattava suurimmillaan noin 27 newtonmetrin ero kierroslukujen 2000 ja 3200 välillä. Vääntömomentti pysyi 19 asteen sytytysennakolla tehdasasetusta korkeamana.

10 asteen sytytysennakolla vääntömomentti on kierrosluvusta 3000 lähtien huomattavasti alhaisempi kuin tehdasasetuksella 15 astetta.

### 5.3 Päästöt

Päästömittausten tulokset näkyvät taulukossa 3. Erot päästöissä eri polttoaineilla ja säädöillä ovat pieniä. E85:lla päästöarvoissa huomataan lievää laskua lähes jokaisella mitatulla arvolla, mutta erot ovat niin pieniä, että niistä ei voida vetää suuria johtopäätöksiä. Pelkästään jo moottorin käyntilämpötilojen erot mittausten välillä voivat vaikuttaa pakokaasupäästöihin. Huomionarvoista on kuitenkin, että jokaisessa testivaiheessa auton pakokaasupäästöt alittivat sille asetetut määräaikaikaisastuksen pakokaasupäästörajat.

Taulukko 3. Päästöarvot joutokäynnillä ja korotetulla joutokäynnillä.

	<b>95 E10</b>	<b>E85</b>	<b>E85 (19 °)</b>
<b>Pyörintänopeus</b>	810	810	820
<b>Lambda</b>	0,988	1,005	1,003
<b>CO</b>	0,02	0	0
<b>HC</b>	18	3	18
<b>CO2</b>	15,02	14,78	14,49
<b>O2</b>	0	0,12	0,08
	<b>95 E10</b>	<b>E85</b>	<b>E85 (19 °)</b>
<b>Pyörintänopeus</b>	2000	2000	2020
<b>Lambda</b>	0,996	0,999	0,994
<b>CO</b>	0,11	0,02	0,14
<b>HC</b>	18	9	32
<b>CO2</b>	14,82	14,77	14,29
<b>O2</b>	0,04	0	0

## 6 Hyötysuhteen parantaminen

### 6.1 Puristussuhde

Moottorin puristussuhde määrittää, kuinka paljon ilman ja polttonesteen seos puristuu sylinterissä, kun mäntä on noussut puristustahdissa yläkuolo kohtaansa. Puristussuhteella on merkittävä vaikutus moottorin termiseen hyötysuhteeseen. Terminen hyötysuhde ilmaisee polttoaineesta saatavan energian määrän sen palaessa. Kun moottorin puristussuhdetta nostetaan, kasvatetaan samalla sen hyötysuhdetta. Puristussuhdetta ei voi kuitenkaan rajattomasti nostaa, sillä polttoaineen puristuskestävyys asettaa sille rajat. Polttoaine kuumenee huomattavasti paineen kasvaessa, jolloin polttoaine saattaa syttyä hallitsemattomasti ennen varsinaista sytytyshetkeä. Tämä polttoaineen itsesytyminen tunnetaan nakutuksena ja se on erittäin haitallista moottorille. Etanolin puristuskestävyys on huomattavasti 95 E10 -bensiniä korkeampi, jolloin siirryttäessä käyttämään E85-korkeaseosetanolia on mahdollista muokata moottorin puristussuhdetta korkeammaksi hyötysuhteen ja moottoritehon parantamiseksi. (28.)

Koeauto Nissan Primera on varustettu kaksilitraisella SR20DE-moottorilla, jonka puristussuhde on 9,5:1, eli seos puristetaan puristustahdissa 9,5 kertaa lähtöarvoaan pienempään tilaan. Tässä insinööriyössä moottorin puristussuhdetta ei muutettu, mutta sitä pohditaan esimerkeillä. Alla olevassa laskussa esitetään termisen hyötysuhteen ja puristussuhteen kaavalla (28) moottorin hyötysuhteen muutosta puristussuhteesta 9,5:1 arvoon 12,0:1.

$$E = 1 - \left( \frac{1}{R^{k-1}} \right)$$

E on termisen hyötysuhde

R on puristussuhde

k on adiabaattinen vakio (ilmalla 1,4)

Koeauton teoreettiseksi termiseksi hyötysuhteeksi  $E_{9,5}$  saadaan vakioarvoilla kaavaan sijoittaen

$$E_{9,5} = 1 - \left( \frac{1}{9,5^{1,4-1}} \right) = 0,594 \approx 59 \%$$

Jos puristussuhde nostetaan 12,0:1:een, teoreettiseksi termiseksi hyötysuhteeksi  $E_{12}$  saadaan

$$E_{12} = 1 - \left( \frac{1}{12^{1,4-1}} \right) = 0,629 \approx 63 \%$$

Tuloksista nähdään, että hyötysuhteiden ero on noin 4 prosenttiyksikköä.

Esimerkissä valittiin yläarvoksi puristussuhde 12,0:1, sillä sitä pidetään yleisesti turvallisena maksimiarvona 98-oktaaniselle polttoaineelle. Puristussuhteella 12,0:1 olisi suositeltavaa ajaa vähintään 98-oktaanisella polttoaineella nakutusriskin ehkäisemiseksi eli käytännössä E85-korkeaseosetanolilla tai 98 E5 -bensiinillä. Puristussuhdetta olisi mahdollista kasvattaa vielä korkeammalle, mutta silloin flexfuel-ominaisuudesta pitäisi luopua.

Jos moottori säädettäisiin toimimaan pelkästään E85-korkeaseosetanolilla, puristussuhdetta olisi mahdollista nostaa esimerkiksi jopa 16,0:1:een (29). Näin äärimmäistä muutosta voisi soveltaa korkeavirtteisessä kilpa-autossa, jossa moottorin komponentit ovat suunniteltu kestäämään korkeita puristuspaineita. Teoreettiseksi termiseksi hyötysuhteeksi 16,0:1:n puristussuhteella saadaan

$$E_{16} = 1 - \left( \frac{1}{16^{1,4-1}} \right) = 0,670 \approx 67 \%$$

Moottorin termisessä hyötysuhteessa olisi teoriassa eroa n. 8 prosenttiyksikköä vakioarvoihin verrattuna.

## 6.2 Sytytyksen ajoitus

Polttomoottorin sytytysennakon säädöllä tarkoitetaan yleisesti moottorin sytytyksen ajoituksen säätämistä sytyttämään kipinä sytytystulpassa halutulla asteluvulla ennen kuin mäntä tulee yläkuolo kohtaansa. Johtuen palotapahtuman hitaudesta ilman ja polttoaineen seos tulee sytyttää jo puristustahdin aikana.

Normaaleissa bensiinikäyttöisissä henkilöautojen moottoreissa sytytysennakko on säädetty yleensä 10 ja 17 asteen välille, jolloin moottori saadaan toimimaan ilman haitallisen nakutuksen riskiä. Sytytysennakolla pyritään saamaan sylinterin paine nousemaan maksimiarvoonsa noin 15 ja 20 asteen välillä yläkuolokohdan jälkeen, jolloin moottori tuottaa parhaan tehon. (30.)

Sytytysennakon ihanteellinen säätöarvo tehon kannalta on riippuvainen käytetystä polttoaineesta, ilman ja polttoaineen seossuhteesta, kierrosluvusta, moottorin kuormasta ja moottorin geometriasta. Käytettäessä E85-korkeaseosetanolia sytytystä saadaan melko turvallisesti säädettyä aikaisemmalle E85:n korkeasta yli 104 oktaaniluvusta johtuen.



## 7 Yhteenveto

Insinööriyössä tutustuttiin E85-polttoaineeseen ja sen tarkoituksena oli selvittää 95 E10 -bensiinistä E85-korkeaseosetanolin siirtymisen hyviä ja huonoja puolia. Lähteistä kerättyjen tietojen tueksi polttoaineita vertailtiin E85-päivitetyllä autolla autolaboratoriossa, jotta mahdollisia eroja voitaisiin todeta myös käytännössä.

Suurimpana kannustimena muutokselle ajateltiin mahdollista säästöä polttoainekustannuksissa. Kulutukseen suhteutettuna E85:llä saatiin 95 E10:tä pienemmät polttokustannukset, joten sitä voidaan pitää E85:n etuna. Tässä on kuitenkin huomioitava polttoainesten hinnanvaihtelua, joka vaikuttaa suoraan E85:lla ajamisen kannattavuuteen. Muutossarjan hyvänä puolena voidaan pitää flexfuel-ominaisuutta eli toimivuutta kummankin polttoaineen kanssa samanaikaisesti. Jos E85:n hinta nousee, on aina mahdollista palata takaisin bensiiniin.

Moottoritehossa ja väännössä ei ollut perussäädöillä merkittävää eroa. Muutos oli tulosten perusteella varovasti sanoen lievästi positiivinen E85:n eduksi. Sytytyksen aikaistamisella saatiin selkeämpi ero tehoon ja vääntöön.

Pakokaasupäästöissäkään ei havaittu suurta eroa. Osa päästöarvoista laski hieman ja koeauto pysyi pakokaasupäästöiltään sallituissa raja-arvoissa, mikä lienee autoilijalle tärkeintä muutos- ja määräaikaistarkastuksia ajatellen.

Etanolin kemiallisista ominaisuuksista johtuen E85 voi reagoida tiettyjen metallien ja muovien kanssa. Alttiina olevia kohteita autossa ovat esimerkiksi polttoainelinjaston komponentit (polttoainepumppu, -suuttimet ja -letkut) jotka ovat jatkuvassa kosketuksessa polttoaineen kanssa. Koeautomme oli insinööriyönteon aikana normaalissa käytössä toisella insinööriyöntekijöistä ja siinä ei ilmennyt etanolin syövyttävyydestä johtuvia näkyviä tai toiminnallisia ongelmia käytön aikana. Etanolista aiheutuvat haitalliset vaikutukset näkyvät kuitenkin yleensä vasta pidemmän ajan jälkeen ja tässä työssä asiaa ei päästy tarkemmin tutkimaan. Tässä työssä tyydytään toteamaan, että asiaan on syytä kiinnittää autokohtaisesti huomiota E85-päivityksen yhteydessä.

Insinööriyötä tehtiin keväällä 2017 ja vuodenaikasta johtuen E85:n kylmäkäynnistysominaisuuksia päästiin testaamaan käytännössä. Alle 0 °C:n lämpötilassa pelkällä E85:llä koeauton käynnistyvydessä havaittiin lieviä, joskin satunnaisia käynnistysvaikeuksia.

Ongelmat hävisivät, kun polttoainesäiliöön lisättiin hieman bensiiniä etanolipitoisuuden alentamiseksi. Muutossarjan niin sanottua oppivaa kylmäkäynnistystoimintoa olisi ollut mielenkiintoista testata esimerkiksi kylmälaboratoriossa tarkemmin.

Aihetta käsiteltiin melko pintapuolisesti, sillä sen syvällisempään tutkimiseen ei ollut riittävästi aikaa. Esimerkiksi hyötysuhteen parantamiseen käytännössä ja materiaalien sekä komponenttien kestävyys oli ollut mielenkiintoista perehtyä tarkemmin. Työssä päästiin kuitenkin käytännönläheisellä vertailulla sen tavoitteisiin, ja siitä muodostui informatiivinen kokonaisuus esimerkiksi E85-polttoaineen käyttöä muutossarjan avulla harkitsevalle autoilijalle.

## Lähteet

- 1 Rättö, Marjaana, Vikman, Minna & Siika-aho, Matti. 2009. Yhdyskuntajätteen hyödyntäminen biojalostamossa. Verkkodokumentti. Helsinki: VTT. <[www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2009/T2494.pdf](http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2009/T2494.pdf)>. Luettu 20.3.2017.
- 2 Soetaert, Wim & Vandamme, Erick J. 2009. Biofuels. Ghent University: Wiley.
- 3 RE85 - Tehokkaampi bioetanoli suomalaisesta jätteestä. 2017. Verkkodokumentti. St1 Oy. <[www.st1.fi/tuotteet/re85](http://www.st1.fi/tuotteet/re85)>. Luettu 15.3.2017.
- 4 Korkeaseosetanoli RE85, tuotetieto. 2014. Verkkodokumentti. St1 Oy. <[www.st1.fi/files/12697/RE85\\_tuotetieto\\_joulu2014.pdf](http://www.st1.fi/files/12697/RE85_tuotetieto_joulu2014.pdf)>. Luettu 15.3.2017.
- 5 Pöntinen, Anu. 2015. Bioetanolin tuotantoa lisätään Suomessa huomattavasti – ekoautoilu käy houkuttelevammaksi myös hintatietoiselle. Verkkodokumentti. Yle. <[www.yle.fi/uutiset/3-8431454](http://www.yle.fi/uutiset/3-8431454)>. Luettu 20.3.2017.
- 6 Suomen E85- ja RE85-asetat. 2017. Verkkodokumentti. StepOnetech Oy. <[www.eflexfuel.fi/e85\\_asetat](http://www.eflexfuel.fi/e85_asetat)>. Luettu 25.4.2017.
- 7 Kannattaako vaihtaa etanoliin? 2012. Verkkodokumentti. Iltalehti. <[www.iltalehti.fi/autot/2012020315148620\\_au.shtml](http://www.iltalehti.fi/autot/2012020315148620_au.shtml)>. Luettu 3.4.2017.
- 8 Polttoaineverotus. 2017. Verkkodokumentti. Öljy- ja biopolttoaineala ry. <[www.oil.fi/fi/oljy/polttoaineverotus](http://www.oil.fi/fi/oljy/polttoaineverotus)>. Luettu 3.4.2017.
- 9 Bensiiniopas. 2015. Verkkodokumentti. Neste Oyj. <[www.neste.com/sites/default/files/attachments/bensiiniopas\\_2015.pdf](http://www.neste.com/sites/default/files/attachments/bensiiniopas_2015.pdf)>. 10.4.2017.
- 10 98E5-bensiinistä E85-etanolipolttoaineeseen siirryttäessä huomioitavia asioita. 2017. Verkkodokumentti. MoTeC Finland. <[www.motec.fi/tuotetuki\\_ohjeet.php](http://www.motec.fi/tuotetuki_ohjeet.php)>. Luettu 20.3.2017.
- 11 Negrete, Justin E. 2010. Effects of Different Fuels on a Turbocharged, Direct Injection, Spark Ignition Engine. Verkkodokumentti. Massachusetts Institute of Technology. <<https://dspace.mit.edu/bitstream/handle/1721.1/59952/676953430-MIT.pdf>>. Luettu 25.3.2017.
- 12 Racing Fuel Characteristics. 2017. Verkkodokumentti. IQ Learning Systems, Inc. <<http://iqlearningsystems.com/ethanol/downloads/Racing%20Fuel%20Characteristics.pdf>>. Luettu 3.4.2017.
- 13 Paasi, Jaakko, Lahtinen, Reima, Kalliohaka, Tapio & Kytö, Matti. 2008. Verkkodokumentti. VTT. <[www.vtt.fi/inf/julkaisut/muut/2008/VTT-R-07049-08.pdf](http://www.vtt.fi/inf/julkaisut/muut/2008/VTT-R-07049-08.pdf)>. Luettu 30.3.2017.

- 14 Nylund, Nils-Olof, Sipilä, Kai, Mäkinen, Tuula & Aakko-Saksa, Päivi. 2010. Verk-  
kodokumentti. VTT. <[www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2010/T2528.pdf](http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2010/T2528.pdf)>. Luettu  
3.4.2017.
- 15 Miten etanoli käyttäytyy palamisprosessissa? 2017. Verkkodokumentti.  
<[www.e10benssiini.fi/kysymyksiä\\_ja\\_vastauksia/25.\\_miten\\_etanoli\\_kayttaytyy\\_pa-  
lamisprosessissa](http://www.e10benssiini.fi/kysymyksiä_ja_vastauksia/25._miten_etanoli_kayttaytyy_pa-<br/>lamisprosessissa)>. Luettu 3.4.2017.
- 16 Nylund, Nils-Olof & Aakko-Saksa, Päivi. 2007. Liikenteen polttoainevaihtoehdot  
kehitystilanneraportti. Verkkodokumentti. TEC TransEnergy Consulting Oy.  
<[www.motiva.fi/files/954/liikenteen-polttoainevaihtoehdot-----kehitystilannera-  
portti.pdf](http://www.motiva.fi/files/954/liikenteen-polttoainevaihtoehdot-----kehitystilannera-<br/>portti.pdf)>. Luettu 19.3.2017.
- 17 Castro, Joseph. 2014. Verkkodokumentti. <[www.livescience.com/43691-what-is-  
flex-fuel.html](http://www.livescience.com/43691-what-is-<br/>flex-fuel.html)>. Luettu 26.3.2017.
- 18 Ajoneuvotilastot. 2017. Verkkopalvelu. Trafi.  
<<http://trafi2.stat.fi/PXWeb/pxweb/fi/TraFi/>>. Luettu 25.4.2017.
- 19 Wallner, Jacques. 2015. I höst kan det vara slut på E85-sagan. Verkkodoku-  
mentti. Dagens Nyheter. <[www.dn.se/ekonomi/motor/i-host-kan-det-vara-slut-pa-  
e85-sagan/](http://www.dn.se/ekonomi/motor/i-host-kan-det-vara-slut-pa-<br/>e85-sagan/)>. Luettu 26.3.2017.
- 20 eFlexFuel E85-päivitys bensiiniautolle. 2017. Verkkosivu. StepOnetech Oy.  
<<https://eflexfuel.fi/>>. Luettu 20.4.2017.
- 21 Käyttöohje. 2017. Verkkodokumentti. StepOnetech Oy. <[https://eflex-  
fuel.fi/kayttoohje](https://eflex-<br/>fuel.fi/kayttoohje)>. Luettu 17.3.2017.
- 22 API SN Engine Oil Category. 2017. Verkkodokumentti. <[www.oilspecificati-  
ons.org/articles/api-sn.php](http://www.oilspecificati-<br/>ons.org/articles/api-sn.php)>. Luettu 3.4.2017.
- 23 How does the Lambda sensor work? 2013. Verkkodokumentti. NGK Spark Plugs  
UK. <[http://www.ngkntk.co.uk/index.php/technical-centre/lambda-sensors/how-  
does-the-lambda-sensor-work/](http://www.ngkntk.co.uk/index.php/technical-centre/lambda-sensors/how-<br/>does-the-lambda-sensor-work/)>. Luettu 10.4.2017.
- 24 Konversiot ja jälkiasennussarjat. 2017. Verkkodokumentti. Motiva. <[www.mo-  
tiva.fi/ratkaisut/kestava\\_liikenne\\_ja\\_liikkuminen/nain\\_liikut\\_viisaasti/va-  
litse\\_auto\\_viisaasti/autotyypit/konversiot\\_ja\\_jalkiasennussarjat](http://www.mo-<br/>tiva.fi/ratkaisut/kestava_liikenne_ja_liikkuminen/nain_liikut_viisaasti/va-<br/>litse_auto_viisaasti/autotyypit/konversiot_ja_jalkiasennussarjat)>. Luettu  
30.3.2017.
- 25 Auton ja sen perävaunun rakenteen muuttaminen. 2016. Verkkodokumentti. Trafi.  
<[https://www.trafi.fi/file-  
bank/a/1461929338/e1efc709e09b0525b076494b00ccdb39/20517-pdf\\_Peruste-  
lumuistio\\_auton\\_rakenteen\\_muuttamisesta\\_etanolimuutos.pdf](https://www.trafi.fi/file-<br/>bank/a/1461929338/e1efc709e09b0525b076494b00ccdb39/20517-pdf_Peruste-<br/>lumuistio_auton_rakenteen_muuttamisesta_etanolimuutos.pdf)>. Luettu  
10.4.2017.

- 26 Bensiini 95 E10 Extra, tuotetieto. 2016. Verkkodokumentti. St1 Oy. <[http://www.st1.fi/files/15092/St1\\_95extra\\_tuotetieto.pdf](http://www.st1.fi/files/15092/St1_95extra_tuotetieto.pdf)>. Luettu 15.3.2017.
- 27 Öljytuotteiden kuluttajahintaseuranta. 2017. Verkkodokumentti. Öljy- ja biopolttoaineala ry. <[www.oil.fi/fi/tilastot-1-hinnat-ja-verot/11-oljytuotteiden-kuluttajahintaseuranta](http://www.oil.fi/fi/tilastot-1-hinnat-ja-verot/11-oljytuotteiden-kuluttajahintaseuranta)>. Luettu 25.4.2017.
- 28 Vizard, David. 2003. The Power Squeeze. Verkkodokumentti. Hot Rod Network. <<http://www.hotrod.com/articles/0311em-power-squeeze/>>. Luettu 7.4.2017.
- 29 ALCOHOL FUELS. 2017. Verkkodokumentti. <<http://www.turbofast.com.au/race-fuel2.html>>. Luettu 7.4.2017.
- 30 Spark Timing Myths Debunked. 2017. Verkkodokumentti. Innovate! Technology, Inc. <<http://www.innovatemotorsports.com/resources/myths.php>>. Luettu 10.4.2017.