



Osaamista
ja oivallusta
tulevaisuuden
tekemiseen

Jaakko Vainio

Bensiinimoottorin trifuel-konversio

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Ajoneuvotekniikka

Insinöörityö

30.3.2021

Tekijä Otsikko	Jaakko Vainio Bensiinimoottorin trifuel-konversio
Sivumäärä Aika	44 sivua 30.3.2021
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma	Ajoneuvotekniikka
Ammatillinen pääaine	Jälkimarkkinointi
Ohjaajat	Lehtori Heikki Parviainen, Metropolia Ammattikorkeakoulu
<p>Tässä opinnäytetyössä muutettiin bensiinikäyttöinen henkilöauto toimimaan bensiinin lisäksi biokaasulla ja bioetanolilla. Työn tarkoituksena on laskea auton fossiilisia hiilidioksidipäästöjä.</p> <p>Työssä esitellään kaasulaitteisto ja etanolimuutossarja, niiden komponentit sekä ja toimintaperiaatteet. Muutettava auto oli vuoden 2003 Volvo V40 -henkilöauto. Työhön kuuluivat muutosten suunnittelu, asennus ja säätötoimenpiteet kohdeautoon.</p> <p>Trifuel-konversion jälkeen autolla voidaan ajaa kolmella eri polttoaineella: kaasulla, etanolilla ja bensiinillä. Fossiiliset hiilidioksidipäästöt ovat pienimmillään käytettäessä uusiutuvaa biokaasua ja bioetanolia.</p> <p>Lopuksi raportoidaan muuttuneista päästöarvoista sekä auton toiminnasta uusilla käyttövoimilla. Päästöt mitattiin laskennallisesti polttoainenkulutuksesta eri polttoaineilla. Muutostöiden todettiin laskevan huomattavasti auton hiilidioksidipäästöjä ja polttoainekustannuksia.</p>	
Avainsanat	Trifuel, biokaasu, bioetanol, konversio

Author Title	Jaakko Vainio Trifuel Conversion of a Petrol Engine
Number of Pages Date	44 pages 30 March 2021
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Automotive Engineering
Professional Major	Automotive After Sales Engineering
Instructors	Heikki Parviainen, Senior Lecturer
<p>In this thesis a petrol-powered car was converted to run on biogas and bioethanol in addition to petrol. The objective of the work was to reduce fossil carbon dioxide emissions of the car. Emissions were calculated from fuel consumption with different fuels.</p> <p>This thesis presents gas and ethanol conversion kits, their components, and operating principles. The target of conversion was a 2003 Volvo V40 passenger car. The work included the design, installation, and adjustments of the conversion kits to the target car.</p> <p>After the trifuel conversion, the car can be driven with three different fuels: gas, ethanol, and petrol. When using renewable biogas and bioethanol, the fossil carbon dioxide emissions are lowest.</p> <p>In the end of the thesis, changed emission values and operation of the car with alternative fuels are reported. Emissions were calculated from fuel consumption with different fuels. The modifications were found to significantly reduce the carbon dioxide emissions and fuel costs of the car.</p>	
Keywords	Trifuel, biogas, bioethanol, conversion

Sisällys

1	Johdanto	1
2	Liikennekaasut CNG ja CBG	2
2.1	CNG (compressed natural gas)	2
2.2	CBG (Compressed bio gas)	2
2.3	Kaasuntankkausverkosto	3
3	Bioetanol E85	4
4	Kaasujärjestelmä	6
4.1	Laitteiston vaatimukset	6
4.2	Komponentit	6
4.2.1	Paineensäädin	7
4.2.2	Kaasusäiliö	8
4.2.3	Säiliöventtiili	9
4.2.4	Tankkausliitin	10
4.2.5	Kaasuinjektorit	11
4.2.6	Kaasun matalapaineanturi	12
4.2.7	CNG-suodatin	13
4.2.8	Ohjainlaite ECU	13
5	Etanolimuutossarja	15
6	Muutettava auto ja tavoitteet	16
6.1	Muutettava auto	16
6.2	Tavoitteet	17
7	Kaasulaitteiston asennus	17
7.1	Paineensäätimen asennus	18
7.2	ECU:n kiinnitys	19
7.3	Injektorikiskon ja suutinnippojen asennus	20
7.4	Kaasusäiliön asennus tavaratilaan	23
7.5	Korkeapainelinjan asennus	24

7.6	Tankkausliittimen asennus	26
7.7	ECU:n johtosarjan sähkökytkennät	26
8	Kaasulaitteiston säätö ja muutoksastus	29
8.1	Perusasetukset ja automaattinen kalibrointi	29
8.2	Kaasun ruiskutuskartan säätö	30
8.3	Muutoksastus	31
9	Etanolimuutossarjan asennus	32
9.1	Suutinliittimien asennus	32
9.2	Polttoaineputken ja etanolipitoisuusanturin asennus	33
9.3	ECU:n kiinnitys	34
9.4	Toiminnan tarkastus ja bluetooth-yhteyden muodostaminen	34
9.5	Ensimmäinen tankkaus	35
9.6	Öljynvaihto	36
10	Tulokset ja auton toiminta	36
10.1	Auton toiminta ja käyttökokemukset	36
10.2	Kulutusmittaukset	37
10.3	Hiilidioksidipäästöt	39
10.4	Tulosten kriittinen tarkastelu	40
10.5	Kustannukset ja kannattavuus	41
11	Yhteenveto	42
	Lähteet	43

Lyhenteet

CNG	Compressed Natural Gas, paineistettu maakaasu
LNG	Liquified Natural Gas, nesteytetty maakaasu
LBG	Liquified Biogas, nesteytetty biokaasu
CBG	Compressed Biogas, paineistettu biokaasu.
E85	Biopohjainen korkeaseosetanoliipolttoaine
MJ/kg	Megajoulea per kilogramma, energiasisältö
ECU	Electronic Control Unit, elektroninen ohjausyksikkö

1 Johdanto

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli toteuttaa bensiinimoottorilla varustettuun henkilöautoon trifuel-konversio. Trifuel-termillä tarkoitetaan kolmella eri polttoaineella toimivaa ajoneuvoa. Työssä autoon lisättiin kaasulaitteisto, joka mahdollistaa biokaasun ja maakaasun käytön polttoaineena. Kaasukonvertoitu auto käyttää kuitenkin bensiiniä moottorin lämmittämisvaiheessa ja kaasun loppuessa. Tästä syystä kaasulaitteiston lisäksi autoon asennettiin etanolimuutossarja, joka mahdollistaa bensiinin korvaamisen bioetanolipohjaisella E85-polttoaineella. Muutosten jälkeen autolla on mahdollista ajaa uusiutuvilla biopolttoaineilla käyttämättä bensiiniä. Toteutus mahdollistaa edelleen tarvittaessa myös bensiinin käyttämisen polttoaineena.

Muutosten kohteeksi valittiin Volvo V40 2.0T -mallinen turboahdetulla, kaksilitraisella bensiinimoottorilla varustettu, vuonna 2003 valmistettu henkilöauto. Kyseinen auto valikoitui työn kohteeksi, koska se oli jo valmiiksi työn tekijän omistuksessa ja sen polttoaineenkulutus ja hiilidioksidipäästöt ovat nykymittapuulla korkeat.

Työn tekninen toteutus suoritettiin itsenäisesti kaasukonversioketjuun kuuluvan korjaamoyrityksen tiloissa. Työssä käytetty kaasulaitteisto hankittiin konversioketjun maahan tuonnin kautta ja asennuksen tarkasti kaasulaitteiden asennukseen pätevä henkilö.

Työssä esitellään henkilöautoissa käytettävien liikennekaasujen ja E85-kerkeaseosetanolin ominaisuudet ja niiden tankkausverkostot. Työhön kuuluu käytettävien komponenttien ja niiden toimintaperiaatteiden esittely ja asennustyö kohdeautoon.

Lopuksi raportoidaan auton toiminnasta ja muuttuneista päästöarvoista. Päästöarvot laskettiin eri käyttövoimilla mitatusta kulutuksesta.

2 Liikennekaasut CNG ja CBG

Henkilöautoissa Suomessa käytettäviä kaasupolttoaineita ovat paineistettu maakaasu CNG ja paineistettu biokaasu CBG. Tankatessa kaasu paineistetaan auton kaasusäiliöön noin 200 bar:n paineeseen. Nesteytettyä maa- ja biokaasua, eli LNG:tä ja LBG:tä, käytetään raskaassa liikenteessä.

2.1 CNG (compressed natural gas)

Maakaasu on fossiilinen polttoaine, joka on peräisin maankuoresta, jossa se on syntynyt orgaanisesta aineesta lahoamisprosessissa hapettomissa olosuhteissa. Suomessa tarjolla oleva maakaasu tuodaan valtaosin Venäjältä [1]. CNG eli paineistettu maakaasu koostuu suurimmaksi osaksi metaanista (CH_4). Ennen liikennekäyttöä maakaasusta poistetaan jalostamalla muut yhdisteet. Metaanimolekyyli koostuu yhdestä hiili- ja neljästä vetyatomista, ja metaani on ilmaa kevyempää. Metaani on hajuton, syttyvä, sinisellä liekillä palava kaasu. Liikennemaakaasuun lisätään hajustetta turvallisuussyistä mahdollisten vuotojen havaitsemiseksi.

Metaanin energiasisältö on 50 MJ/kg, ja kilo maakaasua vastaa energiasisällöltään 1,56:ta litraa bensiiniä (43 MJ/kg). Vaikka maakaasu onkin polttoaineena fossiilinen, vähentää sen käyttö henkilöautossa hiilidioksidipäästöjä noin 25 % verrattuna bensiiniin käyttöön johtuen sen kemiallisesta rakenteesta, joka sisältää vähemmän hiiltä. Kilo metaania tuottaa palaessaan 2750 grammaa hiilidioksidia, ja bensiinikilo tuottaa palaessaan 3130 grammaa hiilidioksidia. Litra bensiiniä tuottaa palaessaan 2350 grammaa hiilidioksidia, jolloin energiasisällöltään metaanikiloa vastaava määrä bensiiniä tuottaa palaessaan 3670 grammaa hiilidioksidia. Metaanin oktaaniluku on korkea, noin 138 RON, joten itsesytyminen ja nakutus eivät ole vaarana käytettäessä sitä ottomootorissa. [2; 3; 4]

2.2 CBG (Compressed bio gas)

CBG eli paineistettu biokaasu on biomassasta biokaasulaitoksilla tuotettua metaania. Metaania tuotetaan mädättämällä mikrobien avulla orgaanista ainesta, kuten ruoka-, maatalous-, eläin- ja teollisuusjätettä. Biomassaa voidaan myös kasvattaa

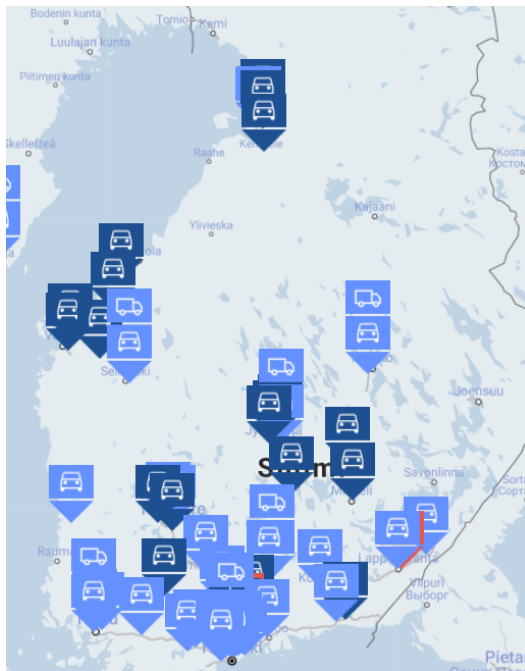
biokaasutuotantoa varten. Biokaasulaitoksessa tuotetun biokaasun metaanipitoisuus on maakaasua pienempi, ja sitä nostetaan jalostamalla ennen liikennekäyttöön jakelua.

Biokaasun palaessaan tuottama hiilidioksidi on jo elinaikanamme maapallolle biohajoavaan ainekseen sitoutunutta hiilidioksidia, joten sen käyttäminen polttoaineena ei lisää hiilidioksidin määrää ilmakehässä. Biokaasu on siis uusiutuva, hiilineutraali polttoaine. Metaanin kerääminen polttoaineeksi ja polttaminen hiilidioksidiksi vähentää myös huomattavasti sen negatiivista ilmastoa lämmittävää vaikutusta, metaanin ollessa voimakkaampi kasvihuonekaasu kuin hiilidioksidi. Suomessa myytävä biokaasu on myös täysin kotimaista, joten biokaasun käytöllä on työllistävä vaikutus kotimaassa. [5]

Koska fossiilinen maakaasu ja uusiutuva biokaasu ovat molemmat metaania, ne voidaan sekoittaa keskenään. Suomen suurimman liikennekaasun jakelijan, Gasum Oy:n, kaasuntankkausasemilla myytävän biokaasun jakelu tapahtuu samasta kaasuverkosta kuin maakaasun. Biokaasun lisäämisestä verkkoon myydyn määrän verran, huolehtii biokaasun sertifikaattijärjestelmä. [6]

2.3 Kaasuntankkausverkosto

Suomessa on tällä hetkellä 58 kaasuntankkausasemaa, joilta voi tankata paineistettua bio- tai maakaasua. Näistä asemista yli puolet on Gasum Oy:n ylläpitämiä. Biokaasuasemia on myös avattu esimerkiksi maatilojen yhteyteen, joissa biokaasu tuotetaan paikallisesti. Kuvasta 1 nähdään kaikki kaasuasemat, joista Gasumin asemat ovat vaaleammalla merkityt.



Kuva 1. Kaasuntankkausasemat Suomessa 2021 [7].

Kuvasta nähdään, että kaasuasemien sijainti Suomessa painottuu vielä vahvasti etelään. Uusia asemia avataan kuitenkin vuosittain. Pohjoisin tankkaus piste on tällä hetkellä Oulussa sijaitseva Kiertokaari Oy:n ruskonniityn biokaasuasema.

3 Bioetanoli E85

Etanoli (C_2H_5OH) eli etyylialkoholi on väritön alkoholeille ominaisen hajun omaava herkästi syttyvä neste. Etanoli palaa nopeamattomalla sinisellä liekillä. E85 on biojätteestä valmistettua korkeaseoetanolia, jonka jätteestä valmistetun uusiutuvan bioetanolin osuus on enintään 85 %. Suomessa myytävä bioetanoli valmistetaan kotimaisen elintarviketeollisuuden ja kotitalouksien biojätteistä. [8; 9]

Puhtaan etanolin kylmäkäynnistysominaisuudet ottomoottorissa ovat bensiiniä heikommät sen alhaisen höyrynpaineen ja korkean kiehumislämpötilan takia. Kylmäkäynnistävyyden parantamiseksi E85-polttoaineessa on noin 15–30 % bensiiniä. Suomessa talvikaikana lisättävän bensiinin osuus on suurempi ja etanolin osuus noin 70 %. Etanoli sekoittuu hyvin bensiiniin ja flexfuel-järjestelmien polttoaineen etanolipitoisuusanturin

ansiosta voidaan flexfuel-autossa käyttää etanolin ja bensiinin seosta millä tahansa sekoitussuhteella. [8; 10]

Käytettäessä korkeaseosetanolia bensiinin tilalla, auton kulutus kasvaa noin 25–30 %, johtuen etanolin pienemmästä energiasisällöstä (22,7 MJ/l) verrattuna bensiiniin (30,9 MJ/l). E85-polttoaineen oktaaniluku on yli 104 RON [11]. Korkeaseosetanolin käyttö vähentää fossiilisia hiilidioksidipäästöjä noin 80 % verrattuna bensiinin käyttöön [8; 9].

E85-bioetanolia on saatavilla Oulun eteläpuolisessa Suomessa melko tiheästi. Sitä tarjoavat huoltoasemillaan kolme yritystä omilla kauppanimillään

- ST1, RE85
- ABC, EkoE85
- Shell, E85

Suurin jakelija on ABC-huoltamoketju. Kuvasta 2 nähdään kaikki asemat Suomessa. Pohjoisimmat E85-asemat sijaitsevat Rovaniemellä. Myös Ahvenanmaalla on yksi asema.



Kuva 2. Bioetanolin tankkausasemat Suomessa 2021 [12].

4 Kaasujärjestelmä

Kaasujärjestelmä on auton bensiininsyöttöjärjestelmän rinnalle lisättävä polttoainejärjestelmä. Kaasun syöttöä moottoriin ohjataan alkuperäisen ECU:n bensiinisuuttimien ruis-kutussignaalilla, jonka kaasujärjestelmän ECU emuloi sopivaksi kaasupolttoaineelle.

4.1 Laitteiston vaatimukset

Kaasulaitteita koskee Euroopassa tietyt vaatimukset. Kaikkien kaasun kanssa kosketuksissa olevien osien on täytettävä E-säännön 110 (ECE-R110) vaatimukset. Päästövaatimukset katsotaan täyttyväksi, kun muutossarja on tarkoitettu käytettäväksi muutettavalle ajoneuvolle ja sarja täyttää E-säännön 115 (ECE-R115) vaatimukset [13]. Auto tulee kaasukonversion jälkeen muutoskatsastaa, jolloin laitteiston vaatimustenmukaisuus tarkastetaan. Tässä työssä konversioon käytettiin Italialaisen Landi Renzon valmistamaa kaasumuutossarjaa, joka täyttää edellä mainittujen E-sääntöjen vaatimukset.

4.2 Komponentit

Kaasujärjestelmän pääkomponentit ovat

- paineensäädin
- kaasusäiliö
- säiliöventtiili
- tankkausliitin
- kaasusuodatin
- kaasuinjektorit
- Matalapaineanturi
- elektroninen ohjainyksikkö ECU.

Lisäksi konversiossa käytetään asennustarvikkeita, kuten säiliön kiinnityspantoja, letkukiristimiä, nippusiteitä, kaasuputken kiinnikkeitä ja sähköliittimiä.

4.2.1 Paineensäädin

Paineensäätimen (kuva 3) tehtävä on laskea kaasusäiliöltä tuleva 200 bar:n paine kaasuinjektoreille sopivaan noin 2 bar:n paineeseen. Säädin alentaa kaasun painetta sen sisäisellä jousikuormitteisella kalvolla. Paineensäätimen läpi päästämää kaasunpainetta voidaan käsin säätää säätöruuvilla, joka lisää tai vähentää jousen esijännitystä. Paineensäädin pitää kaasun syöttöpaineen noin 2 bar korkeamana imusarjassa olevaan paineeseen nähden. Autokäytössä, jossa imusarjan paine vaihtelee huomattavasti ajossa, käytetään painekompensoivaa paineensäädintä. Paineensäätimessä on esisäädön lisäksi alipaineohjattu paineen säätö. Imusarjan paine johdetaan alipaineletkulla paineen säätimeen jousen puolelle kalvoa, jolloin syöttöpaine pysyy tasaisena suhteessa imusarjanpaineeseen.

Paineensäätimen korkeapainepuolelle on liitetty mekaaninen painemittari, jonka lukema on kaasusäiliön paine. Mittariin sisäänrakennettu optinen anturi on kytketty kaasujärjestelmän ohjainlaitteeseen. Tällä anturitiedolla ECU ilmaisee ohjaamoon asennettavan polttoaineen valitsinpainikkeen led-valoilla jäljellä olevan kaasun määrän säiliössä.



Kuva 3. Landi Renzo NG1 -paineensäädin, jossa solenoidiventtiili ja painemittari optisella anturilla.

Paineensäätimeltä injektorikiskolle kulkevaan matalapainelinjaan käytetään kaasukäyttöön hyväksytyä kumiputkea ja liitoksiin normaaleja letkukiristimiä.

Kaasun paineen suuri lasku paineensäätimessä pyrkii jäädyttämään paineensäätimen kalvon. Jäädytymisen estämiseksi säätimen rungossa on liitännät jäähdytinnestekierrolle. Jäähdytinnestekierto haaroitetaan paineensäätimelle usein auton sisätilan lämmityslaitteen kennon jäähdytinnestekierrosta. Säätimen nestekiertoon kytketään lämpötila-anturi, jonka perusteella ECU avaa kaasun virtauksen säätimelle, kun jäähdytinnesteen lämpötila on riittävän korkea.

4.2.2 Kaasusäiliö

CNG- eli maakaasusäiliöt ovat korkean säiliöpaineen takia aina sylinterin muotoisia (kuva 4). Pyöreä muoto säiliön putkimaisessa keskiosassa ja puolipallon muotoisissa päädyissä on optimaalinen korkean paineen säilöntään, koska paineen materiaaliin aiheuttamat voimat jakautuvat tasaisesti koko pinta-alaan. Kulmikkaassa säiliössä vaadittava seinämävahvuus ja täten myös paino kasvaisivat kohtuuttomiksi, vaikka tilankäytöllisesti kulmikas säiliö olisi parempi. Säiliöiden koot ilmoitetaan yleisesti vesi- eli litratilavuuksina. Yhtä litraa kohti säiliöön mahtuu noin 0,16 kg kaasua tankkauspaineessa (200 bar). Ajoneuvokäyttöön soveltuvia säiliöitä on saatavilla eri tilavuuksilla yli 100 litraan asti. Materiaaleiltaan eroavia säiliötyyppejä on neljä:

CNG-1: metalli

CNG-2: metallivuoraus, joka on vahvistettu hartsikyllästetyillä jatkuvilla filamenttikuiduilla (lieriöosa päällystetty)

CNG-3: metallivuoraus, joka on vahvennettu hartsikyllästetyillä jatkuvilla filamenttikuiduilla (kokonaan päällystetty)

CNG-4: hartsikyllästetyistä jatkuvista filamenttikuiduista tehty päällyste, jossa vuoraus on muuta ainetta kuin metallia (kokonaan komposiittimateriaalia). [14]

Säiliöluokista CNG-1-luokan täysmetallinen säiliö on halvin mutta toisaalta myös painavin. Joissain tapauksissa kaasukonversiossa joudutaan käyttämään kaikkein kevyintä

CNG-4-luokan säiliötä, jotta voidaan valita toimintasäteen kannalta riittävän iso säiliö ylitämättä ajoneuvon suurinta sallittua massaa.



Kuva 4. CNG-1 -luokan metallisäiliö, jossa kiinni säiliöventtiili. Säiliön vesitilavuus on 76 litraa ja siihen mahtuu noin 12 kg kaasua.

4.2.3 Säiliöventtiili

Säiliöventtiili (kuva 5) kiinnitetään kaasusäiliöön kierteellä. Venttiilissä on liitännäpaikat tankkausliittimelle ja paineensäätimelle lähteville korkeapainelinjoille. Venttiilissä on sähkötoiminen solenoidiventtiili ja käsikäyttöinen huoltosulkumahdollisuus. Solenoidin avautumista ohjaa sähköisesti kaasujärjestelmän ECU.



Kuva 5. Tomasetto Achille VM05 AUTOMATIC -säiliöventtiili [15].

Turvallisuussyistä säiliöventtiilissä on sisäänrakennettuna letkurikkoventtiili, ylipaine- ja ylikuumenemissuoja. Jos kaasun virtaus kasvaa äkillisesti esimerkiksi auton alla kulkevan korkeapainelinjan rikkoutuessa, venttiili sulkeutuu. Lämpösuoja johtaa kaasun säiliöstä auton korin ulkopuolelle suojaputken kautta lämpötilan noustessa yli 110°C. Myös ylipaineventtiili johtaa säiliön tyhjäksi korin ulkopuolelle, jos paine nousee yli 34 Mpa. [15]

Korkeapainelinjana tankkausventtiililtä säiliöventtiilille ja säiliöventtiililtä paineensäätimelle käytetään muovipinnoitettua teräsputkea ja liitokset tehdään helmiliitoksin metallisilla kierrettävillä liitinholkeilla ja teräshelmillä. Korkeapaineputken tulee olla kaasukäyttöön hyväksyttyä ja hyväksynnät tulee olla merkittynä putken kuoreen.

4.2.4 Tankkausliitin

Tankkausliittimen (kuva 6) kautta paineistettu kaasu tankataan kaasusäiliöön. Liitin on toiminnaltaan yksikertainen takaiskuventtiili, jonka takapuolella on paikka korkeapaineputken helmiliitokselle sekä ulkokierre paikalleen kiristystä varten. Liitin voidaan asentaa autoon alkuperäisen tankkausluukun alle tilan salliessa. Sille voidaan tehdä myös upotus esimerkiksi auton puskuriin. Kolmas mahdollinen paikka liittimelle on auton konehuoneessa liitettynä T-haaralla korkeapainelinjaan ennen paineensäädintä. Auton sisätiloihin liitintä ei saa asentaa.



Kuva 6. NGV1-tankkausliitin [16].

Suomessa kaikilla kaasuasemilla on käytössä NGV1-tankkausliittimeen sopivat CNG-tankkauspistoolit. Raskaalle liikenteelle tarkoitettua nesteytettyä kaasua ei voi vahingossa tankata CNG-henkilöautoon tai päinvastoin, koska LNG- ja LPG-liittimet ovat erilaiset.

4.2.5 Kaasuinjektorit

Tässä työssä käytetyt kaasuinjektorit eli -suuttimet ovat valmiiksi kompaktissa neljän injektorin kiskossa (kuva 7). Injektorit ovat jännitepulssilla ohjattavia solenoideja kuten bensiinijärjestelmän ruiskusuuttimet, ja jokaiselle sylinterille on oma injektorinsa. Injektorikisko toimii yhteispaineruiskutusperiaatteella eli kaikilla suuttimilla on yhteinen kaasun paine. Injektoreissa on sähköliittimet, jotka sopivat ECU:n johtosarjan liittämiin. Kaasujärjestelmän ECU ohjaa injektorien avautumisen ajoitusta ja kestoja emuloimalla bensiinisuuttimien ruiskutussignaalia. Injektorikisko on symmetrinen ja avoin kummastakin päädystä, joten kaasuputken asennussuunnan mukaan voidaan toinen pää tulpata ja toiseen kiinnittää letkuliitin.



Kuva 7. Landi Renzo GIRS12 -injektorikisko.

Valmiiksi kaasumaisen olomuotonsa takia metaani sekoittuu hyvin imuilman kanssa jo imusarjassa eikä vaadi toimiakseen injektoreilta samanlaista tarkkaa sumutuskuviota kuin bensiini. Tämän takia injektorit voidaan sijoittaa irti imusarjasta ja johtaa kaasu kumisilla kaasuputkilla imusarjaan kiinnitettyjen suutinnippojen kautta.

4.2.6 Kaasun matalapaineanturi

Elektroninen kaasun paineanturi (kuva 8) kytketään paineen säätimeltä injektorikiskolle tulevaan kumiseen matalapainekaasuputkeen.



Kuva 8. Yhdistetty kaasunpaine-, lämpötila ja MAP-anturi [17].

Anturi mittaa paineensäätimeltä injektoreille virtaavan painetta. Laitteessa on lisäksi MAP-tunnistin, jonka kautta imusarjan alipaineletku kulkee paineensäätimelle. Kaasun paineen lisäksi anturi mittaa kaasun lämpötilaa. Lämpötilakompensointi on tärkeää kaasun ruiskutuksessa oikean polttoaine-ilmaseoksen tuottamiseksi, sillä vakioaineessa eri lämpötiloissa kaasun massa eroaa paljonkin.

4.2.7 CNG-suodatin

Kaasusuodatin (kuva 9) liitetään matalapaine putkeen ennen injektoreita. Suodattimen tehtävä on poistaa virtaavasta kaasusta mahdolliset epäpuhtaudet ja estää niiden kertyminen kaasuinjektoreihin.



Kuva 9. Landi Renzo LPG/CNG -suodatin [18].

Suodatin vaihdetaan huolloissa säännöllisesti ja sen vaihtoväli on 1 vuosi tai 20000 kilometriä.

4.2.8 Ohjainlaite ECU

Kaasujärjestelmän ohjainlaite eli ECU (kuva 10) ei korvaa ajoneuvon alkuperäistä bensiininruiskutusohjainlaitetta, vaan toimii hyödyntämällä sen tuottamaa ruiskutussignaalia. Kaasun ruiskutus tapahtuu sekventiaalisena monipisteruiskutuksena kuten

benziininruiskutus. Benziini-ECU:n ruiskusuuttimille tuottama ohjaussignaali eli jännitepulssi kytketään kulkemaan kaasujärjestelmän ECU:n kautta. Tätä pulssia muuttamalla ohjainlaite tuottaa kaasulle optimaalisen ruiskutussignaalin kaasuinjektoreille.

Useiden antureiden kuten pakoputkistossa sijaitsevan jäännöshappianturin ja imuilmaputkessa sijaitsevan ilmamassamittarin anturitietojen perusteella benziinijärjestelmän ECU suorittaa ruiskutussignaaliin korjauksen pitääkseen seossuhteen oikeana. Toimiakseen kaasujärjestelmän ohjainlaitteeseen pitää auton alkuperäisestä moottorinohjauksesta kytkeä vähintään signaalijohto kaikilta suuttimilta ja moottorin kierroslukutieto.



Kuva 10. CNG-ruiskutuksen ohjainlaite Landi Renzo Omega 4.0.

Ohjainlaitteen johtosarjassa on oma OBD-liitin, jonka kautta muodostetaan yhteys tietokoneeseen ja ruiskutuksen säätöohjelmistoon. Nykyaikaisilla kaasujärjestelmien ohjainlaitteilla myös auton OBDII-väylän hyödyntäminen on mahdollista, jolloin säädön aikana kaasujärjestelmän säätöohjelmistosta on mahdollista seurata auton moottorinohjauksen anturitietoja sekä esimerkiksi lyhyt- ja pitkäaikaista ruiskutuksen korjausarvoa.

5 Etanolimuutossarja

Etanolimuutossarjalla on mahdollista muuttaa bensiinimoottori käyttämään polttoaineenaan E85-bioetanolia. Tähän työhön valittiin kotimaisen StepOneTech Oy:n valmistama eFlexFuel-muutossarja (kuva 11). Muutossarja käyttää auton alkuperäistä polttoainetankkia, -linjoja ja -suuttimia. Muutossarjan toiminta perustuu sen ohjainyksikköön, joka muuttaa moottoriin ruiskutettavan polttoaineen määrää käytössä olevan bensiini-etanoliseoksen mukaan. Käytettäessä etanolia bensiinin tilalla ohjainlaite kasvattaa ruiskutettavan polttoaineen määrää pidentämällä suuttimien aukioloaikoja. Ohjainyksikkö tunnistaa käytössä olevan polttoaineen etanolipitoisuuden polttoainelinjaan kytkettävän etanolipitoisuusanturin avulla.



Kuva 11. eFlexFuel-E85-muutossarjan pakkaus, jossa näkyvät sarjaan kuuluvat komponentit.

Muutossarjaan kuuluvat ohjainyksikkö, etanolipitoisuusanturi ja johtosarja. Muutossarja valitaan moottorin bensiinisuihtimien liitintyyppin mukaan. Suutinjohtosarjan kautta moottorin ruiskutussignaali kulkee moottorin ECU:lta etanoliohjainyksikön kautta suuttimille. Muita kytkentöjä auton alkuperäiseen moottorinohjaukseen ei tarvita.

Koska etanoli höyrystyy kylmissä olosuhteissa heikommin kuin bensiini, on johtosarjassa ulkoinen lämpötila-anturi. Lämpötila-anturin avulla etanoliohjainyksikkö suorittaa kylmäkäynnistysrikastuksen, parantaen moottorin käynnistymistä pakkasella käytettäessä etanolia.

Etanolipitoisuusanturi kytketään polttoainelinjaan mahdollisimman lähelle suuttimia. Polttoaineen etanolipitoisuuden perusteella ohjain mukauttaa ruiskutusmäärän sopivaksi. Pitoisuusanturi mahdollistaa ajamisen normaalilla bensiinillä (5–10 % etanolia), E85-bioetanolilla (85 % etanolia) tai millä tahansa näiden seoksella.

Ohjainyksikköön on mahdollista muodostaa Bluetooth-yhteys omalla eflexfuelapp-mobiilisovelluksella. Sovelluksen avulla voi seurata laitteiston toimintaa kuten suuttimien käyttöastetta, polttoaineen etanolipitoisuutta, lämpöanturin arvoa ja kylmäkäynnistysrikastuksen aktiivisuutta. Ohjainlaite tunnistaa myös vikatiloja ja muodostaa niistä vikakoodoja, jotka voidaan lukea sekä nollata sovelluksella.

6 Muutettava auto ja tavoitteet

6.1 Muutettava auto

Työn kohteeksi valittiin Volvo V40 2.0T -mallinen 2003 vuonna valmistettu henkilöauto. Auto on varustettu kaksilitraisella pakokaasuahdetulla 16-venttiilisellä bensiinimoottorilla ja automaattivaihteistolla. Valmistajan ohjekirjassa ilmoittama yhdistetty polttoaineen kulutus on 9,1 l / 100 km ja rekisteriin merkitty hiilidioksidipäästö 217 g/km. Kyseinen auto sopi hyvin työn kohteeksi, sillä sen polttoaineensyöttöjärjestelmä on sähköisesti ohjattu imusarjaruiskutteinen monipisteruiskutus. Auto oli ollut jo useamman vuoden työn tekijän omistuksessa ja käytössä, joten auton yleiskunto ja toiminta olivat valmiiksi tiedossa.

Koska autolla on ajettu yli 300 tuhatta kilometriä, moottorin kuntoa kartoitettiin ennen muutoksia. Sylintereille tehtiin puristusaine mittausta ja mittauksen tulokset olivat kaikista sylintereistä 12 bar. Puristusaineen ohjearvo moottorille on 11,0–13,0 bar, joten mitattujen arvojen todettiin olevan kunnossa.

Etanolimuutossarjan asennuksen jälkeen moottoriin ruiskutettava polttoainemäärä kasvaa ja tästä syystä auton polttoainejärjestelmän tulee olla kunnossa. Kunto todettiin mitaamalla polttoaineen paine suutintukista. Ohjearvo järjestelmäpaineelle on 2,9–3,1 bar. Moottorin käydessä suutintukista mitattiin paineeksi 3,0 bar. Polttoainejärjestelmän todettiin olevan kunnossa. Ohjearvot tarkistettiin Autodata-korjaamo-ohjelmistosta.

6.2 Tavoitteet

Trifuel-konversion tavoitteena oli pienentää käytetyn bensiiniauton fossiilisia hiilidioksidipäästöjä. Kohdeauton polttoaineenkulutus ja päästöt ovat nykytasolla korkeat, joten konversiolla saadaan huomattava hyöty ympäristön ja taloudellisuuden kannalta. Kaasukonvertoitu auto käyttää bensiiniä aina käynnistettäessä, kunnes moottori saavuttaa tietyn lämpötilan. Jos autolla ajetaan paljon lyhyitä matkoja, bensiiniä kuluu enemmän. Lisäksi kaasuntankkausverkosto on vielä osassa maata melko harva, jolloin kaasutankillisen toimintasäde ei koko maassa ole riittävä. Bioetanolimutoksen tarkoituksena oli, että auto ei olisi enää riippuvainen alkuperäisestä polttoaineestaan, bensiinistä. Bioetanolimutos kaasukonversion lisäksi mahdollistaa autolle myös kaasusäiliöllistä pidemmän toimintasäteen ilman bensiinikäytön suurempia hiilidioksidipäästöjä.

7 Kaasulaitteiston asennus

Kaasulaitteistojen asentaminen on luvanvaraista toimintaa. Tämä työ toteutettiin kaasukonversioketjuun kuuluvan autokorjaamoyrityksen tiloissa ja asennuksen tarkasti ennen muutoskatsastusta Turvallisuus- ja kemikaalivirasto Tukesin hyväksymä maakaasuasennusluvan omaava henkilö.

Kaasulaitteiston asennuksessa eniten aikaa vievät komponenttien kiinnityspaikkojen suunnittelu ja toteutus. Ensin otettiin mitat auton tavaratilasta ja varmistettiin, että käytettävissä ollut kaasusäiliö voidaan asentaa sinne. Tämän jälkeen laitteiston asennus aloitettiin moottoritilaan sijoitettavista komponenteista.

7.1 Paineensäätimen asennus

Moottoritilaan asennettavista komponenteista suurimman tilan vie paineensäädin. Tämän takia sen paikka suunniteltiin ensimmäiseksi. Paineensäädin tulee sijoittaa moottoritilaan niin, ettei se altistu liialliselle kuumuudelle esimerkiksi liian lähellä pakosarjaa. Sitä ei myöskään pidä sijoittaa moottoritilan etuosaan suoraan ajoviimaan pakkaskelin jäätymisriskin vuoksi. Paikan pitäisi olla myös melko lähellä niitä jäähdytinnesteputkia, joista nestekierto haaroitetaan paineensäätimelle. Sopiva paikka löytyi moottorin taka-puolelta läheltä tulipeltiä (kuva 12).



Kuva 12. Paineensäädin kiinnitettynä paikalleen moottoritilan takaosaan.

Tulipellissä oli valmiiksi kierteet ilmastoinnin kylmäaineputken kiinnikkeitä varten. Näihin kiinnityskohtiin taivutettiin suora asennusrauta ja kiinnitettiin pulteilla. Paineensäädin kiinnitettiin pyöreään asennusrautaan, joka kiinnitettiin taivutettuun asennusrautaan. Kiinnityksestä tuli tukeva, eikä paineensäädin ole moottorin huoltotöiden tiellä.

Paineensäätimelle tehtiin lämmityskierto haaroittamalla sille jäähdytinnesteletkut auton sisätilan lämmityslaitteen nestekierrosta. Lämmityslaitteen letkut näkyvät kuvassa 12 turbon lämpöpellin oikealla puolella. Haaroitus tehtiin katkaisemalla nämä jäähdytinletkut ja liittämällä T-malliset haaroitusliittimet niihin letkukiristimillä. Paineensäätimen tulopuolen letkuun liitettiin lämpötila-anturi (kuva 13).

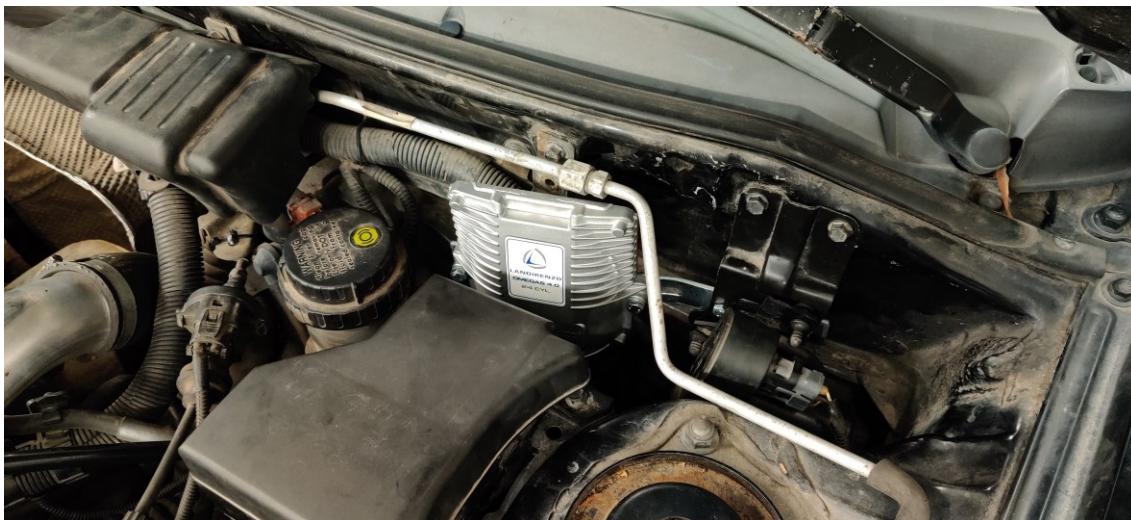


Kuva 13. Lämpötila-anturi liitettynä nestekierron tuloletkuun.

Anturi kytkettiin letkuun tulipellissä olevan sähköliitinsuojakannen kohdalle ja sähkökytkentä saatiin kannen alle piiloon. Vesiletkut kiinnitettiin nippusiteillä liitintelineen alapuolelle.

7.2 ECU:n kiinnitys

Kaasujärjestelmän ECU tulee sijoittaa niin, ettei se altistu liialliselle kuumuudelle tai vesiroiskeille. Volvon moottoritalasta sopiva paikka löytyi vasemmasta reunasta tulipellin ja sulakerasian välistä (kuva 14).



Kuva 14. Kaasujärjestelmän ECU kiinnitettynä paikalleen.

Vakionopeudensäätimen alipainepumpun metallikiinnikkeeseen porattiin kaksi reikää ja kiinnitysrauta kiinnitettiin siihen M6-pulteilla ja muttereilla. Kiinnityksestä tuli tukeva ja ECU:n johtosarjan liitin on alaspäin, jolloin johdot saadaan vedettyä piilossa lähtien sulakerasian alta.

7.3 Injektorikiskon ja suutinnippojen asennus

Injektorikisko tulee sijoittaa mahdollisimman lähelle imusarjaa, jotta kaasun ruiskutuksessa olisi mahdollisimman vähän suutinletkun pituudesta johtuvaa viivettä. Volvon moottorissa imusarja on moottorin etupuolella hyvin näkyvillä ja injektorikiskolle sekä suutinnipoille löytyi erinomainen asennuspaikka imusarjan päältä.

Suutinnipat ovat valmistettu messingistä ja niissä on M6-kierre, jolla ne kiinnitetään imusarjaan. Joissain tapauksissa imusarja pitää purkaa irti, jotta nippojen reiät saadaan porattua imusarjaan. Tässä tapauksessa läpivientireiät saatiin porattua riittävän lähelle imuventtiilejä imusarja paikallaan.

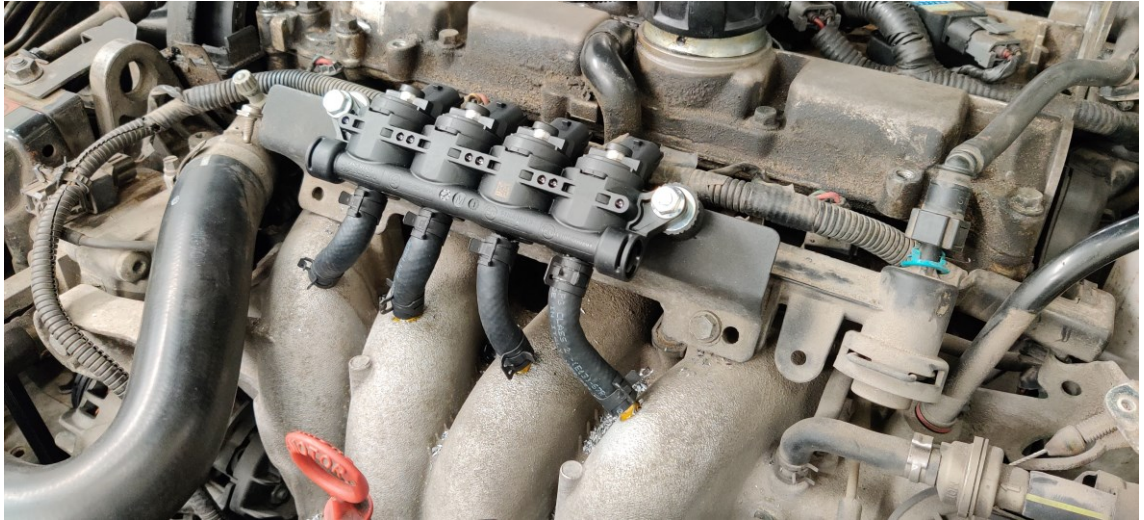
Ensin merkittiin imusarjaan reikien paikat ja porattiin 6 mm:n reikä jokaisen sylinterin imuputkeen. Koska poraus tehtiin irrottamatta imusarjaa, irtoava alumiinilastu poistettiin porattavasta reiästä imurilla porauksen aikana.

Poraus tehtiin hieman viistosti kohti imuventtiilejä, jotta virtaava ilma ei vastusta kaasun ruiskutusta. Reikiin tehtiin kierreyökälulla sopiva sisäkierre. Suutinnipat kierrettiin paikalleen käyttäen kierteessä tiivisteliimaa (kuva 15).



Kuva 15. Suutinnipat kiinnitettyinä imusarjaan.

Injektorikisko kiinnitettiin bensiinisuutinkiskon tukevaan metalliseen suojapeltiin. Suojapeltiin porattiin kaksi 7 mm:n reikää, joihin injektorikisko kiinnitettiin siihen kuuluvilla M6-värinänvaimenninkiinnikkeillä ja muttereilla (kuva 16).



Kuva 16. Injektorikisko ja suutinletkut asennettuna paikalleen.

Lopuksi injektorit ja suutinnipat yhdistettiin \varnothing 6 mm:n kaasuletkuilla, jotka kiinnitettiin letkukiristimillä.

Kun paineensäädin ja injektorikisko olivat paikoillaan, tehtiin niiden välinen matalapaine-kaasuputki. Matalapainelinjaan käytettiin kaasukäyttöön hyväksyttyä \varnothing 14 mm:n kumilet-kua. Linjaan liitettiin suodatin ja paineanturi (kuva 17).



Kuva 17. Kaasusuodatin ja paineanturi matalapainekaasuputkessa ennen injektoreita.

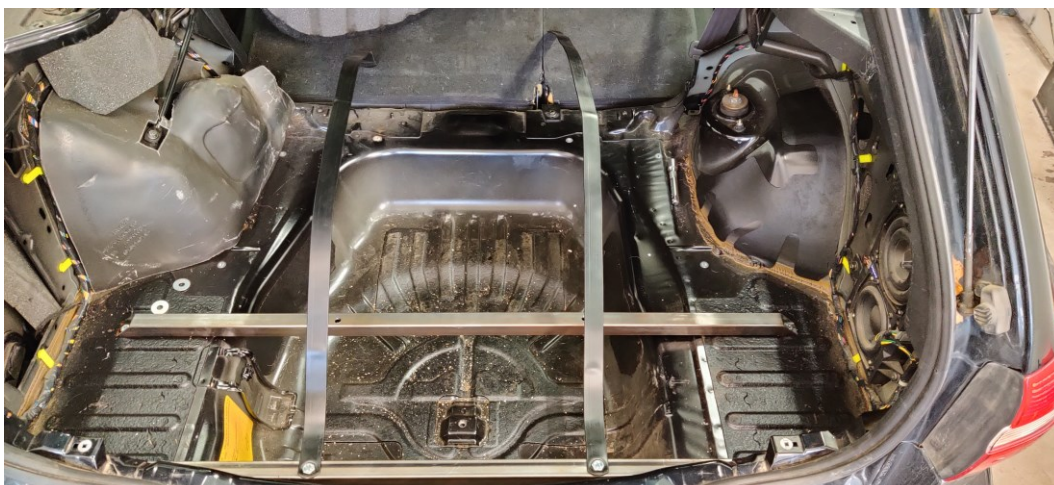
Suodatin on säännöllisesti vaihdettava huolto-osa, joten se asennettiin näkyvään paikkaan, josta se on helppo vaihtaa. Kaasunpaineanturin sisäänrakennetulle MAP-tunnistimelle johdettiin kaasuläpän jälkeinen imusarjan paine. Alipaineletku kiinnitettiin

kaasuläppäkotelon alkuperäiseen tulpattuun vapaaseen alipainelähtöön, josta se kulkee MAP-tunnistimen kautta paineensäätimen alipaineliitäntään.

7.4 Kaasusäiliön asennus tavaratilaan

Säiliön asennus aloitettiin mittaamalla sille tavaratilasta paikka ja purkamalla tavaratilan verhoilu. Käytössä oli terässäiliö, jonka vesitilavuus on 76 litraa ja paino täytenä noin 100 kg. Ajettavuuden kannalta paras paikka säiliölle olisi taka-akselin päällä takaistuimien takana. Säiliön kokonaispituus säiliöventtiin kanssa oli 100 cm ja iskunvaimentimien tornien kohdalla tilaa oli vain 90 cm, minkä vuoksi säiliö sijoitettiin tavaratilan takaosaan.

Säiliön kiinnityskohdan alla tavaratilan pohjassa on syvennys vararenkaalle. Säiliölle tehtiin apurunko kahdesta 30 x 30 x 3 mm:n neliöprofiiliteräsputkesta (kuva 18). Putkien väli toisiinsa mitattiin säiliölle sopivaksi ja putket kiinnitettiin M10-pulteilla ja lukkomuttereilla sopivia aluslevyjä käyttäen tavaratilan pohjaan vararengaskotelon päälle.



Kuva 18. Neliöprofiiliputket kiinnitettynä tavaratilan pohjaan. Säiliön terässpannat on kiinnitetty toiseen putkeen valmiiksi ennen säiliön paikalleen nostoa.

Muovipinnoitetut terässpannat ja kiristyssoljet kuuluivat asennussarjaan. Apurungon putkiin tehtiin reiät säiliön teräspantojen pulttikiinnityksille. Kaasujärjestelmän tankkausventtiili pystytettiin sijoittamaan vasemmalla kyljellä olevan tankkausluukun alle, joten kaasusäiliö asennettiin niin, että säiliöventtiili tuli vasemmalle puolelle. Teräspantojen kiristystä

varten etummaiseen neliöputkeen kiinnitettiin mutterein M10-kokoiset kierretangot (kuva 19).



Kuva 19. Säiliö kiinnitettynä apurunkoonsa. Vararengas mahtuu edelleen omalle paikalleen syvennykseen.

Kiinnityspannat taitettiin metallisolkien läpi itsensä alle sopivaan pituuteen ja soljet kiristettiin muttereilla tiukasti kierretankoihin. Ennen kiristystä kierretankojen päälle laitettiin kumiletkua ja metallisolkien alle kumisuojusta estämään niiden hankaaminen säiliöön. Säiliön kiinnitys todettiin tukevaksi.

Vararengaskotelon peitelevy katkaistiin etummaisen neliöputken kohdalta niin, että vararengaan saa helposti pois paikaltaan kaatamalla takaistuinten selkänojan. Verhoilusta jätettiin kokoamatta takaisin vielä vasen puoli kaasuputkien läpivientejä ja tankkausliittimen asennusta varten.

7.5 Korkeapainelinjan asennus

Kun autoon oli asennettu kaasusäiliö ja moottoritilaan paineensäädin, aloitettiin niiden välisen korkeapaineputken asennus. Aluksi porattiin putken läpivientiin tarvittava reikä tavaratilan pohjaan säiliöventtiilin alle. Tässä vaiheessa tehtiin läpivienti myös säiliöventtiilin solenoidia ohjaavalle sähköjohdolle. Reiät suojattiin ruosteenestomassalla. Läpivientikohtaan kiinnitettiin itseparatuvilla ruuveilla muovinen kaulus tuuletusputkea varten.

Putkea avattiin kiepistä riittävä määrä ja taivuttamalla tehtiin reitti polttoainetankin yli ja tavaratilaan läpiviennistä

Ennen putken kiinnittämistä säiliöventtiiliin, auton sisätilassa kulkevan osuuden päälle pujotettiin muovinen haitarimallinen tuuletusputki, joka ohjaa kaasun läpiviennistä ulos vuototilanteessa.

Helmiliitosta varten teräsputken muovipinnoitetta kuorittiin noin 6 cm. Putken päälle pujotettiin ensin kierreholkkiin ja sitten teräshelmi. Kiritys säiliöventtiiliin tehtiin käsin kiintoavaimella painaen samalla putken päätä pohjaan. Liitoksen pitää olla tiukka, mutta ylikiritys voi vaurioittaa putken päätä. Käsin kiristäessä tunsu hyvin, koska liitos oli kiristynyt pohjaan.

Putken toinen pää vietiin auton alustaa pitkin moottoritilaan, muotoiltiin reitti paineensäätimelle ja katkaistiin putkileikkurilla sopivaan mittaan. Paineensäätimen ja putken väliin tehtiin vastaavanlainen helmiliitos kuin säiliöventtiilissä.

Korkeapaineputki kiinnitettiin auton alustaan RST-kiinnikelenkeillä ja itseporautuvilla ruuveilla (kuva 20).



Kuva 20. Korkeapaineputki säiliöltä paineventtiilille kiinnitettynä auton alustaan. Kaasuputkeen kiinnitettynä säiliöventtiilin solenoidin sähkökaapeli.

Kiinnikelenkkien alla käytettiin ruosteenestomassaa estämään veden pääsy ruuvien reikiin. Säiliöventtiiliin sähköjohto vedettiin muovikuorella suojattuna samaa reittiä moottoritilaan ja kiinnitettiin nippusiteillä kaasuputkeen.

7.6 Tankkausliittimen asennus

Tämän työn kohdeautossa tankkausventtiilille oli riittävästi tilaa alkuperäisen tankkausluukun alla (kuva 21). Luukun alle vapaalle paikalle peltiin porattiin askelporalla tankkausventtiilille sopiva reikä. Koska pelti oli melko ohutta, kiinnityskohta tuettiin aluslevyin molemmin puolin, jotta tankkausventtiili ei taivu kaasuntankkauspistoolin painosta. Tankkausventtiililtä säiliöventtiilille muotoiltiin sopivan pituinen korkeapaineputki. Kaasuputki suojattiin muovisella tuuletusputkella ja helmiliitokset tehtiin molempiin päihin samoin kuin säiliöltä paineensäätimelle kulkevaan korkeapainelinjaan.



Kuva 21. Tankkausliitin asennettuna polttoaineluukun alle. Liittimen päälle tulee kuminen suojatulppa.

7.7 ECU:n johtosarjan sähkökytkennät

Sähkötyöt aloitettiin irrottamalla akusta maakaapeli. Johtoliitokset tehtiin käyttämällä eristettyjä tinajatkoliittimiä (kuva 22) ja suojaamalla liitos lisäksi kutistesukalla.

Kaasujärjestelmän johtosarjan asennus aloitettiin suuttimien ohitusjohtojen kytkennöistä. Johtosarjaan on saatavilla pikaliittimet, jotka sopivat bensiinisuuttimien ja moottorin alkuperäisten suutinjohtojen väliin. Tässä työssä kaasujärjestelmän bensiinisuutinten ohitusjohdot kytkettiin kuitenkin liittimien taakse suutinjohtoihin, jotta etanolimuutosarjan pikaliittimet voidaan myöhemmin kytkeä suoraan bensiinisuuttimiin.

Solenoidityyppisiä bensiinisuuttimia ohjataan niin, että punaisella johdolla on jatkuva positiivinen jännite ja suuttimelta toiseen väriä vaihtava johto on negatiivinen eli maa, jota katkomalla ECU tuottaa ruiskutuspulssin suuttimille. Tämä pulssi ohjataan kulkemaan kaasujärjestelmän ECU:n kautta suuttimien ohitusjohdoilla. Moottorin käydessä kaasulla, kaasujärjestelmä katkaisee ruiskutussignaalin bensiinisuuttimilta ja emuloi sen kaasuinjektoreille.

Aluksi liittimet irrotettiin bensiinisuuttimista ja johtonipun kuorta avattiin niin, että signaalijohtoa saatiin tarpeeksi näkyviin. Johto katkaistiin ja kuorittiin molemmista päistä. Johdon ensimmäinen pää liitettiin kaasuhjainlaitteelle lähtevään johtoon ja liittimeen jäävä pää ohjainlaitteelta palaavaan johtoon.



Kuva 22. Kaasujärjestelmän suutinohitusjohdon kytkentä bensiinisuuttimen liittimen taakse eristetyllä tinajatkoliittimellä.

Nämä ohituskytkennät tehtiin kaikille neljälle suuttimelle kaasujärjestelmän kytkentäohjeen mukaisesti. Lisäksi ensimmäisen sylinterin suuttimen plus-johtoon kytkettiin kaasujärjestelmän ECU:n herätevirtajohto juottamalla ryöstötyyppisellä liitoksella, joka suojattiin sähköeristeteipillä. Liitosten jälkeen johdot teipattiin takaisin nipuksi ja liittimet kytkettiin takaisin suuttimiin (kuva 23).



Kuva 23. Suutinten liitokset valmiina ja johtosarja niputettuna.

Seuraavaksi kytkettiin johto, jonka kautta kaasujärjestelmän ECU saa kierroslukutiedon. Johto kytkettiin sytytyspuolan signaalijohtoon juottamalla. Viimeiset tinakutisteliittimillä tehtävät kytkennät tehtiin jäähdytinnesteen lämpötila-anturille ja tavaratilasta vedetylle säiliön solenoidiventtiin johdoille.

Muita ohjainlaitteeseen kytkettäviä sähkökomponentteja ovat injektorit, paineensäätimen solenoidiventtiili, polttoaineen valitsinpainike, optinen korkeapainemittari ja matalapainepuolen paineanturi. Näihin komponentteihin kytkettiin johtosarjassa olevat valmiit sähköliittimet. Johdot vedettiin moottoritilassa mahdollisimman piilossa ja tarpeen mukaan kiinnitettiin nippusiteillä. Polttoaineen valitsinpainike asennettiin ohjaamoon kojelautaan vapaalle paikalle ja johto sille vietiin tulipellin läpi valmiin läpivientikummin kautta.

Viimeiseksi johtosarjasta kytkettiin virtajohdot rengasliittimillä akun plus- ja miinusnapoihin. Tämän jälkeen johtosarjan lukittava liitin kiinnitettiin ohjainlaitteeseen. Lopuksi päävirtajohdossa olevaan sulakepaikkaan kytkettiin sulake paikalleen. Suutinjohtojen oikein kytkentä tarkastettiin käynnistämällä auto. Moottori käynnistyi ja kävi normaalisti, ja polttoaineen valintakytkin näytti polttoaineeksi bensiinin. Kytkentöjen todettiin olevan kunnossa.

Johtosarjan johtoja ei katkaistu lyhyemmäksi, jotta kaasumuutosarja voidaan mahdollisesti siirtää tulevaisuudessa toiseen autoon. Ylimääräiset johdot niputettiin piiloon sulakerasian alle. Ohjainlaitteen OBD-liitin jätettiin näkyville sulakerasian viereen säätövaihetta varten.

8 Kaasulaitteiston säätö ja muutokatsastus

Kaasulaitteiston toiminnan kannalta tärkeä työvaihe on säätää kaasunruiskutus moottorille optimaaliseksi käyttäen laitteiston valmistajan säätöohjelmistoa. Ennen säätöä piti autoon tankata ensimmäisen kerran kaasua. Kaasusäiliö täytettiin läheisellä biokaasu-aseamalla ja samalla tarkistettiin vuotojen varalta tankkausventtiili, säiliöventtiili, säiliö ja kaikki kaasuputken helmiliitokset hajuaistin sekä vuodonilmaisuusprayn avulla. Vuotoja ei löydetty ja voitiin siirtyä järjestelmän säätöön. Tietokone yhdistettiin kaasujärjestelmän obd-liittimeen usb-sovittimella. Auto käynnistettiin ja säätöohjelmistolla muodostettiin yhteys ohjainlaitteeseen.

8.1 Perusasetukset ja automaattinen kalibrointi

Ensimmäisenä säätöohjelmistossa asetettiin moottoria ja kaasujärjestelmää koskevat perustiedot. Asetettavia tietoja olivat

- kaasupolttoaine CNG/LPG: CNG
- kaasuinjektorityyppi: Landi GIRS12
- moottorin tyyppi: turbo
- iskutilavuus: 1940 cm³
- sylinterimäärä: 4
- ruiskutustapa: sekventiaali
- sytytysjärjestelmä: kaksipuolainen
- kierroslukusignaalin vahvuus: normaali
- polttoaineen vaihtotapa: kiihdytyksessä
- kierrosluvun raja-arvo vaihdolle: 1600
- jäähdynnesteiden lämpötila vaihdolle: 40 °C.

Asetuksista valittiin myös käytössä olevien lämpötila-anturin, MAP-anturin ja korkeapainemittarin mallit, jotta ohjainlaite lukee niiden arvot oikein.

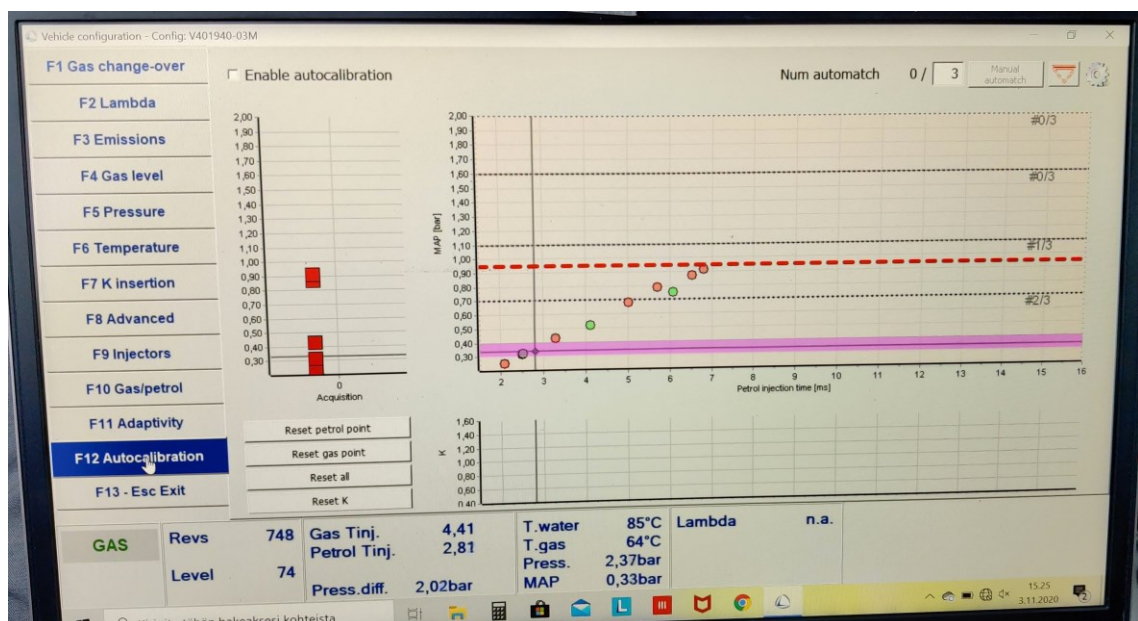
Kun perustiedot olivat asetettu, voitiin suorittaa automaattinen kalibrointi. Automaattinen kalibrointi säätää kaasun ruiskutuskartan tarkempaa, ajossa tehtävää, säätöä varten niin, että moottori pysyy käynnissä kaasulla ja sillä voidaan ajaa. Kalibrointi lähtee

tekemään säätöä lyhentämällä ruiskutusaikoja kartasta, jonka ruiskutusajat ovat korkeat ja polttoaineseos rikas samalla seuraten bensiini-ECU:n ruiskutuspulssin pituutta. Kalibroinnin aikana säätöohjelmisto pienentää korjauskerrointa eli lyhentää kaasun ruiskutusaikaa vähän kerrallaan niin kauan, että bensiiniruiskutuksen ruiskutuspulssi on sama kuin moottorin käydessä tyhjäkäyntiä bensiinillä. Kalibrointi tehtiin uudestaan niin kauan, että moottori ei enää sammunut ja prosessi meni läpi loppuun asti.

Kalibroinnin lopuksi kaasun ruiskutusaika tyhjäkäynnillä oli noin 4,5 ms ja bensiinin ruiskutusaika 3,0 ms. Kaasujärjestelmän laskema korjauskerroin kaasun ruiskutusaikaan oli siis 1,5.

8.2 Kaasun ruiskutuskartan säätö

Seuraavaksi autolla lähdettiin ajamaan, jotta ruiskutuskartta saadaan säädettyä tarkemmin moottorin eri kuormitusasteilla. Tähän säätöohjelmasta käytettiin autocalibration-toimintoa (kuva 24). Toiminnossa on visuaalinen asteikko, jonka pystyakseli kuvaa imusarjan painetta ja vaaka-akseli bensiinin ruiskutusaikaa.



Kuva 24. Autocalibration-toiminto. Punaiset pisteet kuvaavat bensiinin ruiskutusaikoja ja vihreät kaasun ruiskutusaikoja. Kuvassa arvojen keräys on vielä kesken.

Ensin ajettiin bensiinillä, niin että ohjelmisto sai piirrettyä punaisista pisteistä muodostuvan kuvaajan, joka kuvaa bensiinin ruiskutusaikaa suhteessa MAP-arvoon. Kun kuvaaja oli muodostettu koko kuormitusalueelle, vaihdettiin polttoaine kaasulle ja ohjelma muodosti vastaavan kuvaajan kaasulla ajaessa. Kun kuvaaja oli muodostettu bensiinillä ja kaasulla, säätöohjelma laski kaasun ruiskutuskarttaan tarkemmat korjausarvot eri MAP-arvoilla.

Kun kaasun ruiskutuskartta oli autokalibroitu, autolla ajettiin mahdollisimman monipuolisesti taajamassa sekä maantiellä ja samalla hienosäädettiin ruiskutuskartasta ruiskutusaikoja manuaalisesti, jos havaittiin tehottomuutta tai nykimistä tietyllä alueella. Auton OBD-pistokkeeseen kytketystä diagnoositesteristä seurattiin lambda ohjaamaa lyhyt- ja pitkäaikaista ruiskutusajan korjausta, varmistaen ettei polttoaineilma-seos mene laihalle kaasulla ajaessa.

Kaasukäytössä moottorin maksimiteho ja -vääntömomentti laskevat hieman verrattuna bensiinikäyttöön. Säätöohjelmistossa on asetus, joka mahdollistaa bensiinin ruiskutuksen korkeilla kierrosluvuilla. Kierrosluvuksi, josta ylöspäin moottoriin syötetään bensiiniä, asetettiin 3300 r/min. Näin moottorin alkuperäinen teho on kokonaan käytettävissä korkeammilla kierroksilla ja kiihdytys esimerkiksi ohitustilanteessa on ripeämpää. Kaasujärjestelmän säätö saatiin tehtyä onnistuneesti ja auto toimi moitteettomasti ajossa.

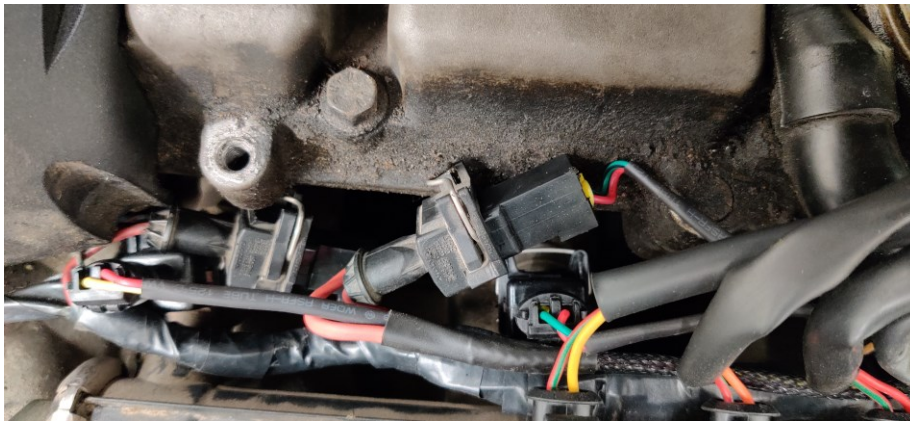
8.3 Muutoskatsastus

Kun kaasujärjestelmä oli säädetty, vietiin auto muutoskatsastukseen. Katsastuksessa tarkistettiin valmistajan todistukset komponenttien E-sääntöjen 110 ja 115 vaatimusten mukaisuudesta sekä asennuspöytäkirja, jonka on laatinut Tukesin hyväksymä henkilö. Kaasulaitteiston asianmukainen ja turvallinen kiinnitys tarkistettiin ja auton akselimassat punnittiin. Lisäksi autosta mitattiin pakokaasupäästöt, jotka eivät saa ylittää käyttönottoajankohdan mukaisia arvoja. Kun katsastus oli suoritettu hyväksytysti, merkittiin rekisteriin auton käyttövoimaksi Bensiini/CNG.

9 Etanolimuutossarjan asennus

9.1 Suutinliittimien asennus

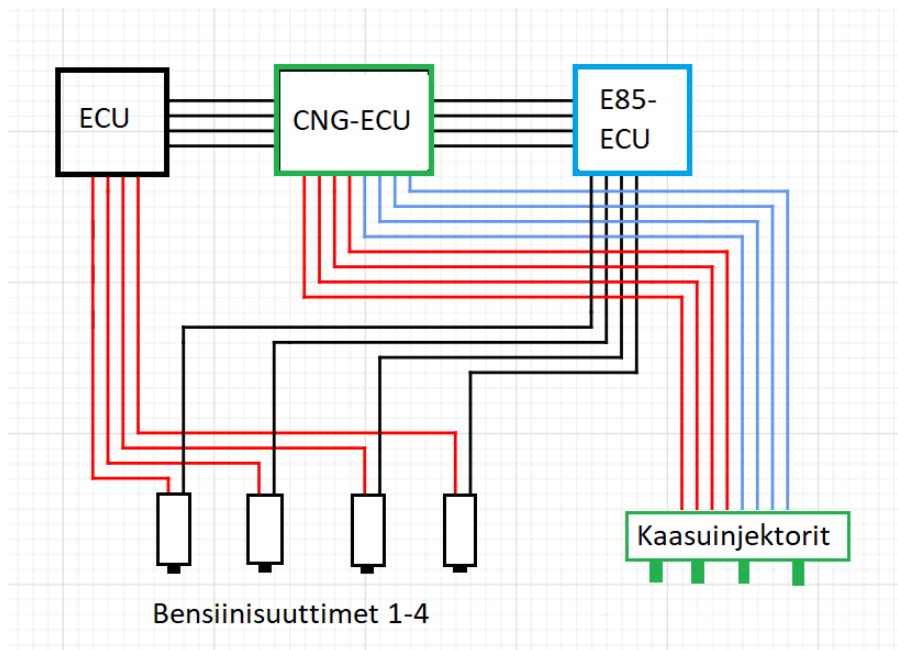
Etanolimuutossarjan asennus aloitettiin kytkemällä ohjeen mukaan suutinjohdot liitinrunkoihin, suutinten napajärjestys huomioiden. Johdoissa oli valmiiksi kiinni puristetut kontaktiterminaalit, jotka lukittuivat liitinrunkoihin. Jokaista ruiskusuutinta kohden sarjassa on kaksi kaksinapaista liittintä: suuttimeen sopiva naarasliitin ja suutinjohdon liittimeen sopiva koirasliitin. Suutinliittimet kytkettiin suuttimiin ja auton johtosarjan liittimiin (kuva 25).



Kuva 25. Etanolimuutossarjan uros- ja naarassuutinliittimet kytkettynä suuttimen ja alkuperäisen liittimen väliin.

Suutintukin peitemuovin alla oli riittävästi tilaa kaikille liittimille, joten kytkennät pidettiin siellä. Toimintajännitteen ohjainlaite saa ensimmäisen sylinterin ruiskusuuttimen plusjohtimesta ja sen maadoitusjohdon rengasliitin kiinnitettiin auton koriin.

Kuva 26 havainnollistaa, polttoaineen ruiskutuksen kytkentätapaa muutossarjojen asennuksen jälkeen.



Kuva 26. Havainnekuva bensiinisuuttimien ja kaasuinjektoreiden ohjauksesta.

Kuvasta nähdään, että auton omalta ECU:n tuottama ruiskutussignaali on ohitettu suuttimilta kaasujärjestelmän ECU:lle. Kun moottoria käytetään nestemäisellä polttoaineella kaasujärjestelmän ECU ohjaa ruiskutussignaalin etanolisarjan ECU:lle. Etanolisarjan ECU ohjaa suuttimia muuttaen ruiskutusaikoja etanolipitoisuuden mukaan. Kun polttoaine vaihdetaan kaasulle, kaasujärjestelmän ECU katkaisee signaalin bensiinisuuttimilta, jolloin nestemäisen polttoaineen ruiskutus moottoriin loppuu ja moottoriin syötetään kaasua kaasuinjektorien kautta.

9.2 Polttoaineputken ja etanolipitoisuusanturin asennus

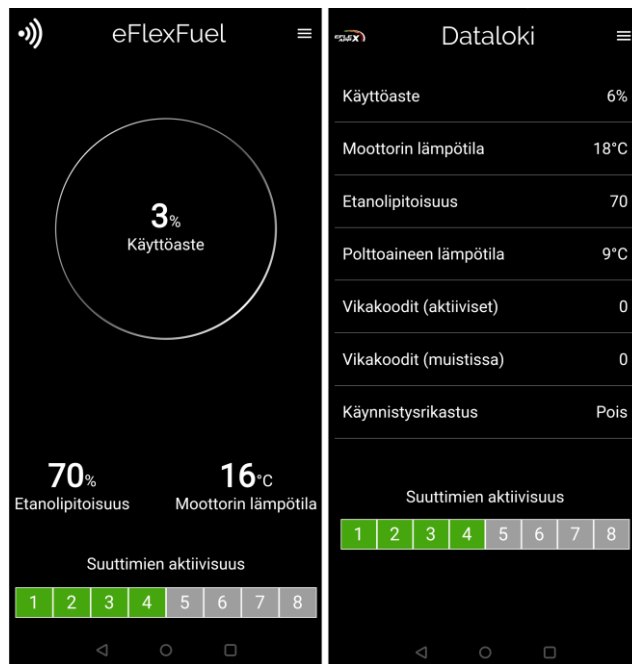
Etanolianturi tulee kytkeä polttoainelinjaan mahdollisimman lähelle suuttimia. Auton polttoainelinja oli tankilta tulipeltiin asti metallista putkea, josta se jatkui pikaliittimillä varustetulla kovamuovisella putkella suutintukille. Tämä muovinen polttoainelinja vaihdettiin kumiseen etanolinkestäväään polttoaineputkeen, jotta linjan väliin voitiin liittää etanolipitoisuusanturi. Polttoaineen paine poistettiin suutinkiskon mittausventtiilistä ja alkuperäinen polttoaineputki irrotettiin. Uusi polttoaineputki kiinnitettiin suutintukkiin pikaliittimellä ja muut liitokset kiristettiin letkukiristimillä.

9.3 ECU:n kiinnitys

Ohjainlaite on pienikokoinen ja kevyt ja sen paikaksi päätettiin vapaa tila sulakerasian alla. Sulakerasian alta johtosarjan liittimeltä kaikki johdot saatiin vedettyä komponenteille siististi piilossa. Kylmäkäynnistystoiminnon lämpöanturi vietiin venttiilikannen päälle suojamuovien alle, jossa se on suojassa ajoviimalta. Asennuksen lopuksi ohjainlaitteeseen kytkettiin johtosarjan liitin.

9.4 Toiminnan tarkastus ja Bluetooth-yhteyden muodostaminen

Kun muutossarjan asennus oli valmis, auto käynnistettiin ja ohjainlaitteeseen muodostettiin puhelimella Bluetooth-yhteys valmistajan oman eFlexFuelApp-sovelluksen avulla. (kuva 27). Moottori käynnistyi nopeasti polttoainelinjan täytyttyä ja kävi normaalisti, eikä polttoainelinjassa ollut vuotoja. Sovellus näytti kaikki neljä suutinta aktiivisiksi ja suuttimien käyttöasteeksi 3 % tyhjäkäynnillä. Etanolipitoisuusanturin antama arvo 6 % todettiin uskottavaksi, kun polttoainejärjestelmässä oli vielä 98E5-bensiiniä. Lämpöanturi näytti sisätiloissa olleen moottorin lämpötilaksi käynnistyshetkellä 20 °C. Kaikkien komponenttien todettiin toimivan oikein ja niiden arvot olivat loogiset.



Kuva 27. Ruudunkaappaukset eFlexFuelApp-sovelluksesta. Polttoaineen etanolipitoisuus on 70 %.

Moottorin lämmentyä tarpeeksi tarkastettiin etanolijärjestelmän toiminta yhdessä kaasujärjestelmän kanssa. Käytettävää polttoainetta vaihdettiin kaasujärjestelmän painikkeesta bensiinistä kaasuun. Etanolijärjestelmän toimintaa seurattiin sovelluksesta vaihdon aikana. Moottorin ollessa tyhjäkäynnillä ja vaihdettaessa kaasuun nähtiin, että suuttimien aktiivisuusvalot sammuihin ja käyttöaste putosi 0 %:iin. Kaasuinjektorit alkoivat syöttää kaasua ja moottorin käynti pysyi vaihdon aikana tasaisena. Etanolijärjestelmän ohjainlaite pysyi aktiivisena eikä sammunut, kun siltä katkaistiin ruiskutussignaali. Moottorin käydessä kaasulla Bluetooth-yhteys etanoliohjainlaitteeseen pysyi päällä ja sovelluksesta nähtiin edelleen reaaliaikaisesti lämpöanturin arvo sekä polttoaineen etanolipitoisuus ja lämpötilä. Vaihto takaisin kaasulta bensiinille onnistui myös odotetusti ilman nykimistä. Kaasuinjektoreiden ääni loppui ja sovelluksesta nähtiin suuttimien muuttuvan aktiivisiksi. Vaihto ei aiheuttanut vikakoodeja etanoliohjainlaitteeseen eikä auton vika-muistiin.

9.5 Ensimmäinen tankkaus

Järjestelmän oli todettu toimivan bensiinillä ja autoon tankattiin E85-polttoainetta. Polttoainetankissa oli mittarin mukaan alle 1/4 bensiiniä ja se täytettiin E85-polttoaineella.

Tankkauksen jälkeen sovelluksesta nähtiin polttoaineen etanolipitoisuuden nousseen 65 %:iin. Muutossarjan ohjekirjassa kehoitettiin seuraamaan suuttimien käyttöastetta ajattaessa E85-polttoaineella. Jos suuttimien käyttöaste nousee 100 %:iin kiihdytyksissä, on polttoainejärjestelmässä vikaa, sen tuotto on riittämätön tai suuttimet ovat liian pienet. Autolla tehtiin muutamia täyskaasukiihdytyksiä ja suuttimien käyttöaste pysyi alle 85 %:ssa. Polttoainejärjestelmän tuotto todettiin riittäväksi.

9.6 Öljynvaihto

Muutossarjan ohjeissa suositellaan etanolilla ajattaessa käyttämään moottoriöljynä API SN -öljyä. Autossa oli käytetty aiemmin vanhemman API SM -luokan öljyä, joten muutoksen yhteydessä autoon vaihdettiin SN-luokituksen täyttävät öljyt. API SN -luokitettun öljyn ominaisuudet ovat paremmat korkean etanolipitoisuuden polttoaineiden kanssa ja se estää vanhempia luokituksia paremmin öljyn ja etanolin emulsiota ja etanolin aiheuttamaa korroosiota moottorissa.

10 Tulokset ja auton toiminta

10.1 Auton toiminta ja käyttökokemukset

Muutosten jälkeen autolla ajettiin biokaasulla ja etanolilla ja seurattiin sen toimintaa. Kaasu- ja etanolijärjestelmät toimivat kuten pitikin. Käynnistäessä auto käytti ensin etanolia ja noin kilometrin ajon jälkeen vaihtoi kaasulle. Polttoaineen vaihto tapahtui, moottori oli lämmennyt riittävästi ja kierrokset nousivat yli raja-arvon. Polttoaineen vaihtoa ei ajossa huomannut muuten kuin naksahduksesta, joka kuuluu säiliöventtiilin solenoidin auetessa. Auton polttoaineen ruiskupumpun ohjaukseen ei tarvinnut tehdä muutoksia, koska se sammuu automaattisesti paineen noustessa, kun bensiinisuttimien ruiskutus loppui. Pumppu myös käynnistyy, kun ruiskutussignaali ohjataan takaisin bensiinisuttimille.

Auton tehoa ei tässä työssä mitattu uusilla käyttövoimilla, mutta arviolta kaasulla ajattaessa teho on noin kymmenyksen bensiinikäyttöä pienempi, joka on normaalia jälkiasennussarjoilla. Etanolilla ajattaessa moottori tuntui vääntävän matalilla kierroksilla jopa

paremmin kuin bensiinikäytössä. Kun kaasu loppui ajossa, järjestelmä vaihtoi takaisin etanolille ilman ongelmia ja ohjaamossa oleva kaasumäärän ilmoittava painike antoi merkkiään. Vaikka täysi kaasusäiliö lisää painoa auton tavaratilaan noin 100 kiloa, auton ajettavuus ei huomattavasti kärsinyt. Ajettavuuteen auttoi luultavasti autoon jo aiemmin vaihdetut vakiota jäykemmät jouset.

Loppusyksystä E85:n todettiin olevan asemilla jo talvilaatua ja etanolipitoisuus oli soveluksen mukaan 70 %. Suuria ongelmia käynnistyvydessä etanolilla ei ollut. Moottorin kylmäkäynnistys pakkasella oli hieman pidempi kuin normaalisti bensiinillä, mutta auto käynnistyi aina ensimmäisellä käynnistysyrityksellä.

Toimintasäde kaasulla yhdellä tankkauksella on keskimäärin 200 km. Aikaisempaa tiheämpi tankkausväli ei ole liiallinen haitta, koska kaasuasemia on tiheästi ja tankkaus kestää noin 5 minuuttia. Täydellä kaasusäiliöllä ja E85-tankillisella auton toimintasäde on yhteensä noin 700 km, joka on riittävä. Bensiinillä auton toimintasäde tankillisella on ollut noin 650 km.

10.2 Kulutusmittaukset

Mittaukset suoritettiin ajamalla biokaasulla viisi säiliöllistä. Biokaasun lisäksi kului bioetanolia. Tankatut polttoainemäärät ja ajomatkat merkittiin ylös. Mittausten aikana ajettiin yhteensä hieman vajaa 1000 kilometriä. Mitatut tulokset perustuvat auton osamatkamtarin ja tankkausmittareiden lukemiin, eikä niissä esiintyviä mittausvirheitä oteta huomioon laskuissa. Mittausten aikainen ajo koostui arkiajosta, johon sisältyi sekä kaupunkiajettä maantieajoa.

Ajetut reitit olivat pääasiassa samoja ja ajotapa pyrittiin pitämään mahdollisimman samanlaisena, kuin aiemmin bensiinillä ajaessa. Auton bensiininkulutuksen on jo ennen tätä työtä mitattu olevan keskimäärin 9,2 l / 100 km. Bensiinin hinnan ollessa keskimäärin 1,6 €/l, polttoainekustannukset ovat olleet 14,72 € / 100 km.

Ennen mittauksia kaasusäiliö ajettiin tyhjäksi, minkä jälkeen se tankattiin täyteen ja tankattu kilometriä merkittiin muistiin. Kaasutankkauksessa saatava kaasun kilometriä vaihtelee johtuen kaasuasemien tankkauspaineen vaihtelusta ja tästä syystä kaasusäiliö

ajettiin kokonaan tyhjäksi ennen seuraavaa tankkausta. Kun tankattu kaasu loppui, kirjattiin kaasulla ajettu kilometrimäärä. Tankkaus ja ajettujen kilometrien mittaus toistettiin viisi kertaa, jolloin yhteensä oli ajettu 985 kilometriä. Mittauksen tulokset nähdään taulukosta 1.

Taulukko 1. Kulutusmittaukset biokaasulla.

Mittaus	1	2	3	4	5
Tankkaus (kg)	10,23	12,32	12,98	11,96	10,52
Hinta (€/kg)	1,366	1,292	1,312	1,294	1,324
Ajomäärä (km)	182	202	220	188	193
Keskikulutus (kg/100km)	5,62	6,10	5,90	6,36	5,45
Kustannus €/100km	7,678	7,880	7,741	8,232	7,217

Taulukosta nähdään viiden tankkauskerran tankatut kilot ja ajettut kilometrit. Tankatuista kiloista ja ajomäärästä on laskettu keskikulutukset. Lisäksi on laskettu polttoainekustannus sataa kilometriä kohden. Mitattujen keskikulutuksien keskiarvoksi saadaan 5,9 kg / 100km ja polttoainekustannus on keskimäärin 7,50 € / 100km.

Mittausten aikana selvitettiin myös tällä matkalla kuluneen E85-polttoaineen määrä. Etanolia auto kulutti noin kilometrin matkalla joka käynnistyksestä, kunnes moottorin lämpötila oli riittävän korkea ja järjestelmä vaihtoi automaattisesti kaasulle. Lisäksi etanolia kului ajettaessa lähimmälle kaasuasemalle kaasun loputtua. Tankki oli tankattu ennen mittausajoa täyteen ja se täytettiin lopuksi uudelleen. Tankissa olleen polttoaineen etanolipitoisuus oli 70 %. Mittausten aikana ajettun 985 kilometrin matkalla etanolipolttoainetta oli kulunut 12,7 litraa. Tästä voidaan laskea, että ajettaessa pääasiallisesti kaasulla etanolia kuluu samalla keskimäärin 1,3 l / 100 km. E85:n hinnan ollessa 1,099 €/l sen kustannus on 1,43 € / 100 km. Huomioitavaa on, että kylmäkäynnistysten määrä, ajomatkojen pituus ja ulkolämpötila vaikuttavat huomattavasti kuluvan etanolin määrään.

Yhteenlaskettu polttoainekustannus biokaasulla ja etanolilla on

$$7,50 \text{ €} + 1,43 \text{ €} / 100 \text{ km} = 8,93 \text{ €} / 100 \text{ km}.$$

Bensiinillä ajoon verrattuna säästöä polttoainekuluissa syntyy

$$14,72 \text{ €} - 8,93 \text{ €} / 100 \text{ km} = 5,79 \text{ €} / 100 \text{ km}.$$

Kun auton ajosuorite on vuodessa 20 000 km, polttoainekuluissa säästöä syntyy vuodessa

$$20\,000 \text{ km} \times 5,79 \text{ €} / 100 \text{ km} = 1158 \text{ €}.$$

10.3 Hiilidioksidipäästöt

Tarkoituksena on verrata kohdeauton käytön aikaisia fossiilisia hiilidioksidipäästöjä ennen muutoksia ja muutosten jälkeen. Tässä työssä ei oteta kantaa polttoaineiden tuotannon ja jakelulogistiikan aiheuttamiin hiilidioksidipäästöihin. Laskuissa huomioidaan ainoastaan polttoaineen polttamisesta moottorissa aiheutuva ilmakehän hiilidioksidia lisäävä päästö. Ajosuoritteena laskuissa käytetään 20 000 km vuodessa.

Auton keskikulutus bensiinillä on ollut 9,2 l / 100 km ja palaessaan litra bensiiniä tuottaa hiilidioksidia 2,35 kg. Kun autolla ajetaan vuodessa 20 000 km, voidaan laskea vuosittainen hiilidioksidipäästö:

$$2,35 \text{ kg} / \text{l} \times 20\,000 \text{ km} \times 9,2 \text{ l} / 100 \text{ km} = 4324 \text{ kg}.$$

Muutosten jälkeen auto käyttää polttoaineena pääsääntöisesti uusiutuvaa biokaasua, joka ei palaessaan tuota fossiilista hiilidioksidipäästöä. E85-korkeaseosetanolin alkoholiolosuus on biokaasun metaanin tavoin jätteestä tuotettua ja uusiutuvaa. Fossiilinen hiilidioksidipäästö muodostuu siis kaasukäytön aikana kuluva bioetanoliin sekoitetun hiilivetybensiinin osuudesta. E85-polttoaineen etanolipitoisuus voi vaihdella 70–85 tilavuusprosentin välillä. Kulutusmittauksen aikana käytetyn polttoaineen etanolipitoisuus oli 70 %, joten laskussa käytettävä bensiinin osuus on 30 %. Mittauksessa todettiin, että kaasukäytössä etanolipolttoainetta kuluu 1,3 l / 100 km. Kun autolla ajetaan muutosten jälkeen biokaasulla ja -etanolilla vuodessa sama matka kuin bensiinillä, vuosittainen hiilidioksidipäästö on

$2,35 \text{ kg} / \text{l} \times 20\,000 \text{ km} \times 0,3 \times 1,3 \text{ l} / 100 \text{ km} = 183,3 \text{ kg}$.

Biokaasun ja -etanolin käytöllä auton käytön aikaiset fossiiliset hiilidioksidipäästöt pienenevät siis 96 % verrattuna bensiinin käyttöön.

Muutosten jälkeen auton polttoaineena voidaan käyttää myös maakaasua ja bensiiniä. Tällöin päästöt muodostuvat fossiilisen metaanin ja bensiinin palamisesta. Maakaasu tuottaa hiilidioksidia palaessaan 2,75 kg/kg(cng). Maakaasun ja biokaasun energiasäilytys on sama, joten maakaasun kulutus on myös 5,9 kg / 100 km. Bensiinin etanolia suuremman energiasäilytyksen myötä sen keskikulutuksen voidaan olettaa olevan noin 25 % pienempi, eli 0,975 l / 100 km. Käytettäessä maakaasua ja bensiiniä vuosittainen hiilidioksidipäästö on seuraava:

Maakaasu: $2,75 \text{ kg} / \text{kg(cng)} \times 20\,000 \text{ km} \times 5,9 \text{ kg(cng)} / 100 \text{ km} = 3245 \text{ kg}$

Bensiini: $2,35 \text{ kg} / \text{l} \times 20\,000 \text{ km} \times 0,975 \text{ l} / 100 \text{ km} = 458,25 \text{ kg}$

Yhteensä: $3245 \text{ kg} + 458,25 \text{ kg} = 3703,25 \text{ kg}$.

Fossiilista maakaasua ja bensiiniä käytettäessä auton fossiiliset hiilidioksidipäästöt pienenevät noin 14 % verrattuna pelkän bensiinin käyttöön.

10.4 Tulosten kriittinen tarkastelu

Tankatun polttoainemäärän ja ajatun matkan perusteella tehtävä kulutusmittaus on hyvin karkea mittaustapa. Koska mittaustuloksissa ei huomioida mittausrvirheitä, on myös laskujen tulokset suuntaa antavia. Laskettu 96 % hiilidioksidipäästön vähenemä biopolttoaineilla on suuri. Yleisesti biokaasun käyttö vähentää hiilidioksidipäästöjä noin 85 % verrattuna bensiiniin. Maakaasulla vähennys on noin 20 %. Jos huomioitaisiin biopolttoaineiden koko elinkaaren aikaiset päästöt, olisivat auton muutosten tuomat vähennykset pienempiä. Mittaushetkellä voimassa olleiden polttoaineiden hintojen perusteella voitiin kuitenkin laskea melko luotettavasti polttoainekustannuksissa syntyvä säästö. Polttoainekustannuksiin vaikuttavat bensiinin, biokaasun ja E85:n hinnanmuutokset.

10.5 Kustannukset ja kannattavuus

Pohdittaessa työssä tehtyjen muutosten taloudellista kannattavuutta täytyy vertailla muutoksista aiheutuneita kustannuksia ja polttoainekustannuksissa syntyvää säästöä. Koska käytännön asennus suoritettiin itse, työn kustannukset koostuvat laitteiston hinnasta ja muutokatsastuksesta. Muutostyön kulut olivat seuraavat:

- kaasulaitteisto ja säiliö tarvikkeineen: 1082 €
- etanolimuutossarja: 250 €
- muutokatsastus: 150 €
- yhteensä: 1482 €.

Työn autolle haettiin Traficomien 30.11.2021 asti tarjoma 1000 euron muuntotuki, jota voi hakea bensiiniauton kaasukonversioon. Muuntotuen jälkeen laitteiston asennuksen kokonaiskustannukseksi jäi 482 euroa.

Kaasukäyttöiselle autolle määrätään perusveron lisäksi käyttövoimavero. Tämän työn kohdeautolle käyttövoimavero on 203 euroa vuodessa. Kulutusmittausten perusteella laskettu säästö polttoainekustannuksissa on vuodessa 1158 euroa. Kun tästä vähennetään käyttövoimaveron määrä, vuosittainen kokonaissäästö on 955 euroa. Voidaan todeta, että tämän työn tapauksessa kustannukset kuoleentuvat alle vuodessa ja muutostyöt olivat kannattavia.

Liikkeessä teetettynä kaasumuutoksen hinnat ovat yleisesti alkaen noin 3000 euroa ja etanolimuutossarja asennettuna noin 450 euroa, jolloin niiden asennuttaminen ei olisi kannattavaa kohdeauton ikäiseen autoon.

11 Yhteenveto

Työn tarkoituksena oli muuttaa bensiinimoottorilla varustettu henkilöauto käyttämään polttoaineena biokaasua ja bioetanolia. Muutoksia varten hankittiin kaasunruiskutuslaitteisto ja etanolimuutossarja. Kaasulaitteiston ja etanolimuutossarjan asennus onnistui suunnitellusti, eikä niiden yhtäaikaisessa käytössä todettu ongelmia. Auto on päivittäisessä käytössä ja toimii. Työ oli hyvin mielenkiintoinen, koska se sisälsi paljon käytännön asennustyötä ja perehtymistä laitteiden toimintaan.

Tavoitteena oli laskea autolla ajamisesta aiheutuvia fossiilisia hiilidioksidipäästöjä ja samalla polttoainekustannuksia. Tavoitteet saavutettiin ja auton hiilidioksidipäästöt ovat huomattavasti pienemmät käytettäessä polttoaineena bensiinin sijasta uusiutuvaa biokaasua ja bioetanolia. Tulokseksi saatiin, että ajettaessa biopolttoaineilla auton tuottamat fossiiliset hiilidioksidipäästöt laskevat 96 % verrattuna bensiinillä ajoon. Laskuissa huomioitiin ainoastaan polttoaineen palamisesta syntyvä hiilidioksidi.

Polttoainekuluissa syntyvä säästö on huomattava ja tulevaisuudessa säästö voi olla vielä suurempi, jos fossiilisten polttoaineiden verotus ja hinnat nousevat entistä nopeammin ilmastopaineen alla. Tässä työssä laskettiin, että 20 000 km:n ajosuoritteella vuosittain säästöä syntyy 955 euroa. Traficomien kaasukonversioon myöntämän 1000 euron muuntotuen jälkeen muutostöiden kokonaiskustannukseksi jäi 482 euroa. Muutostöiden todettiin olevan myös taloudellisesti kannattavia, kun käytännön asennustyö suoritettiin itse.

Yhtenä tämän työn tarkoituksena oli myös ottaa esiin vaihtoehtoja liikenteen täyssähköistämisen rinnalla. Suuri osa autovalmistajista on jo lopettanut etanoli- ja kaasumoottoriensa kehittämistyön, mutta Suomen vanhassa autokannassa on suuri potentiaali konversioille. Suomessa voitaisiin myös tuottaa biokaasua ja -etanolia huomattavasti nykyistä useamman kaasua- ja etanoliauton tarpeisiin.

Lähteet

- 1 Suomen maakaasumarkkinat. 2020. Verkkoaineisto. Energiavirasto. <<https://energiavirasto.fi/maakaasumarkkinat>>. Luettu 2.11.2020.
- 2 Maakaasukäsikirja. 2014. Verkkoaineisto. Suomen Kaasuyhdistys. <<https://www.kaasuyhdistys.fi/julkaisut/maakaasun-kasikirja>>. Luettu 2.11.2020.
- 3 Energialähteet: Maakaasu ja Biokaasu. Verkkoaineisto. Motiva Oy. <https://www.motiva.fi/ratkaisut/kestava_liikenne_ja_liikkuminen/nain_liikut_viisaasti/valitse_auto_viisaasti/energialahteet/maakaasu_ja_biokaasu>. Luettu 2.11.2020
- 4 Roinila, Jukka. 2020. Kaasuauton päästöt maa- ja biokaasulla. Verkkoaineisto. Kaasuautoilijat ry. <<https://kaasuautoilijat.fi/2019/07/24/maakaasu-ja-biokaasu>>. Luettu 2.11.2020.
- 5 Roinila, Jukka. 2020. Kysymyksiä biokaasusta. Verkkoaineisto. Kaasuautoilijat Ry. <<https://kaasuautoilijat.fi/2019/07/01/10-kysymysta>>. Luettu 3.11.2020.
- 6 Biokaasusertifikaateilla päästötöntä uusiutuvaa energiaa. Verkkoaineisto. Gasum Oy. <<https://www.gasum.com/Yrityksille/kestavat-energiaratkaisut/biokaasu/>>. Luettu 12.11.2020.
- 7 Kaasuntankkausasemat. Verkkoaineisto. Gasum Oy. <<https://www.gasum.com/yksityisille/tankkaa-kaasua/tankkausasemat/>>. Luettu 15.1.2021.
- 8 RE85. Verkkoaineisto. St1. <<https://www.st1.fi/yksityisille/tuotteet-ja-palvelut/polttonesteet/bensiinit-ja-re85/re85>>. Luettu 12.11.2020.
- 9 Korkeaseosetanoli E85. Verkkoaineisto. Motiva Oy. <https://www.motiva.fi/ratkaisut/kestava_liikenne_ja_liikkuminen/nain_liikut_viisaasti/valitse_auto_viisaasti/energialahteet/korkeaseosetanoli_e85>. Luettu 12.11.2020.
- 10 Polttoaineiden laatuvarmistuksen kehittäminen. Verkkoaineisto. VTT Tiedotteita 2528. <<https://www.vttresearch.com/sites/default/files/pdf/tiedotteet/2010/T2528.pdf>>. Luettu 12.11.2020.
- 11 Bensiiniopas. Verkkoaineisto. Neste Oy. <https://www.neste.fi/sites/neste.fi/files/Bensiiniopas_2016.pdf>. Luettu 12.11.2020.
- 12 Suomen E85- ja RE85-asetat. Verkkoaineisto. eflexfuel. <<https://eflexfuel.fi/e85-asetat>>. Luettu 15.1.2021.

- 13 Auton ja sen perävaunun rakenteen muuttamisesta annetun määräyksen 2 kohdan muuttaminen. Verkkoaineisto. Traficom. < <https://www.traficom.fi/fi/saadokset/auton-ja-sen-peravaunun-rakenteen-muuttamisesta-annetun-maarayksen-2-kohdan-muuttaminen>>. Luettu 5.2.2021.
- 14 Sääntö nro 110. Verkkoaineisto. Yhdistyneiden Kansakuntien Euroopan talouskomissio. <<https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2008:072:0113:0226:FI:PDF>>. Luettu 8.2.2021.
- 15 CNG cylinder valves VM05 Automatic. Verkkoaineisto. Tomasetto. < <https://www.tomasetto.com/en/products/cng-valves/cng-cylinder-valves/vm05-automatica-2> > Luettu 13.4.2021.
- 16 OMB filling point SOL 1 (CNG) - NGV1 - M12x1. Verkkoaineisto. Vosken. <<https://vosken.de/OMB-filling-point-SOL-1-CNG-NGV1-M12x1>>. Luettu 8.2.2021.
- 17 Landi Renzo 6 Cylinder Sequential CNG Kit. Verkkoaineisto. MLN Technology. <<https://www.cngkit.org/products/landi-renzo-6-cylinder-cng-kit>> Luettu 9.2.2021.
- 18 Filter F-781 Landi Renzo. Verkkoaineisto. LRG Store. <<https://www.lrgroup.store/en/filters/29-filtro-f-781.html>> Luettu 9.2.2021.