

Tomi Kemppainen

Bifuel-konversio

Metropolia

Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Tekijä(t) Otsikko	Tomi Kempainen Bifuel-konversio
Sivumäärä Aika	43 sivua + 3 liitettä 26.10.2014
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	Auto- ja kuljetustekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	Jälkimarkkinointi
Ohjaaja	Lehtori Heikki Parviainen, Metropolia AMK
<p>Tässä opinnäytetyössä toteutettiin bifuel-konversio käytetylle henkilöautolle. Työ suoritettiin itsenäisesti asennuksen suunnittelusta käytännön teknisen asennuksen toteutukseen saakka.</p> <p>Työssä esitellään liikennekaasut polttoaineena, tärkeimpänä liikennebiokaasu. Tämä työ keskittyy erityisesti kaasulaitteiston asennukseen, lainsäädännöllisiin vaatimuksiin ja kaasulaitteiston komponentteihin sekä toiminnan esittelyyn. Konversion toteutus -osiossa kuvataan yksityiskohtaisesti laitteiston tekninen asennus ja säädöt, joten työtä voidaan käyttää myös asennustyöohjeena. Konversion toteutuksen jälkeen työssä analysoidaan teho-, päästö- ja kulutusmittaukset sekä lopputulos kokonaisuutena.</p> <p>Tämän työn tarkoituksena on osallistua omalta osaltaan biokaasun liikennekäyttöä edistävään toimintaan lisäämällä tietoa vaatimuksista, konversion toteutuksesta ja kaasulaitteiden tekniikasta.</p>	
Avainsanat	Bifuel, liikennekaasu, biokaasu, maakaasu, konversio

Author(s) Title	Tomi Kemppainen Bifuel Conversion
Number of Pages Date	43 pages + 3 appendices 26 October 2014
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Automotive and Transport Engineering
Specialisation option	Automotive After Sales Engineering
Instructor(s)	Heikki Parviainen, Senior Lecturer
<p>The purpose of this thesis was to implement a bifuel-conversion for a used passenger car. The work was carried out independently, from the planning of the technical design to the practical implementation.</p> <p>This thesis presents the compressed natural gas as a fuel, of which the compressed biogas is the most important. This work focuses on the gas system installation, legal and regulatory requirements, gas equipment components as well as function of the system. The implementation section describes the conversion in detail and the technical installation and adjustment of the equipment. This section of the thesis can also be used as an installation guide. After the implementation section, the power, emission and fuel consumption measurements are analyzed, as well as the outcome as a whole.</p> <p>The aim of this work is to promote the use of compressed biogas in transportation by increasing the information of the requirements, the implementation of the conversion, and the technology of the gas equipment.</p>	
Keywords	Bifuel, CNG, CBG, Biogas, conversion

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Liikennekaasu	2
2.1	Maakaasu	2
2.2	Biokaasu	2
2.3	Biokaasun valmistus	3
2.4	Biokaasun tankkausasemat Suomessa	3
3	Lainsäädäntö	4
4	Muutoksatsastus	5
5	Kaasulaitteisto	6
6	Kaasujärjestelmän komponentit	7
6.1	Paineensäädin	7
6.2	Kaasusäiliö	8
6.3	Säiliöventtiili	9
6.4	Tankkausventtiili	10
6.5	Painemittari	11
6.6	Kaasuputki ja liitokset	12
6.7	Kaasusuodatin	12
6.8	Imusarjan paineanturi, matalapaine- ja lämpötila-anturi	13
6.9	Kaasusuuttimet ja suutinputket	13
6.10	Kaasujärjestelmän ECU eli elektroninen ohjainlaite	14
7	Konversion toteutus	15
7.1	Konversion kohde	15
7.2	Suunnittelu	15
7.3	Kaasulaitteiden valinta	17
7.4	Kaasulaitteiden asennus	18
7.4.1	Kaasusäiliön asennus	18
7.4.2	Kaasuputkien läpiviennit	21
7.4.3	Tankkausventtiilin ja -putken asennus	22
7.4.4	Säiliöventtiilin asennus	23

7.4.5	Kaasuputki säiliöventtiililtä paineensäätimelle	24
7.4.6	Helmiliitoksien asennus	24
7.4.7	Suutinnippojen asennus	25
7.4.8	Paineensäätimen asennus	26
7.4.9	Suuttimien, suutinputkien ja matalapaineletkujen asennus	27
7.4.10	Kaasu-ECU:n ja sytytysennakonsäätö ECU:n asennus	28
8	Kaasujärjestelmän täyttö ja vuototesti	30
9	Ohjelmointi ja säätö	32
9.1	Perusasetukset	32
9.2	Kalibrointi	33
9.3	Karttojen tiedonkeruu	34
9.4	Sytytysennakonsäätö ECU	34
10	Mittaukset	35
10.1	Päästömittaukset	35
10.2	Kulutusmittaukset	37
10.3	Tehonmittaus	38
11	Kriittinen analyysi	40
12	Lopuksi	42
	Lähteet	43
	Liitteet	
	Liite 1. Teho bensiinillä	
	Liite 2. Teho kaasulla ja lisäennakkolla	
	Liite 3. Teho kaasulla ilman ennakkoa	

Lyhenteet

ECU Elektroninen ohjainlaite (*electric control unit*).

CBG Paineistettu biokaasu (*compressed biogas*).

CNG Paineistettu maakaasu (*compressed natural gas*).

LPG Nestekaasu (*liquefied petroleum gas*).

MAP Imusarjan absoluuttinen paine (*manifold absolute pressure*).

1 Johdanto

Tämän työn esisuunnittelun lähtökohtana oli toteuttaa biokaasua polttoaineena hyödyntävä, yleisessä tieliikenteessä käytettävä auto. Konversion kohteeksi valittiin käytetty Renault Laguna II -merkinen bensiinikäyttöinen vapaasti hengittävällä, 1,8 litran ottomoottorilla varustettu, vuonna 2003 valmistettu ja rekisteröity henkilöauto. Kohteen valintaa helpotti se, että auto oli jo valmiiksi perheemme omistuksessa ja päivittäisessä käytössä.

Koska muutoksen kohde on ottomoottorilla varustettu auto, työn nimeksi tuli bifuel-konversio. Bifuel tarkoittaa yleisesti kahdella eri polttoaineella, kaasulla tai bensiinillä toimivaa ottomoottoria kun dualfuel-termillä tarkoitetaan yleisesti kaasu ja dieselpolttoainetta yhtä aikaa käyttävää dieselmoottoria. Termien ero selittyy sillä, että dieselmoottorissa kaasuseoksen sytyttämiseen tarvitaan pieni määrä dieselpolttoainetta, kun ottomoottorissa kaasuseos sytytetään sytytystulpan kipinällä, joten dieselmoottoreissa käytettävää pilot-polttoainetta ei tarvita. Käytössä on myös termi mono-fuel, joka tarkoittaa pelkästään yhtä polttoainetta käyttävää moottoria.

Edellä mainituista syistä työn sisältö on rajattu käsittelemään bifuel-konversiota.

Konversion kohteen valinnan jälkeen alkoi markkinoilla tarjolla olevien laitteiden vertailu ja valinta sekä tarjouspyyntöjen jättö maahantuojille. Tarjousten ja teknisten ominaisuuksien perusteella laitteistoksi lopulta valittiin CNG House Oy:n Suomessa edustama, puolalaisen Europegas-yrityksen valmistama, Oscar-N OBD -merkinen ohjainlaite. Tämän ohjainlaitteen etuna on helppo autokalibrointi ja selkeä graafinen ohjelmisto. Lisäksi tilattiin erillinen sytytysennakon säädön mahdollistava ohjainlaite. Ohjainlaitteiden lisäksi toimitukseen sisältyi konversion toteutukseen tarvittavat komponentit ja asennustarvikkeet eli täydellinen muutossarja.

Kaasulaitteiston ja asennustarvikkeiden saavuttua aloitettiin asennuksen suunnittelu. Ennen teknistä asennusta tutustuttiin kaasulaitteiden jälkiasennusta koskevaan ECE R110- ja R115-säännöstyön [5; 6], joka määrittelee laitteiston ja asennuksen vaatimukset.

2 Liikennekaasu

Liikennekaasu on 200 bar:n paineeseen paineistettua ja jalostettua maakaasua (CNG, *engl, compressed natural gas*) tai biokaasua (CBG, *engl, compressed biogas*). Maa- sekä biokaasun pääkomponentti on metaani (CH_4), joka sopii hyvin polttomoottorin polttoaineeksi. Metaanin oktaaniluku on 138, joka on bensiinillä 95–99. Metaanin hiilidioksidipäästöt ovat alhaisemmat kuin bensiinillä. Liikennekäyttöön jalostetun maa- ja biokaasun sisällöt poikkeavat hieman toisistaan, mutta ne ovat täysin vaihto- ja sekoituskelpoisia keskenään. [1; 2]

2.1 Maakaasu

Maakaasu on fossiilinen polttoaine, jota tuodaan Suomeen Venäjältä Länsi-Siperian kaasukentiltä. Maakaasu on syntynyt biomassan hajotessa maan uumenissa anaerobisen bakteeritoiminnan ja maaperän lämmön vuorovaikutuksesta. Metaanin lisäksi maakaasussa on pieniä määriä propaania, butaania, etaania, pentaania sekä muita raskaampia hiilivetyjä ja joskus heliumia sekä typpeä. Maakaasua saadaan maakaasu- ja öljyesiintymistä sekä liuskekivistä, joita sijaitsee maankuoressa maalla ja merellä. Maakaasu jalostetaan ennen käyttöä maakaasunjalostuslaitoksessa, jolloin siitä jää vain metaani. Maakaasun jalostus on yksinkertaisempaa kuin öljyn jalostus. Puhdistettu maakaasu on väritön ja hajuton heikosti sinertävällä liekillä palava kaasu. Liikenteessä käytettävän jalostetun ja paineistetun maakaasun tunnus on CNG (*compressed natural gas*) eli paineistettu maakaasu. Liikennekäytössä olevaan kaasuun on lisätty hajustetta turvallisuussyistä. Hajustamiseen käytetään tetrahydrotiofeeniä. [1; 2; 3]

2.2 Biokaasu

Biokaasu on uusiutuvaa energiaa. Biokaasu sisältää 60–65 % metaania (CH_4) ja 30–35 % hiilidioksidia (CO_2). Lisäksi biokaasussa on mm. vettä (H_2O), typpeä (N_2), hapetta (O_2), vetyä (H_2), ammoniakkia (NH_3) ja rikkivetyä (H_2S) valmistus raaka-aineesta riippuen. Biokaasun sisältämistä muista komponenteista johtuen sen lämpöarvo on hieman maakaasua pienempi. Biokaasun oktaaniarvo on hieman korkeampi kuin maakaasulla. Metaani on vapaasti ilmakehään päästessään 20–70 kertaa hiilidioksidia

voimakkaampi kasvihuonekaasu. Biokaasun hyötykäytöllä voidaan merkittävästi vähentää kasvihuonekaasupäästöjä. [1; 2; 3]

2.3 Biokaasun valmistus

Biokaasua muodostuu mikrobien hajottaessa orgaanista ainesta hapettomassa tilassa. Hajotuksessa syntyy runsaasti metaania, sekä mädätysjäännöstä. Tätä prosessia kutsutaan myös anaerobiseksi. Raaka-aineen perusteella biokaasut voidaan jakaa kolmeen ryhmään: jättepohjainen-, peltopohjainen- ja puupohjainen biokaasu. Jäte- ja peltopohjainen biokaasu syntyvät ohjatussa mädätysprosessissa. Puupohjaista biokaasua prosessoidaan kaasuttamalla kiinteää biomassaa. Kaasu käsitellään vastaamaan koostumukseltaan maakaasua. Kaatopaikoilta talteen kerättävän raakakaasun koostumus vaihtelee kaikista eniten, koska se on syntynyt sekajätteistä. Biokaasun etuina voidaan pitää muun muassa sitä, että se on kotimaista uusiutuvaa energiaa, jolla voidaan parantaa Suomen energiaomavaraisuutta. [2]

2.4 Biokaasun tankkausasemat Suomessa

Suomessa Gasum on ylivoimaisesti suurin tankkausasemaverkoston ylläpitäjä sekä kehittäjä. Julkisia asemia on tällä hetkellä 24, joista 18 on Gasumin asemia (kuva 1). Tankkausasemat ovat keskittyneet etelä Suomen alueelle, mutta jatkuvasti tulee lisää yksittäisiä yrityksiä, joten verkosto on laajentumassa. Kaasu tankataan noin 200 bar:n paineessa auton kaasusäiliöön. Maa- ja biokaasun tankkausasemilla paine on lämpötilakompensoitu siten, että täyttöpaine on 200 bar 15 celsiusasteen lämpötilassa.

Maa- ja biokaasu ovat edullisimmat liikenteen polttoaineet Suomessa. Vertailulitrahintojen laskennassa käytetään direktiivin 2009/33/EY ja Suomen energiaverotuksen HE 147/2010 mukaisia energiasisältoja [9; 10]. Seuraavassa lueteltu käytössä olevat teholliset lämpöarvot:

- metaani 50 MJ/kg
- bensiini 32 MJ/l

- dieselöljy 41–43 MJ/l [3].

Kilo maakaasua vastaa energiasisällöltään 1,56:ta litraa bensiiniä ja 1,39:ää litraa dieseliä.



Kuva 1. Kaasuautojen tankkausasemat Suomessa 2014 [4].

3 Lainsäädäntö

Kaasujärjestelmän saa asentaa ainoastaan tehtävään koulutettu ja vähintään luokan P asennustutkinnon suorittanut henkilö. Lisäksi kaasujärjestelmän komponenteilla täytyy olla ECE R110 -hyväksyntä sekä asennussarjalla on oltava ECE R115 -hyväksyntä [5; 6]. Kaasulaitteiston asennuksen jälkeen auto on muutoksastettava.

Suomessa kaasulaitteisiin ja asennuksiin liittyvää lainsäädäntöä ja vaatimustenmukaisuutta valvoo Turvallisuus- ja kemikaalivirasto (Tukes). [5; 6]

4 Muutoksastus

Liikenteen turvallisuusvirasto Trafi on ohjeistanut katsastusasemia seuraavalla 10.6.2008 kirjatulla tiedotteella:

Maakaasua käyttävät autot

Auton rakenteen muuttamisesta annettua päätöstä (779/1998) muuttavan asetuksen 552/2006 mukaan ajoneuvoon jälkikäteen asennettujen maakaasulaitteistojen osalta tulee muutoksastuksessa edellyttää seuraavia seikkoja:

1. Kaasulaitteiston asennus tulee tarkastaa turvatekniikan keskuksen hyväksymässä asennus-, huolto- ja tarkastusliikkeessä (http://www.tukes.fi/Tiedostot/vaaralliset_aineet/rekisterit/Kaasuasennusliikkeet.xls)
2. Maakaasulaitteiston asennuksessa tulee käyttää E-säännön n:o 110 vaatimuksia vastaavia osia. Laitteistolle myönnetty E-säännön n:o 110 mukainen tyyppihyväksyntä on yksi tapa osoittaa laitteiston vastaavan k.o. vaatimuksia.
3. Muutoksen kohteena olevaa autoa koskevien pakokaasupäästövaatimusten tulee täytyä myös muutoksen jälkeen; pakokaasupäästövaatimusten katsotaan täyttyvän, jos käytettävä muutossarja on tarkoitettu kyseisessä autossa käytettäväksi ja vastaa E-säännön n:o 115 vaatimuksia.
4. Auton, joka on otettu käyttöön 1.10.2002 tai sen jälkeen, tulee tehtyjen muutosten jälkeen täyttää myös siltä edellytettävät sähkömagneettista yhteensopivuutta (EMC) koskevat vaatimukset. E-säännön 110 mukainen hyväksyntä sisältää myös radiohäiriöiden E-säännön 10/02 ja sitä vastaavan direktiivin 95/54/EY mukaisuuden. E-säännön 110 mukainen maakaasulaitteisto voidaan siis asentaa ajoneuvoon, jonka radiohäiriöhyväksyntä on E-säännön 10/02 tai direktiivin 95/54/EY tasoa tai näitä vanhempi.

EY-tyyppihyväksytyjen osittain maakaasukäyttöisten ajoneuvojen päästötietojen merkintä

Kun ajoneuvon käyttövoimana on bensiini/CNG, katsotaan CO₂ arvot kummaltakin käyttövoimalta. Järjestelmään tallennetaan päästöt ja kulutukset pienimmän CO₂ arvon mukaan. Erikoisehtoihin osaalueena Moottori tallennetaan selitekenttään "Päästöt ja kulutusikkunalla maakaasun päästöt ja kulutukset". Erikoisehtoa ei tulosteta rekisteröintitodistukselle.

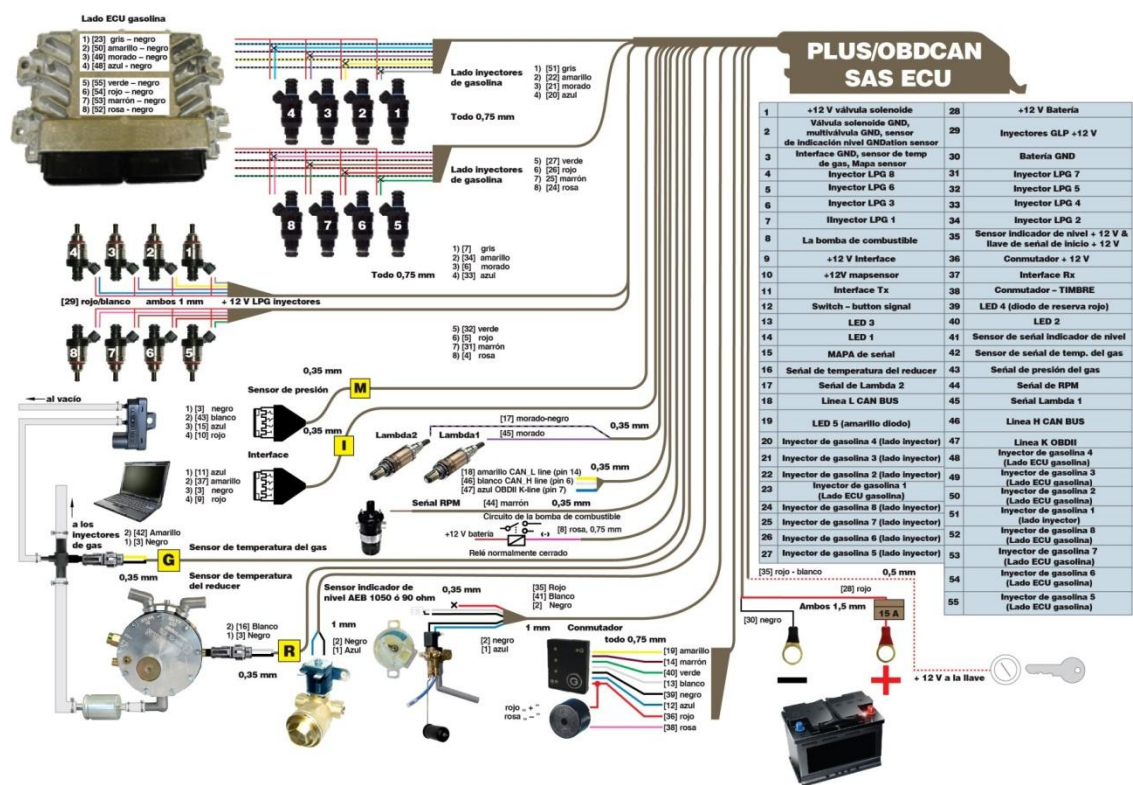
Kuten tiedotteessa mainitaan, muutoksastuksessa täytyy esittää Tukesin hyväksymän tarkastajan todistus kaasulaitteiston vaatimustenmukaisesta asennuksesta. Lisäksi tarvitaan ECE R110 -vaatimustenmukaisuustodistukset komponenteista sekä ECE R115 -vaatimustenmukaisuustodistus laitteiston valmistajalta. Lisäksi pakokaasupäästöt mitataan muutoksastuksessa ja päästöjen

täytyy alittaa auton rekisteriin merkityn käyttöönottoajankohdan mukaiset päästöjen raja-arvot. [5; 6]

5 Kaasulaitteisto

Autoon asennettava kaasulaitteisto koostuu erillisestä polttoainejärjestelmästä, joka toimii alkuperäisen bensiinipolttoainejärjestelmän kanssa niin sanotulla slave- eli orjaperiaatteella.

Kaasulaitteiston ECU eli ohjainlaite hyödyntää alkuperäisen bensiinipolttoainejärjestelmän anturitietoa siten, että bensiinijärjestelmän ECU:n lähettämä suuttimien pulssi kulkee kaasujärjestelmän ECU:n lävitse, jonka yhteydessä se muuttaa eli emuloi bensiinisuihtimien pulssin kaasusuihtimille optimaaliseksi pulssiksi. Lisäksi kaasulaitteistolla on joukko omia antureita (kuva 2), jotka parantavat järjestelmän säädön tarkkuutta.



Kuva 2. Kaaviokuva kaasujärjestelmän sähkökytkennästä [7].

6 Kaasujärjestelmän komponentit

Kaasujärjestelmä on pääperiaatteeltaan hyvin samankaltainen kuin bensiininsyöttöjärjestelmä. Laitteisto koostuu polttoaineen siirtojärjestelmästä sekä syötön ohjausjärjestelmästä. Merkittävin ero bensiini- ja kaasujärjestelmän välillä on se, että kaasun korkea paine asettaa laitteistolle erityisiä vaatimuksia. Lisäksi kaasunpaine täytyy alentaa 200 bar:n paineesta noin 2 bar:n paineeseen. Tästä syystä kaasujärjestelmä vaatii erityisen paineensäätimen.

6.1 Paineensäädin

Kaasujärjestelmän paineensäädin on kalvotoiminen, jossa kalvon toiselle puolelle vaikuttaa jousivoima, jonka tehtävänä on vastustaa venttiilin sulkeutumista. Jousen vastakkaisella puolella vaikuttaa kaasunpaine, joka pyrkii sulkemaan venttiilin, jolloin paine-ero pysyy vakiona. Jousen päässä on säätöruuvi, jonka avulla jousen esijännitystä voidaan muuttaa ja siten myös kaasun käyttöpainetta voidaan säätää.

Paineensäätimen tehtävänä on myös pitää imusarjan paine ja kaasun käyttöpaineen suhde vakiona. Toiminto on toteutettu imusarjan alipaineliitoksella, jolloin imusarjan paine vaikuttaa jousen puolelle; kun alipaine kasvaa, jousivoima pienenee sekä päinvastoin. Paineensäätimessä on lisäksi solenoidityyppinen korkeapaineventtiili, jonka tehtävänä on estää kaasun virtaus paineensäätimelle silloin, kun kaasujärjestelmä ei ole käytössä tai järjestelmässä on vikatila.

Paineensäätimelle tuleva 200 bar:n kaasunpaine on alennettava järjestelmälle sopivaksi noin 2 bar:n paineeksi. Tästä äkillisestä ja suuresta paineen alentumisesta sekä virtauksesta johtuen paineensäädin pyrkii jäätymään helposti. Jäätymisongelman ratkaisemiseksi paineensäätimen rungossa kiertää moottorin jäähdytysneste, joka lämmittää säädintä ja estää jäätymisen. Säätimen rungossa on lämpötila-anturi, jonka perusteella ECU tietää, jos säädin on liian kylmä, ja tarvittaessa katkaisee korkeapaineventtiilin ohjausvirran.

Ajoneuvojen maakaasukäytössä on usein dual stage -paineensäädin (kuva 3), jossa on sisäänrakennettuna kaksi erillistä säädinyksikköä: esisäädin sekä hienosäätö. Tällä

tavalla mahdollistetaan tarkempi säätö erityisesti ajoneuvokäytössä, jossa virtausmäärä voi muuttua paljonkin.



Kuva 3. Tomasetto Achille dual stage -paineensäädin.

Paineensäätimen kuten kaikkien muidenkin kaasulaitteistossa suoraan kaasun kanssa yhteyksissä olevien komponenttien on läpäistävä ECE R110:n mukaiset vaatimukset. [5]

6.2 Kaasusäiliö

Ajoneuvokäytössä CNG- eli maakaasusäiliöt ovat aina sylinterityyppisiä. Koska säilöntäpaine on korkea, siihen kohdistuu suuria voimia.

CNG-säiliöt on luokiteltu neljään luokkaan:

Type 1: Säiliö on valmistettu kokonaan teräksestä. Ulkopuolen pinnoitteena korkeintaan maali. Yleisin, raskain ja halvin säiliötyyppi.

Type 2: Säiliö voi olla valmistettu teräksestä tai alumiinista ja on osittain päällystetty kuidulla. Vahvistuskuitu voi olla esimerkiksi lasi-, hiili- tai aramidikuitua, joka on kovetettu epoksi- tai polyesterihartsilla.

Type 3: Säiliö on valmistettu metallista, yleensä alumiinista ja on kokonaan päällystetty vahvistuskuidulla. Päällystykseen käytetään samoja kuituja, kuin type 2 -säiliön kuituvahvistuksessa.

Type 4: Säiliön valmistukseen ei ole käytetty metallia, vaan sisäosa on muovia ja päällyste kokonaan kuitua. Päällysteenä käytetään samoja kuituja kuin type 2 ja 3 -säiliöissä. Kevyin ja kallein säiliötyyppi, jossa pienin nettotilavuus.

CNG-säiliön käyttöikä on aina rajoitettu. Sallittu käyttöaika on oltava merkitty selkeästi ja pysyvästi säiliöön. Kun suurin sallittu käyttöikä saavutetaan, säiliö poistetaan käytöstä.

Säiliön valinta on aina kompromissi hinnan, painon, halutun tilavuuden ja käytettävissä olevan tilan suhteen. [5]

6.3 Säiliöventtiili

Säiliöventtiili (kuva 4) kiinnitetään kierteellä suoraan säiliöön. Venttiilissä on käsikäyttöinen sulkuventtiili huoltotoimenpiteitä varten sekä usein myös sähköinen solenoidiventtiili, jota ohjaa kaasulaitteiston ECU.

Venttiilin yhteydessä on lämpösulake, jonka tehtävänä on estää liian korkea säiliön lämpötila. Jos säiliön lämpötila nousee yli sallitun, $+108\text{ °C} \pm 6\text{ °C}$, päästää lämpösulake kaiken kaasun ulos säiliöstä suojaputken välityksellä auton ulkopuolelle. Samoin tapahtuu, jos säiliön paine nousee liian korkeaksi. Painetta valvoo sisäänrakennettu ylipaineventtiili, jonka toimintapaine on 30 Mpa. Lisäksi venttiilissä on letkurikkoventtiili, joka sulkeutuu, mikäli virtaus kasvaa äkillisesti.



Kuva 4. Tomasetto Achille -säiliöventtiili, jossa on sähkö- ja käsikäyttöinen sulkuventtiili.

6.4 Tankkausventtiili

Kaasusäiliö täytetään tankkausventtiilin kautta, joka toimii takaiskuperiaatteella, päästäen vain sisäänpäin. Suomessa kaikilla Gasumin CNG/CBG-tankkausasemilla on käytössä NGV 1 -tyyppinen tankkausventtiili (kuva 5), joka on yleinen Euroopassa. Helsingissä Ruskeasuon ja Malmin tankkausasemilla on myös käytössä NGV 2 -tyyppinen liitin raskaan kaluston tankkaamiseen. [3]



Kuva 5. NGV1-P30-tyyppinen tankkausventtiili.

6.5 Painemittari

Kaasujärjestelmän korkeapainepuolelle on liitetty painemittari (kuva 6). Mittari on tyypiltään mekaaninen, johon on sisäänrakennettu optinen anturi, joka lähettää painetiedon kaasujärjestelmän ECU:lle.



Kuva 6. Painemittari, jossa optinen anturi.

6.6 Kaasuputki ja liitokset

Korkeapainepuolella saa käyttää vain teräksestä valmistettua, muovitettua putkea. Putkessa täytyy olla merkintä ECE R110 vaatimustenmukaisuudesta kuten muissakin komponenteissa. Kaikki korkeapaineputken liitokset tehdään helmiliitoksin. Liitoksia on hyvä olla mahdollisimman vähän vuotoriskin minimoimiseksi. Joka tapauksessa helmiliitoksia tehdään korkeapainepuolelle vähintään 4 kappaletta: 1 kpl tankkausventtiilille, 2 kpl säiliöventtiilille ja 1 kpl paineensäätimelle. Kaikkien liitosten täytyy olla suorassa yhteydessä ulkoilmaan, jolloin kaasu pääsee vapaasti poistumaan, mikäli vuotoa esiintyy. Säiliöventtiilin yhteydessä liitoksien ulkoilmayhteys on toteutettu tiivistetyllä suojaputkella, joka ohjaa mahdollisen vuodon suoraan ulos ajoneuvon ulkopuolelle.

Matalapainepuolella saa käyttää kaasukäyttöön tarkoitettua ECE R110 -vaatimusten mukaista matalapainepuolen luokan 2 mukaista letkua sekä tavallisia letkuklemmareita. [5]

6.7 Kaasusuodatin

Kaasusuodatin (kuva 7) asennetaan paineensäätimeltä tulevaan matalapaineputkeen ennen matalapaineanturia ja kaasuinjektoreita.



Kuva 7. Kaasusuodatin.

6.8 Imusarjan paineanturi, matalapaine- ja lämpötila-anturi

Kaasujärjestelmässä on yhdistetty kompakti imusarjan paineanturi (kuva 8) eli MAP-anturi, matalapaineanturi ja kaasun lämpötila-anturi. Näillä tiedoilla kaasujärjestelmän ECU suorittaa lämpötilakompensoinnin, tunnistaa moottorin kuormitustason sekä tietää suuttimille virtaavan kaasun painetasoa.



Kuva 8. Kompakti MAP-anturi, matalapaineanturi ja kaasun lämpötila-anturi.

6.9 Kaasusuuttimet ja suutinputket

Kaasujärjestelmän suuttimet ovat toimintaperiaatteelta sähkösolenoidityyppiset kuten bensiiniruiskutusjärjestelmissä. Erona on kuitenkin se, että usein kaasujärjestelmän solenoidin sisälle voidaan valita moottorin huipputehon mukaan sopiva suutinputki. Siksi suuttimia kutsutaan usein injektoreiksi ja irroitettavaa suutinputkea suuttimeksi (kuva 9). Nykyaikaisessa sekventiaali kaasujärjestelmässä on aina yksi suutin per sylinteri, kuten kaikissa bensiinin monipisteruiskujärjestelmissä.

Normaalissa bensiiniruiskutusjärjestelmässä suutin on kiinnitetty kärjestään imusarjaan, mutta kaasukonversiosarjoissa on yleisesti käytössä menetelmä, jossa suutin sijaitsee hieman etäämmällä imusarjasta tilan ahtauden takia. Toisaalta kaasua

tulee suoraan kaasuna suuttimelta, joten kaasuuntumista tai polttoaineen sumuttamista ei tarvitse toteuttaa samalla tavalla, kuten bensiinisuuttimen kärki tekee kohdatessaan imusarjan ilmavirtauksen. Näistä syistä johtuen kaasujärjestelmissä käytetään suutinnippaa ja kaasuletkua, joka johtaa kaasun suuttimelta imusarjaan.



Kuva 9. Suuttimen kärki ja osittain irroitettu suutinputki.

6.10 Kaasujärjestelmän ECU eli elektroninen ohjainlaite

Nykyiset kaasujärjestelmien sekventiaali ohjainlaitteet ovat hyvin kehittyneitä monesta syystä. Kuten aiemmin tässä työssä kerrottiin, kaasulaitteen ECU toimii orjana eli emulaattorina auton oman bensiini-ECU:n rinnalla ja osittain myös sarjassa. Sarjassa siinä mielessä, että kaasun ECU tavallaan ryöstää bensiini-ECU:n lähettämän signaalin, katkaisemalla bensiinisuuttimien virtapiirin. Tämän ryöstetyn suutinpulssin sekä kaasujärjestelmän omien anturitietojen pohjalta, kaasun ECU muodostaa laskelman ja tekee bensiini suutinpulssiin tarvittavan muutoksen, sekä lähettää muutetun suutinpulssin kaasusuuttimille. Tämän prosessin kaasun ECU suorittaa huomaamattomasti siten, että bensiini-ECU ei reagoi millään tavalla, vaan luulee toimivansa normaalisti. Voidaan siis ajatella, että kaasun- ja bensiini-ECU toimivat myös rinnakkain, koska ne toimivat yhtä aikaa.

Olennaista ECU-yhteistyön kannalta on kehittynyt ja monipuolinen ohjelmointi, abaptaatio, automaattinen kalibrointi sekä riittävän tarkka ja nopea säätö siten, että bensiini-ECU ei saavuta vikatilaa. Vakiotilassa, ellei toisin ohjelmoinnissa määritellä,

kaasulaitteisto toimii täysin automaattisesti, käyttäjän huomaamatta vaihtaen tarpeen vaatiessa toimintatilasta toiseen, kaasu- tai bensiinitoimintatilaan.

7 Konversion toteutus

Bifuel-konversion pääajatuksena oli toteuttaa tekninen suunnittelu, asennus ja säädöt täysin itsenäisesti siksi, että järjestelmän toimintaperiaate, tekniikka sekä lainsäädännön vaatimukset tulisi mahdollisimman tutuiksi. Kaasujärjestelmän saa asentaa ainoastaan tehtävään koulutettu ja luokan P asennustutkinnon suorittanut henkilö. Koska käytännössä asennustutkintoa ei voitu suorittaa tämän opinnäytetyön aikataulun puitteissa, piti laitteiston asennus tarkastaa ja hyväksyttää Turvallisuus ja kemikaaliviraston (Tukes) hyväksymällä kaasuasennusliikkeellä. Tästä syystä asennustyö ja lainsäädäntöön perehtyminen tuli suorittaa mahdollisimman hyvin ja tarkasti, jotta ongelmia ei syntyisi projektin myöhemmässä vaiheessa.

7.1 Konversion kohde

Konversion kohteeksi valittiin Renault Laguna 2 -merkkinen henkilöauto. Auto on rekisteröity ja valmistettu vuonna 2003, ja moottorina toimii vapaasti hengittävä 4-sylinterinen, 16-venttiilinen bensiinikäyttöinen ottomoottori. Polttoainejärjestelmänä toimii sekventiaalinen bensiinin monipistesuihkutusjärjestelmä, jossa integroitu sylinterikohtainen suorasytytysjärjestelmä. Moottorin kaasuläppä on nykyaikaisten moottoreiden mukaisesti sähköinen, sekä imuventtiilien ajoitusta voidaan muuttaa öljynpainetta ohjaavalla sähkömagneettiventtiilillä.

7.2 Suunnittelu

Ensin suunniteltiin, millainen kaasusäiliö autoon mahtuu ja kuinka paljon on halua uhrata tavaratilan tilavuutta, koska Renault Lagunan kokoluokan autossa käytännössä ainoa mahdollinen kaasusäiliön asennuspaikka on tavaratilassa. Lagunan tavaratilan pohjalla on vararenkaan tila, joka haluttiin säilyttää alkuperäisenä siten, että vararenkaan voi poistaa helposti paikaltaan. Suunnittelussa on otettava huomioon kaasusäiliön asennusta koskeva ECE R115 -asetuksen liite 5. Liitteessä kerrotaan, miten säiliö täytyy kiinnittää asetuksen mukaisesti. [6]

Lopulta säiliön paikaksi valittiin tavaratilan etuosa, aivan takapenkin selkänojan takana, auton pituusakselin suhteen poikittain. Mittauksen (kuva 10) perusteella pyöräkoteloiden välissä oli tilaa 100 cm. Tilan käytössä täytyi huomioida, että kaasusäiliön kokonaispituuteen vaikuttaa myös säiliöventtiili ja huoltovara. Huoltovaran pääteltiin olevan tarpeen, mikäli säiliöventtiili kiinnitetään tai irroitetaan säiliön ollessa kiinnitettynä. Sopivaksi huoltovaraksi pääteltiin 9 cm, joten kaasusäiliön ja säiliöventtiilin kokonaispituus saa olla enintään 91 cm. Koska kaasusäiliön valinta on kompromissi, päädyttiin lopulta type 2-kaasusäiliöön, jonka pituus on 840 mm, halkaisija 325 mm, vesitilavuus 50 litraa, kaasutilavuus on noin 8 kg 200 bar:n paineessa ja paino tyhjänä 44 kg.



Kuva 10. Kaasusäiliötilan pituuden mittaus ja paikan suunnittelu.

Suunnittelussa mietittiin, minne tankkausventtiili sijoitetaan. Koska yleensä kaasun tankkausasemien tankkausletkut ovat melko lyhyitä, kannattaa tankkausventtiili sijoittaa auton oikealle puolelle, jotta kuljettajan ovesta kulkeminen olisi helppoa. Lagunasta löytyi mainio tankkausventtiilin asennuspaikka (kuva 11) bensiinin täyttöluukun alta, aivan bensiinitankin täyttöputken vierestä. Ilmeni, että Lagunaan on suunniteltu jo tehtaalla kyseinen paikka LPG-kaasun tankkausventtiiliä varten.



Kuva 11. Tuleva tankkausventtiilin paikka bensiinitankin luukun alla.

Suunnittelussa piti huomioida, minne paineensäädin ja ECU voidaan sijoittaa. Lagunan moottorilasta, akkutelineen alta löytyi tila, jossa paineensäädin on suojassa sekä riittävän alhaalla. Paineensäätimen täytyy olla jäähdytysnesteliitoksen alapuolella ilmauksen sekä jäähdytysnestekierron varmistamiseksi. ECU:lle löytyi hyvä paikka akkukotelon vierestä, jossa on kuiva, hyvän suojan antava tila. Kaasusuuttimille löytyi riittävästi tilaa moottorin etuosasta, sekä suutinnipoille löytyi porauspaikka imusarjan alaosaan, aivan bensiinisuihtimien vierestä (kuva 12). Suutinnippojen porauskohdat näyttivät myös tehtaalla valmiiksi suunnitelluilta kaasukäyttöä varten.



Kuva 12. Imusarjassa bensiinisuihtimien alapuolella valmiit porauspaikat suutinnipoille.

7.3 Kaasulaitteiden valinta

Kaasulaitteita valmistaa moni valmistaja, joista pääosa toimii Italiassa. Varsinkin kaasun kanssa fyysisesti tekemisissä olevia eli painepuolen osien valmistajia löytyy

runsaasti Italiasta. Alussa laitteiston valinta vaikutti helpolta, koska suurilla valmistajilla oli tarjolla valmiita paketteja, jotka soveltuvat lähes kaikkiin autoihin. Lisäksi osa valmistajista tuottaa automerkkikohtaisia sarjoja, joissa on jopa suuttimien johtosarjat valmiiksi tehtynä.

Tarjouksia pyydettiin usealta maahantuojalta, ulkomaisilta edustajilta ja valmistajilta. Parissa tapauksessa valmistaja ei vahvistanut, että laitteisto täyttää ECE R115 -asetuksen vaatimukset konversion kohteelle Renault Lagunalle.

Lopulta tarjousten ja teknisten ominaisuuksien perusteella laitteistoksi valittiin CNG-House Oy:n maahantuoma, puolalaisen Europegas-nimisen yrityksen valmistama ja kehittämä, Oscar-N OBD -merkkinen ohjainlaite. Tämän ohjainlaitteen etuna on automaattinen kalibrointi sekä selkeä ja monipuolinen graafinen ohjelmisto. Lisäksi maahantuojalta tilattiin erillinen sytytysennakon säädön mahdollistava ohjainlaite. Ohjainlaitteiden lisäksi toimitukseen sisältyi konversioon tarvittavat komponentit ja asennustarvikkeet eli täydellinen muutossarja. Sarjan mukana seurasi muidenkin valmistajien komponentteja, esim. kaasupullo ja painemittari, jotka oli valmistettu Kiinassa. Paineensäädin ja säiliöventtiili olivat Italiassa valmistettuja.

7.4 Kaasulaitteiden asennus

Asennuksen esivalmisteluina auton moottoritila, alusta ja takalokasuojat pestiin huolellisesti painevesipesurilla ja pesuaineella. Pesun jälkeen auton takapää nostettiin pukeille ja takarenkaat irroitettiin sekä tavaratilan verhoilu purettiin. Asennustyö aloitettiin kaasusäiliön, säiliöventtiilin, täyttöventtiilin ja korkeapaineputkiston asennuksella. Tämän jälkeen asennus eteni moottoritilaan, painesäätimen, suutinnippojen, suuttimien ja muiden osien asennukseen. Viimeisenä asennustyövaiheena suoritettiin sähköasennukset.

7.4.1 Kaasusäiliön asennus

Kaasusäiliön asennus aloitettiin kahden poikittaisen sinkityn neliöputken sovituksella ja kiinnityksellä pyöräkoteloiden väliin. Neliöputkien tehtävänä on toimia apurunkona kaasusäiliön kiinnityspantojen kiinnittämisessä. Asennuksessa on huomioitava ECE R115:n liitteen 5 taulukko 1 [6]. Taulukko 1 kertoo säiliön kiinnityksessä käytettävien

tarvikkeiden minimivaatimukset. Taulukossa kerrotaan kiinnityspantojen, pulttien sekä aluslevyjen vahvuudet, kun materiaalina on Fe 370 ja pulttien lujuusluokka 8.8.

Taulukko 1. ECE R115:n liitteen 5 taulukko 1. Säiliön kiinnityspulttien, aluslevyjen ja pantojen minimimittavaatimus suhteessa säiliön tilavuuteen. [6]

Container content [litres]	Minimum dimensions of the washers or plates [mm]	Minimum dimensions of the container straps [mm]	Minimum diameter of bolts [mm]
up to 85	round: 30 x 1.5 round: 25 x 2.5	20 x 3 30 x 1.5	8
85 - 100	round: 30 x 1.5 round: 25 x 2.5	30 x 3 20 x 3 */	10 8 */
100 – 150	round: 50 x 2 round: 30 x 3	50 x 6 50 x 3 **/	12 10 **/
more than 150	shall meet the provisions of Regulation No. 67, 01 series of amendments, for LPG containers, or Regulation No. 110 for CNG containers		

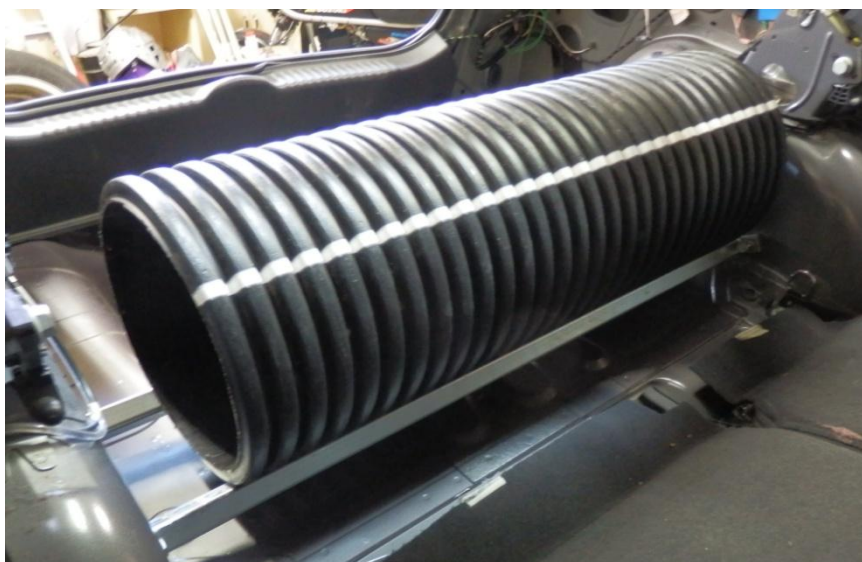
Vaikka taulukon arvot koskevat erityisesti kiinnityspantoja, on niitä hyvä soveltaa minimivaatimuksena kaikkiin säiliön kiinnitykseen liittyviin osiin, ainakin pulttien ja aluslevyjen osalta.

Neliöputkien (kuva 13) molemmissa päissä oli laipat, joissa oli 2 kpl noin 12 mm:n Ø reikää. Laippojen reikien kohdalta porattiin pyöräkoteloiden läpi 11 mm:n reiät, eli yhteensä 8 kpl reikiä. Reiät käsiteltiin ruostesuojapohjamaalilla ja tiivistysliimalla, minkä jälkeen asennettiin M10-kokoiset, 8.8-lujuusluokan pultit ja mutterit sekä mutterin ja pultin alle 30 x 30 x 3 mm:n neliöaluslevyt.



Kuva 13. Kuvassa alimpana sinkityt neliöputket, sekä ylhäällä säiliön kiinnitysspannat ja pantojen kiinnikkeet sekä pantojen ja säiliön väliin tuleva kumi.

Neliöputkien parhaan kohdan löytämisen helpottamiseksi sekä työn keventämiseksi sahattiin salaojakaivoputkesta kaasusäiliön ja säiliöventtiilin yhteenlasketun pituuden mittainen putki (kuva 14), jonka halkaisija oli lähes sama kuin kaasusäiliön halkaisija. Putken avulla oli helppo ja huomattavasti kevyempää simuloida kaasusäiliön tuleva paikka, koska kaasusäiliö painaa 44 kg ja katkaistu salaojaputki vain noin pari kiloa.



Kuva 14. Säiliön apurungon kiinnityspaikan haku. Putki simuloi kaasusäiliötä.

Neliöputkien kiinnityksen jälkeen seuraava työvaihe oli säiliön kiinnityspantojen valmistus. Materiaalina käytettiin 35 x 3 mm:n lattaterästä, josta taivutettiin 2 kpl

kiinnityspantoja (kuva 15). Taivutuksen jälkeen, pantoihin porattiin 11 mm:n kiinnitysreiät sekä lopuksi ne maalattiin mattamustalla maalilla.



Kuva 15. Valmiit maalatut kaasusäiliön kiinnityspannat.

Kaasusäiliötä ei kannattanut kiinnittää vielä tässä vaiheessa, koska seuraava työvaihe oli kaasuputkien läpiviennit ja vedot, sekä tankkausventtiilin asennus.

7.4.2 Kaasuputkien läpiviennit

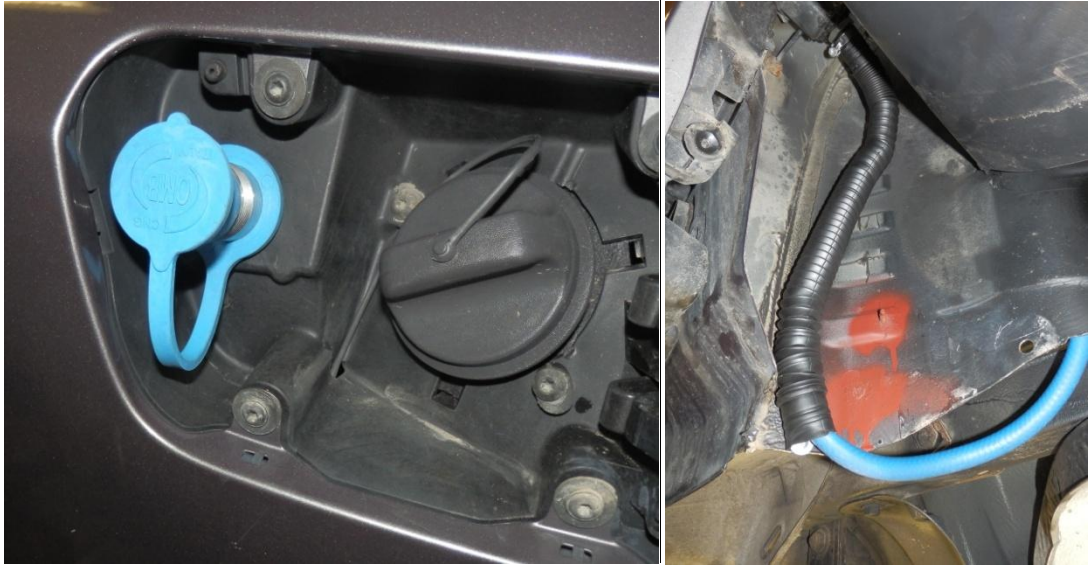
Kaasuputkien tavaratilan pohjan läpiviennit oli syytä tehdä huolella, koska niiden on oltava kaasutiiviit, jotta mahdollinen vuotava kaasu ei pääsisi auton sisätiloihin. Sarjan mukana seurasi muoviset läpivientiholkit (kuva 16), jotka kiinnitettiin laipoistaan kolmella alumiinivetoniitillä pohjaan. Sitä ennen porattiin 2 kpl halkaisijaltaan 30 mm:n reikää tavaratilan pohjaan sopiviin kohtiin, yksi reikä kaasun tankkausventtiililtä säiliöventtiilille tulevaa putkea varten ja yksi reikä säiliöventtiililtä paineensäätimelle lähtevää putkea varten. Reikien poraamisen jälkeen paljas metalli ruostesuojapohjamaalattiin ja läpivientiholkin kaulus tiivistettiin tiivistemassalla tavaratilanpohjaan kiinnityksen yhteydessä.



Kuva 16. Läpivientiholkit paikallaan.

7.4.3 Tankkausventtiilin ja -putken asennus

Tankkausventtiilille porattiin halkaisijaltaan 25 mm:n reikä tankkausluukun alle, bensiinin täyttöaukon viereen (kuva 17). Ennen porausta oli varmistettava, että takana ei ole mitään porauksen vaikutuksesta hajoavaa, joten muovinen sisälokasuoja oli poistettava ja tausta tarkistettava. Tankkausventtiililtä lähtevä putki oli varustettava tiivistetyllä suojaputkella, jotta mahdollinen tankkausventtiilin ja putken välinen vuoto saataisiin johdettua pois pyöräkotelosta. Lisäksi putken suojaksi asennettiin paineilmaletku, jonka tehtävänä oli suojata putkea kiveniskuilta.



Kuva 17. Vasemmalla tankkausventtiili sekä oikealla tankkausputki ja suoja-putki paikallaan. Sisälokasuojaa ei ole vielä kiinnitetty.

7.4.4 Säiliöventtiilin asennus

Säiliöventtiilissä on kartiokierre. Venttiilin asennusohjeen mukaan, kierteeseen täytyi laittaa teflonteippiä tiiviyden varmistamiseksi. Teflonteippiä laitettiin noin 10 kierrosta siten, että kaksi ensimmäistä kierrettä jäi ilman teippiä. Seuraavaksi kiinnitysadapterin ja momenttiavaimen avulla säiliöventtiili kiristettiin 200 Nm:n momenttiin (kuva 18). Koska kiristysmomentti oli huomattavan suuri, säiliö kiinnitettiin kiinnityspantojen ja kumien avulla apurunkoon. Tällä menettelyllä työn voi helposti tehdä yksin.



Kuva 18. Säiliöventtiilin kiinnitys kaasusäiliöön, momenttiavaimen ja adapterin avulla.

7.4.5 Kaasuputki säiliöventtiililtä paineensäätimelle

Säiliöventtiililtä moottoritilaan paineensäätimelle johtavan kaasuputken asennuksessa on huomioitava, että putki on hyvin kiinni ja se ei saa olla liian lähellä pakoputkea. Putki asennettiin kulkemaan bensiinisäiliön ylitse jatkaen oikealla puolella auton alkuperäisten bensiiniputkien vieressä, missä oli valmiina vapaita kiinnikkeitä (kuva 19). Lisäksi putken kiinnitykseen käytettiin muovilla suojattuja putkenkiinnityslenkkejä, jotka kiinnitettiin alumiinisilla vetoniiteillä auton pohjapeltiin, sekä etuakseliston apurunkoon. Auton moottoritilassa rintapellin alaosan kohdalla kaasuputki johdettiin moottoritilan vasemmalle puolelle paikkaan, johon paineensäädin myöhemmin sijoitettiin.



Kuva 19. Kaasuputki, joka kulkee bensiinisäiliön yli ja jatkaa bensiiniputkien vieressä moottoritilaan riittävän etäällä pakoputkesta.

7.4.6 Helmiliitoksien asennus

Ennen helmiliitoksien asennusta kaasuputket katkaistiin sopivan mittaisiksi putken katkaisutyökalua käyttäen, jotta putken päästä saadaan tasainen. Katkaisun jälkeen kaasuputken päälle pujotettiin ensin suojaputki, sitten kierreholkki ja lopuksi helmi. Suojaputkea (kuva 20) käytetään kaikissa sisätilan liitoksissa sekä tankkausventtiilin alastuloputkessa. Helmiliitoksen kierteeseen on hyvä laittaa hieman hyvin juoksevaa öljyä alussa tehtävän käsin kiristämisen helpottamiseksi. Kun käsin kiristys oli tehty ja varmistettu, että putken pää on kunnolla liitoksen pohjassa, voidaan aloittaa avolenkkiavaimella kiristys. Ohjeiden mukaan oikea kiristysmomentti on 4–5 Nm, mutta

käytännössä hyvä näppituntuma toimii hyvin. Liitosta ei saa kiristää liian tiukkaan, etteivät putken pää ja liitos vaurioidu.



Kuva 20. Kaasupullo kiinnitettynä. Pantojen ja säiliön välissä kumi. Kaasuputken liitokset kiristetty ja suojaputket paikoillaan sekä tavaratilan verhoilu viimeisteltynä.

7.4.7 Suutinnippojen asennus

Suutinnippojen asennusta varten imusarja irrotettiin ja porattiin imuputkissa valmiina oleviin paikkoihin noin 5 mm:n reiät. Porattuihin reikiin tehtiin 6 mm:n kierretapilla M6-kierre. Suutinnipan kierteeseen lisättiin tiivisteliimaa ja nippa kierrettiin paikoilleen (kuva 21).



Kuva 21. Suutinnipat kiinnitettyinä imusarjaan.

7.4.8 Paineensäätimen asennus

Paineensäätimen mukana seurasi ohje, jonka mukaan säädin oli asennettava pystyyn siten, että hienosäätöruuvi osoitti ylöspäin (kuva 22). Lisäksi paineensäätimen mukana oli kiinnitystarvikkeita, joilla se kiinnitettiin auton akkutelineen pohjan alapuolelle. Tässä yhteydessä kiinnitettiin myös korkeapainemittari, paineensäätimen lämpötila-anturi ja kaasusäiliöltä tuleva kaasuputki helmiliitoksineen. Lisäksi asennettiin jäähdytysnesteletkut ja t-kappaleet auton lämmityslaitteen kennon letkujen rinnalle.



Kuva 22. Paineensäädin paikalleen kiinnitettynä.

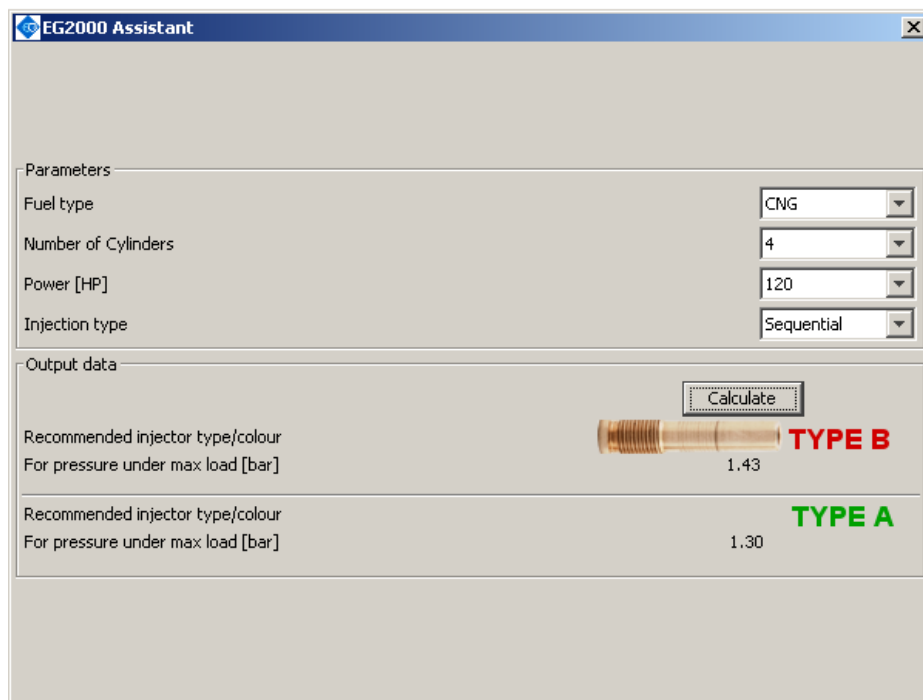
7.4.9 Suuttimien, suutinputkien ja matalapaineletkujen asennus

Sarjan mukana ei tullut suutintukkia tai minkäänlaisia kiinnikkeitä suuttimille, joten sellainen valmistettiin itse. Suutinpidike (kuva 23) valmistettiin kevyestä alumiiniprofiilista, jonka läpi porattiin rinnakkain 4 kpl suuttimien rungon halkaisijan mittaisia reikiä. Alumiiniprofiilin ja suuttimien väliin asennettiin sopivan paksuinen kumisuikale, joka aikaansai puristusvoiman, jonka seurauksena kitkavoima piti suuttimet paikallaan. Näin kiinnitykseen ei tarvittu työkaluja ja suutin voidaan kiinnittää tai irrottaa käsivoimin.



Kuva 23. Alumiiniprofiilista valmistettu suutinpidike.

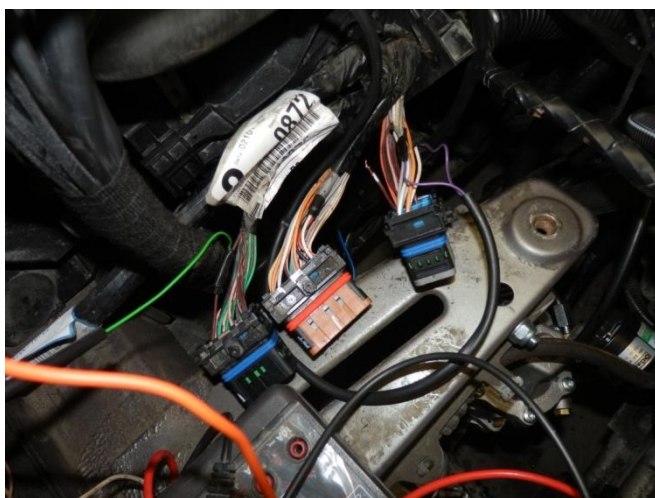
Ennen suuttimien lopullista kiinnitystä valittiin sopivat suutinputket. Sarjan mukana seurasi kaksi erilaista suutinputkisarjaa, jotka oli nimetty B- ja C-suutinsarjoiksi. Valmistajan ohjeissa oli taulukko, jonka perusteella valittiin moottorin huipputehon ja kaasun käyttöpaineen mukaan sopiva suutinputki. Lisäksi ohjainlaitteen ohjelmistossa oli apuohjelma (kuva 24), jonka avulla voidaan laskea oikea suutinkoko. Lagunan tapauksessa valittiin suutinsarja B. Suutinputket asennettiin ja suuttimiin kiinnitettiin luokka 2 -merkinnöillä varustetut matalapainekaasuletkut. Letkut kiinnitettiin metallisilla letkuklemmareilla. Seuraavaksi asennettiin suuttimet suutinpidikkeeseen ja kiinnitettiin loput klemmariliitokset. Lisäksi asennettiin kaasusuodatin sekä yhdistetty paine-lämpöanturi paineensäätimen ja suuttimien väliseen matalapaineletkuun. Lopuksi kiinnitettiin alipaineletku, joka kulkee imusarjan yhdyskammiosta painetunnistimelle ja lopulta paineensäätimelle.



Kuva 24. Kuvakaappaus apuohjelmasta, jota käytetään suuttimien valintaan [7].

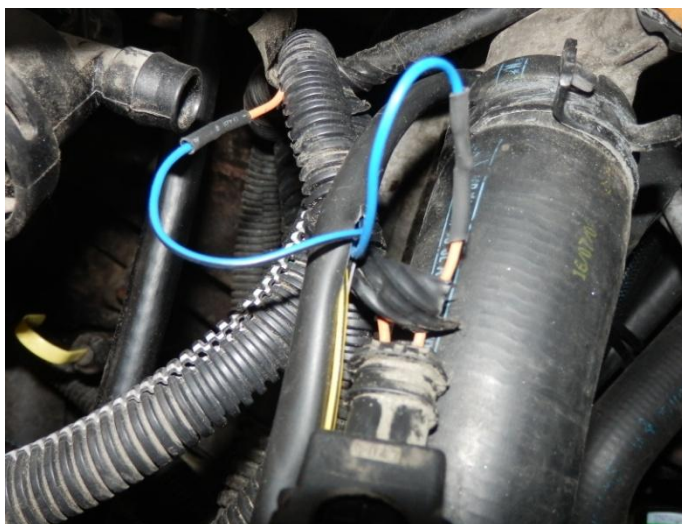
7.4.10 Kaasu-ECU:n ja sytytysennakonsäätö ECU:n asennus

Sähkötyöt aloitettiin poistamalla auton akku. Seuraavana työvaiheena suoritettiin bensiini-ECU:n johtoliittimien avaus (kuva 25), jolloin johtojen värit ja numerot oli helposti todettavissa. Käytössä oli Lagunan sähkökytkentäkaavio, joka oli ehdoton apuväline kytkentöjä tehtäessä.



Kuva 25. Bensiini-ECU:n liittimet avattuina takaosastaan.

Suuttimien sähköliitokset kytkettiin bensiinisuuttimien liittimien taakse (kuva 26), koska tilan ahtauden takia liittäntä olisi ollut hankala toteuttaa bensiini-ECU:n liittimien takana. Liitokset toteutettiin juottamalla ja varustettiin aina kutistesukkaeristeellä, kun oli mahdollista. Ryöstötyyppisissä liitoksissa käytettiin myös juotosta mutta eristeenä sähköteippiä, koska alkuperäistä johtoa ei haluttu turhaan katkaista.



Kuva 26. Suuttimen johtokytkentä tehty bensiinisuuttimen liittimen taakse.

Auton sisälle keskikonsoliin asennettiin kaasujärjestelmän vaihtokytkin, jossa on led-indikaattori (kuva 27). Led-indikaattori ilmoittaa kaasumäärän ja järjestelmän toimintatilan. Vaihtokytkimellä voidaan vaihtaa manuaalisesti järjestelmän toimintatila sekä tarvittaessa asettaa tiedonkeruu päälle. Lisäksi kytkimessä oli sisään rakennettu summeri.



Kuva 27. Keskikonsoliin asennettu kaasujärjestelmän vaihtokytkin sekä led-indikaattori.

Kaasujärjestelmän ECU:n lisäksi kytkettiin sytytysennakonsäätö ECU:n sähköliitännät. Kun kaikki sähkökytkennät olivat valmiita, varmistettiin kytkennät käynnistämällä auto siten, että kaasu- ja sytytysennakonsäätö ECU:n päävirtaa ei ollut vielä kytketty. Kun kytkentöjen todettiin olevan kunnossa, viimeisteltiin moottoritilan asennukset ja ohjainlaitteiden päävirtajohdot kytkettiin akkuun. Seuraava työvaihe oli kaasujärjestelmän täyttö ja vuokoe.



Kuva 28. Kaikki osat paikallaan ja kytkennät tehty. Oikealla alakulmassa kaasu-ECU. Paikallaan ei ole vielä akun suojakansi, jonka alle myös ohjainlaite tulee jäämään.

8 Kaasujärjestelmän täyttö ja vuototesti

Kaasujärjestelmän ensimmäinen täyttö suoritettiin Porvoossa, Gasumin tankkausasemalla (kuva 29). Maksuna Gasumin asemilla käy vain Gasumin oma luottokortti, joka hankittiin etukäteen. Asemalla voi valita, tankkaako maakaasua vai biokaasua. Kaasun tankkauspistoolin käyttö on hieman monimutkaisempaa kuin bensiini- tai dieseltankkauspistoolin käyttö. Ensin pistooli painetaan auton täyttöventtiiliä vasten. Kun liitin on pohjassa, käännetään pistoolin varressa sijaitsevaa vipua 180 astetta, jolloin liitin lukittuu. Tämän jälkeen tankkauspistooliin ei enää tarvitse koskea tankkauksen aikana. Seuraavaksi painetaan mittarin kyljessä tai etulevyssä

sijaitsevaa painonappia ja tankkaus alkaa. Kaasutankkauksen aikana kuuluu melko huomattava kohiseva ääni, joka johtuu siitä että kaasu kulkee suuressa paineessa ja lyhyessä ajassa sisähalkaisijaltaan vain 4 mm:n putken läpi auton kaasusäiliöön. Ääni saattaa jopa säikäyttää asiaan tottumattoman henkilön. Auton kaasusäiliö myös lämpenee täyttyessään useita kymmeniä asteita. Säiliön täyttymisen kokonaiskestoajaksi oli noin 1,5 minuuttia. Kaasusäiliöön mahtui biokaasua 8,28 kg.



Kuva 29. Ensimmäinen kaasutankkaus. Mittarissa lukemat: 8,28 kg biokaasua, 1,505 euroa/kg, yhteensä 12,46 euroa.

Heti tankkauksen jälkeen suoritettiin kaasuliitoksien tiiveyden tarkastus suihkuttamalla suihkepullosta vesi-pesuaineseosta joka liitokseen. Tarkastustilanteessa on hyvä olla mukana sopiva avokiintolenkkiavain, jos vuotoa esiintyy ja liitoksia täytyy kiristää. Vuotoa ei havaittu.

Noin 25 km:n ajomatkan jälkeen hajuisti havaitsi lievää kaasun hajua. Auto pysäytettiin ja havaittiin korviin kuuluva sihinä. Huomattiin, että säiliö vuotaa päädyssä (kuva 30). Säiliö vaihdettiin välittömästi uuteen.



Kuva 30. Kaasusäiliön päädyssä havaittiin vuoto. Vuotokohtaan suikutettiin vesi-pesuaineseosta. Säiliö vaihdettiin välittömästi.

Metaani on itsessään hajuton kaasu, mutta turvallisuussyistä se on hajustettu. Hajustamiseen käytetään tetrahydrotiofeeniä. Tässä tapauksessa havaittiin, kuinka erittäin tärkeä turvallisuusasia hajustaminen on.

Uusi säiliö vaihdettiin ja täytettiin sekä kaasuliitokset tarkastettiin uudelleen. Vuotoa ei havaittu missään, joten seuraava työvaihe oli järjestelmän ohjelmointi.

9 Ohjelmointi ja säätö

Ensimmäinen tehtävä oli usb ajurin ja ohjelmiston asennus tietokoneeseen. Ohjelmisto asennettiin kannettavaan tietokoneeseen, jossa oli Windows XP -käyttöjärjestelmä. Asennussarjaan ei sisälly usb-sovitinjohtoa, joten johto tilattiin erikseen. Kun tietokone kytkettiin kaasujärjestelmän ECUun, alkoi laiteohjelman päivitys. Kun laiteohjelma oli latautunut, aloitettiin asetusten syöttö.

9.1 Perusasetukset

Ohjelma on tarkoitettu LPG- sekä CNG-käyttöön, ja siksi ensin asetettiin oikea kaasuasetus: CNG. Tämän jälkeen asetettiin joukko muita parametreja. Seuraavassa on lueteltu perusparametrit ja sen perässä käytetty asetus:

- sylinterimäärä: 4
- sylintereitä per sytytyspuola: 1
- kierroslukusignaalin laatu: 5 voltia
- moottorin tyyppi: vapaastihengittävä
- suuttimien tyyppi: H2000
- suuttimien ohjaus: (-) miinusohjaus
- bensiinisuihkutusjärjestelmän tyyppi: sekventiaali

- lambda anturin signaalin taso: 0–1 voltia
- paineanturi: 400 kPa
- alipaineanturi: 400 kPa
- kytkimen tyyppi: LED 7
- paineensäätimen lämpötila-anturi: 4,7 kOhm.

Lisäksi on vielä muita parametreja, joita ei ole tarkoituksenmukaista luetella tämän työn yhteydessä. Kaikki asetettavat parametrit löytyvät helposti laitteen käyttöohjeista. [7]

9.2 Kalibrointi

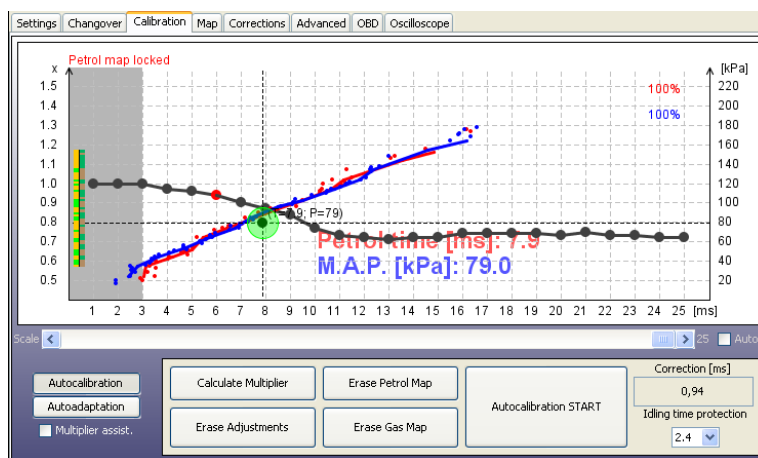
Kun kaikki tarvittavat parametrit oli asetettu, alkoi kalibrointi. Kaasulaitteiston ohjelma hoitaa kalibroinnin automaattisesti. Auto käynnistettiin normaalisti ja muodostettiin ohjelmayhteys. Seuraavaksi klikattiin ”*autocalibration*” kohtaa ja kalibrointi alkoi. Kalibroinnin aikana seurattiin näytön ohjeita. Kalibroinnissa ohjelma käynnistää kaasusuuttimien syötön yksi kerrallaan pudottaen saman sylinterin bensiinisuuttimen toiminnasta. Näin jatkuu, kunnes moottori käy hetken aikaa pelkästään kaasulla.

Ensimmäisten kalibrointiyrityksien yhteydessä, aina kun viimeinen sylinteri vaihtoi kaasulle, moottori sammui. Vikaa mietittiin, ja lopulta syyksi paljastui bensiinipumpun releen ohjauksen katkaisu, joka katkaisi myös bensiini-ECU:n virran. KytKentä muutettiin, ja kalibrointi onnistui.

Kalibroinnin lopuksi kaasun ECU suoritti laskutoimituksen, jonka tuloksena syntyi korjausarvo millisekunteina. Tämä korjausarvo tarkoittaa sitä arvoa, jolla bensiinisuuttimien aukioloaika muutetaan eli emuloidaan. Korjausarvon täytyy olla 0,5–2,5 ms. Jos ei ole, niin suutinputket täytyy vaihtaa ja/tai järjestelmäpainetta on muutettava. Tässä tapauksessa arvo oli 2,02 ms, joten siirryttiin seuraavaan vaiheeseen.

9.3 Karttojen tiedonkeruu

Ennen karttojen tiedonkeruuta, järjestelmä pyysi, että ”*press erase gas map and petrol map*” eli nollaa kaasu- ja bensiinikartat. Kun kartat oli nollattu, lähdettiin ajamaan ja seurattiin, että kartta on 100-prosenttisesti kerätty molemmille polttoaineille. Karttojen ajoon ei välttämättä tarvita tietokonetta, mutta karttakäyrän näkeminen ajon aikana nopeuttaa prosessia. Kaasu- ja bensiinikarttojen tulisi olla mahdollisimman samansuuntaisia keskenään, jotta toiminta olisi paras mahdollinen. Tässä tapauksessa käytettiin vaihtoehtoa ”*calculate multiplier*” eli laske kertoja, joka tarkoittaa, että ohjelma laskee kerroinkäyrän, jonka avulla käyrien muoto lähenee toisiaan (kuva 31).



Kuva 31. Ohjelma kalibrointitilassa, jossa sinisellä kaasu- ja punaisella bensiinikartan käyrä. Kertojakäyrä on musta. Vaaka-akselilla millisekunnit ja oikealla pystyakselilla MAP. Vasemmalla pystyakselilla kertojakäyrän kerroin. [7]

Tämän jälkeen, mikäli kaikki toimii hyvin, voi ohjelmistoyhteyden sulkea ja järjestelmä toimii täysin automaattisesti noudattaen perusasetuksia ja karttoja. Ohjelmassa on myös monia ominaisuuksia, mm. autoabaptaatio, OBD-korjaus, manuaalinen kartan käsittely ja muita säädettäviä asetuksia helpottamassa hienosäätöjä, joita ei ole tässä yhteydessä syytä käsitellä, koska ne löytyy käyttöohjeista. [7]

9.4 Sytytysennakonsäätö ECU

Sytytysennakonsäädöllä kaasukäytössä on merkitystä, koska kaasun palamisnopeus on pienempi kuin bensiinin. Lisäksi kaasun oktaaniluku on noin 140 eli paljon korkeampi kuin bensiinin 95–98. Paremman hyötysuhteen saavuttamiseksi

sytytysennakkoa pitää aikaistaa kaasukäytössä. Tiedossa oli, että kovin huomattavaa etua ennakonsäädöstä ei saada varsinkaan vapaastihengittävässä moottorissa, mutta tässä projektissa haluttiin kokeilla ja samalla oppia ennakonsäätö ECU:n toiminta.

Sytytysennakonsäädin toimii samalla peruseriaatteella kuin kaasu-ECU eli muuntaa alkuperäisen signaalin halutunlaiseksi signaaliksi. Tässä tapauksessa muunnettavana oli kampiakselin asentotunnistimen signaali eli induktioanturin signaali. Ennakonsäätö-ECU:n ohjelma on erittäin monipuolinen tähän tarkoitukseen. Sillä voidaan muuntaa induktiiviset sekä digitaaliset signaalit. Lisäksi ECU ottaa huomioon kaasuläpän asentotunnistimen, sekä MAP-anturin signaalin. Näitä kaikkia funktioita voidaan hyödyntää ja tehdä yksilöllinen sytytyskartta erittäin helposti graafisella ohjelmoinnilla.

Lagunan tapauksessa ennakkon lisäyksestä tehtiin tarkoituksella varovainen, koska optimaalisen ennakon haku moottorin eri kuormitustilanteissa olisi vaatinut paljon aikaa tehodynamometrissä. Lagunan ennakkokäyrästä tehtiin näppituntumalla noin 6 asteen perusennakon lisäyksestä loivasti nouseva käyrä, jonka lakipiste on noin maksimivääntömomentin kierrosluvun kohdalla 9 astetta ja siitä tasaisesti laskeva maksimikierroslukuun asti, jolloin ennakon lisäys oli enää noin 2 astetta. Käytännössä huomattiin, että aina kun ennakkosäätömuutoksia tehtiin, piti kaasulaitteiston ECU uudelleen kalibroida ja ajaa uudet kartat, koska kampiakselin asentotunnistimen signaali ohjaa myös ruiskutuksen ajoitusta.

10 Mittaukset

10.1 Päästömittaukset

Päästömittaukset suoritettiin samalla periaatteella kuin katsastuksessa mitataan eli nelikaasuanalyssaattorilla pakoputken päästä yli 2 000 rpm kierroksilla. Lisäksi mitattiin päästöt tyhjäkäynnillä. Aluksi suunniteltiin, että päästöt mitattaisiin alustadynamometrin kuormituksen aikana, mutta paikassa, jossa alustadynamometrimittaukset suoritettiin, ei ollut käytettävissä nelikaasuanalyssaattoria.

Mittaus suoritettiin ensin kaasukäytöllä, jonka jälkeen bensiinikäytöllä. Kuvan 32 mittaustuloksista nähdään, että lambdasäätö toimii molemmilla polttoaineilla oikein ja

katalysaattori toimii hyvin, koska häkä- eli hiilimonoksidi (CO) -arvo on molemmilla polttoaineilla alhainen, tosin kaasukäytöllä hieman suurempi.

Polttoneste: Bensiini		Polttoneste: CNG	
TULOKSET		TULOKSET	
Silmäm. tarkistus:	o.k#	Silmäm. tarkistus:	o.k#
Moottori käyntilämmin	#	Moottori käyntilämmin	#
Joutokäyntimittaus		Joutokäyntimittaus	
Pyörintänope	790 /min	Pyörintänope	820 /min
Lambda	1.000	Lambda	1.005
CO	0.008 % til	CO	0.015 % til
CO2	14.56 % til	CO2	11.47 % til
HC	5 ppm til	HC	65 ppm til
O2	0.01 % til	O2	0.24 % til
Korotettu joutokäynti		Korotettu joutokäynti	
Pyörintänope	2470 /min	Pyörintänope	2520 /min
Lambda	1.001	Lambda	1.005
CO	0.007 % til	CO	0.015 % til
CO2	14.55 % til	CO2	11.43 % til
HC	6 ppm til	HC	65 ppm til
O2	0.03 % til	O2	0.24 % til

Kuva 32. Päästömittauksen tulokset. Vasemmalla bensiini, oikealla kaasu.

Hiilivety (HC) -arvo on kaasukäytöllä huomattavan paljon korkeampi kuin bensiinikäytöllä. Korkea HC-arvo johtuu epätäydellisestä palamisesta palotilassa, ja se on palamatonta polttoainetta. Syytä voi olla monia, mutta yksi syy on moottorin bensiinikäyttöön suunniteltu puristussuhde, joka ei ole kaasukäytölle optimaalisen korkea. Myös sytytyskatkokset aiheuttavat korkean HC-arvon. Syynä voi olla kaasusuuttimien sijainti, koska suuttimet asennettiin lähelle imuaukkoja. Mitattu arvo ei kuitenkaan ole niin suuri, että olisi syytä ryhtyä suurempiin toimenpiteisiin, koska arvo on alle taulukon 2 sallitun 100 ppm:n raja-arvon. Mutta hienosäätöjä on kuitenkin tehtävä esimerkiksi ennakonsäädössä, joka voi muuttaa arvoa parempaan suuntaan.

Mitattu hiilidioksidin (CO₂) arvo on kaasukäytöllä huomattavasti pienempi kuin bensiinillä. Alhaisempi hiilidioksidipäästön arvo on ominaista kaasun palamisprosessissa, kuten myös mittaustuloksissa näkyvä korkeampi happiarvo, joka on myös kaasulle ominaista.

Taulukko 2. Suurimmat sallitut päästöt 1.7.2002 alkaen rekisteröidylle autolle.

Pyörintäno. vähintään 2000 r/min	
CO (%)	0,2
HC (ppm)	100
Lambda	1 ± 0,03

10.2 Kulutusmittaukset

Tämän karkean kulutusmittauksen tarkoituksena on verrata kahden eri polttoaineen kulutusta, ja siksi tässä yhteydessä ei lasketa matkamittarin aiheuttamaa virhettä eikä tankkaustapahtumaan liittyviä mittausvirheitä. Lisäksi auton paino on lisääntynyt yli 60 kg konversion takia. Karkea mittaustulos perustuu täyteen tankkauksen yhteydessä saatuun bensiinin litramäärään ja kaasun tankkauksessa kilomäärään sekä auton oman matkamittarin lukemaan.

Lagunalla on ajettu useita vuosia bensiinillä, ja tänä aikana karkeasti mitattu keskikulutus on ollut noin 7,7 l / 100 km.

Kaasulla ajettiin muutama säiliöllinen samantyyppistä ajoa kuin bensiinillä on ajettu jo vuosia. Mittausten perusteella kaasun keskikulutus on noin 5 kg / 100 km.

Kun tiedetään, että kilo maakaasua vastaa energiasisällöltään 1,56:ta litraa bensiiniä, saadaan vertailutulos: $1,56 \times 5 \text{ kg} / 100 \text{ km} = 7,8 \text{ l} / 100 \text{ km}$.

Kulutus on siis käytännössä sama. Näin pitää ollakin, koska käytettävissä on oltava yhtä paljon energiaa, oli polttoaine mikä tahansa. Lisäksi tuloksesta voidaan päätellä, että kaasu soveltuu erittäin hyvin tämänkin auton polttoaineeksi, vaikka Lagunan moottori ei ole edes optimoitu kaasulle.

Edellä mainituista arvoista voidaan laskea polttoainekustannukset per 100 km, kun käytetään biokaasun keskimääräisenä hintana 1,5:tä euroa/kilogramma ja bensiinin keskimääräisenä hintana 1,6:ta euroa/litra:

Biokaasu: $1,5 \text{ e/kg} \times 5 \text{ kg} / 100 \text{ km} = 7,5 \text{ euroa} / 100 \text{ km}$.

Bensiini: $1,6 \text{ e/l} \times 7,7 \text{ l} / 100 \text{ km} = 12,32 \text{ euroa} / 100 \text{ km}$.

Kaasulla ajaminen tuo siten säästöä 4,82 euroa/100 km. Prosentteissa laskettuna säästöä kertyy 39 %.

Tärkeää on huomioida se, että kylmää moottoria käynnistettäessä moottori käy huomattavan ajan bensiinikäytöllä, kunnes kaasujärjestelmä alkaa toimia, koska kaasun paineensäädin vaatii lämmintä jäähdytysnestettä. Varsinkin pakkaskäytöllä kylmäkäyntiaika bensiinillä voi olla useita kilometrejä ja/tai minutteja, mitä laskelmassa ei ole huomioitu.

10.3 Tehonmittaus

Tehonmittauksen tavoitteena oli saada vertailuarvot bensiini- ja kaasukäytöllä sekä lisäennakon vaikutus kaasukäytössä. Tehonmittaus suoritettiin alustadynamometrillä (kuva 33), jossa teho mitataan vetävistä pyöristä. Käytössä oli Bapro BPA-2R -merkkinen pyörrevirtajarrulla varustettu, 2-vetoisille autoille tarkoitettu dynamometri. Renkaiden ja voimansiirron aiheuttama häviöteho laskettiin mittauksen jälkeisessä vapaassa rullauksessa kytkinpoljin pohjassa. Mittaus suoritettiin vaihteiston nelosvaihteella. Mittauksista saatiin tuloksena DIN70020-normin mukainen korjattu moottoriteho. (Liitteet 1, 2 ja 3.)



Kuva 33. Laguna tehon mittauksessa ja sidottuna alustadynamometriin. Edessä jäähdytyspuhallin.

Taulukon 3 mittaustuloksista nähdään, että maksimimoottoriteho kaasukäytöllä oli 14,9 % pienempi bensiinikäytöllä mitattuun moottoritehoon verrattuna. Mitattu maksimivääntömomentti oli kaasukäytöllä 14,1 % pienempi kuin bensiinikäytössä. Tuloksista nähdään myös lisäennakon vaikutus moottoritehoon ja vääntömomenttiin. Vääntömomentti lisääntyi 4 Nm ja moottoriteho ei käytännössä ollenkaan.

Taulukko 3. Tehonmittaustulokset, bensiinille, kaasulle ja kaasu lisäennakon kanssa (liitteet 1, 2 ja 3).

Polttoaine	Teho/kierrosluku	Vääntö/kierrosluku
Bensiini	92,6 kW / 5663 rpm	177 Nm / 3736 rpm
Kaasu + lisäennakko	78,8 kW / 5942 rpm	152 Nm / 3738 rpm
Kaasu ilman ennakkoa	78,5 kW / 5918 rpm	148 Nm / 3728 rpm

Lisäennakon tuoma hyöty voisi olla suurempi, jos ennakko olisi suurempi ja paremmin optimoitu kyseiselle moottorille sopivaksi. Lisäksi tehonmittaus ilman lisäennakkoa ei onnistunut täydellisesti, koska kaasulaitteiston ECU oli jo oppinut toimimaan lisäennakon kanssa. Kaasulaitteiston ECU olisi pitänyt kalibroida uudelleen sekä mittaus toistaa.

Mittauksen loppupäätelmänä voidaan todeta, että moottoriteho kaasukäytöllä aleni, koska Lagunan moottoria ei ole tehty kaasukäytölle optimaaliseksi. Suurin vaikuttaja on puristussuhde, joka on kaasukäytölle liian alhainen.

11 Kriittinen analyysi

Kaikissa asioissa on hyvät ja huonot puolensa kuten konversiossakin. Seuraavassa käsitellään konversion positiiviset ja negatiiviset puolet.

Kustannusten näkökulmasta:

Laitteiston kokonaiskustannukset asennettuna ovat alkaen noin 2 000 eurosta ylöspäin. Hinta nousee merkittävästi, jos halutaan huomattavasti kevyempi komposiittisäiliö. Kevyempi säiliö voi maksaa yli kaksi kertaa sen, mitä raskaammat terässäiliöt. Lisäksi jos halutaan pidempi toimintasäde, tarvitaan isompi säiliö tai useampia säiliöitä, jolloin kokonaiskustannukset asennettuna nousevat useaan tuhanteen euroon. Kaasukäyttöisen auton kustannuksia lisää käyttövoimavero, jonka suuruus keskikokoiselle autolle on noin 250 euroa vuodessa.

Esimerkilaskelma Lagunan tapauksesta:

Laitteiston kustannukset asennettuna 2 000 euroa. Vuotuinen käyttövoimavero 250 euroa/vuosi. Säästöä 4,8 euroa / 100 km. Lasketaan, paljonko täytyy ajaa, jotta laitteiston kustannukset kuoleentuvat: $2000 \div 4,8 \times 100 \text{ km} = 41\,667 \text{ km}$.

Mikäli pääomakustannuksia ei huomioida, keskimääräisellä 15 000 km:n vuotuisella ajosuoritteella aikaa kuluu kuoleentumiseen 2,7 vuotta eli 2 vuotta ja runsaat 9 kuukautta. Lisäksi käyttövoimaveron takia ajomäärän täytyy olla vuodessa vähintään $250 \div 4,8 \times 100 \text{ km} = 5\,208 \text{ km}$, jotta säästöä alkaa kertymään.

Kun laitteiston hankintakustannukset ja käyttövoimavero huomioidaan, kuoleentumisaika on $41\,667 \text{ km} \div (15\,000 \text{ km} - 5\,208 \text{ km}) = 4,25$ vuotta eli 4 vuotta ja 3 kuukautta. Niinpä säästöä alkaa kertyä vasta yli neljän vuoden käytön jälkeen.

Laskelmassa ei ole huomioitu, paljonko bensiinillä käynnistys ja kylmäkäynnit lisäävät kokonaiskulutusta, koska se vaatisi pidemmän ympärivuotisen kulutusmittauksen. Joka tapauksessa bensiinia kuluu huomattavasti, koska kaasuasemaverkosto ei ole riittävän laaja suhteessa kaasulla ajamisen toimintasäteeseen, joka on Lagunassa noin 160 kilometriä.

Kiinteisiin kustannuksiin täytyy lisätä myös kaasulaitteiston huoltokustannukset, jotka koostuvat kaasusuodattimen vaihdosta sekä paineensäätimen 50 000 km:n huollosta. Huollosta kertynee karkealta arviolta noin 200 euroa lisäkuluja.

Muita näkökulmia:

Kaasulaitteisto lisää auton painoa vähintään 60 kg, joten voidaan ajatella, että autossa on aina kyydissä yksi lisämatkustaja. Pienimmissä autoissa näin huomattava lisäpaino tavaratilassa voi aiheuttaa muutoksia auton ajodynamiikassa. Varsinkin liukkailla keleillä muutos ei välttämättä ole parempaan suuntaan, koska auto muuttuu enemmän takapainoiseksi. Vanhemmissa takavetoisissa autoissa painonjakauma voi muuttua jopa parempaan suuntaan. Myös tavaratilan kuljetuskapasiteetti vähenee merkittävästi, koska kaasusäiliö vie helposti puolet tavaratilan tilasta, pienemmissä autoissa jopa koko tavaratilan. Suorituskyvyn alentuminen voi myös olla merkittävä asia ja saattaa aiheuttaa yllätyksiä ohitustilanteissa, jos autolla on totuttu ajamaan bensiinikäytöllä tietyllä suorituskyvyllä. Lisäksi käytännössä on havaittu, että kaasun paineensäädin saattaa jäätä talviolosuhteissa, vaikka auton oma jäähdytysjärjestelmä lämmittää sitä.

Positiiviset näkökulmat:

Päästöt vähenee varsinkin biokaasulla ajettaessa, jolloin hiilidioksidin nettopäästöt voivat olla nolla. Biokaasu on kotimainen polttoaine, jolla on työllistävä vaikutus. Biokaasu ei lopu koskaan. Polttoainekustannuksissa on mahdollisuus säästää, mikäli vuotuinen ajosuorite on riittävä suhteessa kiinteisiin kustannuksiin.

12 Lopuksi

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli toteuttaa bifuel-konversio käytettyyn henkilöautoon. Työ suoritettiin itsenäisesti asennuksen suunnittelusta käytännön teknisen asennuksen toteutuksen loppuun saakka. Työ oli erittäin mielenkiintoinen, koska se sisälsi runsaasti tiedonhakua ja selvitystyötä sekä myös paljon käytännön teknistä asennustyötä ja sen dokumentointia. Lisäksi työllä on omien hiilidioksidipäästöjen osalta merkittävä arvo. Konversion toteutus onnistui, kuten oli suunniteltu. Auto on jokapäiväisessä käytössä ja toimii. Pieniä hienosäätöjä tullaan vielä varmasti toteuttamaan ennakonsäädön sekä ohjelmoinnin suhteen.

Toivon, että työn lukija saa selkeän käsityksen konversion toteutuksesta käytännössä ja siitä, kuinka paljon biokaasu luo mahdollisuuksia Suomessa nyt ja tulevaisuudessa. Mallia pitäisi ottaa Ruotsista, jossa kehitetään ja käynnistetään jatkuvasti uusia biokaasuhankkeita ja laajennetaan tankkausverkostoa. Toivottavasti maamme päättäjät ymmärtävät, kuinka suuri merkitys biokaasulla voisi olla päästöjen ja jopa työttömyyden vähentämisessä sekä energiaomavaraisuuden lisäämisessä tulevaisuuden Suomessa.

Lähteet

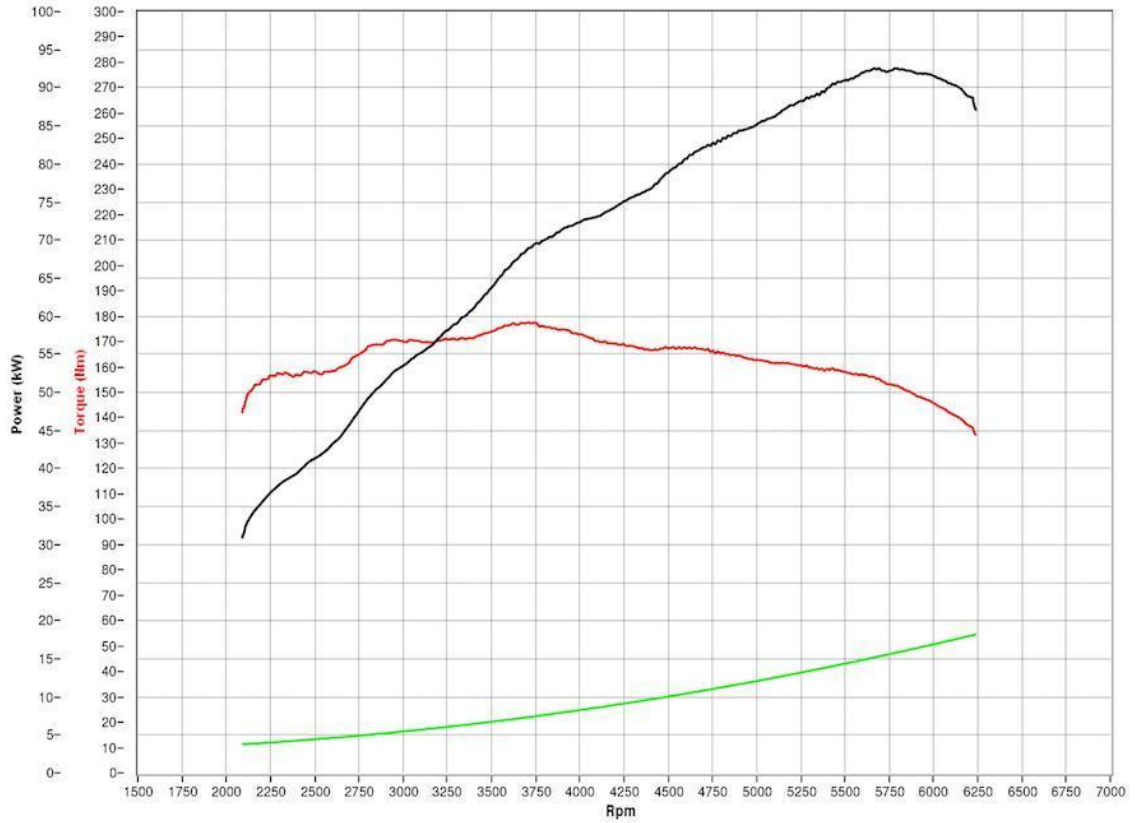
- 1 Maakaasukäsikirja. 2010. Verkkodokumentti. Suomen Kaasuyhdistys. <http://www.maakaasu.fi/sites/default/files/pdf/kasikirja/kasikirja_20110307>. Marraskuu 2010. Luettu 15.10.2014.
- 2 Biokaasu. 2010. Verkkodokumentti. Suomen Biokaasuyhdistys. <http://www.biokaasuyhdistys.net/index.php?option=com_content&view=section&layout=blog&id=6&Itemid=53> Luettu 25.10.2014.
- 3 Kaasutietoutta. 2014. Verkkodokumentti. Gasum Oy. <<http://www.gasum.fi/Kaasutietoutta/>>. Luettu 25.10.2014.
- 4 Kaasuautojen tankkausasemat Suomessa (CNG Stations). 2014. Verkkodokumentti. Google Maps. <<https://maps.google.com/maps/ms?msid=206862115856231096821.00048e8e82f024ba8a909&msa=0&dg=feature>>. Päivitetty 12.9.2014. Luettu 25.10.2014.
- 5 Regulation No 110 of the Economic Commission for Europe of the United Nation. 2013. Verkkodokumentti. UNECE. <<http://www.unece.org/fileadmin/DAM/trans/main/wp29/wp29regs/2013/R110r2e.pdf>>. Updated 19 August 2013. Luettu 25.10.2014.
- 6 Regulation No 115 of the Economic Commission for Europe of the United Nation. 2003. Verkkodokumentti. UNECE. <<http://www.unece.org/fileadmin/DAM/trans/main/wp29/wp29regs/r115e.pdf>>. Updated 12 December 2003. Luettu 25.10.2014.
- 7 OSCAR-N PLUS/OBD CAN SAS controller user manual. Verkkodokumentti. Europegas. 2014. <<http://europegas.pl/pliki/repository/sas/download.php>>. Version 1.51. Luettu 25.10.2014.
- 8 EG Dynamic controller user manual. Verkkodokumentti. Europegas. 2014. <<http://europegas.pl/pliki/repository/tap/download.php>>. Version 2.3.0. Luettu 25.10.2014.
- 9 Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2009/33/EY. 2009.
- 10 Hallituksen esitys HE 147/2010. 2010.

Teho bensiinillä

motorbit

Högberginhaara 11, 04360 Tuusula, Finland
 tel +358 (0)9 753 7533
 www.motorbit.fi | info@motorbit.fi

SWEEP TEST



Test date	21/10/14 - 14:45:23
Vehicle model	Renault Laguna 1.8i
Reg. plate	
Customer	
Operator	Motorbit Oy
Displacement	1800
Fuel	Petrol
Engine type	Natural aspirated
Rpm meter	Automatic
Drive	2WD Front
Temperature (°C)	16
Pressure (mbar)	1012
File name	141021_144523.dat
Note	

● Shaft power	● Wasted power
● Torque	

Max power to shaft	92.6	kW
Max power at corresponding to correction standard	5663	rpm
correction factor	153	km/h
DIN 70020	0,994	
Maximum torque	177.0	Nm
Maximum torque at corresponding to	101	km/h
	3736	rpm
Maximum speed	169	km/h
Maximum rpm	6250	rpm

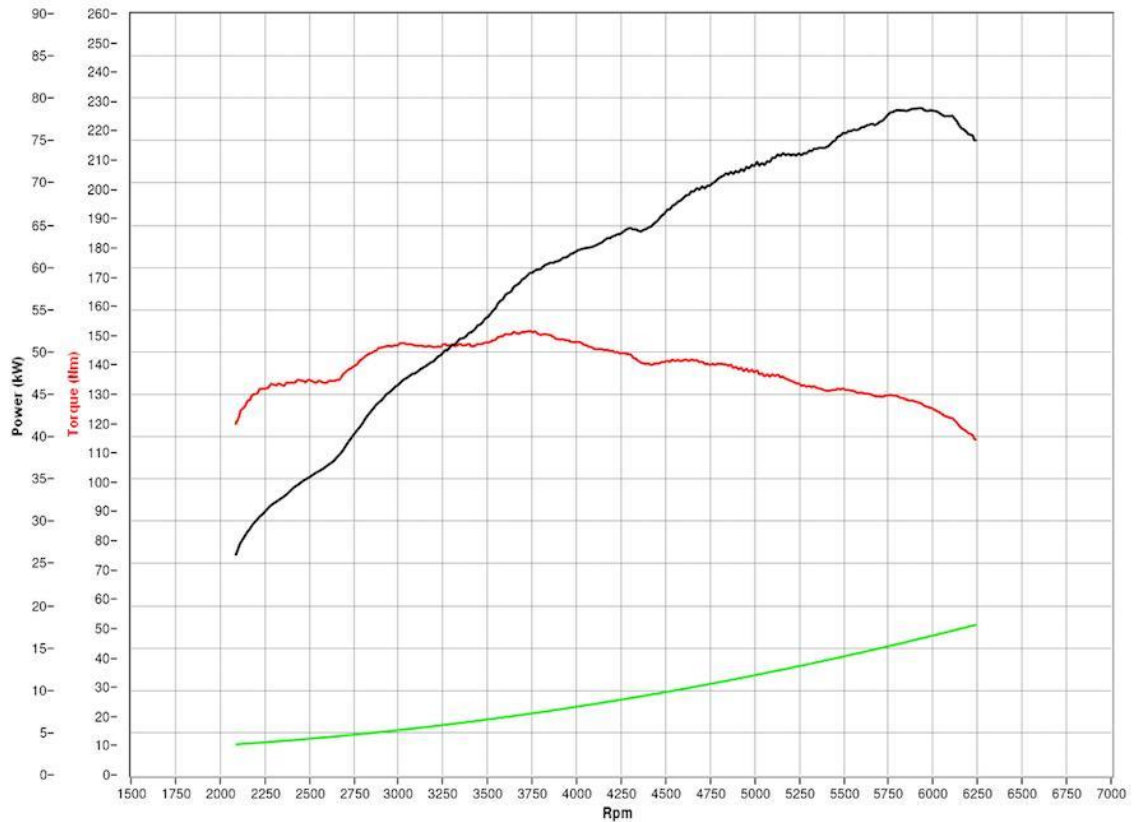
Notes Bensiini, aloitustesti#2

Teho kaasulla ja lisäennakkolla

motorbit

Högberginhaara 11, 04360 Tuusula, Finland
 tel +358 (0)9 753 7533
 www.motorbit.fi | info@motorbit.fi

SWEEP TEST



Test date	21/10/14 - 14:47:43
Vehicle model	Renault Laguna 1.8i
Reg. plate	
Customer	
Operator	Motorbit Oy
Displacement	1800
Fuel	Petrol
Engine type	Natural aspirated
Rpm meter	Automatic
Drive	2WD Front
Temperature (°C)	16
Pressure (mbar)	1012
File name	141021_144743.dat
Note	

● Shaft power	● Wasted power
● Torque	

Max power to shaft	78,8	kW
Max power at corresponding to	5924	rpm
correction standard	160	km/h
correction factor	DIN 70020 0,994	
Maximum torque	152.0	Nm
Maximum torque at corresponding to	101	km/h
	3738	rpm
Maximum speed	170	km/h
Maximum rpm	6258	rpm

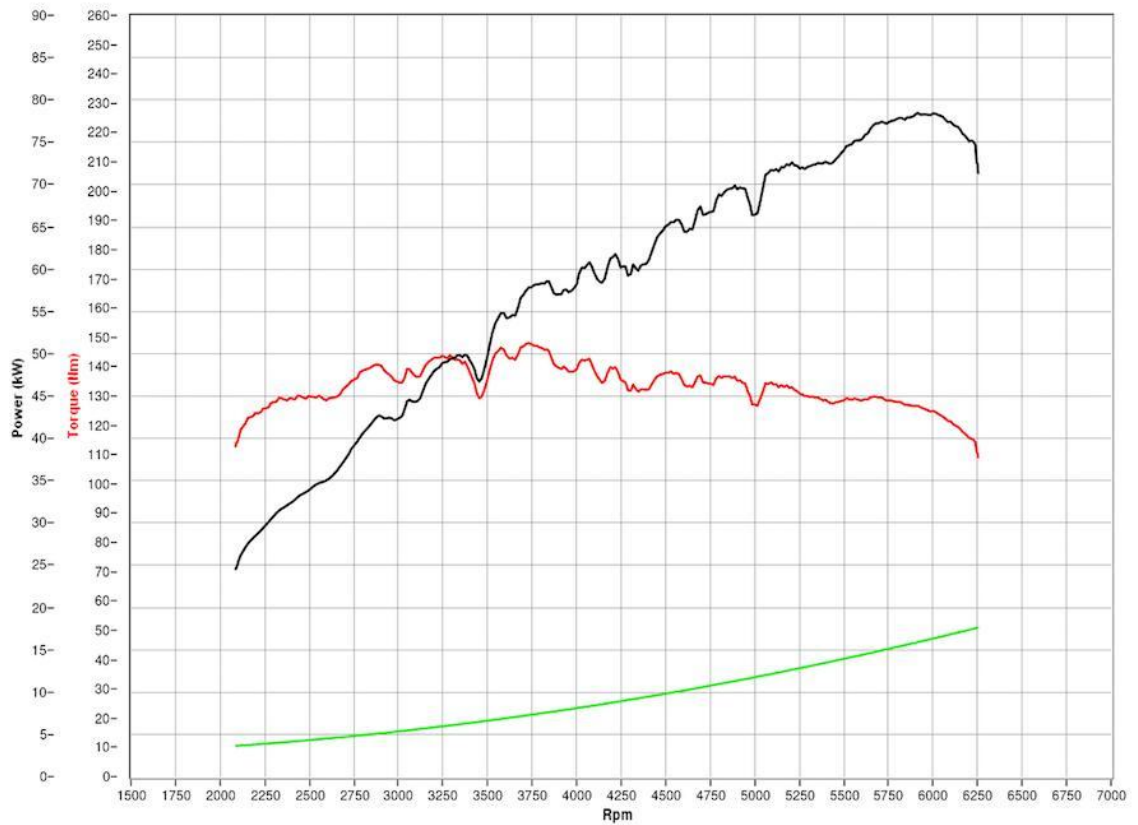
Notes Maakaasu, testi#1

Teho kaasulla ilman ennakkoa

motorbit

Högberginhaara 11, 04360 Tuusula, Finland
 tel +358 (0)9 753 7533
 www.motorbit.fi | info@motorbit.fi

SWEEP TEST



Test date	21/10/14 - 14:58:32
Vehicle model	Renault Laguna 1.8i
Reg. plate	
Customer	
Operator	Motorbit Oy
Displacement	1800
Fuel	Petrol
Engine type	Natural aspirated
Rpm meter	Automatic
Drive	2WD Front
Temperature (°C)	15
Pressure (mbar)	1012
File name	141021_145832.dat
Note	

● Shaft power	● Wasted power
● Torque	

Max power to shaft	78,5	kW
Max power at corresponding to	5918	rpm
correction standard	160	km/h
DIN 70020		
correction factor	0,992	
Maximum torque	148,0	Nm
Maximum torque at corresponding to	101	km/h
	3728	rpm
Maximum speed	170	km/h
Maximum rpm	6263	rpm

Notes Maakaasu, syt.ennakko muutos, testi#3