



TAMPEREEN
AMMATTIKORKEAKOULU

Polttomoottorin etanolikäyttö ja hyötytehon nosto

Juha Paavola

Opinnäytetyö
Huhtikuu 2018
Ajoneuvotekniikka
Korjaamotekniikka



TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Auto- ja kuljetustekniikka
Korjaamotekniikka

PAAVOLA JUHA:

Polttomootorin etanolikäyttö ja hyötytehon nosto

Opinnäytetyö 38 sivua, joista liitteitä 2 sivua
Huhtikuu 2018

Opinnäytetyön tarkoituksena on tutustua korkeaseosetanolipolttoaineiden ominaisuuksiin ja tutkia niiden käyttöä viritetyssä, jossa nostetaan polttomootorin hyötytehoa. Tutkimuksen kohteena olevaan ajoneuvoon mitoitettiin etanolikäyttöä varten polttoainejärjestelmän osat, suuttimet ja polttoainepumppu. Hyötytehon nostoa varten ajoneuvoon mitoitettiin myös turboahdin ja vahvistettiin moottorin alakertaa. Mittaustulokset viritetyöstä saatiin käyttämällä tehodynamometriä. Näitä mittaustuloksia verrattiin moottorin alkuperäisiin tietoihin.

Työn onnistuminen edellytti valmistelevia toimenpiteitä ja moottorin suunnittelua. Alkuperäinen moottorinohjainyksikkö jouduttiin vaihtamaan uuteen. Moottorinohjauksen avulla säädettiin oikeat polttoaine- ja sytytyskartat, jotka ovat kriittisiä moottorin oikean toiminnan kannalta. Turboahdetussa moottorissa havaittiin myös E85-polttoaineen kiistattomat hyödyt, jotka mahdollistivat lisää sytytysennakkoa ja ahtopaineen nostoa ilman nakutusta. Alun perin ajoneuvoa yritettiin säätää samoilla muutoksilla bensiinille, mutta säätäjä joutui lopettamaan säätötyön joka kerta kesken, koska moottori nakutti liikaa. E85-polttoaineella kaikki ongelmat katosivat.

Varsinaisessa työssä jouduttiin tekemään paljon kompromisseja ja pohtimaan muutosten vaikutuksia toisiinsa. Hyötytehon nostossa päädyttiin valitsemaan polku, jonka avulla pyrittiin parantamaan sylinterientäytöstä ja näin polttamaan tietyssä aikayksikössä enemmän polttoainetta. Tähän ainoa tarkoituksenmukainen ratkaisu oli vaihtaa isompi turboahdin. Sylinterientäytöstä lisättäessä myös moottorin tehollinen keskipaine kasvaa, minkä vuoksi moottorin alakertaa jouduttiin vahvistamaan ennaltaehkäisevästi. Luotettavuuden ja nakutusherkkyyden takia moottorin puristussuhdetta ei voitu lähteä nostamaan, vaikka puristussuhteen nostaminen hyvin tyyppillistä etanolikäytössä onkin.

Kaiken kaikkiaan voidaan todeta, että kaikki moottoriin tehdyt muutokset onnistuivat hyvin. Ajoneuvosta saatiin mitattua melkein kaksinkertaiset teho- ja vääntöarvot, eikä moottorin luonne muuttunut E85-polttoaineen ansiosta liikaa verrattuna alkuperäiseen. Suurimmat ongelmat olivat mittaustuloksissa, jotka jäivät osittain puutteellisiksi jatkuvien tehodynamometriin liittyvien ongelmien johdosta. Kaikkia muutoksia, kuten polttoainetankin tai linjaston vaihtoa, ei voitu myöskään toteuttaa halutulla tavalla puuttuvien resurssien ja ajan takia.

Asiasanat: etanolipolttoaine, polttoainejärjestelmä, turboahdin, hyötyteho, tehonmittaus

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Degree Programme in Vehicle Engineering
Garage Engineering

PAAVOLA JUHA:

Ethanol Usage and Efficiency Increase of Internal Combustion Engine

Bachelor's thesis 38 pages, appendices 2 pages
April 2018

The purpose of this study is to introduce properties of high blended ethanol fuel and study their use in tuning work where efficiency of internal combustion engine was increased. Ethanol usage requires new fuel system components, fuel pump and injectors which were calculated for the vehicle under study. For the purpose of increasing efficiency, new turbocharger was also calculated and the motor's bottom end was reinforced. The results of the tuning work were obtained by using the dynamometer. These results were compared to the original data of the engine.

Preparatory work and engine design had to be made to make the study successful. The original engine control unit had to be replaced to provide the right fuel and ignition maps for the correct operation of the engine. In turbocharged engine, the undisputed benefits of the E85 fuel were also found, which made it possible to increase timing advance and the boost pressure without engine knocking. Originally, the vehicle under study was also attempted to adjust for pump gas with same modifications, but the tuner had to stop run every time because the engine was knocking. With E85 fuel all the problems disappeared.

In the actual work there had to be made a lot of compromises and reflecting the effects of the changes. In terms of efficiency increase, it was decided to choose a path where more air was pushed into the cylinders and therefore more fuel could be burnt in given time unit. The only sensible solution to do this was to replace the original turbocharger with a bigger one. When burning more air-fuel mixture inside the cylinders the mean effective pressure also increases and greater force is applied to the motor's bottom end. This is the reason why study vehicle's bottom end had to be reinforced. Due to the reliability and knocking sensitivity, the compression ratio of the motor could not be increased even though it is very typical in ethanol use.

It can be concluded that all changes made to the engine were successful. The study vehicle had almost twice the power and torque values at the measurement while the engine's nature did not change too much compared to the original with the help of E85 fuel. The biggest problems were with the measurement results which were partly incomplete because of the constant problems with dynamometer. Also, some of planned modifications to the study vehicle were left untouched, such as fuel tank and lines, due to missing resources and lack of time.

Key words: ethanol fuel, fuel system, turbocharger, efficiency, dynamometer testing

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	5
2	ETANOLIKÄYTÖN JA HYÖTYTEHON NOSTON LÄHTÖKOHTIA.....	6
2.1	Etanolin ominaisuudet ja valmistus	6
2.2	E85 -polttoaineen ympäristövaikutukset	7
2.3	E85- ja 98E5-polttoaineiden vertailu virityskäytön näkökulmasta.....	8
2.4	Mäntämoottorin tehon lisääminen	9
3	POLTTOAINEJÄRJESTELMÄ	12
3.1	Yleiset vaatimukset etanolikäyttöön	12
3.2	Suuttimien mitoitus ja valinta	12
3.3	Polttoainepumpun mitoitus ja valinta	14
3.4	Flexfuel -anturi	17
4	MOOTTORIN MUUTOSTYÖT	18
4.1	Moottorin suunnittelu	18
4.2	Moottorin alakerta.....	19
4.3	Puristussuhde	21
4.4	Turboahtimen mitoitus ja valinta.....	23
5	MOOTTORINOHJAUS	28
5.1	Valmistelevat toimenpiteet	28
5.2	Ilma-polttoainesuhde	29
5.3	Sytytysennakko	30
6	MITTAUSTULOKSET.....	31
7	POHDINTA.....	33
	LÄHTEET	35
	LIITTEET	37
	Liite 1. Pyörätehon mittaus viritystyön jälkeen.....	37

1 JOHDANTO

Päästönormien jatkuva kiristyminen vaikuttaa siihen, että ajoneuvomarkkinoille yritetään kehittää jatkuvasti vaihtoehtoisia energiamuotoja perinteisille fossiilisille polttoaineille. Opinnäytetyössä perehdytäänkin vaihtoehtoiseen polttoaineeseen, korkeaseosetanoliin, jota on tällä hetkellä saatavilla jo monesta polttoaineen jakelupisteestä Suomessa. Työssä kerrotaan etanolin yleisistä ominaisuuksista ja valmistuksesta sekä vertaillaan sen soveltuvuutta virituskäytössä. Korkeaseospolttoaineista tutkitaan myöskin sitä, mitä haittoja ja hyötyjä ne tuovat mukanaan, sekä millaisia ympäristövaikutuksia niillä voi olla.

Päästönormeista huolimatta suurin osa nykyajoneuvoista toimii edelleen nelitahtimäntämootoreilla, vaikka erilaiset vaihtoehtoiset ajoneuvomuodot ovatkin viime aikoina alkaneet valtaamaan markkinoita. Ottoprosessilla toimivan nelitahtimäntämootorin toimintaperiaate (imutahti, puristustahti, työtahti ja poistotahti) on pysynyt samana vuosikaudet. Työn tarkoituksena onkin perehtyä korkeaseosetanolipolttoaineen lisäksi myös siihen, miten mäntämootorin hyötytehoa voitaisiin kasvattaa mahdollisimman helposti tinkimättä liikaa luotettavuudesta.

Projektiajoneuvona käytetään Nissanin vuonna 1993 valmistamaa mallia 200SX, joka on varustettu 1.8 litraisella ahdetulla CA18DET -ottomoottorilla. Ajoneuvon moottoriin tehdään mitoituksia ja muutoksia muun muassa alakerran, pakokaasuahtimen ja polttoaineensyötön suhteen. Ajoneuvoon mitoitetaan muun muassa korkeaseosetanolipolttoaineelle soveltuvat suuttimet sekä polttoainepumppu. Moottorin muutoksien ja korkeaseosetanolipolttoaineen avulla on tarkoituksena päästä alkuperäistä 126 kilowattia (169 hv) korkeampiin hyötyteho arvoihin. Työn lopussa esitellään mittaustulokset siitä, kuinka paljon tehomäärää on saatu nostettua suhteessa vakio moottoriin.

2 ETANOLIKÄYTÖN JA HYÖTYTEHON NOSTON LÄHTÖKOHTIA

2.1 Etanolin ominaisuudet ja valmistus

Etanoli on etyylialkoholi, jota valmistetaan yleensä käymisteitse. Suurin osa (60 %) maailman tuotetusta etanolista valmistetaan sokeripitoisista viljelykasveista, joita ovat muun muassa sokeriruoko, maissi ja sokerijuurikas. Lähestulkoon koko loppuosuus etanolista valmistetaan viljasta prosessissa, jossa viljan tärkkelys muutetaan käyttämistä varten sokeiksi. Suomessa myytävien E85-polttoaineiden etanolista suurin osa valmistetaan oh-rasta, mutta pieniä määriä valmistetaan myös biojätteistä tai perunoista. Esimerkiksi ST1 Biofuels Oy valmistaa Suomessa RE85-polttoaineensa etanolin biojätteestä käymiseen ja haihdutukseen perustuvalla prosessilla. ST1 Biofuels Oy:n käyttämästä valmistusmenetelmästä syntyvä etanoli-vesiseos valmistetaan suoraan jätteiden syntypaikalla tehtaalla. Tuote joudutaan kuitenkin prosessoimaan erillisessä yksikössä, jossa siitä jalostetaan 99,8 prosentista etanolia. (VTT 2008, 7.)

Puhtaan etanolin RON-luku on noin 120. RON-tutkimusoktaaniluku kuvaa sitä, kuinka hyvin polttoaine kestää puristusta ennen itse syttymistä. Puhtaan etanolia korkea RON-luku johtuu etanolin suuresta happipitoisuudesta verrattuna hiilivety-polttoaineisiin. Korkean oktaaniluvun vuoksi etanolia käytetään nykyään myös bensiinin komponenttina, jolla lisätään polttoaineseoksen puristuskestävyyttä. Energiasisällöltään etanoli on tavallista hiilivetybensiniä huonompaa, sillä etanolin lämpöarvo on ainoastaan 21 MJ/I bensiinin lämpöarvon ollessa noin 32 MJ/I. Tämän johdosta etanolipolttoaineella toimivan moottorin kokonaiskulutus on korkeampi kuin vastaavan hiilivety-pohjaisen. (Bensiiniopas 2015, 20–23.)

Etanolin höyrypaine on alhainen, noin 15 – 20 kPa. Höyrypaine kertoo sen, kuinka nopeasti aine haihtuu, eli pystyy vapautumaan höyrynä ympäröivään tilaan. Höyrypaine vaikuttaa muun muassa moottorin käyntiinlähtöominaisuuksiin erilaisissa lämpötiloissa. Etanolin lisääminen bensiinin sekaan vaikuttaa kuitenkin epälineaarisesti bensiinin höyrypaineeseen – kun etanolia lisätään esimerkiksi muutamia prosentteja bensiinin joukkoon, nousee bensiinin höyrypaine voimakkaasti. Mitä enemmän etanolia toisaalta lisätään bensiinin joukkoon, sitä lähemmäs hiilivetybensinille tyypillistä arvoa (70 – 90 kPa) höyrypaineen arvo laskee. (Bensiiniopas 2015, 20–23.)

Puhdasta etanolia voidaan käyttää polttomoottorissa jopa sellaisenaan, mutta E85-polttoaineeseen lisätään ominaisuuksiensa johdosta Yhdysvalloissa ja Euroopassa 15 % bensiiniä loppuosuuden (85 %) ollessa etanolia. E85-polttoaineeseen lisätään bensiiniä muun muassa sen kylmäkäynnistymisominaisuuksia parantavan vaikutuksen vuoksi. Kyse on kuitenkin myös turvallisuustekijästä, sillä alkoholi palaa lähes näkymättömällä liekillä, ja bensiini näin ollen lisää liekin näkyvyyttä. Bensiinin avulla polttoaineeseen saadaan myös denaturoitua siten, ettei sitä ole mahdollista väärinkäyttää muihin tarkoituksiin. (VTT 2008, 10.)

2.2 E85 -polttoaineen ympäristövaikutukset

Etanolia voidaan perustellusti pitää tulevaisuuden uusiutuvana polttoaineena, sillä sitä voidaan tuottaa lisää esimerkiksi erilaisista kasveista toisin kuin fossiilisia polttoaineita, jotka loppuvat väistämättä aikanaan. Etanolipitoisten polttoaineiden ympäristövaikutukset ovat kuitenkin edelleen kiisteltäviä, sillä niistä ei ole vielä juurikaan näyttöä tai tutkimustuloksia pitkältä aikaväliltä.

Teknisesti ottaen etanolipitoisten polttoaineiden, kuten E85:n, tulisi palaa puhtaammin kuin fossiilisten polttoaineiden. Etanolipolttoaineita joudutaan myös seostamaan vähemmän kuin tavallisia hiilivetypolttoaineita, sillä ne omaavat jo valmiiksi korkean puristuskestävyyden. Tällaiset oktaanilukua korottavat seosaineet sisältävät usein raskasmetalleja, jotka autoteollisuus on jo kieltänyt (Bensiiniopas 2015, 25). Suuren happipitoisuutensa johdosta korkean etanolipitoisuuden omaavat polttoaineet palavat puhtaammin, minkä vuoksi pakokaasumittauksissa on havaittu hieman vähemmän hiilidioksidipäästöjä verrattuna perinteisiin bensiiniajoneuvoihin. Tästä huolimatta korkeaseosetanolikin tuottaa kylmäkäynnistyksen yhteydessä lähes yhtä paljon päästöjä kuin tavallinen bensiini. Näitä päästöjä on kuitenkin mahdollista vähentää moottorin esilämmityksellä. Kokonaispäästöjä arvioitaessa on joka tapauksessa huomioitava koko polttoaineketjun aiheuttamat päästöt ja valmistuksessa käytetyt erilaiset raaka-aineet. Mikäli bioetanoli valmistetaan kestäväillä menetelmillä, voidaan sen avulla kokonaisuudessaan vähentää ajoneuvojen hiilidioksidipäästöjä. (Motiva 2017.)

On myös olemassa tutkimuksia, joiden mukaan korkean etanolipitoisuuden omaavat polttoaineet olisivat ainakin yhtä haitallisia kuin tavalliset fossiiliset polttoaineet. Tutkimus-

ten mukaan E85-polttoaineet vähentäisivät kahden karsinogeenin, bentseenin ja butadieenin, määrää ilmakehässä, mutta lisääisivät vastaavasti ihmisille haitallisten formaldehydin ja asetaldehyydin määrää. Lisäksi etanoli reagoi eri tavalla ilmakehässä valmiiksi olevien kaasujen ja saasteiden kanssa, ja voi siten aiheuttaa otsonin lisääntymistä alailmakehässä. Tämä puolestaan lisääsi savusumun muodostumista isoissa kaupungeissa. Otsoni sinälään on haitallista hengitettynä jo pieninä määrinä. (Shwartz 2007.)

2.3 E85- ja 98E5-polttoaineiden vertailu virityskäytön näkökulmasta

Yksi tärkeimmistä perusteista ajoneuvon polttoaineen valinnassa on se, miten hyvin polttoaineen jakeluverkosto toimii. Jakeluverkoston puuttuminen hankaloittaa polttoaineen käyttämistä huomattavasti. Polttoainevertailussa pyritäänkin vertailemaan kahta erilaista polttoainetyyppiä, jotka ovat molemmat saatavilla Suomesta suoraan polttoainepumpusta ja joiden osalta laaja jakeluverkosto on jo olemassa. Samalla tarkastellaan myös sitä, miten hyvin polttoaine soveltuu polttomoottorin virityskäyttöön tehonnostotarkoituksessa.

Taulukossa 1 on esitelty kahden ST1 Biofuels Oy:n myymän polttoaineen pääominaisuuksia listattuna. Polttoaineseoksien ainesosat vaihtelevat kesän ja talven välillä, jolloin polttoainelaatujen erot tulevat esiin myös kesä- ja talviajossa.

TAULUKKO 1. Polttoaineiden yleisiä ominaisuuksia (ST1 2018.)

<u>Polttoaine</u>	<u>RE85</u>	<u>98E5</u>
Höyrypaine (Kesä)	68 kPa	68 kPa
Höyrypaine (Talvi)	83 kPa	88 kPa
Tutkimusoktaaniluku (RON)	104	98
Moottorioktaaniluku (MON)	94	87
Tiheys (15 °C)	778 kg/m ³	743 kg/m ³
Leimahduspiste	13 °C (Etanoli)	-43...-49 °C

Taulukon 1 avulla nähdään, että korkeaseosetanolipolttoaine omaa huomattavasti korkeammat moottori- ja tutkimusoktaaniluvut verrattuna 98E5 -polttoaineeseen. Tämän johdosta palotapahtumaa voidaan virityskäytössä hallita paremmin korkeaseosetanolilla, eikä polttoaine syty itsestään ennen sytytystulpan antamaa kipinää. Hallitsematon palaminen voi aiheuttaa paineiskuja palotilassa, jotka puolestaan voivat aiheuttaa vaurioita moottoriin. Ilmiöitä kutsutaan myös ”nakutukseksi”, koska se aiheuttaa usein moottorin

ulkopuolelle kantautuvaa metallista ääntä. Korkeaseosetanolin hyvä puristuskestävyys mahdollistaa myös esimerkiksi moottorin puristussuhteen nostamisen. (Bensiiniopas 2015, 20.)

Vertailtavien polttoaineiden ominaisuuksien perusteella voidaan havaita, että korkeaseosetanolipolttoaineella on myös huonoja puolia verrattuna tavalliseen bensiinipolttoaineeseen. E85-polttoaineen tiheys on suurempi verrattuna bensiiniin, leimahduspiste paljon korkeampi ja talvilaadun höyrypainne pienempi. Kaikki nämä ominaisuudet vaikuttavat siihen, etteivät korkeaseosetanolipolttoaineen kylmäkäynnistysominaisuudet ole läheskään yhtä hyvät bensiiniin verrattuna. Suurempi tiheys vaikuttaa siihen, että nesteen virtaavuus on huonompi, ja polttoainelinjastot sekä pumppu on tämän vuoksi mitoitettava eri tavalla. Aiemmin mainittiin myös siitä, että etanolipitoisen polttoaineen lämpöarvo on pienempi verrattuna bensiiniin, minkä vuoksi sitä kuluu noin 30 – 40 % bensiiniä enemmän. Tämä puolestaan tulee ottaa huomioon etenkin pienellä turvatankilla varustetuissa ajoneuvoissa.

Tarkasteltavana olevaan autoprojektiin edellä mainituista polttoaineista paremmin sopii RE85 tai vastaava korkeaseospolttoaine, sillä projektissa ei painoteta niinkään kylmäkäynnistysominaisuuksia, vaan polttoaineesta saatavaa tehopotentiaalia. On myös huomattava, että vaikka korkeaseospolttoainetta palaa suhteessa enemmän, soveltuu se tähän viritustyöhön 98E5-polttoainetta paremmin, sillä korkeaseospolttoaineen ominaisuudet auttavat pakokaasuahdinta heräämään paremmin alakierroksilta.

2.4 Mäntämoottorin tehon lisääminen

Ottoprosessilla toimivan mäntämoottorin toimintaperiaatteesta (imu-, puristus-, työ-, ja poistotahti) johtuen sen tehoa voidaan lisätä vain rajoitetuilla tavoilla. Periaatteessa moottorista voidaan ottaa lisää tehoa ainoastaan kahdella pääperiaatteella – joko parantamalla moottorin hyötysuhdetta tai lisäämällä moottorissa tietyssä aikayksikössä poltettavan polttoaineen määrää. Teoriassa tehoa voitaisiin lisätä myös käyttämällä polttoainetta, jonka energiasisältö on suurempi kuin tavallisesti myytävien polttoaineiden. Tällaisia kilpapolttoaineita ei kuitenkaan käytännössä ole saatavilla jakeluasemilta. Edellä mainittujen viritysmahdollisuuksien toteutustavat vaihtelevat kuitenkin suuresti, sillä hyötysuhteeseen ja poltetun polttoaineen määrään vaikuttavat monet eri tekijät. (Juurikkala 1982, 200.)

Mäntämoottorin teho ilmaistaan kaavan 1 muodossa. Kaavassa P_e on moottorista saatava hyötyteho (W), η_m on moottorin mekaaninen hyötysuhde, p_i on indikoitu keskipaine (Pa), V_i on yhden sylinterin iskutilavuus (m^3), n on pyörimisnopeus (1/s), i on toimintatapakerroin (nelitahtimoottorilla $i = 0,5$ tai keksitahtimoottorilla $i = 1$) ja z on sylinterien lukumäärä. (Juurikkala 1982, 200.)

$$P_e = \eta_m \cdot p_i \cdot V_i \cdot n \cdot i \cdot z \quad (1)$$

Kaava osoittaa sen, että moottorista voidaan saada enemmän hyötytehoa esimerkiksi parantamalla moottorin mekaanista hyötysuhdetta, lisäämällä indikoitua keskipainetta, suurentamalla sylinterien iskutilavuutta tai lukumäärää sekä nostamalla moottorin pyörintänopeutta. Tehon lisäyksen edellytyksenä voidaan kuitenkin pitää sitä, että yhtä tekijää parantava toimenpide ei saa samalla huonontaa toista tekijää. Moottorin tehonlisäystä toteutettaessa on myös poissuljettava viritettävälle moottorityypille mahdolliset muutokset, joita voivat olla esimerkiksi sylinterien lukumäärän tai toimintatapakerroimen muutokset. (Juurikkala 1982, 200-201.)

Tavallisesti moottorin mekaaninen hyötysuhde on noin 0,7- 0,8. Voidaankin todeta, että jos moottorissa ei olisi mitään sisäisiä häviöitä, olisi tehoa tällöin mahdollista saada noin 20 – 30 % enemmän. Vastaavasti tämä tarkoittaa, että pelkästään hyötysuhdetta parantamalla ei saada lisättyä moottorin tehoa merkittävästi, koska suurin osa sisäisistä häviöistä syntyy imetyksen seoksen puristamisesta kokoonpuristustahdin aikana. Toinen merkittävä sisäisiä häviöitä aiheuttava tekijä on kitka. Suurin osa kitkasta syntyy mäntien liikkeestä sylinterien sisällä sekä moottorin laakereista. Myös venttiilijousien kokoonpuristamiseen kuluu mekaanista työtä. Tarvittavaan työmäärään, jonka seoksen puristaminen vaatii, vaikuttaa näiden lisäksi suoraan moottorin puristussuhde. Usein virityskäytössä puristussuhdetta kasvatetaan, jolloin seoksen kokoonpuristamiseen vaadittu työ lisääntyy ja hyötysuhde samalla huononee. Kitkan suuruuteenkaan ei voida kovin paljon vaikuttaa, paitsi käyttämällä eri viskositeetin omaavaa öljyä tai pinnoittamalla esimerkiksi sylinteriputket liukuominaisuuksiltaan paremmalla materiaalilla. (Juurikkala 1982, 201.)

Mikäli moottorin sylintereissä voidaan polttaa enemmän polttoainetta tietyssä aikayksikössä, saadaan tällöin vastaavasti myös enemmän tehoa aikaiseksi. Polttoaineen määrää voidaan lisätä esimerkiksi rikastamalla ilman ja polttonesteen seosta tiettyyn rajaan asti.

Toinen keino on suurentaa iskutilavuutta, jonka lisääminen tehdään usein poraamalla sylinterin läpimittaa suuremmaksi. Poraamisessa on muistettava huomioida moottorin rakenteelliset rajat. Poltettavan seoksen määrään voidaan vaikuttaa merkittävästi parantamalla sylinterien täytösastetta. Tähän on olemassa monta tapaa, kuten kaasuvaihdon helpottaminen avartamalla kanavia, venttiilien aukioloaikojen muokkaaminen, kaasuvaihtoputkien värähtelyjen hyväksikäyttö, käyntinopeuden lisääminen tai ahtaminen. Näihin liittyvät rajoittavat tekijät ovat lähinnä moottorin luonteen muuttuminen, jolloin käyntiominaisuudet voivat huonontua pienillä kierrosluvuilla tai vääntömomentin suurin arvo siirtyy suuremmille käyntinopeuksille. Usein myös jokaisessa aikayksikössä poltettavan polttoaineen määrän lisääminen saattaa vaikuttaa epäedullisesti esimerkiksi moottorin kestävyYTEEN. (Juurikkala 1982, 202.)

Sylinterien täytösastetta parannettaessa myös työtahdin aikana sylinterissä vallitseva paine (indikoitu keskipaine) kasvaa ja siten myös mäntään kohdistuva voima. Tehollinen keskipaine kuvaa puolestaan sitä painetta, joka määrää moottorin vauhtipyörältä saatavan tehon ja vääntömomentin. Tämä paine on aina indikoitua keskipainetta pienempi, sillä tehollisessa keskipaineessa otetaan huomioon moottorin sisäiset häviöt. Tehollista keskipainetta voidaan yrittää lisätä esimerkiksi parantamalla moottorin täytösastetta tai muuttamalla puristussuhdetta. Moottorin puristussuhdetta muutettaessa tulee huomioida, että puristussuhteen kasvaessa häviöt lisääntyvät nopeammin kuin indikoitu keskipaine. Lopulta tulee vastaan raja, jonka jälkeen puristustahdin aikana vaadittu työ kasvaa suuremmaksi kuin indikoidun keskipaineen kasvun aiheuttama hyöty. Puristussuhdetta kasvatettaessa myös moottorin nakutusherkyys lisääntyy. Nakutus aiheuttaa ilmiönä tehon alenemista ja voi pahimmillaan johtaa moottorivaurioon. (Juurikkala 1982, 202–203.)

3 POLTTOAINEJÄRJESTELMÄ

3.1 Yleiset vaatimukset etanolikäyttöön

Etanolin yleisistä ominaisuuksista johtuen tulee E85-polttoaineelle olla oikeista materiaaleista valmistetut osat. Pitkän ajan kuluessa etanolipitoinen polttoaine voi syövyttää kumi- ja tietyjä metalliosia. Etanoli syövyttää erityisesti muovi- ja kumiseoksia eli elastomeerejä tai aiheuttaa korroosiota pehmeisiin metalleihin, kuten sinkkiin, alumiiniin, lyijyyn ja messinkiin. (U.S. Department of Energy 2016.)

Yleisesti ajoneuvojen polttoainetankeissa käytetty lyijytinapäällysteinen teräs ei myöskään tutkimusten mukaan sovellu pitkäaikaiseen E85-käyttöön. Parhaiten metalleista etanolikäyttöön soveltuvat päällystämätön ja ruostumaton teräs, musta rauta sekä pronssi. Epämetsallisista materiaaleista etanoli puolestaan hajottaa eniten luonnonkumin, polyuretaanin, nahkan, korkkitiivistemateriaalin, polyvinyylidikloridin, nylonin, metyyliimetakrylaattimuovien, tietyjen kestumuovien ja kertamuovipolymeerien rakennetta. Alumiiniset osat puolestaan voidaan tarvittaessa anodisoida, jolloin niiden päälle tulee korroosiolta suojaava oksidikerros. (U.S. Department of Energy 2016.)

3.2 Suuttimien mitoitus ja valinta

Etanolipitoista E85-polttoainetta tulee polttaa palotilassa pienemmän energiasisältönsä ansiosta noin 30 - 40 % enemmän kuin bensiiniä, jotta polttoaineilla saadaan sama tehomäärä. Näin ollen ajoneuvoon tulee etanolikäyttöä varten vaihtaa isommat suuttimet. (Lehtonen 2008.) Suuttimien kokoa joudutaan tässä autoprojektissa kasvattamaan myös halutun tehotavoitteen takia.

Suuttimien mitoitus halutulle tehomäärälle tapahtuu laskukaavan 2 mukaisesti. Laskukaavaan sijoitetaan haluttu moottoriteho (HP_{max}) hevosvoimina, suuttimien lukumäärä (*suut. lkm.*), polttoaineen ominaiskulutus (*bsfc*) ja suuttimien aukioloaika prosenttilukuna (*idc*). Kaava antaa tuloksen paunoina tunnissa, joten yksikkö tulee vielä vaihtaa kuutiosenttimetreiksi minuutissa. Yksi pauna tunnissa vastaa 10,5 kuutiosenttimetriä minuutissa, joten kaavasta saatu vastaus kerrotaan tällä lukuarvolla. Suuttimien jälleenmyyjät

ilmoittavat suuttimien koot yleensä kuutiosenttimetreinä minuutissa, joten tällöin suuttimien valinta on helpompaa.

$$\text{Suuttimen koko} \left(\frac{\text{cm}^3}{\text{min}} \right) = \frac{Hp_{max} \cdot bsfc}{suut. lkm \cdot idc} \cdot 10,5 \quad (2)$$

Polttoaineen ominaiskulutus (*brake specific fuel consumption*) kuvaa sitä polttoainemäärää (paunoina tunnissa), joka kuluu yhtä tehtyä hevosvoimaan kohden (WitchHunter Performance. 2018). Taulukossa 2 on esitettyjä arvoja yleisille moottorityypeille ja polttoaineille. Suuttimien aukioloaika (*injector duty cycle*) on puolestaan prosenttiluku, joka määrittää kuinka kauan suuttimia halutaan pitää auki niiden toiminta-ajasta suhteessa moottorin työsykliin (imu, puristus, palaminen, pako) (Injector-Rehab 2018). Yleisesti turvallisena aikana pidetään noin 80 prosenttia. Virityskäytössä voidaan toisinaan käyttää suurempiakin aukioloaika, mutta tällöin suuttimet ovat suuremmalla kuormituksella, mikä puolestaan lyhentää niiden käyttöikä.

TAULUKKO 2. Polttoaineen ominaiskulutuksen arvoja (Injector Dynamics 2018.)

Polttoaine	Vapaasti hengittävä moottori	Ahdettu moottori
Bensiini	0,45 – 0,5	0,6 – 0,65
E85	0,63 – 0,7	0,84 – 0,91
Metanoli	0,9 – 1,0	1,8 – 2,0

Sijoitetaan vielä kaavaan 2 viritystyössä käytetyn moottorin tiedot. CA18DET on tilavuudeltaan 1.8 litrainen ja moottorissa on neljä suutinta, yksi suutin sylinteriä kohden. Alkuperäisten bensiinille tarkoitettujen suuttimien koko on 370 cm³/min. Käytetään polttoaineen ominaiskulutuksena ahdetulle E85 moottorille sopivaa lukuarvoa 0,88 taulukon 1 mukaisesti. Tehotavoitteeksi asetetaan 400 hevosvoimaa (298 kW) ja aukioloaikana käytetään arvoa 0,85.

$$\frac{400 \cdot 0,88}{4 \cdot 0,85} \cdot 10,5 \approx 1087,1 \frac{\text{cm}^3}{\text{min}} \quad (3)$$

Kaavasta 3 saadun tuloksen perusteella 1100 cm³/min suuttimet soveltuisivat parhaiten haluttuun tehotavoitteeseen E85-polttoaineella. Etanolipolttoaineen kestävä, tarpeeksi suuret ja CA18DET -moottorin alkuperäiseen polttoainekiskoon soveltuvat suuttimet löytyivät yrityksestä nimeltä Z-Power. Projektissa käytettyjen suuttimien, esillä kuvassa 1,

koko on $1000 \text{ cm}^3/\text{min}$, joten se on lähellä laskennallista arvoa. Suuttimet on valmiiksi sarjoitettu jälleenmyyjärytyksessä virtauksen perusteella.



KUVA 1. Suuttimet Bosch $1000 \text{ cm}^3/\text{min}$

3.3 Polttoainepumpun mitoitus ja valinta

Etanolikäytön ja tehon noston ansiosta moottori alkaa kuluttaa enemmän polttoainetta, jonka seurauksena suuttimet tarvitsevat suurempaa tuottoa polttoainepumpulta. Vaadittu tuotto pumpulta suuttimia kohden saadaan laskettua kaavan 4 avulla. Kaavassa muutetaan ainoastaan mitoitettujen suuttimien maksimituotto pumppuvalmistajien käyttämään muotoon litraa tunnissa ja kerrotaan se suuttimien lukumäärällä. Kaavassa 4 S_{koko} on suuttimen koko (cm^3/min) ja S_{lkm} on puolestaan suuttimien lukumäärä.

$$\text{Vaadittu tuotto} \left(\frac{\text{l}}{\text{h}} \right) = S_{koko} \left(\frac{\text{cm}^3}{\text{min}} \right) \cdot 0,001 \cdot 60 \text{ min} \cdot S_{lkm} \quad (4)$$

Kaavassa 5 nähdään lukuarvot sijoitettuna paikoilleen, joilla on laskettu pumpulta vaadittu kokonaistuotto. Kaavassa on käytetty esimerkkinä aiemmin laskettua suutinkokoa $1000 \text{ cm}^3/\text{min}$, joita on neljä kappaletta.

$$1000 \frac{\text{cm}^3}{\text{min}} \cdot 0,001 \cdot 60 \text{ min} \cdot 4 = 240 \frac{\text{l}}{\text{h}} \quad (5)$$

Teoriassa 240 litraa tunnissa tuottavan polttoainepumpun pitäisi riittää kyseiseen viritystyöhön. Ennen pumpun valintaa täytyy kuitenkin muistaa katsoa, millä vastapaineella

pumppu pystyy tuottamaan maksimituoton ja varmistaa, että pumppu kestää E85-polttoainetta. Pumppu ottaa myös enemmän virtaa suuremmalla tuotolla, joten alkuperäiset sähköjohdot, sulakkeet ja releet on vaihdettava suurempiin. Pumpua valittaessa pitää myös sen tyyppiä valita joko tankin sisäisen pumppu tai ulkopuolinen. (Walbro 2018.)

Alkuperäisen virtausta heikentävän polttoainelinjaston johdosta projektiauton polttoaineen paine on jo tyhjäkäynnillä noin kolme baria, jolloin 1,8 – 2,0 barin ahtopaineella ajettaessa polttoaineen paine nousee korkeimmillaan noin viiteen bariin asti. Projektissa käytetty Sardin valmistama polttoainepaineen säädin nostaa paineen 1:1, jolloin polttoaineen paineen nousu tapahtuu lineaarisesti suhteessa ahtopaineeseen, mutta tämäkin tulee huomioida säädinkohtaisesti.

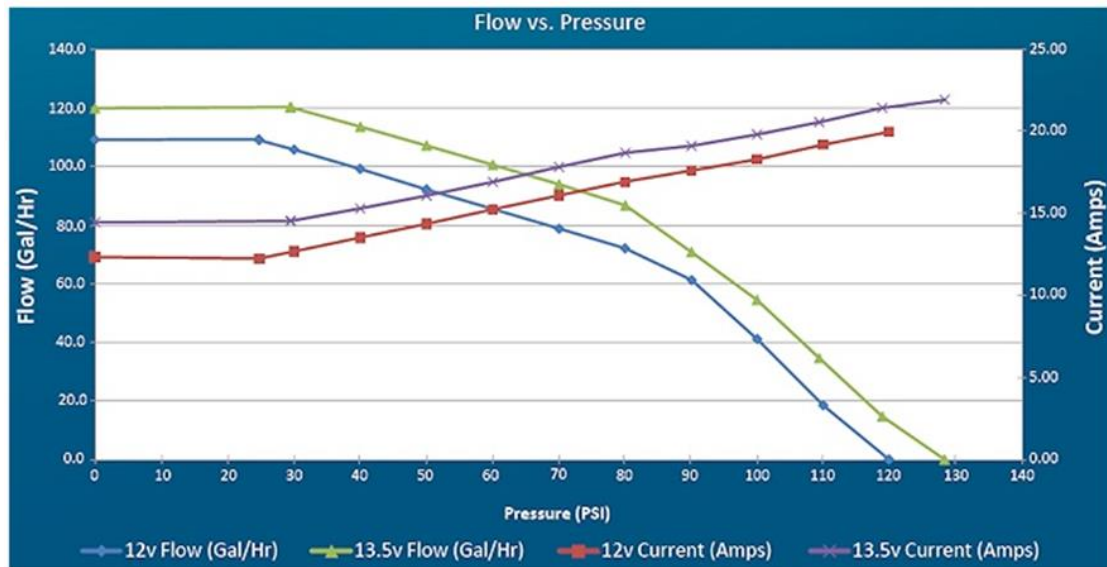
Kuvioista 1 ja 2 voidaan lukea, kuinka paljon pumpun valmistaja Walbro ilmoittaa virtausta heidän 450 l/h tuottavalle pumpulleen silloin, kun polttoaineen paine on 5 bar eli noin 73 PSI. Luetaan kuvioista lähin arvo eli 70 PSI, jonka kohdalla nähdään, että virtaus on enää 298 l/h. Valmistajan ilmoittamista tiedoista nähdään myös, että pumppu ottaa virtaa tällöin 16,09 ampeeria. (Walbro 2018.)

12.0 Volts			
Pressure (PSI)	Averages		
	12v (L/Hr)	12v Flow (Gal/Hr)	12v Current (Amps)
0	413	109.1	12.32
25	413	109.2	12.24
25	412	109.0	12.25
30	400	105.7	12.68
40	375	99.2	13.52
50	349	92.1	14.36
60	323	85.4	15.23
70	298	78.7	16.09
80	273	72.0	16.92
90	232	61.2	17.61
100	155	41.1	18.28
110	70	18.4	19.18
120	0	0.0	19.96

KUVIO 1. Walbro 450 l/h lukuarvot (Walbro 2018.)

Kuviosta 2 voidaan havaita sama asia seuraamalla sinistä virtauskäyrää (12 V), koska kyseinen jännite on käytössä ajoneuvon sähköjärjestelmässä. Kuviosta 2 nähdään koko-

naisuutena, kuinka paljon paine todellisuudessa vaikuttaa polttoainepumpun virtauskykyyn ja virrankulutukseen. Onkin tärkeää muistaa pumppua valittaessa, että valmistajat voivat ilmoittaa maksimituoton suhteellisen matalillakin polttoaineen paineilla, jolloin polttoaineen paineen noustessa pumpun tuotto ei enää riitäkään.



KUVIO 2. Walbro 450 l/h virtauskuvaaja (Walbro 2018.)

Opinnäytetyön projektautoon päädyttiin valitsemaan tankin sisäinen Walbron 450 l/h polttoainepumppu. Mitoituksen kannalta kyseinen pumppu on hieman ylimitoitettu, mutta se mahdollistaa toisaalta tulevaisuudessa tehon nosto potentiaalia, kunhan alkupe- räinen polttoainelinjasto korvataan suuremmalla. Walbro ei myöskään toimita pienempiä etanolinkestäviä polttoainepumppuja kuin 400 l/h, eikä sen ja 450 l/h pumpun välillä ole suurta hintaeroa.

Polttoainepumpun sähköjärjestelmä täytyi myös vaihtaa alkuperäistä suuremmaksi projektin ajoneuvoon, jotta se kestäisi suurempaa virrankulutusta. Ajoneuvon akku siirrettiin takakonttiin ja moottoritilaan saatiin samalla lisää tilaa. Akun siirto mahdollisti suoran releilyksen pumpulle, joka sijaitsee myös takakontissa tankin suojaaluukun alla. Ainoastaan pumpun käynnistyskäsky tulee suoraan moottorinohjaukselta alkuperäistä johtoa pitkin releelle, kun syytysvirta käännetään päälle.

3.4 Flexfuel -anturi

Ajoneuvon polttoainelinjastoon voidaan sijoittaa myös tarvittaessa flexfuel -anturi, joka mahdollistaa sekä korkeaseosetanolin että tavallisen bensiinin tankkaamisen sekaisin. Tällöin ajoneuvo on helpompi tankata lähes missä tahansa, koska korkeaseosetanolin jakeluverkosto ei ole vielä kaikkialla Suomessa täysin kattava. Projektin ajoneuvoon kyseistä anturia ei asennettu, koska tarkoituksena oli tehdä pelkästään korkeaseosetanolille soveltuva ajoneuvo kesäajoa varten. Tällöin ajoneuvon ei tarvitse myöskään soveltua tavalliselle bensiinille kylmäkäynnistystilanteita ajatellen.

Flexfuel -anturin toimintaperiaate on mitata etanolipitoisuus polttoainetankin sisäisestä nesteestä, jolloin moottorinohjain säättää sen mukaan polttoainesyöttöön ja sytytykseen liittyviä asetuksia. Tällöin moottorinohjain voidaan säätää tarkemmin kullakin hetkellä käytettävän polttoainelaadun mukaan, eikä huomioon tarvitse ottaa E85-polttoaineen laatuvaihteluita kesä- ja talvilaadun välillä. Anturin yhteydessä voidaan käyttää lisäksi myös lämpötila-anturia, jolloin moottorinohjain osaa säätää paremmin kylmäkäynnistystilanteeseen sopivat asetukset. Kuvassa 2 on esitelty Continentalin valmistama flexfuel -anturi, joka voitaisiin asentaa esimerkiksi viritetyssä käytetyn Nistune-moottorinohjaimen yhteyteen. (Nistune 2018.)



KUVA 2. Flexfuel -anturi (Nistune 2018.)

4 MOOTTORIN MUUTOSTYÖT

4.1 Moottorin suunnittelu

Työssä käytettävä ajoneuvo Nissan 200SX on vuosimallia 1993. Nissanin valmistama CA18DET-moottori on alkuperäisesti turboahdettu 4-sylinterinen ottomoottori, jonka tilavuus on 1,8 litraa (1809 cm³). Moottorin sylinterikansi on valmistettu alumiinista ja moottorilohko valuraudasta. Moottorin viritystyön tarkoituksena on, että CA18DET -ottomoottorista saadaan suurempi moottoritehomäärä alkuperäiseen määrään (126 kW) verrattuna. Suurempi hyötytehomäärä toteutetaan asentamalla Garrett 3071R-WG -pakokaasuahdin alkuperäisen Garrett T28 -ahtimen tilalle sekä vaihtamalla moottorin alakerran rakenteellisesti heikot osat kestävämpiin.

Moottorin hyötytehon nostossa on aina otettava huomioon moottorin rakenteelliset realiteetit. CA18DET-moottorin sylinterin tilavuutta ei voida lähteä kasvattamaan yli 84 millimetrin, koska sylinterien seinämät tulevat liian ohuiksi. Hyötysuhdetta ei pystytä juuriikaan nostamaan, koska kitkan määrään voi vaikuttaa lähinnä öljyn viskositeetilla tai erilaisilla pinnoitteilla. Sylinterien määrää ei voida kasvattaa, eikä myöskään moottorin toimintatapakertoimeen voida vaikuttaa. Sylinterien täytöstä voidaan sen sijaan parantaa vaihtamalla suurempi turboahdin ja tällöin voidaan polttaa enemmän polttoainetta tiettyssä aikayksikössä. Tosin tällöin myös moottorin tehollinen keskipaine kasvaa ja mäntiin kohdistuu suurempi voima. Moottorin alakerta tuleekin tämän vuoksi vahvistaa, jotta se kestää suuremman keskipaineen aiheuttaman kuormituksen.

Riittävän polttoaineensyötön lisäksi myös alkuperäinen sytytysjärjestelmä vaihdettiin tehokkaampaan, jotta korkeaseosetanolipolttoaineelle saatiin riittävä kipinä. Vakiona CA18DET-moottorissa on erillissytytys jokaiselle sylinterille ja ennen erillispuolia on kipinänvahvistin. Alkuperäiset sytytyspuolat korvattiin tehokkaammilla, jolloin myös kipinänvahvistin voitiin poistaa kokonaan. Lisäksi alkuperäiset sytytystulpat korvattiin tehokkaammilla iridiumtulpilla. Moottorin viritystyössä ei pyritty muuttamaan alkuperäistä kansirakennetta.

4.2 Moottorin alakerta

CA18DET-moottorin alakertaan vaihdettiin tehon noston kannalta kriittiset osat, eli männät, kiertokanget ja laakerointi. Kampiakseli puolestaan todettiin alkuperäisenäkin tarpeeksi kestäväksi. Alakerran muutostöiden tarkoituksena oli taata projektiajoneuvon moottorin kestävyys katuajossa suorituskyvyn lisäyksestä huolimatta. CP-Carillon valmistamat männät otettiin 84 mm halkaisijalla vakiomateriaalia kestävämmästä taotusta alumiinista valmistettuina. CA18DET-moottorin alkuperäinen sylinterin poraus on 83 mm, joten uudet männät tulivat 1 mm ylikokoon. Moottorilohkon sylinterit jouduttiin porauttamaan vastaamaan 84 mm kokoa, ja samalla koneistamo suoristi sylinterikannen ja moottorilohkon väliset tasopinnat, jotta saatiin taattua tasopintojen riittävä suoruus metalliselle kannentiivisteelle. Alkuperäiset kannenpultit korvattiin ARP:n kilpakäyttöön valmistamalla. Moottorin osat tulee myöskin olla aina oikein tasapainotettu, jotta toimintavarmuus säilyy. Kampiakseli tasapainotettiin kokonaisuutena pakettina yhdessä vauhtipyörän ja kytkimen kanssa koneistamalla, jotta ylimääräiset värinät saatiin poistettua.

CP-Carillon mäntiin tuli sovittaa valmistajan ohjeiden mukaisesti männänrenkaat kuvan 3 mukaisesti. Kuvasta nähdään, että männänrenkaiden koot on ilmoitettu tuumina, joten ne tuli ensin laskea annetussa yksikössä käyttötarkoituksen mukaisesti ja vasta lopuksi muuntaa millimetreiksi. Männänrenkaiden viilaus tehdään aina tähän tarkoitettuun pyörivällä erikoisviilalla. Koska kyseessä on pakokaasuahtimella varustettu moottori, valitaan kuvasta 3 alin kohta (Turbocharged).

Ring End Gap Chart			
APPLICATION	TOP RING	SECOND RING	OIL RING
Street / Hi Performance	Bore x .0045"	.004" - .008" Bigger than top ring	Min..015" Do not file
Drag Racing Road Racing	Bore x .005"	.004" - .008" Bigger than top ring	Min..015" Do not file
Nitrous/Turbo Supercharged	Bore x .0055"	.004" - .008" Bigger than top ring	Min..015" Do not file

KUVA 3. Männänrenkaiden mitoitus käytön mukaan (CP-Carillo 2018.)

Lasketaan seuraavaksi ylimmän puristusrenkaan vällys kaavan 6 avulla. Kaavaan sijoitetaan moottorin sylinterin halkaisija millimetreinä, tässä tapauksessa 84 mm, ja saadaan ylimmän männänrenkaan vällys vastaavasti suoraan millimetreinä. Kaavassa muutetaan ensin sylinterin halkaisija tuumiksi jakamalla luvulla 25,4 ja tämän jälkeen vastaus taas

takaisin millimetreiksi kertomalla samalla luvulla. Vastaavalla tavalla lasketaan seuraavan renkaan välys, mutta sen tulee kuvan 3 mukaisesti olla 0,004” – 0,008” isompi kuin ylin rengas. (CP-Carillo 2018.)

$$\left(\frac{84 \text{ mm}}{25,4} \cdot 0,0055''\right) \cdot 25,4 = 0,462 \text{ mm} \quad (6)$$

Kuvasta 4 nähdään vielä männänrenkas sovitettuna sylinterin sisään. Välys tarkistetaan käyttämällä esimerkiksi rakotulkkia.



KUVA 4. Männänrenkaan sovitus sylinteriin

Mäntiin kiinnitettiin SPM:n valmistamat vahvemmat H-profiilin teräskiertokanget. SPM lupaa kiertokangilleen teoreettista tehonkestoja 186 kilowattia (250 hv) yhtä kiertokankea kohden. H-profiili estää voimakkaasti nurjahtamista, mutta ei ole kuitenkaan kaikkein kevyin kiertokankivaihtoehto. Lisäpaino voi vaikuttaa moottorin kierrosherkkyyteen negatiivisesti, mutta kiertokankien suhteen päädyttiin valitsemaan toimintavarmuus. Kuvassa 4 nähdään kiertokanget kiinnitettynä mäntiin. (Futurez 2018.)



KUVA. 5 Kiertokanget ja männät

Moottorin kampiakselille ja kiertokankiin vaihdettiin myös tavallisia liukulaakereita kestävämmät ACL-monimetallilaakerit. ACL valmistaa kilpakäyttöön tarkoitettuja liukulaakereita eri moottoreihin. Kuvasta 6 nähdään erilaiset metalliseokset, joita laakereiden eri kerroksissa on käytetty. Päälyyskuori on lyijy-tina-kupari -seosta, jonka tarkoituksena on taata vähäisen kitkan omaava muotoaan muuttava kerros, joka kestää jopa hetkellisen öljykalvon ohenemisen. Tämän kerroksen alla on nikkelistä tehty erottelukerros. Ennen teräksistä ulkokuorta on vielä aiempia kerroksia paksumpi lyijy-tina-kupari -sisustakerros, jonka tarkoitus on lisätä väsymislujuutta. Ulkokuori on tehty korkealujuusteräksestä, joka puolestaan tukee laakerin muuta vuorausta ja parantaa lämmön leviämistä.



KUVA 6. ACL-laakerit (ACL 2018.)

4.3 Puristussuhde

Yleisesti käytetty ja tietyissä sovellutuksissa jopa tehokas keino lisätä moottorin suorituskykyä on puristussuhteen suurentaminen. Kaikissa tapauksissa se ei ole kuitenkaan käyttökelpoinen tai itsestään selvä vaihtoehto, sillä siihen liittyy usein moottorin kannalta myös epäedullisia sivuvaikutuksia. Pelkkää puristussuhdetta nostamalla saavutetaan harvoin toivottu hyöty, jollei samalla tehdä muutoksia myös muuhun moottorin rakenteeseen. Suurin hyöty puristussuhteen muuttamisesta saavutetaan kansirakennetta, kuten venttiilikoneistoa ja venttiilien ajoitusta, muutettaessa. Puristussuhdetta voidaan muuttaa esimerkiksi poistamalla ainetta sylinterikannesta tai sylinteriryhmän yläpinnasta sekä asentamalla moottoriin alkuperäisistä poikkeavat männät. (Juurikkala 1982, 212.)

Korkeaseosetanoliipolttoaine mahdollistaa moottorin puristussuhteen noston aiemmin käsiteltyjen ominaisuuksiensa, kuten tavallista bensiiniä korkeamman oktaaniluvun, johdosta. Tässä autoprojektissa käytettiin kuitenkin alkuperäisellä 8,5:1 puristussuhteella olevia mäntiä muun muassa moottorin toimintavarmuutta ja nakutusherkkyyttä ajatellen.

Rajoittavana tekijänä oli myös se, ettei autoprojektissa muutettu alkuperäistä kansirakennetta, jonka avulla puristussuhteen muutoksesta olisi saatu suurin hyöty. Korkeaseosetanolinpolttoaineella voitaisiin kuitenkin tehonnostotarkoituksessa käyttää CA18DET-moottorissa esimerkiksi 9,0:1 puristussuhteen mäntiä, mikäli moottorin muut ominaisuudet, kuten muokattu kansirakenne, tämän mahdollistaisivat.

Koska autoprojektissa käytetään 84 mm mäntiä, jolloin sylinterin halkaisija muuttui 1 mm ylikokoon, lasketaan kuitenkin uusi puristussuhde. Puristussuhteen laskemiseen tarvitaan myös iskupituus, joka CA18DET-moottorilla on 83,6 mm. Suoran ympyrälieriön kaavasta saadaan ensin johdettua kaava 7, jolla lasketaan iskuutilavuus V_i . Kaavassa 7 tarvitaan myös sylinterin halkaisija D (cm) ja iskunpituus s (cm). Jakajana on lukuarvo neljä, jotta kaavasta saadaan suoraan yhden sylinterin iskuutilavuus nelisynterisessä moottorissa (Juurikkala 1982, 213).

$$V_i = \frac{\pi \cdot D^2 \cdot s}{4} \quad (7)$$

Tehdään sijoitukset kaavan 8 mukaisesti. Tällöin yhden sylinterin tilavuudeksi saadaan $463,3 \text{ cm}^3$.

$$V_i = \frac{\pi \cdot (8,4 \text{ cm})^2 \cdot 8,36 \text{ cm}}{4} = 463,3 \text{ cm}^3 \quad (8)$$

Lasketaan seuraavaksi puristustilavuus V_p . Puristustilavuuden laskennassa ei tässä tapauksessa oteta huomioon sylinterikannen ja lohkon suoristamista, koska paksumpi metallinen kannentiiviste kompensoi tilavuuden muutoksen tässä suhteessa. Puristustilavuuden laskentaa varten tarvitaan alkuperäinen puristussuhde ε sekä aiemmin laskettu yhden sylinterin tilavuus V_i . Kaavassa 9 esitetään puristustilavuuden laskentakaava. (Juurikkala 1982, 213.)

$$V_p = \frac{V_i}{\varepsilon - 1} \quad (9)$$

Sijoitetaan seuraavaksi arvot paikoilleen kaavaan 10.

$$V_p = \frac{463,3 \text{ cm}^3}{8,5 - 1} = 61,77 \text{ cm}^3 \quad (10)$$

Lopuksi lasketaan vielä uusi puristussuhde ε_u kaavan 11 avulla. Puristussuhteen tulisi teoriassa pysyä suhteellisen samana, koska ainoastaan sylinterin halkaisija muuttuu. Sijoittamalla arvot paikoilleen tulokseksi saadaan ainoastaan marginaalisesti alkuperäistä puristussuhdetta suurempi luku (8,5004). Käytännössä siis moottorin puristussuhde pysyikin viritetyssä lähes alkuperäistä puristussuhdetta vastaavana. Tämä olikin tavoitteena, sillä kansirakennetta tai mäntien puristussuhdetta ei pyritty projektissa muuttamaan.

$$\varepsilon_u = \frac{V_i + V_p}{V_p} \Rightarrow \varepsilon_u = 8,5004 \dots \quad (11)$$

4.4 Turboahtimen mitoitus ja valinta

Viritetyssä CA18DET-moottoriin vaihdettiin myös kuulalaakeroitu Garrett 3071-WG-pakokaasuahdin alkuperäisen Garrett T28 -ahtimen tilalle. Tarkoituksena oli tähdätä lähelle 298 kilowattia (400 hv) 1,8 barin ahtopainetta käyttäen. Suuremman hyötytehon kannalta ahtimen muutostyö oli tässä tapauksessa kaikkein järkevin valinta, sillä moottori oli jo alun perin varustettu pakokaasuahdimella. Vaihtamalla ahdin suurempaan voitiin parantaa sylinterien täytöstä ja näin polttaa lisää polttoainetta tietyssä aikayksikössä. Muutostyössä myös pakosarja ja pakoputkisto vaihdettiin hengittävämpiin sekä välijäähdytin alkuperäistä jäähdyttävämpään.

Ahtimen valinta on aina kompromissi ja siihen, miten uusia ahdin toimii moottorin kanssa, vaikuttavat monet seikat. Turboahtimen kokoa kasvatettaessa moottorin luonne voi muuttua – esimerkiksi alakierroksilta saattaa hävitä vääntöä, jolloin huipputeho sekä vääntö siirtyvät entistä korkeammille kierrosluvuille. Turboahtimen valinnassa käytetään perusteena sen pumppaamaa ilmamäärää sekä ahtimen painesuhdetta, joka on ahtopaineen suhde ilmanpaineeseen. Näitä arvoja verrataan valmistajan käyrästöihin, joiden mukaan sopiva ahdin ja turbiini valitaan. Turboahtimen koon laskenta onkin hyvin likimääräistä ja tapahtuu otaksumalla tietyt laskuihin tarvittavat arvot. Turboahtimen valinta on myös haastavaa, koska ahtimen lopullinen toimivuus moottorin kanssa voidaankin todeta vasta asentamalla se paikoilleen ja kokeilemalla. (Juurikkala 1982, 258.)

Turboahtimen valinnassa tarvitaan ensimmäisenä tilavuusvirta eli ahtimen imemän ilman määrä. Lasketaan kaavan 12 mukaisesti tilavuusvirta. Kaavassa \dot{V} on tilavuusvirta (m^3/s), k on muunnoskerroin (10^{-3}), τ on sylinterin täytösaste, V_k on moottorin kokonaistilavuus

(1), n on moottorin suurinta tehoa vastaava käyntinopeus (1/s), p_1 on ulkoilman normaali-
paine (bar), p_2 on ahtopaine absoluuttisena paineena (bar), T_1 on ulkoilman normaali-
lämpötila (K) ja T_2 on ahtoilman lämpötila (K). (Juurikkala 1982, 258.)

$$\dot{V} = k \cdot \tau \cdot V_k \cdot \frac{n}{2} \cdot \frac{p_2}{p_1} \cdot \frac{T_1}{T_2} \quad (12)$$

Muutoskerroin k tarvitaan sen johdosta, että moottorin tilavuus voidaan sijoittaa kaavaan litroina. Tunnettuja arvoja kaavassa ovat moottorien kokeiluun liittyvän ISO-normin mukaan ulkoilmanpaine p_1 (1 bar) ja ulkoilman normaalilämpötila T_1 (300 K eli +27 °C). Laskennassa valittavia arvoja ovat sen sijaan ahtopaine p_2 , ahtoilman lämpötila T_2 ja sylinterin täytösaste τ . Edellä mainitut tuntemattomat tekijät ovat kuitenkin riippuvuussuhteessa toisiinsa, koska ahtopainetta kasvatettaessa sylinterin täytösaste paranee ja ahtoilman lämpötila kasvaa. Tarkkoja lukuarvoja on mahdotonta selvittää ilman kokeiluja, mutta turboahdinta valittaessa voidaan käyttää likimäärisiä otaksunia. Taulukosta 3 voidaan nähdä eri käyttötarkoituksiin soveltuvat arvot käytetystä sovellutuksesta ja ahtopaineesta riippuen. (Juurikkala 1982, 258.)

TAULUKKO 3. Turboahdinten mitoitusarvoja (Juurikkala 1982, 258.)

Ahtopaine p_2 (bar)	Sylinterin täytösaste τ	Ahtoilman lämpötila T_2 (K)
1,20 – 1,35	0,8 – 0,85	350 - 370
1,40 – 1,70	0,85 – 0,90	370 - 395
1,70 – 2,00	0,90 – 0,95	390 - 410
2,00 – 2,30	0,95 – 1,05	400 - 430

Valitaan ensin taulukosta CA18DET-moottorissa käytetyksi ahtopaineeksi 1,8 baria, sylinterin täytösasteeksi 0,95 ja ahtoilman lämpötilaksi 410 K. Lasketaan seuraavaksi virittävän ajoneuvon turboahdinten imemä tilavuusvirta sijoittamalla kaikki arvot kaavaan 13. Kaavaan sijoitetaan myös moottorin tilavuus (1,8) litroina sekä arvio suurinta tehoa vastaavasta käyntinopeudesta (7000 rpm) kierroksina sekunnissa. Ahtopaine tulee sijoittaa kaavaan absoluuttisena paineena eli ahtopaineeseen lisätään ilmanpaineen arvo 1 bar. Ulkoilman lämpötilana käytetään tunnettua arvoa 300 K.

$$10^3 \cdot 0,95 \cdot 1,8 \text{ l} \cdot \frac{117 \frac{1}{s}}{2} \cdot \frac{2,8 \text{ bar}}{1 \text{ bar}} \cdot \frac{300 \text{ K}}{410 \text{ K}} = 0,204 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \quad (13)$$

Vastaus saadaan kuutiometreinä sekunneissa, joka tulee vielä muuttaa massavirraksi muotoon paunaa minuutissa, koska valitun turboahtimen valmistaja Garrett ilmoittaa käyrästöt tässä muodossa. Muunnos tapahtuu kaavan 14 avulla.

$$\frac{V \cdot 1,266 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}{7,56 \cdot 10^{-3}} = \dot{m} \left(\frac{\text{lb}}{\text{hr}} \right) \quad (14)$$

Tulokseksi saadaan noin 34,2 lb/hr. Määritetään vielä painesuhde kaavalla 15, jonka jälkeen katsotaan ahdinvalmistajan käyrästä ahtimen soveltuvuus haluttuun käyttötarkoitukseen.

$$P_r = \frac{p_2}{p_1} \quad (15)$$

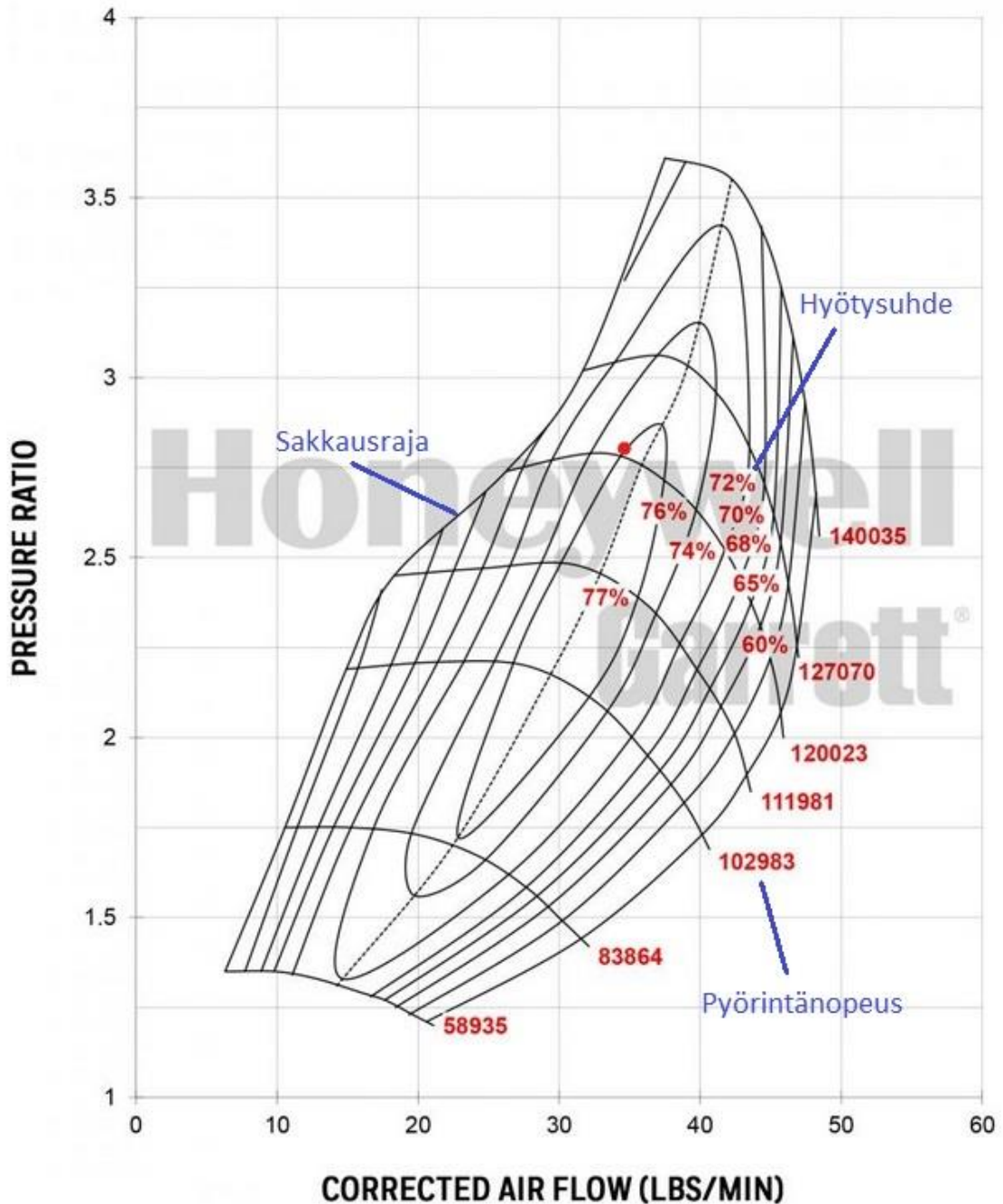
Painesuhteen laskennassa käytetään edelleen absoluuttista ahtopainetta p_2 ja ulkoilman paineena p_1 arvoa 1 bar. Tarkoituksena on käyttää 1,8 bar ahtopainetta, jolloin absoluuttinen paine p_2 on 2,8 bar.

$$\frac{2,8 \text{ bar}}{1 \text{ bar}} = 2,8 \quad (16)$$

Kaavassa 16 nähdään vielä arvot sijoitettuna paikoilleen, lopullinen painesuhde P_r on 2,8. Seuraavaksi laskettu ilmamäärä ja painesuhde sijoitetaan ahdinvalmistajan käyrästöön, josta nähdään millä hyötysuhteella valittu ahdin toimii, mikä on ahtimen pyörintänopeus ja missä kulkee vaarallinen sakkausraja. Ahtimen sakkaaminen tarkoittaa sitä, että ahdin alkaa tuottaa liikaa painetta, vaikka ilmamäärä on liian pieni. Tämä voi johtaa lopulta jopa ahtimen hajoamiseen. Ahtimen sakkausta voidaan yrittää poistaa esimerkiksi rajoittamalla ahtopainetta eli ohjaamalla hukkaportin toimintaa erillisellä säätimellä.

Käyttötarkoitukseen soveltuva ahdin valitaankin usein siten, että laskettu piste on mahdollisimman kaukana sakkausrajasta, mutta antaa silti mahdollisimman hyvän hyötysuhteen (Juurikkala 1982, 259). Ahtimen pakopesän valinta on huomattavasti vaikeampaa, koska tähän ei ole usein karttoja saatavilla valmistajalta. Pakopesän valinta perustuukin usein käyttökokemuksiin, käyttötarkoitukseen ja aiemmin saatuihin tuloksiin.

Kuviossa 3 nähdään punaisena pisteenä laskujen tulos. Kuvasta voidaan havaita, että viiritystyön ahdin Garrett 3071R toimii maksimitehon alueella CA18DET-moottorissa suhteellisen hyvällä 76 prosentin hyötysuhteella. Tällöin myös sakkausraja on suhteellisen kaukana. Toisaalta kompressori ei riitä enää juurikaan suuremmille ilmamäärille ilman hyötysuhteen laskua.



KUVIO 3. Garrett 3071R -kompressorikartta (Garrett by Honeywell 2018.)

Laskenta voidaan suorittaa vielä uudelleen alhaisemmallaakin kierrosluvulla. Oletetaan, että maksimiahtopaine saavutetaan esimerkiksi jo kierrosten ollessa 5500 rpm. Tällöin laskelman tulokseksi CA18DET-moottorille saadaan noin 27 lb/hr. Painesuhteen ollessa edelleen sama 2,8, osuu toimintapiste käyrästössä sakkausrajan yläpuolelle. Tähän pyrittiin vaikuttamaan pakopesän valinnalla.

Pakopesiä kyseiseen ahtimeen oli tarjolla kahta eri kokoa ja turboahtimen jälleenmyyjän avustamana päädyttiin valitsemaan suurempi 0.86 koko. Pakopesän valinta vaikuttaa huipputehon määrään ja ahtimen heräävyyteen. Suurempi pakopesä vähentää ahtimen heräävyyttä. Kuvassa 8 nähdään turboahdin asennettuna paikoilleen CA18DET-moottoriin.



KUVA 8. Turboahdin asennettuna paikoilleen

5 MOOTTORINOHJAUS

5.1 Valmistelevat toimenpiteet

Vähäisemmän energiasisältönsä vuoksi korkeaseosetanoliipolttoainetta joudutaan suihkuttamaan noin 30 % enemmän kuin bensiiniä ja tämän johdosta moottorinohjaukselle on välitettävä tieto muuttuneesta tilasta. Viritystyössä nostettiin myös hyötytehoa lisäämällä moottoriin menevää ilmamäärää isommalla ahtimella, mikä niin ikään edellyttää moottorinohjaimen säätöä. Moottorinohjaimen säätö on monimutkainen ja ammattitaitoa vaativa toimenpide. Ilman tarvittavaa ammattitaitoa ja laitteistoa on riskinä pahimmillaan moottorivaurio. Moottorinohjaus säädetään dynamometrissä, jossa mitataan ajoneuvon suorituskyky. Säättäjä muokkaa polttoaine- ja sytytyskartat moottorin kuormituksen mukaan ja tarkkailee samalla nakutuskuulokkeilla tai -antureilla, ettei moottori nakuta. Tässä viritystyössä Nistune-moottorinohjauksen säätö ulkopuolinen ammattilainen.

Jotta moottorinohjaus saadaan ylipäänsä ammattilaisen toimesta säädettyä, on alustavien toimenpiteiden oltava kunnossa. Tässä projektissa päädyttiin käyttämään Nistune-moottorinohjajusta, joka kolvattiin Nissanin alkuperäisen moottorinohjauksen rinnalle ja näin voitiin säätää uudet parametrit ohjaimen muistiin. Tällaisen asennustavan etuna on se, että moottorinohjain toimii täysin yhteen moottorin alkuperäisten antureiden kanssa, eikä moottoritilaan tarvitse tehdä uusia johdotuksia.



KUVA 9. Nistune-moottorinohjaus asennettuna paikoilleen

Moottorinohjauksen on saatava tieto myös moottoriin imetystä ilmamäärästä. CA18DET-moottorin alkuperäisen ilmamassamäärämittarin mittausalue riittää 147 kilowattiin (190 hv) asti, joten viritystyössä se tuli korvata suuremman mittausalueen omaavalla mittarilla. Kuvassa 10 on esitettyä Z32-ilmamassamäärämittari, jonka mittausalue riittää 358 kilowattiin (480 hv) asti. Ilmamassamäärämittariin on kiinnitettyä Apex'i Dual Funnel -vapaavirtaussuodatin.



KUVA 10. Ilmamassamäärämittari ja vapaavirtaussuodatin

Sytytysjärjestelmän alkuperäiset puolat korvattiin Boschin valmistamilla suurtehopuolilla. Myöskin suuttimien etuvastus jouduttiin ohittamaan, sillä uudet suuttimet olivat korkeaohmiset vanhoihin matalaohmisiin verrattuna. Vaihdetuista suuttimista ja ilmamäärämittarista tulee rekisteröidä tieto Nistune-moottorinohjaimelle ennen kuin säätö voidaan aloittaa.

5.2 Ilma-polttoainesuhde

Moottorinohjauksen säädön aikana tarkkaillaan jatkuvasti ilma-polttoainesuhdetta laajakaistalambda -seosmittarin avulla, jotta oikeat arvot saadaan tallennettua polttoainekarttaan. Usein laajakaistaseosmittari asennetaan virityskohteena olevaan ajoneuvoon kiinteäksi myös myöhempää seoksen tarkkailua varten. Laajakaistalambda mittaa jännitettä 0-5 voltin välillä siten, että anturi tutkii jäännöshapen määrää pakokaasussa ennen katalyysaattoria ja vertaa tätä stoikiometriseen seossuhteeseen. Tavallinen lambda-anturi mittaa jännitettä ainoastaan 0-1 voltin välillä. (NGK 2013.) Tässä viritystyössä käytettiin PLX:n

valmistamaa laajakaistaseosmittaria. Sopivalla ilma-polttoainesuhteella saadaan moottorista paras käytettävyys, hyötyteho, päästöt tai polttoainetaloudellisuus. Tarkoituksenmukainen ilma-polttoainesuhde riippuu siitä, mitä käyttötarkoitusta varten moottori halutaan säätää.

Stoikiometrinen seossuhde puhtaalla bensiinillä on 14,7. Tämä tarkoittaa sitä, että yhden bensiinikilogramman polttaminen edellyttää 14,7 kiloa ilmaa. Sama asia voidaan ilmaista myös lambda-arvona (λ), joka on tällöin tasan 1. Seoksen ollessa stoikiometrinen eli niin sanotusti ihanteellinen, poistaa katalysaattori suurimman osan haitallisista pakokaasuista. E85-polttoaineella stoikiometrinen seossuhde on puolestaan 9,765 ja tämä vastaa myös lambda-arvoa 1. Maksimiteho rikkaalla seoksella E85-polttoainetta käytettäessä saavutetaan 6,975 ilma-polttoainesuhteella. Vastaavasti puhtaan bensiinin rikkaan seoksen maksimitehoon päästään 12,5 ilma-polttoainesuhteella. Tästä voidaankin havaita, että E85-polttoaine tarvitsee huomattavasti rikkaamman seoksen, kun moottorinohjausta säädetään maksimihyötytehoa varten. (Davis 2013.) Suomessa E85-polttoaineen kesä- ja talviläätteen seassa on eri määrä bensiiniä, minkä johdosta myös moottorissa käytetyt ilma-polttoainesuhteet poikkeavat toisistaan.

5.3 Sytytysennakko

Sytytysennakolla määritetään se, kuinka monta astetta ennen männän ylintä asentoa (yläkuolokohtaa) kipinä annetaan sylinteriin. Sytytysennakon arvo muuttuu, kun moottorin kierrosnopeutta muutetaan. Moottorin pyöriessä nopeammin täytyy myös kipinä antaa tavallista aikaisemmin, jotta polttoaineseos saadaan syttymään oikealla hetkellä ja näin painamaan mäntää alaspäin ajallaan. Moottorinohjaimen säädössä optimaaliset parametrit tallennetaan sytytyskarttaan. (Edgar 2007.)

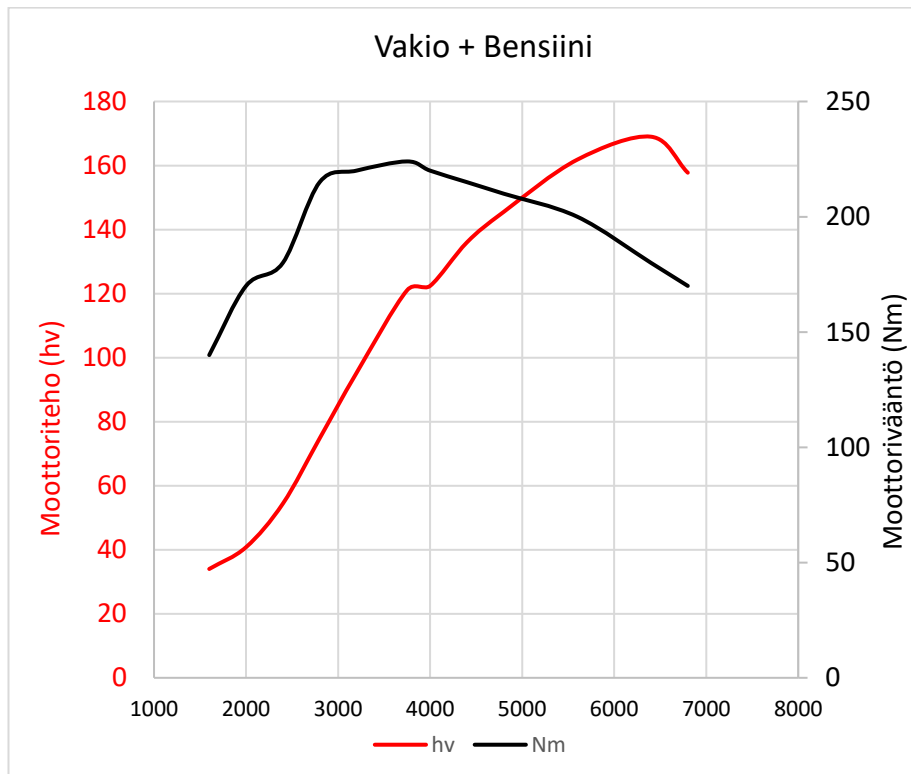
E85-polttoaine mahdollistaa yleensä kauttaaltaan vähintään kaksi astetta aggressiivisemmän sytytyskartan tavalliseen bensiiniin verrattuna. Tämä ei johdu pelkästään korkeammasta oktaaniluvusta, vaan myös etanolin kyvystä hillitä nakuttavaa palamista. Parhaimmissa tapauksissa sytytysennakkoa pystytään lisäämään jopa 6-7 astetta enemmän, mutta tämä luonnollisestikin vaihtelee paljon moottori- ja viritystyökohtaisesti. Sytytyskartan säätö on erityisen tärkeä saada kohdalleen turboahdetussa moottorissa, jossa sen avulla turboahdin voidaan saada heräämään jo alhaisemmilla kierrosluvuilla. (Engine Basics 2010.)

6 MITTAUSTULOKSET

Mittaustulokset viritystyön jälkeen suoritettiin käyttämällä Tampereen ammattikorkeakoulun Rototest -dynamometriä. Kyseinen dynamometri mittaa tehon suoraan ajoneuvon pyörännavoista, jolloin dynamometri osaa ottaa suoraan voimansiirron häviön huomioon ja mitattu arvo saadaan pyörätehona.

Viritystyön jälkeinen tehokuvaaja on tästä huolimatta muunnettu takaisin moottoritehon muotoon ja hevosvoimiksi, jotta sitä voidaan verrata ajoneuvon alkuperäiseen moottoritehokuvaajaan. Voimansiirron häviön lukuarvona on käytetty 15 prosenttia ja se on kompensoitu takaisin suoraan navasta mitattuihin arvoihin. Dynamometriin liittyvien laitteisto-ongelmien vuoksi suurin moottorin hyötyteho jäi mittaamatta ja mittaus jouduttiin aloittamaan korkeilta kierrosluvuilta. Dynamometri meni useita kertoja vikatilaan kesken mittauksen.

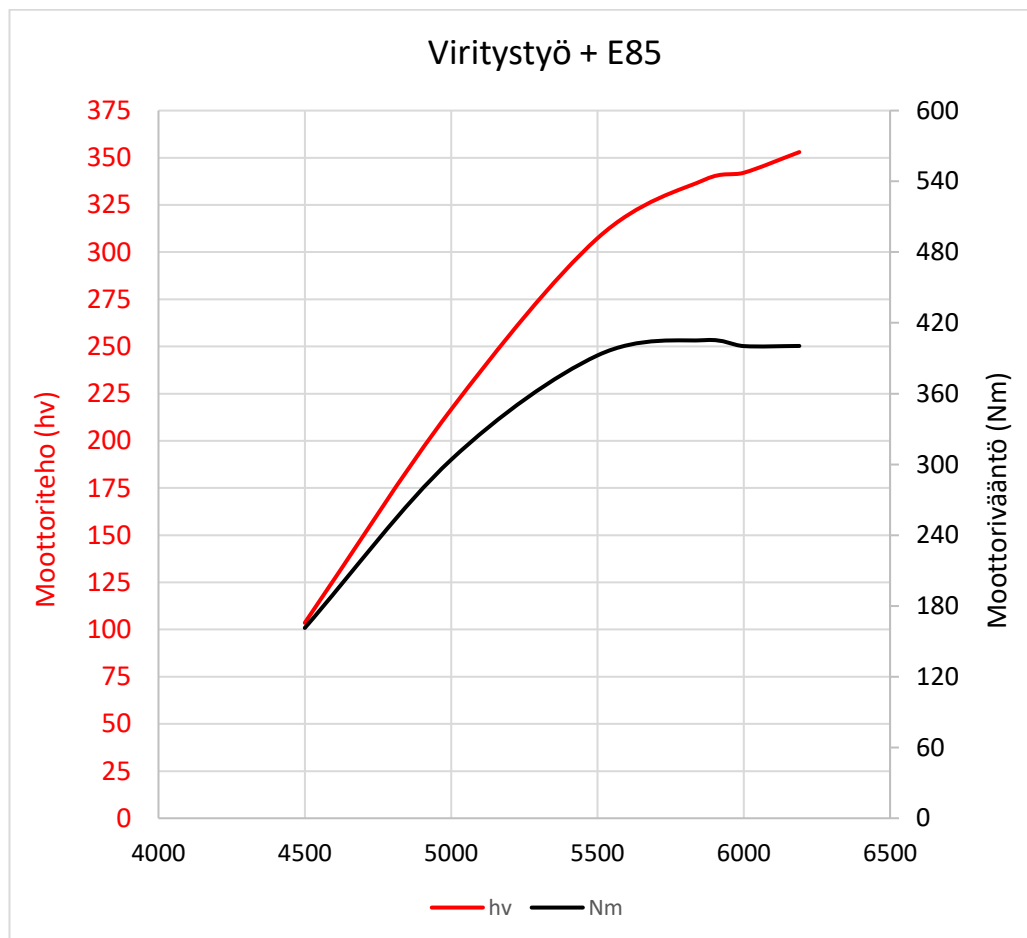
Kuviosta 4 nähdään, että suurin moottoriteho vakiona on ollut 126 kW (169 hv) @ 6400 rpm ja suurin vääntö 224 Nm @ 3750 rpm. Kuviosta voidaan havaita myöskin, että vääntö lähtee laskuun jo 4000 rpm jälkeen ja teho 6400 rpm jälkeen.



KUVIO 4. Tehtaan ilmoittama teho- ja vääntökäyrä

Kuviossa 5 puolestaan esitetään mittaustulokset viritystyön jälkeen. Kuvioista nähdään, että moottoriteho on suurimmillaan 262 kW (352 hv) @ 6190 rpm ja suurin vääntö 405 Nm @ 5870 rpm. Liitteessä 1 on esitelty tarkemmin mittaustuloksia viritystyön jälkeen. Teho- ja vääntökäyrät ovat muuttuneet vakiosta täysin; vääntö ei lähde enää laskuun 4000 rpm jälkeen, vaan nousee 5500 rpm asti, jonka jälkeen se alkaa tasoittua. Vastaavasti moottoritehon käyrä nousee kierrosalueen loppuun asti.

Huipputeho on leikkaantunut huomattavasti dynamometriongelmien takia, sillä käyrä on ollut vielä lopussa noususuuntainen. Vakiomoottorillakin huipputeho on saatu korkeammalla pyörintänopeudella (6400 rpm), joten myös nykyinen viritetty moottori vaatisi mittauksen vielä suuremmille kierrosluvuille. Vaikka viritystyön jälkeinen mittaus onkin tehty vasta 4500 rpm eteenpäin, voidaan havaita, että moottorin luonne on muuttunut ylävireisemmäksi. Kierrosluvun ollessa 4500 rpm on teho ollut viritetyssä moottorissa noin 77 kW (103 hv) ja vääntö 161 Nm. Vastaavat luvut ovat vakiomoottorissa olleet 101 kW (136 hv) ja 215 Nm.



KUVIO 5. Viritystyön jälkeinen teho- ja vääntökäyrä

7 POHDINTA

Kaiken kaikkiaan moottorin luonne ei muutoksista huolimatta muuttunut liikaa. Suurin teho ja vääntöarvo toki siirtyivät korkeammille kierrosluvuille vakimoottoriin verrattuna. CA18DET-moottori on kuitenkin alun perinkin luonteeltaan ”ylävireinen”, eikä suurempi turboahdin poistanut liikaa alakierrosten väännöstä. E85-polttoaine soveltuu virituskäytössä turboahdettuun ajoneuvoon todella hyvin. Se mahdollistaa ahdetussa moottorissa ilman nakutusongelmaa huomattavasti korkeamman ahtopaineen verrattuna bensiiniin sekä omaa hyvät jäähdyttävät ominaisuudet. Kokonaisuutena viritystyö onnistui hyvin ja moottoriteho sekä vääntö lähes kaksinkertaistuvat alkuperäiseen verrattuna, vaikka suurin teholumema jäikin dynamometrin vikatilän johdosta mittaamatta.

Tutkimustarkoituksen näkökulmasta mittaustuloksia olisi voinut olla enemmänkin ja niitä olisi voitu tehdä myös 95E10- ja 98E5 -polttoaineella. Tällöin olisi saatu enemmän tieteellistä näyttöä juurikin korkeaseosetanolipolttoaineiden hyödystä. Käytännössä kuitenkin esimerkiksi sytytysennakkoa voidaan lisätä E85-polttoaineella huomattavasti enemmän kuin tavallisella bensiinillä myös ilman ongelmaa nakuttamisesta. Mikäli tuloksia haluttaisiin saada myös jokaista moottorille tehtyä eri muutostyötä kohti, pitäisi ajoneuvo mitata jokaisen vaiheen jälkeen dynamometrillä uudestaan. Tällaisia mittauksia ei kuitenkaan ollut tämän työn aikana mahdollista toteuttaa resurssi- ja tarkoituksenmukaisuussyistä.

Virituskäytössä E85-polttoaineella saadaan ainoastaan marginaalinen säästö polttoainekuluihin, sillä seossuhde joudutaan säätämään rikkaan puolelle ja polttoainetta kuluu lähtökohtaisestikin noin 30 % enemmän kuin tavallista bensiiniä. Kilpabensiiniin verrattuna E85 on kuitenkin halpaa ja virituskäytössä kyseisen polttoaineen ominaisuuksista saadaan paljon etua. Ympäristön kannalta korkeaseosetanoli voi myös olla parempi vaihtoehto fossiilisiin polttoaineisiin verrattuna. Tärkein syy tälle on se, että korkeaseosetanoli voidaan valmistaa lähellä käyttökohdetta biologisilla menetelmillä.

Alun perin ajoneuvo oli tarkoitus säätää tutkimusmielessä myös 98E5-polttoaineelle. Tämä ei ollut kuitenkaan mahdollista, koska säädössä moottori nakutti lähes koko ajan. E85-polttoaine kuitenkin poisti kaikki nakutusherkkyteen liittyvät ongelmat.

Ajan puutteen vuoksi polttoainelinjasto ja tankki jäivät alkuperäisiksi kumiletkuja lukuun ottamatta. Tulevaisuudessa linjasto onkin vaihdettava etanolinkestävään, sillä korrosio voi ajan kanssa syövyttää alkuperäistä linjastoa.

LÄHTEET

VTT. 2008. Biopoltonesteiden turvallinen jakelu: loppuraportti. Luettu 12.3.2018.
<http://www.vtt.fi/inf/julkaisut/maat/2008/VTT-R-07049-08.pdf>

Neste. 2015. Bensiiniopas. Espoo: Neste Oyj. Luettu 12.3.2018
https://www.neste.com/sites/default/files/attachments/bensiiniopas_2015.pdf

ST1. 2018. Korkeaseosetanoli RE85. Helsinki: ST1 Oy. Luettu 12.3.2018.
http://www.st1.fi/files/12697/RE85_tuotetieto_2018_03_15.pdf

Motiva. 2017. Flexfuel- eli korkeaseosetanoliauto. Luettu 12.3.2018.
https://www.motiva.fi/ratkaisut/kestava_liikenne_ja_liikkuminen/nain_liikut_vii-saasti/valitse_auto_viisaasti/autotyypit/flexfuel-eli_korkeaseosetanoliauto

Schwartz M. 2007. Ethanol vehicles pose significant risk to health, new study finds. Luettu 12.3.2018.
<https://news.stanford.edu/news/2007/april18/ethanol-041807.html>

U.S. Department of Energy. 2016. Handbook for Handling, Storing and Dispensing E85 and Other Ethanol-Gasoline Blends. Luettu 6.3.2018.
https://www.afdc.energy.gov/uploads/publication/ethanol_handbook.pdf

Lehtonen A. 2008. 98E5-bensiinistä E85-etanolipolttoaineeseen siirryttäessä huomioitava asioita. Luettu 6.3.2018.
http://www.motec.fi/tuotetuki_ohjeet.php

Juurikkala J. 1982. Autotekniikan käsikirja: Moottori. Helsinki: Kustannusosakeyhtiö Tammi.

Injector-Rehab. 2018. Injector Duty Cycle. Luettu 6.3.2018.
<http://injector-rehab.com/shop/idc.html>

WitchHunter Performance. 2018. Selecting the proper size injector. Luettu 6.3.2018.
<https://www.witchhunter.com/injectorcalc1.php>

Injector Dynamics. 2018. Horsepower calculator. Luettu 6.3.2018.
<http://wpdev.injectordynamics.com/articles/injector-dynamics-horsepower-calculator/>

Walbro Performance Fuel Systems. 2018. Walbro New Release E85 High Performance In-Tank Fuel Pump. Luettu 6.3.2018.
<http://walbrofuelpumps.com/walbro-f90000267-fuel-pump-e85>

CP-Carillo. 2018. Installation specific sheet. Luettu 19.3.2018.

Futurez. SPM Kiertokanget. 2018. Luettu 13.3.2018.
<https://www.futurez.fi/product/85190-spm-kiertokanget-nissan-200sx-s13-18l-133x20x48-mm>

ACL. Engineering. 2018. Luettu 13.4.2018.
<http://aclraceseries.com/engineering.html>

Garrett by Honeywell. GT3071R Turbocharger. 2018. Luettu 13.4.2018.
<https://www.turbobygarrett.com/turbobygarrett/turbochargers/gt3071r>

NGK. 2016. Oxygen Sensors. Luettu 17.4.2018.
<http://www.ngk.com.au/products/oxygen-sensors/>

Davis M. 2013. Pit Stop – Air / Fuel Ratios for a Wideband Oxygen Sensor. Luettu 17.4.2018.
<http://www.hotrod.com/articles/wideband-oxygen-sensor/>

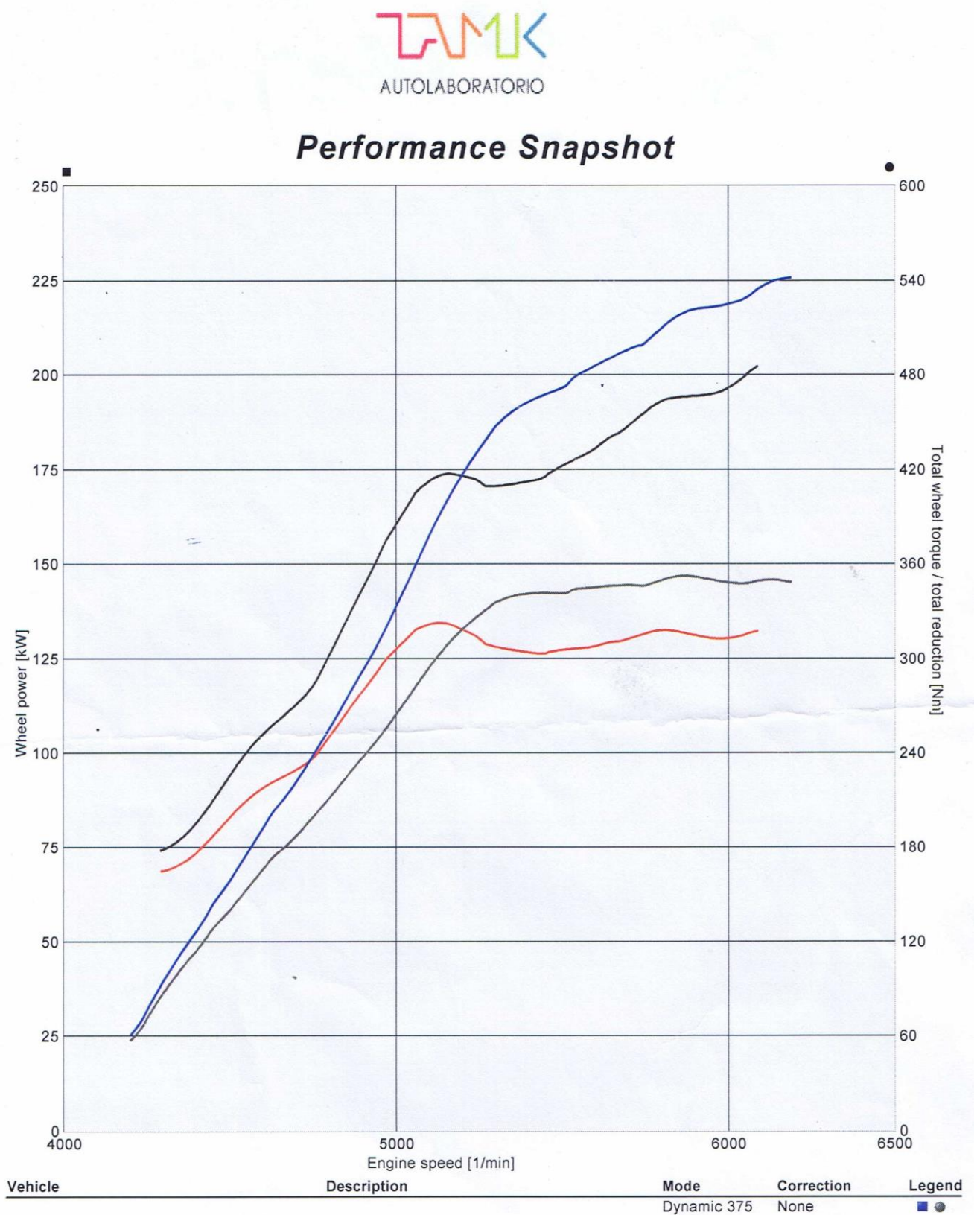
Edgar J. 2007. Getting the Ignition Timing Right. Luettu 14.4.2018.
<http://www.autospeed.com/cms/article.html?&title=Getting-the-Ignition-Timing-Right&A=109132>

Engine Basics. 2010. Tuning E85 Vehicles. Luettu 18.4.2018.
<http://www.enginebasics.com/EFI%20Tuning/E85%20Tuning.html>

LIITTEET

Liite 1. Pyörätehon mittaus viritystyön jälkeen

(1/2)

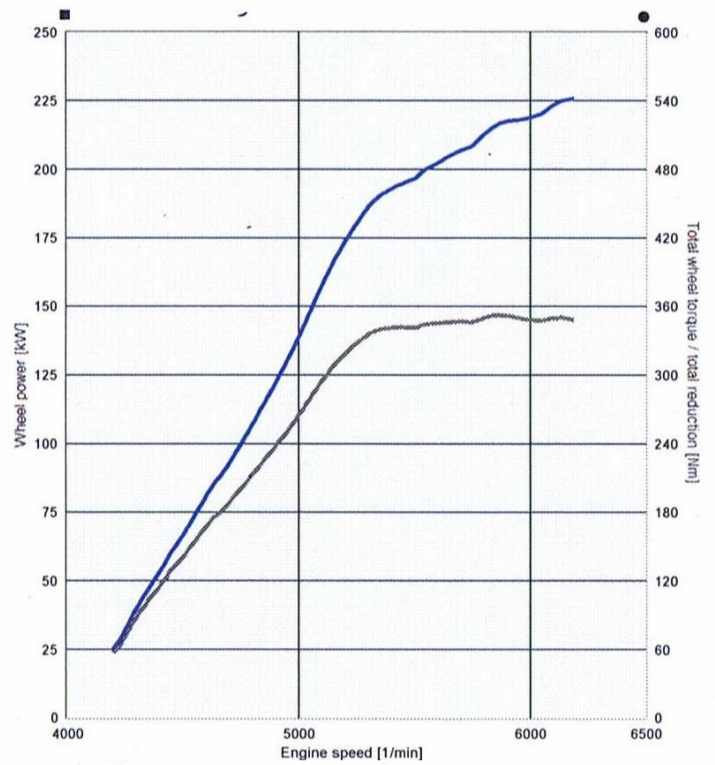




Performance Snapshot

	Measured	at [1/min]
Max power [kW]	225.7	6190
Max torque [Nm]	352.2	5870
Correction	None	
Atm pressure [hPa]	800 - 800	

Comments



Engine speed [1/min]	Corr power [kW]	Corr torque [Nm]	Wheel speed [1/min]	Total red [1/x]	Total wheel torque [Nm]	Total wheel torque / total red [Nm]	Wheel power [kW]	Inl temp [°C]	Rel hum [%]	Amb temp [°C]	Oil temp [°C]	Corr factor
4500	66.2	140.3	1231	3.656	513	140.3	66.2	-100	0	-40		1.000
5000	138.5	264.3	1368	3.656	966	264.3	138.5	-100	0	-40		1.000
5500	196.5	341.2	1504	3.656	1248	341.2	196.5	-100	0	-40		1.000
5870	216.5	352.2	1605	3.656	1288	352.2	216.5	-100	0	-40		1.000
6000	218.7	348.1	1641	3.656	1273	348.1	218.7	-100	0	-40		1.000
6190	225.7	348.2	1693	3.656	1273	348.2	225.7	-100	0	-40		1.000