



Roope Vire

Moottorinohjauksen kalibroiminen E85-polttoaineelle

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Ajoneuvotekniikka

Insinöörityö

4.5.2022

Tiivistelmä

Tekijä: Roope Vire
Otsikko: Moottorinohjauksen kalibroiminen E85-polttoaineelle
Sivumäärä: 38 sivua
Aika: 4.5.2022

Tutkinto: Insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma: Ajoneuvotekniikka
Ammatillinen pääaine: Autosähkötekniikka
Ohjaaja: Laboratorioinsinööri Teemu Laine

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli kerätä tietoa bensiinikäyttöisen ajoneuvon moottorinohjainlaitteen kalibroimisesta etanolipohjaiselle E85-biopolttoaineelle. Lisäksi työssä kerättiin tietoa polttoainemuutokseen oleellisesti liittyvistä seikoista, kuten E85-polttoaineen ja bensiinin ominaisuuksista sekä välttämättömistä muutoksista kohdeajoneuvoon. Lisäksi tavoitteena oli muuttaa kohdeajoneuvona toimineen BMW:n käyttövoima E85-korkeaseosetanolipolttoaineeseen.

Teoriaosuudessa käsitellään bensiinikäyttöisen ajoneuvon moottorinohjausjärjestelmän toimintaperiaatteita sekä bensiinin ja E85-polttoaineen ominaisuuksia ja niiden eroja. Käytännön osuudessa arvioidaan välttämättömät muutostyöt kohdeajoneuvoon ja kuvataan ne. Kohdeajoneuvoon asennettiin virtaukseltaan suuremmat polttoainesuuttimet sekä seossuhdemittari moottorinohjauksen kalibroimisen mahdollistamiseksi. Moottorinohjainlaitteen läpi ajon aikana kulkeva data tallennettiin lokitiedostoon TunerProRT-sovelluksella. Lokitiedostoa analysoimalla määritettiin vaadittavat kalibrointitoimenpiteet ja muutokset kirjoitettiin ohjainlaitteelle MS4X Dev Group Flasher -sovelluksella.

Muutosten jälkeen kohdeajoneuvolla voidaan ajaa E85-polttoaineella. Fossiiliset hiilidioksidipäästöt laskivat noin 20 prosenttiin aiemmasta, sillä E85-polttoaine sisältää 70–85 prosenttia etanolia, joka on uusiutuva polttoaine. Korkeaseosetanolipolttoaineen korkea oktaaniluku mahdollistaa moottorin hyötysuhteen kasvattamisen sytytysennakon optimoimisella, moottorin puristussuhdetta kasvattamalla tai ahtamalla. Etanoli höyrystyy bensiiniä huonommin, mikä näkyy heikentyneinä kylmäkäynnistys- ja kylmäkäyntiominaisuuksina.

Avainsanat: E85, Siemens MS43, moottorinohjaus, kalibrointi

Abstract

Author: Roope Vire
Title: Calibrating an ECU for E85 Fuel
Number of Pages: 38 pages
Date: 4 May 2022

Degree: Bachelor of Engineering
Degree Programme: Automotive Engineering
Professional Major: Automotive Electronics Engineering
Supervisor: Teemu Laine, Laboratory Engineer

The objective of this thesis was to collect information on calibrating an engine control unit (ECU) of a gasoline fuel vehicle for ethanol-based E85 biofuel. Information was also collected on relevant factors regarding the fuel conversion, such as differences between gasoline and E85 fuel properties as well as required modifications on the vehicle in question. In addition, the objective was to convert the BMW in question from using gasoline fuel to using high-octane E85 ethanol fuel.

The theory part of the thesis addresses general operating principles of ECU systems on gasoline fuel vehicles. The properties of gasoline fuel and E85 are discussed and the differences between them are covered. The practical part of the thesis includes evaluation and description of the necessary modifications for the car in the aspect of the fuel conversion. Fuel injectors with larger flow capacity were fitted to ensure adequate fuel supply along with a broad-band lambda oxygen sensor and an AFR gauge to enable AFR data logging during engine operation. Calibration of the ECU was performed based on data logs gathered from specific driving situations and circumstances using TunerProRT software. The changes made were written on the ECU calibration section using MS4X Dev Group Flasher software.

After the modifications, the car can now use E85 fuel. Fossil carbon dioxide emissions were reduced approximately to 20 percent from gasoline associated emissions. E85 fuel contains 70–85 percent ethanol, which is a renewable energy source, and which can be manufactured from biomass. The high-octane property of E85 makes it possible to increase the thermal efficiency of the engine by optimizing the ignition timing or by increasing the compression ratio of the engine mechanically or by charging the intake air. Ethanol does not evaporate well in cold conditions, which impairs cold starting and running characteristics in comparison to gasoline fuel.

Keywords: E85, Siemens MS43, ECU calibration

Sisällys

Lyhenteet

| | | |
|-------|--|----|
| 1 | Johdanto | 1 |
| 2 | Moottorinohjauksen tehtävät | 2 |
| 2.1 | Anturit ja toimilaitteet | 2 |
| 2.2 | Sylinterintäytös | 4 |
| 2.3 | Venttiiliajoitus | 6 |
| 2.4 | Sytytysennakko ja nakutuksen hallinta | 7 |
| 3 | Polttoaineiden ominaisuudet | 9 |
| 3.1 | Lämpöarvo | 9 |
| 3.2 | Oktaaniluku | 9 |
| 3.3 | Stoikiometrinen seossuhde | 10 |
| 3.4 | Höyrystymisominaisuudet | 10 |
| 3.5 | Palamisnopeus | 11 |
| 3.6 | Kosteus ja syövyttävyys | 11 |
| 3.7 | Viskositeetti | 12 |
| 4 | Muutokset kohdeajoneuvoon | 13 |
| 4.1 | Polttoainejärjestelmän muutokset | 14 |
| 4.1.1 | Polttoainesuuttimet | 14 |
| 4.1.2 | Polttoainepumppu | 16 |
| 4.1.3 | Polttoainesuodatin | 16 |
| 4.2 | Lokien kerääminen | 17 |
| 5 | Muutokset moottorinohjainlaitteen ohjelmistoon | 20 |
| 5.1 | Valmistelut | 20 |
| 5.2 | Polttoainesuuttimien parametrit | 21 |
| 5.3 | Polttoaineensyöttökarttojen muutokset | 22 |
| 5.4 | Sytytysennakon optimointi | 25 |
| 6 | Polttoaineensyöttökarttojen kalibroiminen | 26 |
| 6.1 | Lokien analysointi | 27 |

| | | |
|-------|--------------------------------------|----|
| 6.2 | Kylmäkäynnistyvyyden parantaminen | 29 |
| 6.2.1 | Haasteet | 30 |
| 6.2.2 | Kiihdytysrikastus | 31 |
| 7 | Pohdinta | 32 |
| 7.1 | Lyhyiden ajosuoritteiden vaikutukset | 32 |
| 7.2 | Polttoaineenkulutus | 33 |
| 8 | Yhteenveto | 34 |
| | Lähteet | 36 |

Lyhenteet

| | |
|-------|--|
| AFR: | Air-fuel ratio, polttoaine-ilmasuhde |
| ATDC: | After top dead center, yläkuolokohdan jälkeen |
| BTDC: | Before top dead center, ennen yläkuolokohtaa |
| ECU: | Engine control unit, moottorinohjainlaite |
| EGR: | Exhaust gas recirculation, pakokaasun takaisinkierrätys |
| EVAP: | Evaporative emission control system, polttoainesäiliön haihtuvien kaasujen hallintajärjestelmä |
| E85: | Korkeaseosetanoliipolttoaine |
| FFV: | Flex-fuel vehicle, flexfuel-ajoneuvo |
| LTFT: | Long-term fuel trim, pitkäaikainen lambdaintegraattori |
| MBT: | Maximum brake torque, huippuvääntömomentti |
| MS43: | Siemensin valmistama moottorinohjainlaite |
| OBD: | On-board diagnostics, ajoneuvon itsediagnostiikka ja raportointi |
| OBD2: | Standardi, joka määrittää mm. 16-pin diagnostiikkaliittimen |
| RPM: | Revolutions per minute, kierrosta minuutissa |
| SI: | Spark-ignition, kipinäsytytys |

SPFI: Sequential port fuel injection, sekventiaalinen polttoaineen imusarjasuihkutus

STFT: Short-term fuel trim, lyhytaikainen lambdaintegraattori

USB: Universal serial bus, sarjaväyläarkkitehtuuri oheislaitteiden liittämiseksi tietokoneeseen

VVT: Variable valve timing, muuttuva venttiiliajoitus

1 Johdanto

Maailman tunnettujen öljyvarojen ehtyessä ja öljynkulutuksen kasvaessa vaihtoehtoisten energianlähteiden merkitys kasvaa. Venäjän Ukrainassa aloittaman sodan vuoksi venäläisestä energiasta pyritään irtautumaan, mikä nostaa energian hintaa. Aiemmin energian tuonti Venäjältä Suomeen on ollut kannattavaa niin maantieteellisen sijainnin kuin maan merkittävien energiareсурssienkin vuoksi. Vuonna 2020 noin kaksi kolmasosaa Suomeen tuodusta öljystä tulikin juuri Venäjältä [1].

Liikenteen osuus kaikesta öljynkulutuksesta maailmassa on yli puolet [2]. Suomessa liikenne aiheuttaa noin viidesosan maan päästöistä ja liikennepolttoaineet koostuvatkin suurimmaksi osaksi öljystä. Kunnianhimoinen tavoite vähentää liikenteen aiheuttamia päästöjä puoleen vuoteen 2030 mennessä ja edelleen nollaan vuoteen 2045 mennessä pakottaa tutkimaan vaihtoehtoisia liikennepolttoaineita öljyn korvaamiseksi. [3.]

Liikenne- ja viestintävirasto Traficom tukee vaihtoehtoisiiin polttoaineisiin siirtymistä jatkamalla ajoneuvojen kaasu- ja etanolimuutosten tukemista edelleen 1.1.2022–31.3.2023. Etanolikäyttöiseksi muutetun ajoneuvon muuntotuen suuruus on 200 euroa, kaasukäyttöiseksi muutettaessa tuki on 1000 euroa. [4.] Vaihtoehtoiset polttoaineet ovat hyvin potentiaalinen vaihtoehto sähköajoneuvoille, sillä jo olemassa olevaa polttoaineiden jakeluverkostoa voidaan hyödyntää ja polttoaineita tankata nykyiseen ajoneuvokantaan.

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli kerätä tietoa bensiinikäyttöisen polttomoottorin moottorinohjauksen kalibroimisesta etanolipohjaiselle E85-polttoaineelle. Tavoitteena oli myös kerätä tietoa polttoainemuutokseen oleellisesti liittyvistä seikoista, kuten E85-polttoaineen ja bensiinin ominaisuuksista sekä välttämättömistä muutoksista kohdeajoneuvoon polttoaineen vaihtamiseksi. Lisäksi tavoitteena oli muuttaa kohdeajoneuvon käyttövoima E85-korkeaseosetanolipolttoaineeseen. Kohdeajoneuvona toimi bensiinimoottorilla varustettu vuosimallin 2001 BMW 325Ci.

Projektin idea on lähtöisin tekijän kiinnostuksesta moottorinohjausjärjestelmiin ja moottorinohjauksen kalibroimiseen itse internetin keskustelufoorumien innoittamana. Myös polttoaineen kotimaisuusasteen lisääminen ja ympäristövaikutusten pienentäminen vahvistivat ajatusta polttoaineen vaihtamisesta.

E85-polttoaineeseen päädyttiin sen verrattain hyvän saatavuuden ja puristuskestävyyden vuoksi. Taloudellista hyötyä polttoainekonversiolla ei tavoiteltu, eikä sitä olisi edes oikeastaan ollut saavutettavissa kirjoitushetkellä vallitsevilla polttoaineiden hinnoilla. Kohdejoneuvon moottori on vapaasti hengittävä, joten polttoaineen kasvaneesta puristuskestävyydestä saatava hyöty ei ole aivan yhtä suuri kuin ahdetuissa moottoreissa. Tämän vuoksi saavutettavissa oleva kokonaishyöty jäi pienemmäksi kuin ahdetulla moottorilla. Kuitenkin suunnitelma pakokaasuahdinten asentamisesta kohdejoneuvon tulevaisuudessa vaikutti osaltaan polttoainevalintaan.

2 Moottorinohjauksen tehtävät

Ajoneuvon moottorinohjausjärjestelmän tehtävänä on varmistaa moottorin optimaalinen käynti eri olosuhteissa. Moottorinohjainlaite määrittää sen ohjelmistoon asetettujen peruskartastojen avulla toimilaitteiden ohjaussignaalit antureilta saatujen sisääntulosignaalien mukaisesti tasaisen käynnin ja parhaan tehon saavuttamiseksi, sekä haitallisten pakokaasupäästöjen minimoimiseksi.

2.1 Anturit ja toimilaitteet

Nykyaikaisiin moottorinohjainlaitteisiin on kytketty lukuisia antureita, joilta kerättyä dataa käytetään mm. polttoaineen suihkutusmäärän ja sytytysajankohdan määrittämisessä sekä eri toimilaitteiden ohjaamisessa, kuten kuvasta 1 voidaan havaita. Dataa kerätään mm.

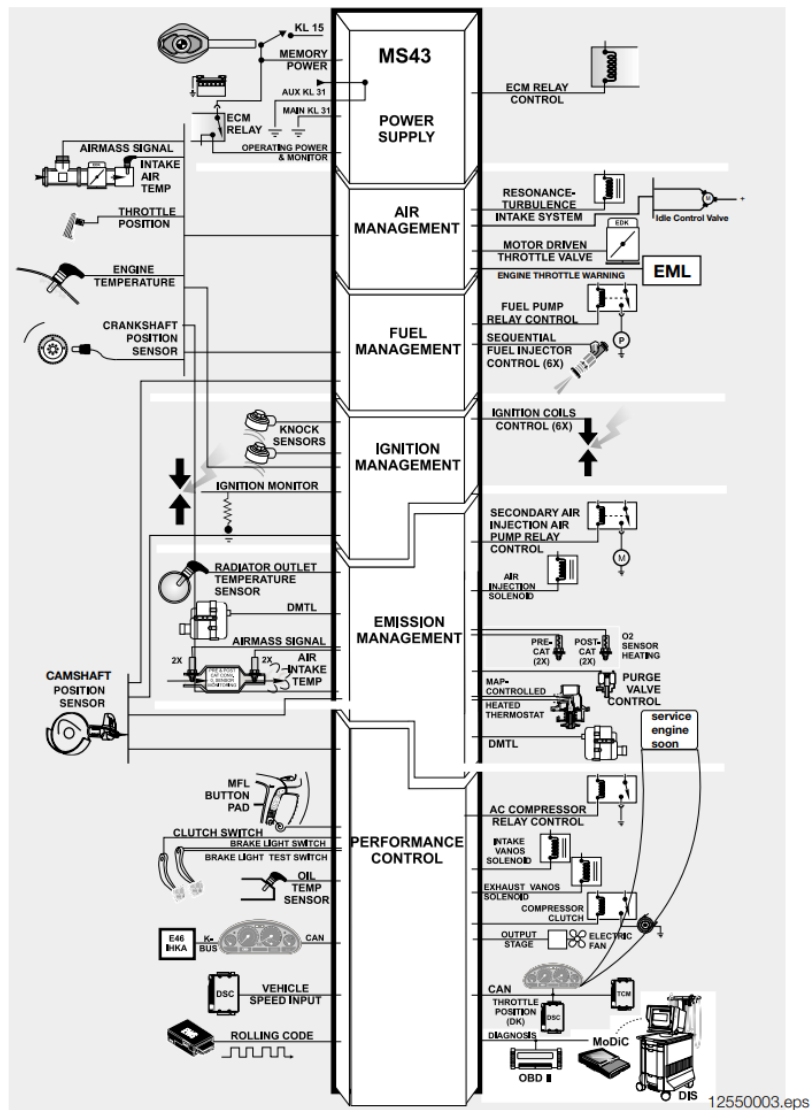
- kampiakselin asentotunnistimelta
- nokka-akseleiden asentotunnistimilta

- kaasupolkimen ja -läpän asentotunnistimilta
- lambdatunnistimilta
- ilmamassa- ja/tai imusarjapainetunnistimilta
- imuilman, öljyn ja jäähdytysnesteen lämpötilatunnistimilta
- nakutustunnistimilta.

Pääsäättösuureina näistä toimivat laskennallisesti saadut arvot moottorin pyörintänopeudesta, kuormasta sekä kuljettajan vääntömomenttipyyntöä. Kerätyn datan perusteella moottorinohjainlaite määrittää ohjaussignaalit mm.

- kaasuläpälle
- tyhjäkäyntiventtiilille
- polttoainesuuttimille
- polttoainepumpulle
- sytytyspuolille
- muuttuvan venttiiliajoituksen solenoideille
- muuttuvapituuksisen imusarjan venttiilille
- lisäilmapumpulle
- polttoainetankin huohotuksen solenoidille
- jäähdyttimen puhaltimelle. [5, s. 6].

System Components: Inputs - Processing - Outputs



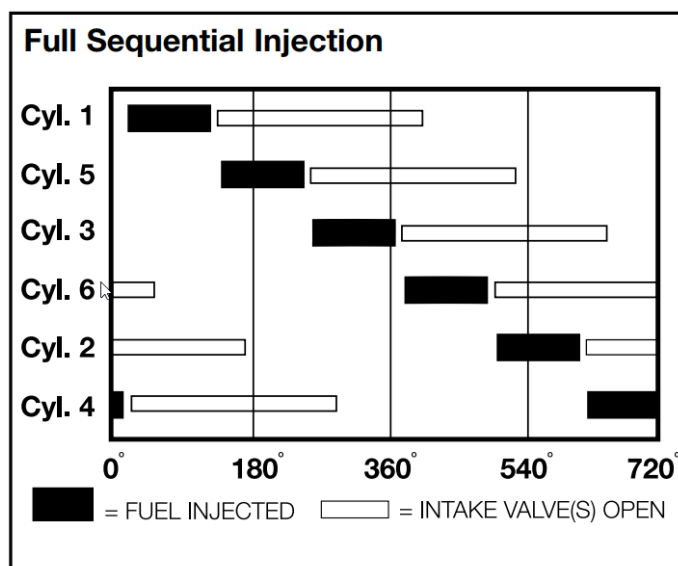
6

ST055 MS42/MS43

Kuva 1. Siemens MS43 -moottorinohjainlaitteen sisään- ja ulostulot [5, s. 6]

2.2 Sylinterintäytös

Kohdeajoneuvon moottori on varustettu sekventiaalisella polttoaineen monipistesuihkutuksella (SPFI), jossa jokainen polttoainesuutin toimii muista riippumattomasti moottorinohjainlaitteen määrittämien ohjaussignaalien mukaisesti (kuva 2). Polttoaineensuihkutus tapahtuu juuri ennen imuventtiilin avautumista tai sen avautumishetkellä.



Kuva 2. Siemens MS43:n sekventiaalinen polttoaineensuihkutus [5, s. 40]

Imutahdin aikana polttoainesuuttimen imukanavaan suihkuttama polttoaine sekoittuu imuilman kanssa muodostaen suurimman osan sylinterintäytöksestä. Sisäinen EGR eli imu- ja pakoventtiilin samanaikaisen aukiolon aiheuttama pakokaasun takaisinkierrätys vaikuttaa sylinterintäytökseen, ja sen seurauksena edellisen palotapahtuman jäännöskaasuja on myös osana seuraavaa sylinterintäytöstä. Näiden lisäksi sylinterintäytökseen kuuluvat myös kampikammion huohotuskaasut, joita syntyy polttomoottorin normaalin käymisen seurauksena, kun palotapahtuman aikana palokaasuja pääsee ohipuhalluksena männänrenkaiden ohi kampikammioon. Ajoittain sylinterintäytökseen sisältyy myös polttoainesäiliön haihtuvat kaasut. Kaasut varastoidaan aktiivihilissäiliöön, josta ne ajoittain imetään osaksi sylinterintäytöstä. Järjestelmä tunnetaan yleisesti nimellä EVAP. [6, s. 12–13, s. 319.]

Sylinterintäytöksen hallintaan moottorinohjainlaite käyttää eri toimilaitteita, kuten mm. kaasuläppää, polttoainesuuttimia sekä muuttuvan venttiiliajoituksen solenoideja.

2.3 Venttiiliajoitus

Muuttuva venttiilien ajoitus eli VVT tarkoittaa imu- ja pakoventtiilien aukioloajan ja -ajankohdan hallintaa muuttamalla venttiilien nostoa tai aukeamisen ja sulkeutumisen ajankohtaa reaaliaikaisesti moottorin käydessä. Muuttamalla venttiiliajoitusta voidaan vaikuttaa moottorin kaasunvaihtoon suorituskyvyn parantamiseksi, pakokaasupäästöjen pienentämiseksi ja polttoainetalouden parantamiseksi. Imuventtiilien hallinnalla on saavutettavissa merkittävämpiä muutoksia moottorin toimintaan pakoventtiilien hallintaan verrattuna. Tästä syystä venttiiliajoituksen hallinta on toteutettu joissain moottoreissa ainoastaan imupuolelle.

Matalilla moottorin pyörintänopeuksilla ja tyhjäkäynnillä imu- ja pakoventtiilien samanaikaista aukioloa eli overlapia voidaan vähentää myöhäistämällä imuventtiilin aukeamisen ajankohtaa. Näin sisäinen EGR vähenee, jäännöskaasujen osuus sylinterintäytöksessä pienentyy ja moottori käy tasaisemmin. [6, s. 36.]

Moottorin pyörintänopeuksien ollessa keskialueella, aikaistamalla imuventtiilin sulkeutumisen ajankohtaa venttiilien overlap lisääntyy. Tämän seurauksena sylinterissä ylöspäin liikkuva mäntä työntää osan edellisen palotapahtuman jäännöskaasuista imusarjaan, jolloin jäännöskaasut muodostavat suuremman osan seuraavasta sylinterintäytöksestä. Jäännöskaasut madaltavat palotapahtuman lämpötilaa ja sitä kautta typen oksidien muodostumista. Tämän lisäksi kaasuläppää voidaan avata enemmän, mikä pienentää moottorin pumppaushäviöitä ja sen seurauksena myös polttoaineenkulutusta. [6, s. 37.]

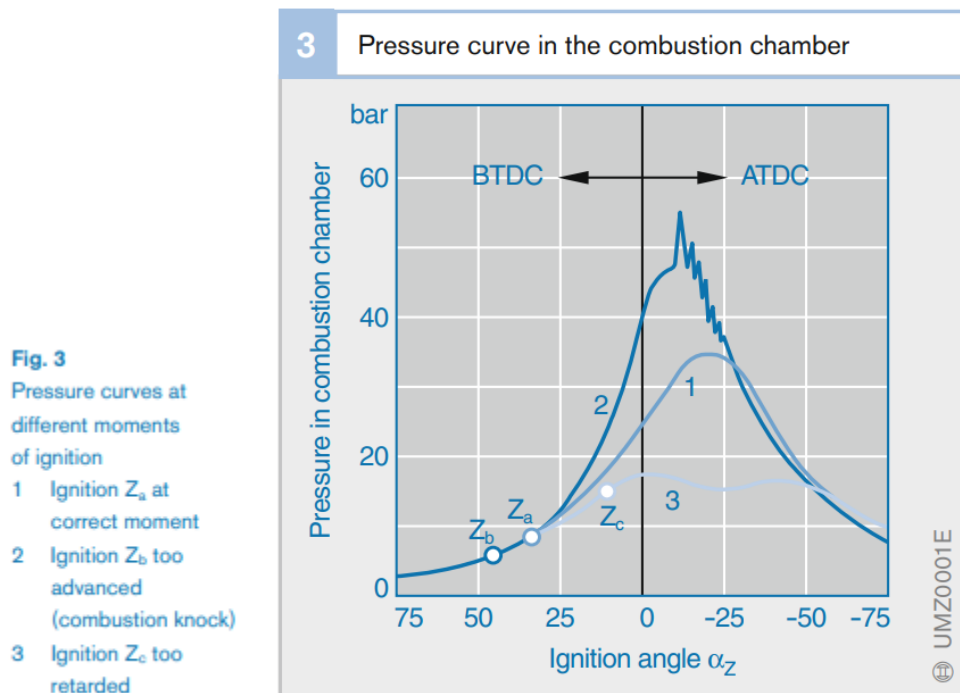
Suurilla moottorin pyörintänopeuksilla imuventtiilin aukeamisajankohtaa myöhäistämällä saadaan aikaiseksi suurempi paine-ero sylinterin ja imusarjan välille, mikä tehostaa sylinterintäytöksen muodostumista imuventtiilin avautuessa [6, s. 36].

2.4 Sytytysennakko ja nakutuksen hallinta

Kipinäsytytteisen polttomoottorin eli SI-moottorin palotapahtuma saa alkunsa sytytystulpan kärkivälissä tapahtuvasta valokaaresta eli kipinästä. Kipinän tulee olla riittävän voimakas polttoaineen ja ilman seoksen sytyttämiseksi. Lisäksi seoksen polttoaine-ilmasuhteen tulee olla oikea, jotta kipinä voi sytyttää sen onnistuneesti. Palotapahtuma voi saada alkunsa myös esimerkiksi palotilassa riittävän kuumana hehkuvasta karstapartikkelista, mikä ei ole toivottavaa, sillä tapahtuma voi johtaa nakuttavaan palamiseen. On myös mahdollista, että polttoaine-ilmasuhteos saavuttaa puristustahdilla itsesyttymislämpötilan, mikä johtaa nakuttavaan palamiseen.

Moottorin ihanteellisen ja tasaisen käynnin saavuttamiseksi moottorinohjainlaite hallitsee sytytystapahtuman ajankohtaa vallitsevien käyntiolosuhteiden ja käytetyn polttoaineen mukaisesti. Muuttamalla sytytysennakkoa eli hetkeä, jolloin kipinä sytyttää seoksen, voidaan saavuttaa paras hyötysuhde kasvattamalla palotapahtuman painehuippu mahdollisimman suureksi ilman nakuttavan palamisen esiintymistä.

Sytytysennakko on olennaisesti sidoksissa nakutuksen hallintaan, sillä sytytyksen ajankohtaa myöhäistämällä voidaan ehkäistä nakuttavaa palamista. Nakuttava palaminen tarkoittaa seoksen hallitsematonta palamista palotilassa liekkirintaman ulkopuolella ja on haitallista kipinäsytytteiselle moottorille, sillä se aiheuttaa suuria paineiskuja ja lämpökuormia moottorin eri komponentteihin, joita ei ole suunniteltu kestävään tällaisiin kuormiin. Jos sytytys tapahtuu liian aikaisin ennen yläkuolokohtaa (BTDC), myös sylinteripaineen huippu saavutetaan liian aikaisin yläkuolokohtaan nähden, mikä johtaa paineiskuihin nakuttavan palamisen seurauksena (kuva 3 kuvaaja 2). Haitallinen nakutus johtaa jatkuessaan moottorivaurioon, minkä vuoksi sitä tulee välttää. [6, s. 22, s. 154.]



Kuva 3. Sylinteripaine suhteessa sytytysajankohtaan [6, s. 154]

Bensiiniä polttoaineena käyttävät, erityisesti ahdetut moottorit ovat usein sytytysennakon kannalta nakutusrajoitteisia, mikä tarkoittaa, että nakuttavaa palamista alkaa esiintyä, ennen kuin saavutettaisiin sytytysennakko, jolla saavutetaan MBT eli suurin vääntömomentti [7]. Tällaisissa tapauksissa moottori säädetään käymään nakutusrajalla hyötysuhteen maksimoimiseksi. Jotta moottori voi turvallisesti käydä nakutusrajalla ilman nakuttavan palamisen aiheuttamia haittavaikutuksia, ovat moottorinohjausjärjestelmät usein varustettu nakutustunnistimella. Pietsosähköinen nakutustunnistin tuottaa moottorin värähtelyn perusteella signaalin moottorinohjainlaitteelle. Kun asetettu signaalin raja-arvo ylitetään, ohjainlaite myöhäistää sytytyksen ajankohtaa, jotta sylinteripaineen huippu saavutetaan yläkuolokohdan jälkeen (ATDC) ilman nakuttavan palamisen aiheuttamia paineiskuja (kuva 2 kuvaaja 1).

Jos sytytysennakkoa myöhäistetään niin, että palamisen painehuippu saavutetaan liian myöhään yläkuolokohdan jälkeen (ATDC), sylinterissä alaspäin liikkuva mäntä pakenee palotapahtuman liekkirintamaa ja moottorin

tuottama hyötyteho laskee huomattavasti palamisen painehuipun laskemisen seurauksena (kuva 3 kuvaaja 3). [6, s. 154.]

3 Polttoaineiden ominaisuudet

E85-korkeaseospolttoaine on elintarviketeollisuuden jätteistä valmistettu biopolttoaine, jota voidaan käyttää flexfuel-ajoneuvoissa (FFV) ja tietyin edellytyksin myös bensiinikäyttöisissä ajoneuvoissa [8]. E85-polttoaine sisältää 70–85 % etanolia ja 15–30 % bensiiniä kausivaihtelusta riippuen, kun taas polttoainebenssiinissä etanolia on korkeintaan 10 % [9; 10]. Käytettäessä E85-polttoainetta polttoaineenkulutus on noin 30 prosenttia suurempi kuin käytettäessä bensiiniä johtuen polttoaineen erilaisista ominaisuuksista, kuten pienemmästä energiatihydestä [11]. Erot polttoaineiden ominaisuuksissa on syytä ymmärtää, jotta tehtyjen muutosten vaikutukset ovat tarkoituksenmukaisia.

3.1 Lämpöarvo

Polttoaineen sisältämä energia ilmaistaan lämpöarvon avulla. E85-polttoaineen lämpöarvo on pienempi kuin bensiinillä, eli se sisältää vähemmän energiaa kuin bensiini [12]. Lämpöarvo on E85-polttoaineella noin neljänneksen pienempi 95E10 bensiiniin verrattuna (taulukko 1) [13, s. 22]. Tällä E85-polttoaineen ominaisuudella on polttoainetaloudellisuutta heikentävä vaikutus. Lämpöarvon pienentymisellä on kuitenkin myös positiivinen vaikutus, sillä pienemmällä lämpöarvolla saavutetaan matalampi polttoaine-ilmaseoksen palolämpötila [14]. Lämpötilan lasku myös pienentää nakuttavan palamisen riskiä. Energiasisällön pienentymistä voidaan kompensoida hyödyntämällä etanolipolttoaineen muita ominaisuuksia, kuten korkeaa oktaanilukua.

3.2 Oktaaniluku

Yksi E85-polttoaineen eduista on sen korkea oktaaniluku eli puristuskestävyys. EN ISO 5164:2014 -standardin mukaisen E85-polttoaineen oktaaniluku (RON)

on vähintään 104 (taulukko 1) [12, s. 9]. Korkeampi oktaaniluku mahdollistaa palotapahtuman painehiipun kasvattamisen esimerkiksi sytytysennakkoa lisäämällä tai sylinteripainetta kasvattamalla ilman nakuttavan palamisen esiintymistä. Käytännössä sylinteripaineen kasvattaminen on mahdollista ahtamalla tai mekaanisesti moottorin puristussuhdetta kasvattamalla. Sylinteripaineen kasvattamisen seurauksena myös palamistapahtuman painehiippu kasvaa ja moottorin tuottama teho lisääntyy.

3.3 Stoikiometrinen seossuhde

Teoreettista optimaalista polttoaine-ilmasuhdetta, jolla sylinteritäytöksen sisältämä happi saadaan hyödynnettyä palotapahtumassa, kutsutaan stoikiometriseksi seosuhteeksi. Bensiinipolttoaineella tämä suhde on AFR-arvona 14,7:1, joka tarkoittaa 14,7 kiloa ilmaa yhtä polttoainekiloa kohden [6, s. 11]. Vastaavasti E85-korkeaseosetanolipolttoaineelle stoikiometrinen AFR-arvo on noin 9,7:1 riippuen kausivaihtelun aiheuttamasta pitoisuuksien vaihteluista [15]. Seos voidaan ilmaista myös polttoaineesta riippumattomana ilmakertoimena eli lambda-arvona, jolloin stoikiometrinen seos on lambda 1,0 [6, s. 10].

Etanolin sisältämän hapen määrä on 35 massaprosenttia, minkä vuoksi stoikiometriseen palamiseen tarvittava ilmamäärä etanolilla on pienempi kuin bensiinillä [16, s. 9]. Käytännössä tämä näkyy tarpeena lisätä polttoaineensyöttöä stoikiometrisen polttoaine-ilmasuhteen säilyttämiseksi, kun polttoaine muutetaan bensiinistä E85-polttoaineeseen.

3.4 Höyrystymisominaisuudet

Etanolin höyrinpaine on pienempi kuin bensiinillä. Toisin sanoen etanoli vaatii bensiiniä korkeamman lämpötilan höyrystyäkseen. [16, s. 10.] Höyrinpaine kertoo aineen höyrystymisherkyydestä nesteestä kaasuksi ympäröivään ilmaan. Tämä on yksi etanolipolttoaineen epäedullisista ominaisuuksista verrattuna bensiiniin, sillä käytännössä tämä tarkoittaa heikentyneitä

kylmäkäynnistys- ja kylmäkäyntiominaisuuksia. Korkeaseosetanoli polttoaine sisältää 15–30 % bensiiniä vuodenajan mukaisesta kausivaihtelusta riippuen. Talvikausina bensiinin osuutta korkeaseosetanoli polttoaineessa lisätään juuri kylmäkäynnistysominaisuuksien parantamiseksi. [16, s. 9.]

3.5 Palamisnopeus

Etanolipolttoaineella seoksen palamisen liekkirintaman nopeus stoikiometrisen seoksen läheisyydessä on suurempi kuin bensiiniä käytettäessä [16, s. 10]. Yleinen käsitys etanolipolttoaineen käyttämisen mahdollistamasta sytytysennakon lisäämisestä ja sen seurauksena saavutettavasta tehonlisäyksestä on osittain virheellinen, sillä liekkirintaman suuremmasta etenemisnopeudesta johtuen pienillä kuormilla sytytysennakkoa saattaa, vastoin käsitystä, joutua jopa vähentämään, eli sytytyksen ajankohtaa myöhäistämään huipputehon saavuttamiseksi. Moottorin nakutusrajoitteisuus on usein syynä tälle väärinkäsitykselle. Kun kyseessä on nakutusrajoitteinen moottori, joka muutetaan käyttämään E85-polttoainetta, saavutetaan sytytysennakkoa lisäämällä, etenkin suuremmilla kuormilla, suurempi vääntömomentti nakutusrajan muuttuessa.

Etanolin korkeamman sytytysviivästymän ja liekkirintaman suuremman nopeuden aiheuttaman yhteisvaikutuksen seurauksena toimiva sytytysennakko on bensiinille ja E85-polttoaineelle samaa moottoria käytettäessä varsin samanlainen. Sytytysennakkoa edelleen E85-polttoaineelle optimoitaessa eroja kuitenkin muodostuu, kun nakutusrajoitteisen moottorin sytytysennakkoa on mahdollista lisätä.

3.6 Kosteus ja syövyttävyys

Toisin kuin hydrofobinen eli vettä hylkivä bensiini etanoli on yleisimpien jarrunesteiden tavoin hygroskooppinen aine. Tämä tarkoittaa, että se kykenee sitomaan ympäristöstä kosteutta itseensä. E85-korkeaseosetanoli polttoaine on hyvin vesiliukoinen korkean etanolipitoisuutensa vuoksi, joten faasiin

erottuminen polttoainesäiliössä ei muodostu ongelmaksi E85:n kanssa [17, s. 21].

Paljon väitelty aihe etanolia sisältävien polttoaineiden syövyttävyydestä johtuneekin juuri etanolin hygroskooppisesta ominaisuudesta. Etanoli itsessään ei ole juurikaan bensiiniä syövyttävämpää, mutta mikäli siihen sekoittuu riittävästi vettä, sen korrodoivat ominaisuudet lisääntyvät. Etanolia ei tule myöskään käsittää väärin metanolina, joka on etanolia syövyttävämpi alkoholi ja jota käytetään myös polttoaineena. E85-polttoaineen vesi- ja metanolipitoisuudelle on asetettu rajat EN 15293 -standardin mukaisesti korrosio-ongelmien välttämiseksi (taulukko 1) [12, s. 9]. Lisäksi polttoaineena käytettävään etanoliin suositellaan EN 15376 -standardissa lisättävien lisäaineita korroosion estämiseksi [18, s. 5].

3.7 Viskositeetti

E85-polttoaineen viskositeetti on hieman suurempi verrattuna bensiiniin, eli se ei ole yhtä juoksevaa kuin bensiini (taulukko 1) [9, s. 9]. Viskositeetin kasvaminen on osatekijä polttoaineen energiasisällön pientymisen lisäksi, joiden vuoksi polttoaineensyöttöä on lisättävä. Viskositeetin muutos tulee ottaa huomioon polttoaineensyöttökapasiteetin varmistamisessa. Kapasiteetti voi muodostua rajoittavaksi tekijäksi erityisesti virityskäytössä, jolloin lähes koko polttoaineensyöttöjärjestelmä saattaa vaatia päivittämistä. Tavanomaisessa käytössä viskositeetin kasvaminen ei kuitenkaan lähtökohtaisesti aiheuta toimenpiteitä polttoainejärjestelmään.

Taulukko 1. Polttoaineiden ominaisuudet [9, s. 8; 10, s. 9; 13, s. 22; 16, s. 10]

| | E85 | 95E10 | 98E5 |
|---------------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| Bensiini | 15–30 % | ≤ 78 % | ≤ 78 % |
| Etanoli | 70–85 % | ≤ 10 % | max 5,0 % |
| Energiasisältö | ~ 22,7 MJ/l | ~ 30,9 MJ/l | - |
| Oktaaniluku (RON) | > 104 | min 95,0 | min 98,0 |
| Stoikiometrinen seossuhde (AFR) | ~ 9,7:1 | 14,7:1 | 14,7:1 |
| Höyrynpaine | 35,0–80,0 kPa | 45,0–90,0 kPa | 45,0–90,0 kPa |
| Vesi | 0,200–0,400 p-% | - | - |
| Metanoli | < 0,30 % / max 1,0 % | < 3 % | < 3 % |
| Viskositeetti | < 2 mm ² /s | < 1 mm ² /s | < 1 mm ² /s |

4 Muutokset kohdeajoneuvoon

Kohdeajoneuvo on varustettu BMW:n M54B25-moottorilla, joka on iskutilavuudeltaan 2,5-litrainen vapaastihengittävä rivi-6-bensiinimoottori. Moottorinohjainlaitteena tälle toimii Siemensin valmistama MS43-ohjainlaite, joka on mahdollista ohjelmoida.

Jotta kohdeajoneuvo voi käyttää polttoaineenaan E85-polttoainetta, täytyy kiinnittää huomiota erityisesti ajoneuvon polttoainejärjestelmään ja arvioida tarvittavat muutostyöt sekä varmistaa riittävä polttoaineensyöttökapasiteetti. Nykyaikaisten bensiinijoneuvojen polttoainejärjestelmät kestävät etanolia lähtökohtaisesti hyvin, sillä ajoneuvot suunnitellaan käyttämään käyttövoimanaan ympäristödirektiivien tiukentuessa kasvavassa määrin polttoainetta, johon on lisätty biokomponentteja. Bensiinin tapauksessa lisättävänä biokomponenttina toimii etanoli. Kohdeajoneuvoon tehtiin myös muita muutostöitä moottorinohjauksen kalibroimisen mahdollistamiseksi.

Markkinoilla on tarjolla polttoainemuutoksen mahdollistavia muutossarjoja, jotka on usein varustettu polttoaineen etanolipitoisuuden tunnistavalla anturilla. Nämä

muutossarjat mahdollistavat sen, että ajoneuvo voi käyttää polttoaineenaan mitä tahansa etanolin ja bensiinin sekoitusta. Tällaisia ajoneuvoja kutsutaan flexfuel-ajoneuvoiksi (FFV). [16, s. 9.] Muutossarja kytketään ajoneuvon oman moottorinohjausjärjestelmän rinnalle, ja se muokkaa polttoainesuuttimien ohjauspulsseja polttoaineen sisältämän etanolipitoisuuden mukaan. Tällaisen muutossarjan asentaminen ei vaadi muutoksia moottorinohjauksen ohjelmistoon, mikä olisi kumonnut tämän projektin idean moottorinohjauksen kalibroimisesta itse, joten muutossarjaa ei tässä muutostyössä käytetty. Korkeaseosetanolipolttoaineen jakeluverkosto Etelä-Suomessa on myös riittävän laaja, jotta ajoneuvolla voidaan turvallisesti ajaa pelkällä korkeaseosetanolilla. Muutossarjat turvautuvat sytytysennakon osalta moottorinohjainlaitteen adaptiivisuuteen, ja ohjainlaitteesta riippuen saavutettu hyöty muutossarjalla saattaa jäädä hieman pienemmäksi kuin täysin E85-polttoaineelle optimoimalla.

4.1 Polttoainejärjestelmän muutokset

4.1.1 Polttoainesuuttimet

Jotta syttyvä polttoaineen ja ilman seos saadaan muodostettua, etanolipolttoainetta tulee saada sylinteriin etenkin kylmäkäynnistystilanteessa huomattavasti bensiiniä enemmän [16, s. 10]. Viskositeettinsa vuoksi etanoli myös virtaa hieman bensiiniä huonommin, joten yhteisvaikutuksena polttoainesuuttimien virtauskapasiteettia tulee kasvattaa suuremmaksi. Ajoneuvon alkuperäiset polttoainesuuttimet ovat virtauskapasiteetiltaan 225 cm³/min alkuperäisen polttoaineen paineensäätimen 3,5 bar:n polttoainepaineella. Alkuperäiset suuttimet korvattiin Bosch EV14 (0280158123) -suuttimilla, joiden virtauskapasiteetti on 677 cm³/min samalla 3,5 bar:n polttoainepaineella ja jotka soveltuvat käytettäväksi 85 % etanolia sisältävien polttoaineiden kanssa. [19; 6, s. 108.]

Suutinvalintaan vaikutti myös suunnitelma tulevaisuudessa mahdollisesti tapahtuvasta pakokaasuahdinten asentamisesta kohdeajoneuvoon. Suuttimien

virtauskapasiteetti mitoitettiin siten, että se on riittävä myös ahdetun moottorin vaatimuksille. Virtauskapasiteettia mitoitettaessa tulee huomioida myös se, ettei polttoainesuuttimen ohjauspulssin tulisi jatkuvasti ylittää 80 % aktivointipulssia. Kun pulssi ylittää 80 %, suutin ei välttämättä ehdi sulkeutua yksittäisten suihkutuskäyrien välillä täysin, mikä johtaa suuttimen suihkutusmäärän ja ohjauspulssin väliseen epälineaariseen käyttäytymiseen. Yli 80 % aktivointipulssi myös kuormittaa polttoainesuutinta suunniteltua enemmän ja lyhentää siten sen käyttöikää.

Valitut suuttimet ovat suihkutuskuvioiltaan alkuperäistä vastaavat, näin turvattiin polttoaineen ja ilman asianmukainen sekoittuminen imukanavassa. Jotta uudet suuttimet saatiin asennettua paikoilleen polttoainekiskoon, tuli niiden runkoon tehdä uudet sokkaurat noin 5 mm:n poikkeaman vuoksi. Kuvassa 4 oikeanpuoleinen suutin on muokattu sopivaksi, ja vasemmalla nähdään koskematon suutin.



Kuva 4. Polttoainesuuttimen sokkauran muokkaus (kuva: Sami Uutela)

4.1.2 Polttoainepumppu

Alkuperäinen polttoainepumppu on hiljattain uusittu vanhan lopetettua toimintansa. Samaa pumppua on käytetty myös iskuilavuudeltaan suuremmassa saman moottoriperheen kolmelitraisessa versiossa, M54B30-moottorissa, joten pumpun vaihtoa ei toistaiseksi nähty tarpeelliseksi eikä ajankohtaiseksi. Alkuperäisen polttoainepumpun virtauskapasiteetti on noin 130 l/h [20]. Tämä tulee pitää mielessä etenkin moottoria viritettäessä edelleen, sillä pumpun tuottama tilavuusvirta on pienempi kuin EV14-suuttimien kulutus suurimmalla 80 % ohjauspulssilla.

4.1.3 Polttoainesuodatin

Polttoainesuodatin vaihdettiin uuteen alkuperäistä vastaavaan suodattimeen ennakoivana huoltotoimenpiteenä. Kuvassa 5 oleva suodatinyksikkö sisältää myös polttoaineen paineensäätimen. Myös suodattimeen kiinnittyvät alkuperäiset polttoaineletkut vaihdettiin uusiin DIN 73379-1 -standardin mukaisiin, biopolttoaineita kestäviin letkuihin vuotojen välttämiseksi tulevaisuudessa.



Kuva 5. Uusi polttoainesuodatinyksikkö ja -letkut

4.2 Lokien kerääminen

Ajoneuvoon asennettiin lokien keräämiseksi seossuhdemittari, johon kytketty laajakaistainen lambdatunnistin mittaa pakokaasun happipitoisuutta. Tunnistin tuottaa pumppuvirran, josta määritetään lambda-arvo. Mittari käyttää lambda-arvoa tuottamansa polttoainekohtaisen AFR-arvon määrittämiseksi.

Seossuhdemittari tuottaa ulostulona myös analogisen 0–5 V:n signaalin, joka hyödynnettiin seossuhdelokien tallentamiseksi ja muuntamiseksi takaisin AFR- tai lambda-arvoksi seossuhdemittarin valmistajan toimittamien kaavojen mukaisesti (taulukko 2).

Seossuhdemittaria ei ole mahdollista konfiguroida näyttämään kuljettajalle muun polttoaineen kuin bensiinin AFR-arvoa, mikä tulee ottaa huomioon seossuhdetta mittarista tarkkailtaessa. Analogisignaalin voi kuitenkin muuntaa lokeja varten muun kuin bensiinin AFR-arvoksi lambda-arvon kautta. Tämän vuoksi polttoaineesta riippumattoman lambda-arvon käyttäminen olisi kaikkein yksiselitteisintä.

Lokien tallentaminen tapahtui TunerProRT-tietokoneohjelman avulla.

TunerProRT on moottorinohjainlaitteelta luetun binääritiedoston muokkaamiseen kehitetty sovellus, jonka avulla on myös mahdollista tallentaa ohjainlaitteen läpi kulkeva data ajon aikana. Kohdeajoneuvon anturidata tuotiin tietokoneelle USB-OBD2-kaapelilla.

Taulukko 2. Kaavat analogisignaalin muuntamiseen [21]

| 0 – 5 V:n analogisignaalin muuntokaavat | |
|---|-------------------------|
| AFR (benssiini) | $(2,3750 * X) + 7,3125$ |
| Lambda | $(0,1621 * X) + 0,4990$ |
| X = signaalijännite | |

Kohdeajoneuvoon asennettiin kalibrointitoimenpiteiden ajaksi peltipakosarjat, sillä alkuperäiset pakosarjat haluttiin säilyttää koskemattomina. Lisäksi haluttiin

välttyä alkuperäisiin pakosarjoihin integroitujen katalysaattorien vahingoittumiselta kalibrointitoimenpiteiden aikana.

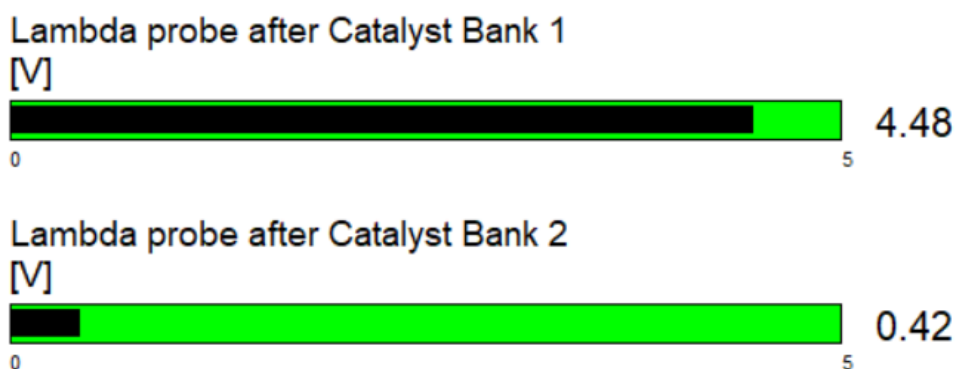
Asennetuista peltipakosarjoista toiseen muokattiin paikka laajakaistaiselle lambdatunnistimelle seossuhdemittaria varten (kuva 6). Laajakaistainen lambdatunnistin mittaa siis ainoastaan toisen lohkon sylinterien eli sylinterien 1–3 pakokaasujen happipitoisuutta. Mikäli moottorinohjaus olisi tarkoituksena kalibroida siten, että moottori tuottaisi suurimman mahdollisen tehon, tulisi myös toisen lohkon (sylinterit 4–6) pakosarjaan asentaa lambdatunnistin kummankin lohkon optimoimiseksi toisistaan riippumatta. Tätä ei nähty kuitenkaan välttämättömäksi polttoainekonversion suorittamiseksi. Lokien perusteella tehdyt muutokset tehtiin kummallekin lohkolle täysin yhtenevin menetelmin.



Kuva 6. Bosch LSU 4.9 -lambdatunnistin asennettuna

Ajoneuvon alkuperäisissä pakosarjoissa on kummassakin kaksi kapeakaistaista lambdatunnistinta, yksi ennen katalysaattoria ja toinen katalysaattorin jälkeen. Ensimmäinen tunnistin toimii sisääntulona moottorinohjaukselle sen toimiessa closed loop -toimintatilassa. Closed loop -toimintatilassa ECU ottaa huomioon lambdatunnistimen tuottaman signaalin takaisinkytkentänä ja korjaa polttoaineensyöttöä kertoimilla. Kertoimia kutsutaan lyhyt- (STFT) ja pitkäaikaisiksi (LTFT) lambdaintegraattoreiksi. Katalysaattorien jälkeiset tunnistimet valvovat katalysaattorien tarkoituksenmukaista toimintaa. Katalysaattorien poistamisen jälkeen niiden toimintaa ei ole enää tarpeen valvoa, joten jälkimmäiset lambdatunnistimet voitiin poistaa käytöstä.

Jälkimmäisten lambdatunnistimien käytöstä poisto jätti kaksi vapaata signaalin sisääntuloa moottorinohjainlaitteelle. Näistä toista käytettiin hyväksi seossuhdemittarin tuottaman 0–5 V:n analogisignaalin viemiseksi moottorinohjainlaitteelle. Vaikka ohjainlaite ei hyödynnä kyseistä signaalia mitenkään, sen vieminen ohjainlaitteelle poisti tarpeen käyttää erillistä lokienkeruulaitetta signaalin tallentamiseksi ajon aikana. Vaikka kapeakaistainen lambdatunnistin tuottaa suuruudeltaan vain 0–1 V:n jännitteen, kyseinen ohjainlaitteen sisääntulo kuitenkin sallii 0–5 V:n jännitesignaalin. Tämä voitiin havaita tarkastelemalla katalysaattorin jälkeisen lambdatunnistimien sisääntulojännitealueita diagnostiikkalaitteistolla (kuva 7). Kuvakaappauksen ottohetkellä lohkon 1 (Bank 1) sisääntuloon oli kytketty seossuhdemittain tuottama analogisignaali.



Kuva 7. Katalysaattorien jälkeisten lambdatunnistimien jännitealue

5 Muutokset moottorinohjainlaitteen ohjelmistoon

Kohdeajoneuvo on varustettu Siemensin valmistamalla MS43-moottorinohjainlaitteella, joka on varsin hyvin harrastajien tukema alusta. Mediawiki-pohjaisella MS4X Wiki -sivustolla on mm. avattu ohjainlaitteen käyttämiä logiikoita sekä määritelty ohjainlaitteen käyttämien karttojen ja parametrien sijainteja ohjainlaitteelta luetulla binääritiedostolla hyvin kattavasti.

Moottorinohjainlaitteen ohjelmistoon tehdyt muutokset kohdistuvat pääasiassa ohjelmiston kalibrointiosioon, joka on tiedostokooltaan 64 kilotavua. Tämä osio sisältää vakiot ja taulukot, joita ohjainlaite käyttää antureilta kerätyn datan perusteella toimilaitteiden ohjaussignaalien määrittämiseen. Kalibrointiosion taulukoihin ja vakioihin tehtävillä muutoksilla voidaan vaikuttaa mm. polttoainesuuttimen aukioloaikoihin sekä polttoainesuuttimen määrittämissä parametreihin. Nämä muutokset ovat avainasemassa polttoainemuutosta tehtäessä. [22.]

5.1 Valmistelut

Ennen muutosten tekemistä moottorinohjainlaitteen ohjelmistoon alkuperäinen täysi 512 kilotavun ohjelmisto luettiin ohjainlaitteen flash-muistista MS4X Dev Group Flasher -sovelluksella OBD2-pistokkeen kautta ja tallennettiin varmaan paikkaan muutosten palauttamiseksi ennalleen. Alkuperäisen ohjelmiston tallentaminen on erityisen tärkeää, mikäli kohdataan odottamattomia ongelmia ja halutaan palata aloituspisteeseen.

MS4X Dev Group Flasher -sovellus on kehitetty Siemens MS42 ja MS43 -moottorinohjainlaitteiden flash-muistin lukemiseen ja kirjoittamiseen sekä siihen olennaisesti liittyviin toimenpiteisiin, kuten tarkistussummien korjaamiseen. Tarkistussummia käytetään varmistamaan, ettei tiedosto ole korruptoitunut.

Parhaan hyödyn saavuttamiseksi moottorinohjainlaitteen ohjelmistoversio myös päivitettiin versiosta MS430037 viimeisimpään MS430069-ohjelmistoversioon

kirjoittamalla ohjainlaitteelle uudelleen koko 512 kilotavun binääritiedosto. Päivityksen avulla päästiin hyödyntämään kattavampia määrittystiedostoja, jotka osoittavat binääritiedostolta eri vakioiden ja taulukoiden sijainnin.

Koska kyseessä on alkuperäinen tehdasasenteinen moottorinohjainlaite, jonka tarkoituksena on moottorin optimaalisen käynnin lisäksi myös minimoida aiheutuneet pakokaasupäästöt, on sen kalibroiminen hieman jälkiasenteista moottorinohjausta monimutkaisempaa. Lukuisat eri toiminnot vaikuttavat mm. polttoaineensyöttöön ja tällä tavoin vääristävät kerättyjä lokeja kalibroitimienpiteiden aikana, joten tiettyjä toimintoja täytyy ainakin väliaikaisesti kytkeä pois tai estää toimimasta.

Jotta lambdaintegraattorit eivät vääristä polttoaineensyöttöön tehtyjen muutosten vaikutuksia AFR-lokeihin, moottorinohjainlaitteen meneminen closed loop -toimintatilaan estettiin kalibroitimienpiteiden ajaksi nostamalla jäähdytysnesteen vähimmäislämpötilaa closed loop -toimintatilan aktivoitumiseksi tavoittamattoman korkealle. Lisäksi katalysaattorien lämmitystoiminto ja ylikuumentumissuojatoiminto kytkettiin pois käytöstä. [22.]

5.2 Polttoainesuuttimien parametrit

Polttoainesuuttimien latenssiaika eli aukeamiseen kulunut aika muuttuu, kun suuttimet vaihdetaan, joten latenssiaikaan liittyviä määrittämissä on myös syytä muuttaa moottorinohjainlaitteen parametroinnissa. Latenssiaika on vahvasti sidoksissa akkujännitteeseen: mitä matalampi akkujännite on, sitä kauemmin suuttimen aukeaminen täysin kestää, mikä vaikuttaa välittömästi tietyllä hetkellä vaadittuun suuttimen kokonaisaukioloaikaan. Tästä syystä moottorinohjaus kompensoi akkujännitteen vaihteluita suuttimen aktivointipulssien määrittämisessä taulukon 3 mukaisesti. [5.]

Asennetuille Bosch EV14 -suuttimille ei ollut saatavilla virallisia parametreja latenssiajalle tai sen kompensatiolle, mutta MS4X Wiki -sivustolta löytyy sivuston kehittäjäjäsenten määrittämät arvot, joita hyödynnettiin parametrien

asettamisessa ECU:n kalibrointiosioon. Polttoainesuuttimien vähimmäisaukioloajaksi asetettiin 0,160 ms, ja polttoainesuuttimien latenssiaikakompensaatio taulukon 3 mukaisesti. [19.]

Taulukko 3. Polttoainesuuttimen latenssiajan kompensaatio [19]

| Akkujännite (V) | Latenssiaika (ms) |
|-----------------|-------------------|
| 0.0 | 3.330 |
| 6.0 | 3.330 |
| 8.0 | 2.020 |
| 10.0 | 1.250 |
| 12.0 | 0.860 |
| 14.0 | 0.540 |
| 16.0 | 0.350 |
| 25.0 | 0.030 |

5.3 Polttoaineensyöttökarttojen muutokset

Moottorinohjainlaitteelle on määritetty polttoaineensyötön peruskartat moottorikonfiguraation perusteella. Kartat ovat kolmiulotteisia taulukoita (kuva 8; kuva 9), joiden soluissa olevia arvoja moottorinohjaus käyttää toimilaitteiden ohjaussignaalien määrittämiseksi eri käyntitilanteissa. Kuvassa 8 on polttoainekartta, jonka X-akselilla on moottorin pyörintänopeus (rpm), Y-akselilla moottorin kuorma (mg/stk) ja Z-akselilla polttoainesuuttimen aukioloaika (ms). Sarjavalmisteiset ajoneuvot päätyvät usein hyvin erilaisiin käyttöolosuhteisiin markkina-alueesta riippuen, joten näitä peruskarttoja korjataan monilla erilaisilla kertoimilla käyntitilanteen ja olosuhteiden mukaisesti.

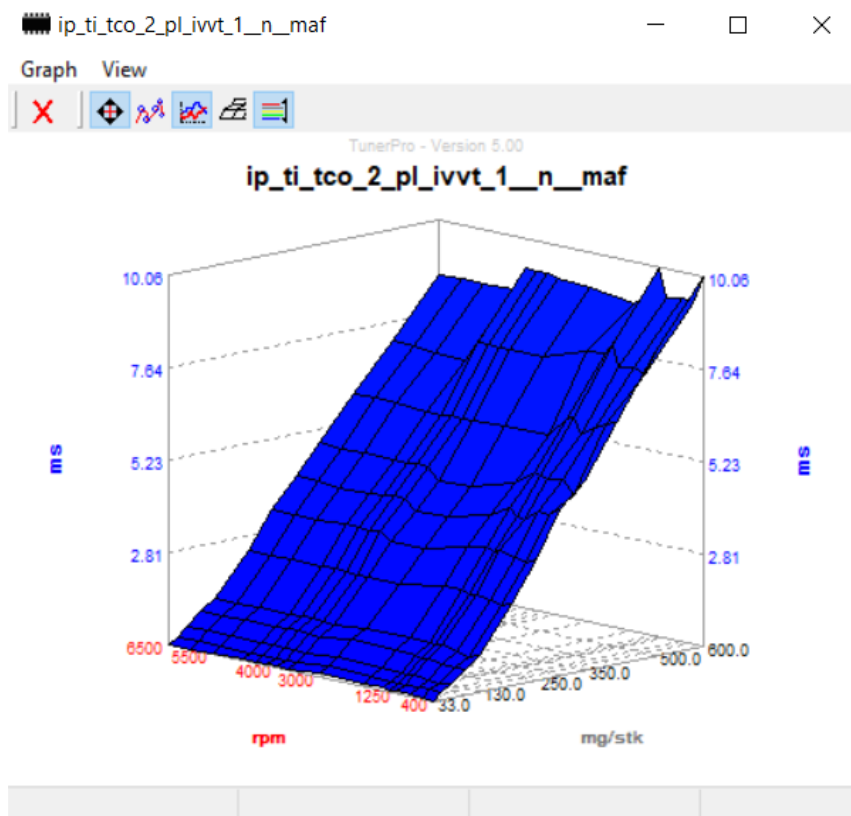
ip_ti_tco_2_pl_ivvt_1_n_maf

Function: Multiply Value: 1.1 Execute

| | 33.0 | 50.0 | 70.0 | 100.0 | 130.0 | 200.0 | 250.0 | 300.0 | 350.0 | 420.0 | 500.0 | 600.0 |
|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|
| 400 | 0.395 | 0.560 | 0.747 | 1.067 | 1.349 | 2.496 | 3.531 | 4.715 | 5.328 | 6.699 | 8.368 | 10.043 |
| 650 | 0.437 | 0.581 | 0.699 | 1.024 | 1.243 | 2.421 | 3.392 | 4.533 | 4.933 | 6.581 | 7.707 | 9.301 |
| 900 | 0.464 | 0.592 | 0.747 | 1.067 | 1.317 | 2.469 | 3.483 | 4.576 | 5.253 | 6.421 | 7.824 | 9.392 |
| 1250 | 0.443 | 0.560 | 0.768 | 1.125 | 1.440 | 2.539 | 3.589 | 4.256 | 5.179 | 6.160 | 7.728 | 9.285 |
| 1400 | 0.437 | 0.549 | 0.757 | 1.093 | 1.392 | 2.507 | 3.499 | 4.309 | 5.232 | 6.619 | 8.293 | 10.059 |
| 1550 | 0.453 | 0.571 | 0.773 | 1.141 | 1.413 | 2.597 | 3.600 | 4.507 | 5.307 | 6.523 | 8.037 | 9.456 |
| 2000 | 0.459 | 0.587 | 0.789 | 1.152 | 1.445 | 2.587 | 3.488 | 4.187 | 4.907 | 6.000 | 7.952 | 8.981 |
| 3000 | 0.475 | 0.619 | 0.837 | 1.211 | 1.397 | 2.384 | 3.216 | 3.899 | 4.592 | 5.973 | 7.573 | 9.163 |
| 3750 | 0.416 | 0.533 | 0.747 | 1.077 | 1.333 | 2.384 | 3.189 | 3.883 | 4.555 | 5.957 | 7.573 | 9.216 |
| 4000 | 0.427 | 0.560 | 0.773 | 1.099 | 1.371 | 2.400 | 3.419 | 4.144 | 4.837 | 5.947 | 7.595 | 9.289 |
| 4250 | 0.432 | 0.544 | 0.763 | 1.141 | 1.381 | 2.427 | 3.365 | 4.149 | 4.891 | 5.973 | 7.595 | 9.269 |
| 4500 | 0.427 | 0.544 | 0.763 | 1.109 | 1.381 | 2.443 | 3.387 | 4.107 | 4.832 | 5.904 | 7.595 | 9.301 |
| 4800 | 0.427 | 0.544 | 0.752 | 1.104 | 1.360 | 2.443 | 3.419 | 4.091 | 4.821 | 5.904 | 7.083 | 8.651 |
| 5500 | 0.395 | 0.560 | 0.763 | 1.131 | 1.360 | 2.443 | 3.365 | 4.064 | 4.869 | 5.963 | 7.083 | 8.651 |
| 6000 | 0.395 | 0.571 | 0.773 | 1.099 | 1.360 | 2.427 | 3.371 | 4.128 | 4.848 | 5.995 | 7.152 | 8.651 |
| 6500 | 0.395 | 0.560 | 0.784 | 1.131 | 1.365 | 2.453 | 3.365 | 4.128 | 4.885 | 5.963 | 7.184 | 8.651 |

Sel Range: 0xD9E4->DA95, Sel Count: 2, Min: 0.395, Max: 1.397, Avg: 0.896

Kuva 8. TunerProRT, polttoainekartta taulukkona



Kuva 9. TunerProRT, polttoainekartta esitettyinä graafisesti

Kohdeajoneuvo on alun perin suunniteltu käyttämään polttoaineenaan ainoastaan bensiiniä, jonka etanolipitoisuus on korkeintaan 10 %. Jotta moottori saatiin käymään E85-polttoaineella, tuli moottorinohjauksen polttoaineensyöttökarttoja muokata polttoaineen ominaisuuksien muutosten ottamiseksi huomioon.

Tilavuusvirraltaan suurempien polttoainesuuttimien asentamisen jälkeen polttoainekartat tuli skaalata ensin polttoainesuuttimien virtauseron mukaisesti, jotta suihkutuskäytöt eivät radikaalisti muuttuneet ja peruskartat saatiin kutakuinkin kohdalleen. Suuttimien virtauskapasiteeteista laskettua suhdelukua k käytettiin kertoimena alkuperäisten karttojen skaalaamiseen.

$$k = \frac{225 \text{ cm}^3/\text{min}}{677 \text{ cm}^3/\text{min}} \approx 0,332$$

Kerrointa käytettiin seuraavien polttoainekarttojen skaalaamiseen:

- ip_tipr_cst__tco – Käynnistystä edeltävä suihkutuspulssi
- ip_ti_cst__n__tco – Käynnistysenaikainen suihkutuskäyttö
- ip_tib__n__maf – Suihkutusaika VANOS-vian ollessa aktiivinen
- ip_ti_tco_1_is_ivvt__n__maf – Suihkutusaika, tyhjäkäynti, kylmä moottori
- ip_ti_tco_1_pl_ivvt_1__n__maf – Suihkutusaika, osakuormitus, kylmä moottori, sylinterilohko 1
- ip_ti_tco_1_pl_ivvt_2__n__maf – Suihkutusaika, osakuormitus, kylmä moottori, sylinterilohko 2
- ip_ti_tco_2_is_ivvt__n__maf – Suihkutusaika, tyhjäkäynti, lämmin moottori
- ip_ti_tco_2_pl_ivvt_1__n__maf – Suihkutusaika, osakuormitus, lämmin moottori, sylinterilohko 1
- ip_ti_tco_2_pl_ivvt_2__n__maf – Suihkutusaika, osakuormitus, lämmin moottori, sylinterilohko 2
- ip_ti_slow_wf_thd_min__tco – Kiihdytysrikkastus, hidas
- ip_ti_fast_wf_thd_min__tco – Kiihdytysrikkastus, nopea. [22.]

Suuttimien virtauskuvaajat eivät kuitenkaan ole koko alueeltaan lineaariset, jolloin skaalaamalla saadut kartat toimivat vain lähtökohtana tuleville muutoksille. Pienillä suuttimen aukioloajoilla suihkutettu polttoainemäärä ei käyttäydy lineaarisesti ohjauspulssiin nähden, joten tarkempia kalibrointitoimenpiteitä on syytä tehdä.

Juuri ennen E85-polttoaineen tankkaamista polttoainekartat skaalattiin vielä uudelleen polttoaineenvaihdoksen huomioon ottamiseksi. Suhdelukuna skaalaamiseen käytettiin kerrointa 1,35. Kerroin arvioitiin polttoaineen ominaisuuksien muutosten perusteella mm. energiasisällön pientymisestä ja viskositeetin kasvamisesta. Skaalaamisen jälkeen on jälleen tarpeen tehdä tarkempia kalibrointitoimenpiteitä tallennettujen lokien pohjalta.

5.4 Sytytysennakon optimointi

Kohdeajoneuvon kalibrointitoimenpiteitä ei suoritettu alustadynamometrissä, mikä olisi ollut etenkin sytytysennakon optimoimisen kannalta käytännössä välttämätöntä, kun polttoaineena käytetään E85-polttoainetta. Paras vaihtoehto myös bensiiniä polttoaineena käyttävän moottorin sytytysennakon optimoimiseksi on kalibroida sytytysennakko parhaan tehon mukaan alustadynamometrissä. Kuitenkin bensiiniä polttoaineena käytettäessä sytytysennakon optimoimiseksi ilman alustadynamometriä voidaan tulkita nakutustunnistimien tuottamaa signaalia. Mikäli kyseessä oleva moottori on nakutusrajoitteinen, kuten etenkin ahdetut bensiinimoottorit usein ovat, voidaan optimaalisen sytytysennakon olettaa sijaitsevan nakutusrajalla.

Korkeaseosetanolin paremman puristuskestävyyden vuoksi nakutusraja muuttuu, eikä täten nakutustunnistimien signaalia voida samalla tavalla hyödyntää. Nakuttavan palamisen tuottama värähtely myös muuttuu, kun polttoaine vaihdetaan, minkä vuoksi nakutustunnistimen tuottamaa signaalia ei voida yhtä luotettavasti tulkita. Edellä mainituista syistä juuri korkeaseosetanolia käytettäessä MBT:n löytäminen ja sytytysennakon optimoiminen ilman alustadynamometriä on erityisen vaikeaa. [7.]

Etanolipolttoaineen suurempi sytytysviivästymä ja liekkirintaman nopeus vaikuttavat kumpikin osaltaan sytytyksen optimaaliseen ajankohtaan. Sytytysviivästymän ja liekkirintaman nopeuden muutosten yhteisvaikutuksena optimaalinen sytytysennakko on bensiinillä ja E85-polttoaineella melko lähellä toisiaan. Tähän perustunee myös se, ettei suurin osa markkinoilla olevista etanolimuutossarjoista vaikuta sytytysennakkoon vaan turvautuu alkuperäisen moottorinohjainlaitteen kykyyn adaptoitua. Näistä edellä mainituista syistä kohdeajoneuvon sytytyskarttoihin ei toistaiseksi tehty muutoksia.

6 Polttoaineensyöttökarttojen kalibroiminen

Tavoitteena polttoainekarttojen kalibroimisessa on saavuttaa optimaalinen polttoaine-ilmasuhde eri käyttilanteissa. Lähtökohtaisesti tämä tarkoittaa stoikiometristä seossuhdetta, mutta ajoittain siihen pyrkiminen ei ole tarkoituksenmukaista. Esimerkiksi suurilla moottorin kuormituksilla seosta tulee rikastaa stoikiometrisestä. Näin varmistetaan, että suurin mahdollinen osa sylinterintäytöksen sisältämästä hapesta tulee hyödynnetyksi palotapahtumassa. Lisäksi seoksen rikastaminen hidastaa palamisen nopeutta ja seurauksena palamisen painehuippu saavutetaan hieman myöhemmin, mikä puolestaan madaltaa nakuttavan palamisen mahdollisuutta [23].

Polttoaineensyöttökarttoihin tehtiin kohdennettuja muutoksia seossuhdemittarin analogisignaalista tallennettujen AFR-lokien pohjalta. Kohdeajoneuvoa koeajettiin tavoitellen tiettyjä moottorin kuormitusalueita ja pyörintänopeuksia, joita oli tarkoituksena kyseisellä hetkellä kalibroida. Haluttujen kuormitusalueiden saavuttamiseksi hyödynnettiin teiden korkeuseroja sekä ajoneuvon jarruja. Lokien analysointi ja kalibrointitoimenpiteet suoritettiin ajosuorituksen jälkeen, sillä alkuperäinen moottorinohjaus ei mahdollista muutosten tekemistä ohjelmistoon reaaliaikaisesti ajon aikana, kuten jälkiasenteisten moottorinohjausten tapauksessa on usein mahdollista tehdä.

6.1 Lokien analysointi

Optimaalisen seossuhteen saavuttamiseksi moottorin eri pyörintänopeuksilla ja kuormituksilla analysoitiin tallennettuja lokeja. TunerProRT-sovelluksella tallennettiin moottorinohjainlaitteen läpi kulkeva data ajon aikana.

Polttoainekarttojen optimoinnin kannalta merkittävimmät tallennettavat arvot ovat moottorin pyörintänopeus (RPM), moottorin kuorma (Mg/Stk) sekä AFR-arvo (kuva 10).

Apuna lokien analysoinnissa käytettiin internetistä saatavilla olevaa aputaulukkoa, joka laskee prosentuaalisen virheen jokaiselle solulle asetetun AFR-tavoitteen mukaan (Target AFR, kuva 10). Taulukko on laadittu bensiinin AFR-arvolle, mutta tällä ei ole käytännössä vaikutusta lopputulokseen, vaikka polttoaineena käytettäisiin E85-polttoainetta, kun myös tallennettu AFR-arvo on samassa muodossa eli bensiinin AFR-arvona.

| Input AFR | | | | | | | | | | | | | | Input history average | | | | | | | | | | | | | |
|----------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|-------|--|-----------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|------|------|------|--|
| Engine Load (Mg/Stk) | | | | | | | | | | | | | | Engine Load (Mg/Stk) | | | | | | | | | | | | | |
| | 75 | 125 | 200 | 300 | 400 | 500 | 600 | 700 | 800 | 1000 | 1200 | 1389 | | 75 | 125 | 200 | 300 | 400 | 500 | 600 | 700 | 800 | 1000 | 1200 | 1389 | | |
| 600 | 14.08 | 14.57 | 14.36 | 14.60 | 14.77 | 14.84 | | | 14.96 | | | | | 1894 | 723 | 29 | 6 | 3 | 5 | | | | | | 2 | | |
| 1000 | 14.02 | 15.05 | 14.40 | 14.40 | 14.34 | 14.77 | | | | | | 14.73 | | 326 | 263 | 96 | 4 | 1 | 2 | | | | | | | 1 | |
| 1200 | 14.80 | 14.97 | 14.81 | 15.10 | 12.39 | 15.18 | | | | | | | | 265 | 610 | 116 | 37 | 3 | 1 | | | | | | | | |
| 1500 | 14.47 | 14.67 | 14.46 | 14.93 | 11.79 | | | | | | | | | 156 | 427 | 123 | 24 | 2 | | | | | | | | | |
| 1600 | 15.24 | 14.64 | 14.44 | 13.90 | 12.46 | 15.86 | | | | | | 14.70 | | 1233 | 755 | 499 | 87 | 11 | 3 | | | | | | | 1 | |
| 2000 | 15.43 | 14.52 | 14.36 | 13.57 | 13.15 | 13.30 | 9.46 | | | 17.91 | | | | 1107 | 207 | 137 | 187 | 56 | 3 | 1 | | | | | 1 | | |
| 2500 | 14.84 | 13.63 | 13.34 | 12.49 | 12.71 | 10.62 | 12.00 | 10.80 | 12.71 | | | | | 390 | 35 | 29 | 37 | 56 | 4 | 1 | 1 | 1 | | | | | |
| 3000 | 12.58 | 12.73 | 11.44 | 12.97 | 12.33 | 12.32 | | | | | | | | 38 | 5 | 11 | 1 | 17 | 4 | | | | | | | | |
| 3500 | 10.33 | 10.68 | 9.77 | 11.06 | 12.40 | 12.13 | | | | | | | | 7 | 4 | 5 | 1 | 9 | 5 | | | | | | | | |
| 3900 | | | | 12.44 | | | | | | | | | | | | 1 | | | | | | | | | | | |
| 4100 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 4500 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 4800 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 5500 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 6000 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 6500 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Target AFR | | | | | | | | | | | | | | AFR Percent ERROR | | | | | | | | | | | | | |
| Engine Load (Mg/Stk) | | | | | | | | | | | | | | Engine Load (Mg/Stk) | | | | | | | | | | | | | |
| | 75 | 125 | 200 | 300 | 400 | 500 | 600 | 700 | 800 | 1000 | 1200 | 1389 | | 75 | 125 | 200 | 300 | 400 | 500 | 600 | 700 | 800 | 1000 | 1200 | 1389 | | |
| 600 | 14.7 | 14.7 | 14.5 | 13.7 | 13.3 | 12 | 11.5 | 11.5 | 11.3 | 11.3 | 11.3 | 11.3 | | -0.04 | -0.01 | -0.01 | 0.06 | 0.10 | 0.19 | | | | | | 0.24 | | |
| 1000 | 14.7 | 14.7 | 14.5 | 13.7 | 13.3 | 12 | 11.5 | 11.5 | 11.3 | 11.3 | 11.3 | 11.3 | | -0.05 | 0.02 | -0.01 | 0.05 | 0.07 | 0.19 | | | | | | | 0.23 | |
| 1200 | 14.7 | 14.7 | 14.5 | 13.7 | 13.3 | 12 | 11.5 | 11.5 | 11.3 | 11.3 | 11.3 | 11.3 | | 0.01 | 0.02 | 0.02 | 0.09 | -0.07 | 0.21 | | | | | | | | |
| 1500 | 14.7 | 14.7 | 14.5 | 13.7 | 13.3 | 12 | 11.5 | 11.5 | 11.3 | 11.3 | 11.3 | 11.3 | | -0.02 | 0.00 | 0.00 | 0.08 | -0.13 | | | | | | | | | |
| 1600 | 14.7 | 14.7 | 14.5 | 13.7 | 13.3 | 12 | 11.5 | 11.5 | 11.3 | 11.3 | 11.3 | 11.3 | | 0.04 | 0.00 | 0.00 | 0.01 | -0.07 | 0.24 | | | | | | | 0.23 | |
| 2000 | 14.7 | 14.7 | 14.5 | 13.7 | 13.3 | 12 | 11.5 | 11.5 | 11.3 | 11.3 | 11.3 | 11.3 | | 0.05 | -0.01 | -0.01 | -0.01 | -0.01 | 0.10 | -0.22 | | | | | 0.37 | | |
| 2500 | 14.7 | 14.5 | 14.5 | 13.7 | 13.3 | 12 | 11.5 | 11.5 | 11.3 | 11.3 | 11.3 | 11.3 | | 0.01 | -0.06 | -0.09 | -0.10 | -0.05 | -0.13 | 0.04 | -0.06 | 0.11 | | | | | |
| 3000 | 14.7 | 14.5 | 14.3 | 13.7 | 13 | 11.7 | 11.5 | 11.5 | 11.3 | 11.3 | 11.3 | 11.3 | | -0.17 | -0.14 | -0.25 | -0.06 | -0.05 | 0.05 | | | | | | | | |
| 3500 | 14.7 | 14.5 | 14.3 | 13.7 | 13 | 11.7 | 11.5 | 11.5 | 11.3 | 11.3 | 11.3 | 11.3 | | -0.42 | -0.36 | -0.46 | -0.24 | -0.05 | 0.04 | | | | | | | | |
| 3900 | | | | | | | | | | | | | | | | -0.09 | | | | | | | | | | | |
| 4100 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 4500 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 4800 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 5500 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 6000 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 6500 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

Kuva 10. Aputaulukko [24]

TunerProRT-sovellukseen rakennettiin AFR-lokitaulukko, jonka X-akselilla on moottorin kuorma ja Y-akselilla moottorin pyörintänopeus. Tähän taulukkoon tallentuvat seossuhdemittarin analogisignaalista muunnetut bensiinin AFR-arvot keskiarvona eri moottorin pyörintänopeuksilla ja kuormituksilla (kuva 11). Lisäksi TunerProRT tallentaa tiettyyn soluun kertyneiden näytteiden määrän (kuva 12). Mitä enemmän tiettyssä solussa on näytteitä, sitä tarkempi saatu tulos on.

History Tables

History Table: AFR View: Running Average Clear Graph

AFR - Engine Load vs Engine Speed vs Wideband

| | 75 | 125 | 200 | 300 | 400 | 500 | 600 | 700 | 800 | 1000 | 1200 | 1389 |
|------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|------|
| 600 | 14.075 | 14.565 | 14.359 | 14.601 | 14.765 | 14.841 | | | 14.962 | | | |
| 1000 | 14.016 | 15.048 | 14.402 | 14.403 | 14.336 | 14.765 | | | | | 14.730 | |
| 1200 | 14.799 | 14.974 | 14.808 | 15.096 | 12.393 | 15.182 | | | | | | |
| 1500 | 14.471 | 14.672 | 14.462 | 14.931 | 11.792 | | | | | | | |
| 1600 | 15.241 | 14.642 | 14.440 | 13.898 | 12.463 | 15.862 | | | | | 14.695 | |
| 2000 | 15.433 | 14.524 | 14.358 | 13.568 | 13.146 | 13.301 | 9.457 | | | 17.906 | | |
| 2500 | 14.842 | 13.633 | 13.343 | 12.490 | 12.710 | 10.621 | 11.995 | 10.801 | 12.713 | | | |
| 3000 | 12.583 | 12.725 | 11.437 | 12.968 | 12.327 | 12.322 | | | | | | |
| 3500 | 10.331 | 10.679 | 9.767 | 11.056 | 12.398 | 12.134 | | | | | | |
| 3900 | | | | 12.435 | | | | | | | | |
| 4100 | | | | | | | | | | | | |
| 4500 | | | | | | | | | | | | |
| 4800 | | | | | | | | | | | | |
| 5500 | | | | | | | | | | | | |
| 6000 | | | | | | | | | | | | |
| 6500 | | | | | | | | | | | | |

Kuva 11. TunerProRT, AFR-lokitaulukko, AFR-keskiarvo

History Tables

History Table: AFR View: Running Sample Count Clear Graph

AFR - Engine Load vs Engine Speed vs Wideband

| | 75 | 125 | 200 | 300 | 400 | 500 | 600 | 700 | 800 | 1000 | 1200 | 1389 |
|------|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|------|
| 600 | 1884 | 723 | 29 | 6 | 3 | 5 | | | 2 | | | |
| 1000 | 326 | 263 | 96 | 4 | 1 | 2 | | | | | 1 | |
| 1200 | 265 | 610 | 116 | 37 | 3 | 1 | | | | | | |
| 1500 | 156 | 427 | 123 | 24 | 2 | | | | | | | |
| 1600 | 1233 | 755 | 499 | 87 | 11 | 3 | | | | | 1 | |
| 2000 | 1107 | 207 | 137 | 187 | 56 | 3 | 1 | | | 1 | | |
| 2500 | 390 | 35 | 29 | 37 | 56 | 4 | 1 | 1 | 1 | | | |
| 3000 | 38 | 5 | 11 | 1 | 17 | 4 | | | | | | |
| 3500 | 7 | 4 | 5 | 1 | 9 | 5 | | | | | | |
| 3900 | | | | 1 | | | | | | | | |
| 4100 | | | | | | | | | | | | |
| 4500 | | | | | | | | | | | | |
| 4800 | | | | | | | | | | | | |
| 5500 | | | | | | | | | | | | |
| 6000 | | | | | | | | | | | | |
| 6500 | | | | | | | | | | | | |

Kuva 12. TunerProRT, AFR-lokitaulukko, näytteiden määrä

AFR-lokitaulukoihin tallentunut data tuotiin analysointia varten aputaulukkoon (kuva 10). Input AFR -taulukkoon täytettiin tallentuneet AFR-keskiarvot ja Input history average -taulukkoon tallennettujen näytteiden lukumäärä. Aputaulukko laskee näistä prosentuaalisen virheen Target AFR -taulukon arvoihin verrattuna. Ottaen huomioon näytteiden lukumäärän, voidaan moottorinohjainlaitteen polttoaineensyöttökarttoihin tehdä muutoksia lasketun virheprosentin pohjalta.

Kun moottorin pyörintänopeus on 1200 rpm ja kuorma 125 mg/stk (AFR percent ERROR, kuva 10), aputaulukon palauttama virheprosentti on kaksi. Lisäksi tulee huomioida tallentuneiden näytteiden lukumäärä (Input history average, kuva 10). Kun näytteiden lukumäärä kyseisessä solussa on merkittävä, voidaan tulkita, että polttoainekartan vastaavan solun arvoa tulisi kasvattaa kahdella prosentilla AFR-tavoitteen saavuttamiseksi. Muutosta ei kannata kuitenkaan tehdä suoraan kahdella prosentilla vaan esimerkiksi puolella tästä. Tämän jälkeen ajoneuvolla suoritetaan uusi lokienkeruukoeajo, jotta tehtyjen muutosten vaikutukset voidaan havaita, ja tehdä päätös jatkotoimenpiteiden tarpeellisuudesta. Muutosten tekemistä ja koeajoja jatketaan, kunnes aputaulukon laskema virheprosentti arvioidaan hyväksyttäväksi. Hyväksyttävänä virheprosenttina peruskartoille voidaan pitää noin viiden prosentin virhettä, sillä moottorinohjainlaite korjaa näitä peruskarttoja aktiivisesti mm. lambdaintegraattorien ja muiden kertoimien avulla.

6.2 Kylmäkäynnistyvyyden parantaminen

Vaikka moottorinohjauksen käynnistysrikastuksessa käyttämät kartat skaalattiin uusien polttoainesuuttimien sekä polttoaineenvaihdon mukaisesti, tulee niihin tehdä vielä muutoksia polttoaineen muuttuneiden ominaisuuksien vuoksi. Polttoaineensyöttöä E85-polttoaineella tulee lisätä huomattavasti etenkin kylmissä olosuhteissa, kun polttoaineen höyrystyvä osuus koostuu pääasiassa sen bensiinikomponentista. Esilämmittämällä moottoria ennen sen käynnistämistä voidaan edesauttaa etanolin höyrystymistä. Kun moottori lämpenee nopeammin, saavutetaan etanolille suotuisimmat höyrystymisolosuhteet nopeammin.

Juuri ennen käynnistystilannetta käytettävä pre-injection -polttoainekartta määrittää ennen käynnistuksen aloittamista tapahtuvan polttoaineensuhkutuspulssin keston. Tämän kartan kalibroiminen osoittautui erityisen tuloksia tuottavaksi, sillä tämän kartan syöttöä lisäämällä moottorin käynnistyvyys parantui huomattavasti. Cranking-kartta puolestaan määrittää starttimoottorilla moottoria pyöritettäessä tapahtuvan polttoaineensuihkutuksen. Mikäli moottoria tulee pyörittää käynnistysmoottorilla pitkään ennen moottorin käynnistymistä tai mikäli moottori ei käynnisty lainkaan, tulee tämän kartan polttoaineensyöttöä lisätä. Kun moottori on saatu käyntiin ja käynnistysmoottori kytkeytyy irti vauhtipyörältä, polttoaineensuihkutuksen rikastuksen määrittää afterstart enrichment -kartta, eli käynnistuksenjälkeisen rikastuksen määrittävä kartta. Jos moottori käynnistyy mutta ei pysy käynnissä, tulee kyseisen kartan parametreja kasvattaa. [22.]

Käynnistyskarttojen kalibroiminen on verrattain hidasta, sillä moottorin jäähtyminen ympäristön lämpötilaan vie aikaa. Moottori varaa lämpöä tehokkaasti riippuen mm. jäähdytysnesteen ja öljyn määrästä. Nesteiden määrä lisää ominaislämpökapasiteettia eli lämmönvarauskykyä. Jotta karttoihin tehtyjen muutosten vaikutukset nähdään, tulee moottorin olla jäähtynyt täysin.

Käynnistuksen ja sen jälkeisen polttoaineensyötön rikastusta ei tule kuitenkaan lisätä enempää kuin on aivan välttämätöntä mm. pakokaasupäästöjen vuoksi. Lisäksi käynnistystilanne on erityisen otollinen hetki polttoaineelle päästä männänrenkaiden ohitse ohipuhalluksen seurauksena öljyn sekaan, mikä ei ole toivottavaa. Kylmää moottoria käynnistäessä männänrenkaat eivät ole vielä lämpölaajenneet riittävästi luodakseen parhaan mahdollisen tiivistyksen kampikammion ja palotilan välille.

6.2.1 Haasteet

Käynnistyskarttojen kalibroiminen onnistui varsin hyvin, ja moottori saatiin käynnistettyä ongelmitta. Ongelmaksi muodostui kuitenkin moottorin välitön sammuminen kaasupoljinta painettaessa hieman moottorin käynnistämisen

jälkeen, moottorin ollessa vielä kylmä. Ongelmaa tarkemmin tutkiessa havaittiin, että sammumisen aiheutti liian laiha seos moottorin kuormituksen noustessa matalilla pyörintänopeuksilla. Kyseisen käyntialueen polttoaineensyötön lisääminen ei kuitenkaan tuottanut toivotunlaisia tuloksia.

Gradual reduction of afterstart enrichment -karttoja, jotka määrittävät, kuinka pitkään käynnistyksestä alkaen käynnistysjälkeinen rikastus on aktiivinen, muokattiin siten, että käynnistysjälkeinen rikastus on aktiivisena pidemmän ajanjakson. Tämä mahdollisti ajamaan lähtemisen, kun rikastus on vielä aktiivinen, jotta moottori lämpenee nopeammin. Tämä ei kuitenkaan poistanut ongelmaa täysin.

Ongelma on todennäköisesti seurausta ajoneuvon verrattain matalasta puristussuhteesta 10,5:1 sekä E85-polttoaineen matalasta höyrinpaineesta. Polttoaineen etanolikomponentti ei yksinkertaisesti höyrysty riittävän hyvin palavan seoksen muodostamiseksi, ja seurauksena moottori sammuu. Moottorin puristussuhdetta kasvattamalla etanoli höyrystyisi paremmin korkeamman sylinteripaineen vuoksi.

6.2.2 Kiihdytsrikastus

Kiihdytsrikastusta käytetään, kun moottorin kuorma kasvaa äkillisesti, minkä vuoksi sitä päätettiin tarkastella ongelman ratkaisemiseksi. Kiihdytsrikastus aktivoituu kaasuläpän asennon muutosnopeuden mukaisesti jäähdystynesteen lämpötilasta riippuen, ja moottorinohjaus lisää polttoaineensyöttöä kiihdytsrikastuskartassa määritellyn ajanjakson ajan.

Kiihdytsrikastukseen ei oltu tehty muutoksia polttoainesuuttimien vaihtamisen jälkeen, joten kalibrointi päätettiin tehdä. Tavoitteena oli säilyttää stoikiometrinen seossuhde ryntäyttäessä moottoria ja kuorman kasvaessa äkillisesti. Moottorinohjainlaitteen lambda-integraattoreiden toiminta estettiin jälleen tuloksien vääristymisen estämiseksi. Kiihdytsrikastusta todettiin olevan liikaa, sillä ryntäyttäessä seossuhde kävi hetkellisesti todella rikkaana eikä

moottori vastannut kaasuun terävästi. Pienentämällä kiihdytsrikastusta lopulta 40 prosentilla saavutettiin parantunut vastaavuus kaasuun sekä lähes stoikiometrinen seossuhde moottoria ryntäyttäessä. [22.]

Kiihdytsrikastuksen kalibroinnilla tuntui olevan positiivinen vaikutus kylmäkäyntiongelmiin, mutta todellista vaikutusta on vaikea arvioida sääolosuhteiden lämpenemisen vuoksi. Lämpötilan nousu edesauttaa etanolin höyrystymistä ja siten parantaa myös moottorin kylmäkäyntiä.

7 Pohdinta

E85-polttoaineen käyttäminen jokapäiväisessä ajossa olevassa ajoneuvossa voi olla kannattavaa esimerkiksi polttoainekulujen tai päästöjen hillitsemiseksi. Suomen markkinoilla olevat korkeaseosetanolipolttoaineet valmistetaan elintarviketeollisuuden jätteistä. Etanolipolttoaineen valmistustavasta riippuen fossiiliset hiilidioksidipäästöt voivat laskea jopa 80 %. [26.] Kirjoitushetkellä polttoaineiden hinnoittelu ei ole kuitenkaan varsin kannustava biopolttoaineeseen siirtymisen kannalta, sillä taloudellista etua polttoaineenvaihdoksella ei käytännössä ole saavutettavissa tai se on hyvin pieni ja toteutuu vasta pitkän ajanjakson kuluttua. Kuitenkin E85-polttoaineen ominaisuudet tai ympäristöystävällisyys bensiiniin verrattuna saattavat vaikuttaa päätökseen siirtyä suurimmaksi osaksi fossiilivapaan biopolttoaineen käyttäjäksi.

7.1 Lyhyiden ajosuoritteiden vaikutukset

Huomionarvoista E85-polttoainetta käytettäessä on etenkin kylmäkäynnistyksessä kampikammioon ja öljyn sekaan päätyneen polttoaineen aiheuttamat vaikutukset, jotka korostuvat lyhyiden ajosuoritusten seurauksena. Pidempien ajosuoritteiden aikana öljyn lämpötila ehtii nousta riittävän suureksi öljyn seassa olevan polttoaineen ja veden haihtumiseksi. Puhtaan etanolin kiehumispiste on 78 °C, kun taas bensiinin kiehumislämpötila on 30–190 °C [16, s. 10]. Jotta polttoaineen etanolikomponentti alkaa haihtua

öljyn seasta, tulee öljyn lämpötilan nousta korkeammaksi kuin bensiinikomponentin haihtumisen alkamiseksi. Tästä syystä moottorin esilämmityksestä on muutakin hyötyä kuin kylmäkäynnistyvyyden parantaminen. Öljystä haihtuneet polttoainehöyryt päätyvät moottorin kampikammion huohotusjärjestelmän kautta osaksi sylinterintäytöstä ja palotapahtumaa [6, s. 319]. Mikäli öljyn lämpötila ei saavuta polttoaineen haihtumiseen vaadittavaa lämpötilaa pidempään ajanjaksoon, voi ongelmia alkaa muodostua, kun öljyn sekaan päätynyt polttoaine alkaa heikentää öljyn voitelukykyä. Erityisesti talvikausina öljyn lämpötilat jäävät helposti etanolin kiehumispisteen alapuolelle, jos ajoneuvolla ajetaan paljon lyhyitä matkoja.

Edellä mainitun polttoaineen öljyn sekaan joutumisen vuoksi etenkin lukuisten kylmäkäynnistysten seurauksena ajoneuvon öljynvaihtoväliä voi olla syytä lyhentää, jotta riittävä voitelukyky saadaan pidettyä yllä. Viisainta olisikin suhteuttaa öljynvaihtoväli toteutuneiden ajosuoritteiden ja käynnistysten lukumäärän mukaisesti.

7.2 Polttoaineenkulutus

Käytettäessä etanolipolttoainetta, kulutus on noin 30 prosenttia suurempi kuin käytettäessä bensiiniä [25]. Kohdeajoneuvon polttoaineenkulutus kasvoikin arviolta noin 30 prosentilla. Polttoaineenkulutuksen optimoimiseksi ja hyötysuhteen maksimoimiseksi kohdeajoneuvon sytytysennakko tulisi kalibroida alustadynamometrissä. Hyötysuhdetta olisi myös mahdollista kasvattaa moottorin puristussuhdetta kasvattamalla.

E85-polttoaineen ominaisuuksien johdosta moottoria olisi mahdollista käyttää stoikiometristä seosta suuremmalla ilmamäärällä eli laihemmalla seoksella polttoainetalouden parantamiseksi. Tämä ei kuitenkaan onnistu esimerkiksi kohdeajoneuvon alkuperäistä moottorinohjausta käyttämällä, sillä ohjainlaite muuttaa seosta aktiivisesti kohti stoikiometristä [5, s. 90]. Ominaisuus on mahdollista kiertää estämällä lambdakorjauksen toiminta, mutta samalla poistuu myös moottorinohjauksen kyky adaptoitua eri olosuhteisiin. Käytännössä

polttoainekartat tulisi optimoida erityisen tarkasti, ja ajoneuvoa käyttää ainoastaan samoissa kyseisellä hetkellä vallitsevissa olosuhteissa turvallisen käynnin varmistamiseksi. Jälkiasenteisella moottorinohjausjärjestelmällä laihakäyttö olisi mahdollista toteuttaa kestäväällä tavalla. Lisäksi on huomioitava, että laihaseoskäyttö vaikuttaa pakokaasupäästöjen muodostumiseen.

8 Yhteenveto

Tämän työn tarkoituksena oli kerätä tietoa moottorinohjainlaitteen kalibroimisesta E85-polttoaineelle sekä muuttaa kohdejoneuvon käyttövoima bensiinistä E85-polttoaineeseen. Lisäksi tietoa kerättiin bensiinin ja E85-polttoaineen ominaisuuksista, jotta välttämättömät muutokset kohdejoneuvon polttoainemuutoksen mahdollistamiseksi voitiin arvioida. Työn pääpaino kohdistui moottorinohjainlaitteen kalibroimiseen.

Välttämättömät muutokset kohdejoneuvon arvioitiin ja kyseiset muutostyöt suoritettiin arvion mukaisesti. Ajoneuvoon voitiin tankata E85-polttoainetta ja edetä kalibroimaan moottorinohjainlaite polttoaineen muuttuneet ominaisuudet huomioon ottaen.

Koska kohdejoneuvon moottoriin ei tehty mekaanisia muutoksia, kuten puristussuhteen kasvattamista, E85-polttoaineen suuremmasta puristuskestävyydestä ei käytännössä ollut suurta etua. Moottorinohjainlaite adaptoituu korkeampioktaanisen polttoaineen mukaisesti nakutustunnistimien signaalin avulla ja lisää sytytysennakkoa adaptiivisuuden rajoissa hyötysuhteen maksimoimiseksi. Täysi E85-polttoaineen korkean oktaaniluvun potentiaali jäi kuitenkin hyödyntämättä, kun sytytysennakkoa ei optimoitu alustadynamometrissä. Puristuskestävyyttä tullaan hyödyntämään tulevaisuudessa, kun moottoria ryhdytään virittämään asentamalla siihen pakokaasuahdin. Työn edetessä havaittiin, että kohdejoneuvon moottorin puristussuhdetta tulisi kasvattaa, mikäli moottorin kylmäkäyntiominaisuudet haluttaisiin säilyttää samanlaisena kuin bensiiniä käyttövoimana käytettäessä.

Tätä työtä voidaan hyödyntää polttoainemuutoksen kannattavuuden arvioimisessa ja polttoaineiden ominaisuuksien vertailussa, sekä moottorinohjainlaitteen polttoaineensyötön kalibroimiseen tutustuttaessa. Työtä voisi jatkokehittää edelleen sytytysennakon optimoimisella alustadynamometrissä sekä hyödyntämällä polttoainemuutoksen tuomat mahdollisuudet kokonaisuudessaan mekaanisilla muutoksilla ajoneuvon moottoriin.

Opinnäytetyön tekeminen sujui suunnitelmien mukaisesti. Kohdeajoneuvoon tehtävien muutosten arvioinnin, muutostöiden tekemisen ja moottorinohjainlaitteen kalibroimisen lopputuloksena saatiin käyttövoimanaan E85-polttoainetta käyttävä ajoneuvo. Työ opetti valtavasti moottorinohjainlaitteen kalibroimisesta ja siihen liittyvien sovellusten käyttämisestä ja antoi hyvät lähtökohdat kehittää osaamista edelleen. Erityisen palkitsevaa työtä tehdessä oli päästä hyödyntämään suoritetuilla kursseilla opittua teoriaa käytännössä sekä oivaltaa eri tekijöiden asiayhteyksiä.

Lähteet

- 1 Vihreällä siirtymällä irti venäläisestä energiasta. Verkkoaineisto. Energiateollisuus ry. <https://energia.fi/energiapolitiikka/ukrainan_sota/vihrealla_siirtymalla_irti_venaja-riippuvuudesta>. Ei päiväystä. Luettu 12.4.2022.
- 2 Irti öljyriippuvuudesta. 2007. Verkkoaineisto. Vihreä liitto. <<https://www.fsd.tuni.fi/pohtiva/ohjelmalistat/VIHR/1030>>. Luettu 12.4.2022.
- 3 Liikenteen päästöt puoleen 2030 mennessä – tarvitaan laaja keinovalikoima. Verkkoaineisto. Liikenne- ja viestintäministeriö. <<https://valtioneuvosto.fi/-/liikenteen-paastot-puoleen-2030-mennessa-tarvitaan-laaja-keinovalikoima>>. 27.10.2020. Luettu 12.4.2022.
- 4 Bensiinikäyttöisen auton voi muuttaa kaasu- tai etanolikäyttöiseksi - muuttamiseen voi hakea tukea Traficomilta. Verkkoaineisto. Liikenne- ja viestintävirasto Traficom. <<https://www.traficom.fi/fi/ajankohtaista/bensiinikayttoisen-auton-voi-muuttaa-kaasu-tai-etanolikayttoiseksi-muuttamiseen-voi>>. 19.1.2022. Luettu 18.2.2022.
- 5 Siemens MS42/MS43 Engine Control Module Management Systems. Verkkoaineisto. <https://www.bimmerfest.com/attachments/bmw_e39_siemens_ms42_ms43_m52tu_m54_ecm_engine_control_module_management_systems-pdf.441295/>. Ei päiväystä. Luettu 31.1.2022.
- 6 Reif, Konrad. 2015. Gasoline Engine Management. E-kirja. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden.
- 7 Simon, Andre. Verkkoaineisto. High Performance Academy Limited. <<https://www.hpacademy.com/technical-articles/dont-waste-your-time-listening-for-knock/>>. Ei päiväystä. Luettu 23.3.2022.
- 8 Flexfuel- eli korkeaseosetanoliauto. Verkkoaineisto. Liikenne- ja viestintävirasto Traficom. <<https://www.traficom.fi/fi/ajavaihtoehtoa/flexfuel>>. 31.1.2022. Luettu 10.3.2022.
- 9 Käyttöturvallisuustiedote korkeaseosetanoliksi. Verkkodokumentti. North European Oil Trade Oy. <<https://www.abcasemat.fi/lataa-tiedosto/78/e85-kayttoturvallisuustiedote.pdf>>. 31.3.2015. Luettu 26.3.2022.

- 10 Käyttöturvallisuustiedote moottoribensiini. Verkkodokumentti. North European Oil Trade Oy. <<https://www.abcasemat.fi/lataa-tiedosto/55/kayttoturvallisuustiedot---bensiiinit.pdf>>. 31.3.2015. Luettu 26.3.2022.
- 11 FlexFuel- eli korkeaseosetanoliauto. Verkkoaineisto. Motiva Oy. <https://www.motiva.fi/ratkaisut/kestava_liikenne_ja_liikkuminen/valitse_uto_viisaasti/autotyyppi/flexfuel-_eli_korkeaseosetanoliauto>. Päivitetty 1.11.2021. Luettu 28.2.2022.
- 12 SFS-EN 15293. Automotive fuels. Automotive ethanol (E85) fuel. Requirements and test methods. 2018. Suomen Standardoimisliitto.
- 13 Bensiiniopas. 2016. Verkkodokumentti. Neste Oyj. <https://www.neste.fi/sites/neste.fi/files/Bensiiniopas_2016.pdf>. Ei päiväystä. Luettu 25.3.2022.
- 14 5 hyvää syytä tankata E85-bioetanolia. 2021. Verkkoaineisto. eFlexFuel Technology. <<https://eflexfuel.com/fi/blog/5-hyvaa-syyta-tankata-e85-bioetanolia>>. Luettu 26.4.2022.
- 15 MaxxECU online help. Verkkoaineisto. <https://maxxecu.com/webhelp/settings-fuel-fuel_inj_general.html>. Ei päiväystä. Luettu 23.2.2022.
- 16 Paasi, Jaakko & Lahtinen, Reima & Kalliohaka, Tapio & Kytö, Matti. 2008. Verkkodokumentti. Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy. <<https://cris.vtt.fi/en/publications/biopolttonesteiden-turvallinen-jakelu-loppuraportti>>. Luettu 17.3.2022.
- 17 CEN/TR 15993. Automotive fuels. Ethanol (E85) automotive fuel. Background to the parameters required and their respective limits and determination. 2018. Suomen Standardisoimisliitto.
- 18 SFS-EN 15376. Automotive fuels. Ethanol as a blending component for petrol. Requirements and test methods. 2014. Suomen Standardisoimisliitto.
- 19 Fuel Inejctor Deadtimes. Verkkoaineisto. MS4X Wiki. <https://www.ms4x.net/index.php?title=Fuel_Injector_Deadtimes>. Päivitetty 9.10.2021. Luettu 26.1.2022.
- 20 Electric Fuel Pump for BMW E46. Verkkodokumentti. MSI Motor Service International GmbH. <https://cdn2.ms-motorservice.com/fileadmin/media/MAM/PDF_Assets/Electric-Fuel-Pump-for-BMW-E46_59120.pdf>. Ei päiväystä. Luettu 25.1.2022.

- 21 Instruction Manual. 2017. Verkkodokumentti. AEM Performance Electronics <<https://www.aemelectronics.com/files/instructions/30-0300.pdf>>. Luettu 20.1.2022.
- 22 Siemens MS43. Verkkoaineisto. MS4X Wiki. <https://www.ms4x.net/index.php?title=Siemens_MS43>. Päivitetty 14.4.2022 Luettu 16.4.2022.
- 23 Allmendinger, Klaus. Verkkoaineisto. Innovate! Technology. <<https://www.innovatemotorsports.com/resources/rich.php>>. Ei päiväystä. Luettu 6.4.2022.
- 24 Pagatpatan, Carl. AFR percent ERROR. Verkkoaineisto. <<https://docs.google.com/spreadsheets/d/1PJl4989OOe1-DG5HRcuZ5gpSsSTs7xeTmCAYx3gH8G4/edit#gid=0>>. 2.4.2021. Luettu 15.1.2022.
- 25 Korkeaseosetanoli E85. Verkkoaineisto. Motiva Oy. <https://www.motiva.fi/ratkaisut/kestava_liikenne_ja_liikkuminen/valitse_automobiliviisaasti/energialahteet/korkeaseosetanoli_e85>. Päivitetty 4.8.2020. Luettu 23.2.2022.