

Roni Kuru

E85-etanolikonversio

Polttoaineiden ominaisuuksien vertailu moottoridynamometrissä

Opinnäytetyö

Kevät 2016

SeAMK Tekniikka

Konetekniikan tutkinto-ohjelma

Auto- ja työkonetekniikka

SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU

Opinnäytetyön tiivistelmä

Koulutusyksikkö: Tekniikan yksikkö

Tutkinto-ohjelma: Konetekniikka

Suuntautumisvaihtoehto: Auto- ja työkonetekniikka

Tekijä: Roni Kuru

Työn nimi: E85-etanolikonversio

Ohjaaja: Hannu Ylinen

Vuosi: 2016

Sivumäärä: 80

Liitteiden lukumäärä:8

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli tutkia erilaisten nestemäisten biopolttoaineiden käyttömahdollisuuksia bensiinimoottorin polttoaineena. Työssä perehdyttiin biopolttoaineiden valmistustapoihin ja ominaisuuksiin. Lisäksi työssä käytiin läpi asiat ja osa-alueet jotka tulee huomioida, kun bensiinimoottori muutetaan etanolikäyttöiseksi. Opinnäytetyön soveltava osuus koostui bensiinimoottorin etanolimuutostyöstä ja testauksista moottoridynamometrissä.

Teoriaosio alkaa erilaisten nestemäisten biopolttoaineiden esittelyllä, jonka jälkeen vertaillaan 98E5-bensiinin ja E85-etanolipolttoaineen välisiä eroja ja ominaisuuksia. Vertailun jälkeen käydään läpi vaadittavat muutostyöt, joita bensiinimoottori tarvitsee toimiakseen E85-etanolipolttoaineella. Muutostyöt toteutetaan käytännössä, jonka jälkeen suoritetaan moottoridynamometritestaus sekä 98E5-polttaineella että E85-etanolipolttaineella ja tulkitaan saatuja tuloksia.

Etanolimuutostyö onnistui odotetulla tavalla ja moottori saatiin toimimaan sekä 98E5-polttaineella että E85-etanolipolttaineella. Testaustulokset vastasivat opinnäytetyön teoriapohjaa hyvin ja niitä voidaan tulevaisuudessa hyödyntää vastaavanlaisissa muutostöissä.

Avainsanat: uusiutuvat energialähteet, etanoli, biopolttoaineet, testaus

SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Thesis abstract

Faculty: School of Technology

Degree programme: Mechanical Engineering

Specialisation: Automotive and Work Machine Engineering

Author: Roni Kuru

Title of thesis: E85 ethanol conversion

Supervisor: Hannu Ylinen

Year: 2016

Number of pages: 80

Number of appendices: 8

The purpose of this thesis was to study the possibilities of different kind of liquid bio-fuels as a fuel in a gasoline powered engine. This thesis also read up upon in the properties and manufacturing of bio fuels. This thesis also took in consideration all the different factors you need to be aware of when you modify your gasoline powered engine to run on ethanol. The applied portion of this thesis was gathered from the physical changes made to the gasoline powered engine to make it run on ethanol and test runs made with a engine dynamometer.

The theoretical part of this thesis begins with an introduction to different kind of bio fuels and afterwards compared the differences and properties of 98E5 gasoline over E85 ethanol fuel. After this comparison we go through the necessary modifications that the gasoline powered engine needs to go through before it can run on E85-ethanol fuel. The modifications were made in a practical sense and after the modifications were made the motor was run in the motor dynamometer with the 98E5 fuel and the E85 fuel and studied the readings.

The ethanol modification succeeded as it was supposed to and we got the engine running on both, the 98E5 gasoline as well as with the E85 ethanol. Results of the tests made corresponded with theory of this thesis well and they can be utilized in similar future modifications.

Keywords: renewable energy sources, ethanol, biofuels, testing

SISÄLTÖ

Opinnäytetyön tiivistelmä.....	1
Thesis abstract.....	2
SISÄLTÖ.....	3
Kuva-, kuvio- ja taulukkoluettelo.....	6
Käytetyt termit ja lyhenteet.....	9
1 JOHDANTO.....	10
2 VAIHTOEHTOISET BIOPOLTTOAINEET.....	11
2.1 Biopolttoaineet Suomen ilmastostrategiassa.....	11
2.2 Biopolttoaineiden tuotanto ja kehitysasteet.....	12
2.3 Nestemäiset liikenteen biopolttoaineet.....	12
2.3.1 Etanoli.....	12
2.3.2 Metanoli.....	15
2.3.3 Biodieselit (FAME, FAEE) ja uusiutuva diesel (Neste NEXBTL).....	17
3 E85 KORKEASEOSETANOLIN JA 98E5 BENSIININ EROT.....	21
3.1 Lämpöarvo.....	21
3.2 Oktaaniluku ja puristuskestävyys.....	21
3.3 Polttoaineen ja ilman seossuhde.....	22
3.4 Höyrystymislämpö, höyrönpaine ja leimahduspiste.....	23
4 BENSIINIMOOTTORIN MUUTOSTYÖT ETANOLIKÄYTTÖISEKSI.....	24
4.1 Polttoainejärjestelmä.....	24
4.1.1 Suuttimet.....	25
4.1.2 Suuttimien tuoton määrittäminen.....	25
4.1.3 Polttoainepumppu.....	27
4.2 Moottorinohjaus.....	27
4.2.1 Ohjelmointi.....	28
4.2.2 Moottorinohjauksen vaihto.....	28
4.2.3 Valmiit E85-muutossarjat.....	29

5	TYÖSSÄ KÄYTETTÄVÄ NISSAN CA18DET MOOTTORI JA SEN MEKAANISET MUUTOSTYÖT	31
5.1	Yleistä	31
5.2	Nissan Ca18det	31
5.3	Opinnäytetyössä käytettävän moottorin kunnostus	32
5.3.1	Todetut vauriot	32
5.3.2	Vaurioiden korjaus	33
5.3.3	Mekaanisen kestävyuden parantaminen	34
5.4	Turboahdin	39
6	CA18DET- MOOTTORIN E85 ETANOLIKONVERSIO	41
6.1	Polttoainejärjestelmän komponentit	41
6.1.1	polttoainepumppu ja polttoaineen paineensäädin	42
6.1.2	Suuttimet	42
6.2	Moottorinohjaus	43
6.2.1	Johtosarja ja anturoinnit	44
7	TESTIJÄRJESTELYT	47
7.1	Superflow moottoridynamometri	47
7.1.1	Dynamometrin osat	47
7.2	Moottorin kiinnittäminen dynamometriin	49
7.2.1	Tehonsiirto	49
7.2.2	Moottorin kiinnikkeet	50
7.3	Testauksessa tarvittavat lisäanturoinnit ja mittarit	51
7.4	Testaus	51
7.4.1	Teho ja vääntö	52
7.4.2	Sytytysennakko ja ahtopaine	53
7.4.3	Suuttimien aukioloaika ja työsuhte	53
7.4.4	Pakokaasun lämpö	54
7.4.5	Pakokaasupäästöt	55
7.4.6	Palotapahtuman paine	55
8	TULOKSET JA NIIDEN VERTAILU	58
8.1	Teho ja vääntömomentti	58
8.1.1	98E5-bensiini	58
8.1.2	E85-korkeaseosetanoli	59

8.1.3 Yhteenveto.....	59
8.2 Sytytysennakko ja ahtopaine	61
8.2.1 98E5-bensiini	61
8.2.2 E85-korkeaseosetanoli	62
8.2.3 Yhteenveto.....	63
8.3 Suuttimien aukioloaika ja työsuhde.....	64
8.3.1 98E5-bensiini	64
8.3.2 E85-korkeaseosetanoli	65
8.3.3 Yhteenveto.....	65
8.4 Pakokaasunlämpö	66
8.4.1 98E5-bensiini.....	66
8.4.2 E85-korkeaseosetanoli	67
8.4.3 Yhteenveto.....	67
8.5 Päästöt.....	68
8.5.1 98E5-bensiini	69
8.5.2 E85-korkeaseosetanoli	70
8.5.3 Yhteenveto.....	70
8.6 Palotapahtuman paine	71
8.6.1 98E5-bensiini	71
8.6.2 E85-korkeaseosetanoli	72
8.6.3 Yhteenveto.....	73
9 YHTEENVETO JA POHDINTA	75
LÄHTEET	77
LIITTEET	80

Kuva-, kuvio- ja taulukkoluettelo

- Kuva 1. Suuttimien liittimet (eFlexfuel 2016). 30
- Kuva 2. Sulanut palotilan paljealue. 32
- Kuva 3. Jälkiä kampiakselissa. 33
- Kuva 4 Venttiilien pitävyyden testaus 34
- Kuva 5. Uudet runkolaakerit ja koneistettu kampiakseli. 35
- Kuva 6. Uusi ja vanha öljypumppu. 36
- Kuva 7. Vertailussa uudet ja vanhat männät kiertokankineen. 37
- Kuva 8. Männänrenkaiden asennusta. 38
- Kuva 9. Katkovälyksen mittausta välysmitalla. 38
- Kuva 10. Pinnapultit ja kannentiiviste. 39
- Kuva 11. Teräspunosvahvisteinen teflonletku liittimiseen. 41
- Kuva 12. Walbro E85 450lph polttoainepumppu (JM Tuonti 2016). 42
- Kuva 13. Suuttimien pesu, testaus ja tiivisteiden vaihto. 43
- Kuva 14. Bosch imusarjan paineanturi (Bosch 2016). 45
- Kuva 15. Imuilman lämpötila-anturi ahtoputkessa. 45
- Kuva 16. Honeywell hall-anturi (Honeywell 2016). 46
- Kuva 17. 12-hampainen triggeripyörä kampiakselin hihnapyörällä. 46
- Kuva 18. Kampiakselin asentoanturin paikan suunnittelua. 46
- Kuva 19. Superflow ohjauspöytä. 48
- Kuva 20. Moottoripenkki. 48

Kuva 21. Voimansiirtoakselin laipan koneistus. 49

Kuva 22. Voimansiirtoakseli. 50

Kuva 23. Adapterilaippa ja sen koneistus. 50

Kuva 24. Kytkinkotelon adapterilevy paikallaan. 51

Kuva 25. Testijärjestely. 52

Kuvio 1. Etanolin valmistus fermentoimalla (Lampinen 2009, 268).....	13
Kuvio 2. Bioetanolin valmistus biojätteistä (Rättö ym. 2009, 41).....	15
Kuvio 3. Biokaasun talteenottoasema (Hiltunen 2006, 4).	16
Kuvio 4. Vaihtoesteröinti (Lampinen 2009,276)	18
Kuvio 5. NEXBTL- prosessi (Mäkinen ym. 2005).	20
Kuvio 6. eFlexFuel toimintaperiaate (eFlexfuel 2016).	29
Kuvio 7. Acl monikerrosmetallilaakerin rakenne (Acl performance 2015).	35
Kuvio. 8 Öljypumpun välyksien toleranssit ja mittausohjeet (Nissan motor Co.LTD 1988, LC-5).....	36
Kuvio 9. Garrett GT2554R (GT25R) ja GT2560R (GT28R) kompressorikartat (Garrett by Honeywell 2015).	40
Kuvio 10. Tatech for Win- säätöohjelmisto.....	44
Kuvio. 11 Polttoaineen suihkutuskartasto (Tatech 2016).	54
Kuvio 12. Lms TestXpress- ohjelmisto.....	57
Kuvio 13. Teho ja vääntömomentti 98E5-polttoaineella.	58
Kuvio 14. Teho ja vääntömomentti E85-polttoaineella.	59

Kuvio 15. Sytytysennakko bensiinillä kierrosalueella 6500 rpm.	61
Kuvio 16. Sytytysennakko bensiinillä kierrosalueella 5000 rpm.	61
Kuvio 17. Sytytysennakko E85-etanolilla kierrosalueella 6500 rpm.	62
Kuvio 18. Sytytysennakko E85-etanolilla kierrosalueella 5000 rpm.	62
Kuvio 19. Polttoaineen suihkutuskartasto 98E5-polttoaineella kierrosluvulla 6500 rpm.....	64
Kuvio 20. Polttoaineen suihkutuskartasto E85-polttoaineella kierrosluvulla 6500 rpm.....	65
Kuvio 21. Pakokaasun lämpötila 98E5-polttoaineella.	66
Kuvio 22. Pakokaasun lämpötila E85-polttoaineella.	67
Kuvio 23. Palotapahtuman paine 3000 rpm 150nm 98E5.....	71
Kuvio 24. Palotapahtuman paine 5000 rpm 150nm 98E5.....	72
Kuvio 25. Palotapahtuman paine 3000 rpm 150 Nm E85.	72
Kuvio 26. Palotapahtuman paine 5000 rpm 150 Nm E85.	73
Taulukko 1. 98e5 bensiinin, puhtaan etanolin ja E85-korkeaseosetanolipolttoaineen ominaisuuksia (Lampinen 2009, 431, St1 2016...)	23
Taulukko 2. Pakokaasupäästöt 98E5-polttoaineella.	69
Taulukko 3. Pakokaasupäästöt E85-korkeaseosetanolilla.	70

Käytetyt termit ja lyhenteet

Vaihtoesteröinti	Vaihtoesteröinti tarkoittaa esterin muuntamista toiseksi esteriksi. Tällä tavalla voidaan kasviöljyistä, eläinrasvoista sekä puuöljyistä tuottaa dieselmootoreihin sopivia polttoaineita.
Biodiesel	Vaihtoesteröimällä rasvahapoista ja alkoholeista muodostettu dieselmootoreihin soveltuva polttoaine.
NExBTL	Neste biomass to liquid- teknologia perustuu öljyjen ja rasvojen vetykäsittelyyn, josta saadaan lopputuotteena puhdas hiilivetyseos. Tämä hiilivetyseos vastaa ominaisuuksiltaan diesel-polttoainetta.
Alkoholikäyminen	Alkoholifermentaatio eli käyminen jossa sokerit muuntuvat alkoholeiksi. Lähinnä etanoliksi.
Bioetanol	Etanoli, jota valmistetaan jätteistä tai kasvipohjaisista tärkkelys-, selluloosa- tai sokeripitoisista kasveista polttoaineeksi.
E85	Korkeaseosetanolipolttoaine joka sisältää enintään 85 % etanolia ja 15 % fossiilisia hiilivetyjä (eli bensiiniä).
98E5	Bensiinipohjainen polttoaine joka sisältää enintään 5 % etanolia.
Tatech	Kotimainen moottorinohjainlaitevalmistaja.
ECU	Engine control unit eli moottorinohjainlaite. Laite joka ohjaa moottorin toimintaa, sytytysennakkoa ja polttoaineensyöttöä.
BSFC	Brake Specific Fuel Consumption eli polttoaineen kulusarvo.

1 JOHDANTO

Nykyaikainen korkealle kehittynyt moottoritekniikka on tuonut tullessaan mahdollisuuden vaihtoehtoisten polttoaineiden käyttöön. Tämä näkyy erilaisien Flexifuel- autojen, sekä hybridien merkittävänä yleistymisenä jokapäiväisessä liikenteessä. Tiukentuvat päästömääräykset sekä pienemmän polttoaineenkulutuksen tavoittelu on ajanut moottorivalmistajat keksimään erilaisia ratkaisuja vaatimusten täyttämiseen.

Vaihtoehtoiset polttoaineet näkyvät myös moottoriurheilussa. Yhä useampi kilpa-auton moottori käyttää polttoaineenaan jotain muuta kuin bensiiniä. Alkoholipohjaisia polttoaineita, kuten metanolia on käytetty etenkin kiihdytysautojen polttoaineena jo vuosikymmenten ajan. Uusiutuvista alkoholipohjaisista polttoaineista etanoli on yleistynyt huomattavaa vauhtia sen hyvän saatavuutensa sekä alhaisen hintansa takia. Tällä hetkellä etanolista ja bensiinistä valmistettua E85 etanolipolttoainetta saa Suomesta jo useilta eri asemilta. Tämä innostaa autoharrastajia siirtymään etanolin käyttöön. Nykyään etanolia on sekoitettu pieninä pitoisuuksina myös normaaliin bensiiniin.

Tämän työn tarkoituksena oli selvittää erilaisten vaihtoehtoisten polttoaineiden käyttöä ottomoottorin polttoaineena sekä toteuttaa muutostyöt, joilla Nissan Ca18det moottori saadaan muutettua etanolikäyttöiseksi. Työssä käydään läpi tarvittavat muutokset sekä esitetään erilaisia vaihtoehtoisia toteutustapoja.

Muutostyöt tehtiin täysin mekaanisesti kunnostettuun Nissan Ca18det pakokaasuahdettuun bensiinimoottoriin. Moottorin kestävyttä parannettiin suorituskyvyn lisäämistä samalla ajatellen. Muutostöiden jälkeen moottori asennettiin moottoridynamometriin. Dynamometrissä tutkittiin eroja tavallisen 98e5 bensiinin ja E85 korkeaseosetanolin välillä. Tutkittavia asioita olivat teho, vääntömomentti, sytytysennakko, ahtopaine, palotapahtuman paine, polttoaineen suihkutuskäytännöt, pakokaasujen lämpö ja pakokaasupäästöt.

Opinnäytetyö tehtiin yhteistyössä Seinäjoen Ammattikorkeakoulun autolaboratorion sekä konelaboratorion kanssa. Moottorin osat ja moottorinohjauksen toimitti JM-tuonti Kauhajoelta.

2 VAIHTOEHTOISET BIOPOLTTOAINEET

Orgaanisista biomassoista tuotettavilla biopolttoaineilla voidaan korvata iso osa liikenteessä käytettävistä fossiilisista polttoaineista. Tämä vähentää huomattavasti liikenteestä johtuvia ympäristövaikutuksia sekä pienentää niin sanottua öljyriippuvuutta. Mikäli biopolttoaineiden valmistuksessa käytetään kotimaisia raaka-aineita, lisäävät ne myös Suomeen jääviä tuloja ja parantavat maan sisäistä energiahuoltovarmuutta. (Motiva 2014)

2.1 Biopolttoaineet Suomen ilmastostrategiassa

Kiinnostus biopolttoaineiden käytölle on maailmanlaajuinen ilmiö. Kasuvat kasvihuonepäästöt ja riippuvuus yhä kalliimmaksi käyvästä öljystä ovat ajaneet eri valtiot pohtimaan ilmasto- ja energiastrategiaansa uudelleen.

Suomessa uusiutuvien polttoaineiden käytön ilmasto- ja energiastrategia tähtää kotimaisuuteen. Tuontiöljyn ostamisen sijaan haetaan tuloja kotimaiselle metsä- ja energiateollisuudelle sekä samalla kotimaisille raaka-aineiden tuottajille, kuten maa- ja metsätalousyrittäjille (Motiva 2014). Samalla luodaan maahamme uusia työpaikkoja ja elvytetään taloudellista tilannetta.

Euroopan unionin ja Suomen ilmasto- ja energiapolitiikassa on selkeät tavoitteet uusiutuvien biopolttoaineiden lisäämiseksi. EU asetti liikenteen biopolttoaineiden tavoiteosuudeksi vuodelle 2010 5,75 prosenttia ja vuoteen 2020 mennessä 10 prosenttia kaikista myydyistä liikenteen polttoaineista. Näiden tavoitteiden perustana on liikennepolttoaineiden myyjille asetettava jakelovelvoite. Tämän jakelovelvoitteen olisi määrä olla 20 prosenttia vuoteen 2020 mennessä. Lisäksi biopolttoaineiden käyttöä edistettäisiin erinäisillä verohelpotuksilla. (Motiva 2014)

Näiden tavoitteiden ja vaatimusten täytyminen tarkoittaa käytännössä sitä, että nykyiseen bensiiniin sekoitetaan yhä enemmän biopohjaisia alkoholeja kuten etanolia. Vastaavasti diesel-polttoaineeseen sekoitetun biodieselin määrää kasvatetaan entisestään.

2.2 Biopolttoaineiden tuotanto ja kehitysasteet

Liikenteessä käytettäviä biopolttoaineita voidaan valmistaa erilaisista raaka-aineista monella eri tavalla. Nämä polttoaineet voidaan jakaa kolmeen eri ryhmään valmistustapansa sekä raaka-aineidensa mukaan. (Motiva 2014)

Ensimmäisen sukupolven liikenteen biopolttoaineisiin kuuluu sokeri- ja tärkkelyspi-toisista kasveista valmistettava bioetanoli sekä öljypitoisista kasveista valmistetta-va biodiesel. (Motiva 2014)

Toisen sukupolven kehittyneiden biopolttoaineiden raaka-aineina sen sijaan käyte-tään kasvi- ja puupohjaista selluloosakuitua sekä orgaanista kasvipohjaista jätettä. Näiden polttoaineiden valmistusteknologiaa ollaan suurelta osin kaupallistamassa, jolloin päästään yhä suurempiin tuotantomääriin. Toisen sukupolven biopolttoi-neet vähentävät tehokkaammin päästöjä ja ne ovat laadullisesti jopa fossiilisia uu-siutumattomia polttoaineita parempia. Ensimmäisen sukupolven biopolttoaineisiin verrattuna nämä polttoaineet ovat parempia myös siksi, että niiden valmistus ei kilpaile ruoantuotannon kanssa. Toisen sukupolven biopolttoaineiden valmistuk-sessa ei käytetä lainkaan ravinnoksi kelpaavia raaka-aineita. (Motiva 2014)

Kolmannen sukupolven biopolttoaineilla tarkoitetaan vielä kehitteillä olevia uusia polttoaineita. Näiden polttoaineiden valmistuksessa tullaan käyttämään täysin uu-sia raaka-aineita, kuten erilaisia leviä ja muita orgaanisia yhdisteitä. Nämä poltto-aineet eivät vielä lähivuosina ole tulossa kaupalliseen tuotantoon. (Motiva 2014)

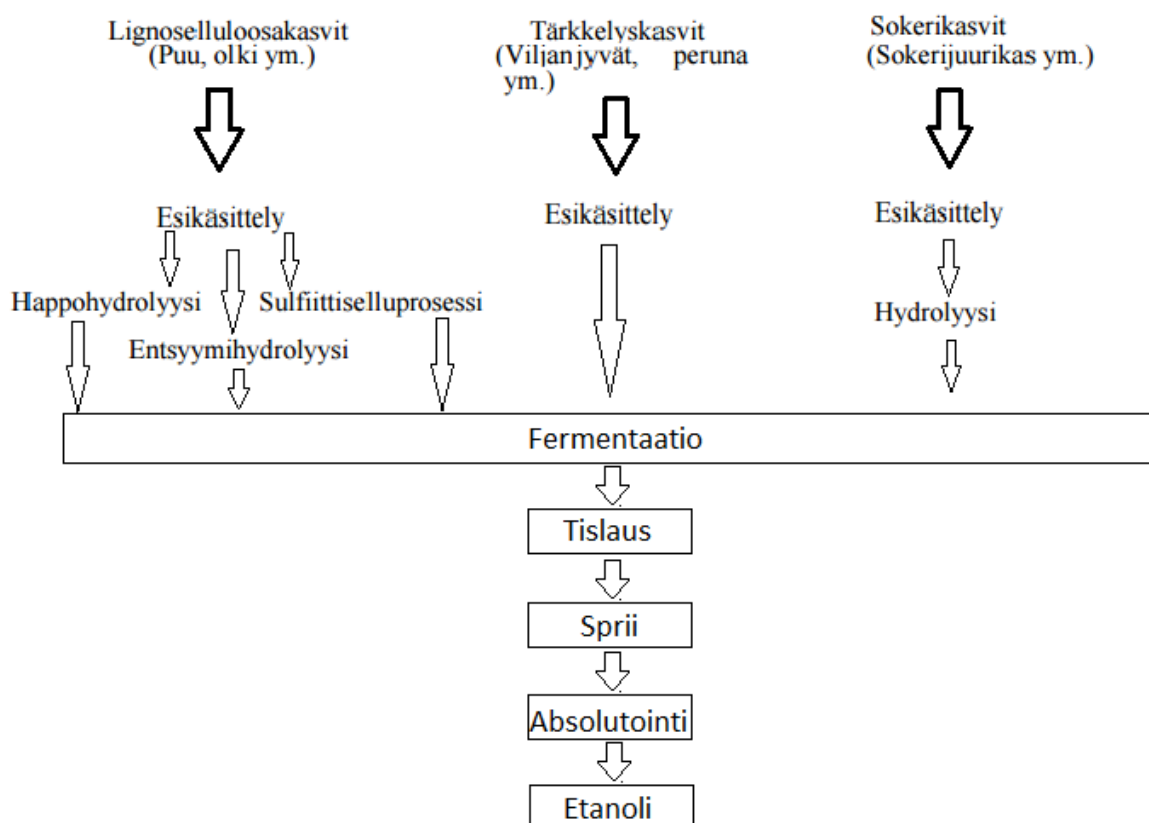
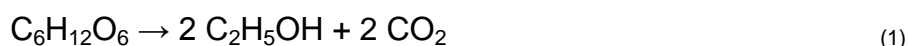
2.3 Nestemäiset liikenteen biopolttoaineet

2.3.1 Etanoli

Etanoli on yksi vanhimmista tunnetuista nestemäisistä polttoaineista. Nautintoai-neena ja elintarvikekäytössä sen tiedetään olleen jo 9000 vuotta sitten. Erilaisten moottoreiden polttoaineena etanolia on käytetty jo 1700-luvulta lähtien. (Lampinen 2009, 202)

Moottoroidun liikenteen polttoaineena etanolia hyödynnettiin ensimmäisen kerran 1800- luvulla. Etanolin korkean puristuskestävyyden hyödyt olivat selvillä jo Nicolaus Otton kehitystyössä 1800- luvun loppupuolella. (Lampinen 2009, 203) Lähes 100 vuotta kestänyt öljyn vallankumous kuitenkin syrjäytti etanolin liikenteen polttoaineena. Nyt uusien ilmastostrategioiden ja tiukentuneiden päästövaatimusten myötä etanolin käyttö on jälleen lisääntynyt. Etanoli onkin jo maailman käytetyin liikenteen vaihtoehtopolttoaine. (Motiva 2014)

Valmistus. Etanolin yleisin valmistusmenetelmä on alkoholifermentaatio eli käyminen (kuvio 1). Siinä sokeri ja tärkkelyskasveista saatava glukoosi hajoaa mikrobien (hiivat, sienet ja bakteerit) avulla asetaldehydiksi ja hiilidioksidiksi. Lopuksi asetaldehydi pelkistyy etanoliksi (kaava 1):



Kuvio 1. Etanolin valmistus fermentoimalla (Lampinen 2009, 268).

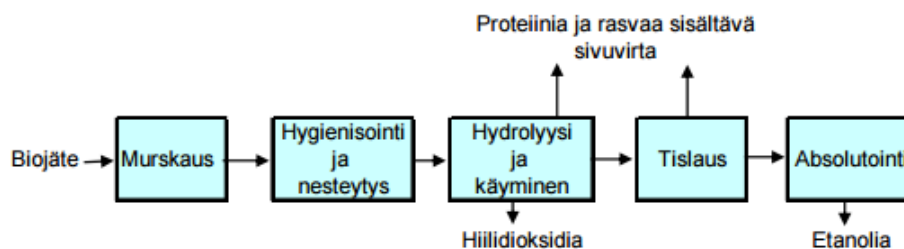
Käymisreaktion lisäksi etanolia valmistetaan monilla muillakin menetelmillä. Teollisuusetanolia pystytään valmistamaan synteettisesti raakaöljystä saatavasta eteenistä eli etyleenistä. Valmistus tapahtuu höyryhydrauksella (kaava 2):



Myös etyyniä eli asetyleeniä voidaan hydrata, jolloin saadaan välituotteena asetaldehydiä. Asetaldehydi voidaan edelleen pelkistää alkoholiksi, jolloin saadaan väkevää etanolia. Tällöin tislauستا ei tarvita. (Lampinen 2009, 202 -203)

Bioetanolia jätteistä. Bioetanolia voidaan valmistaa myös ihmiskunnan aikaansaamista jätteistä. Raaka-aineeksi käy erilliskerätty biojäte sekä kotitalouksien ja laitosten sekajäte (Rättö ym. 2009, 34,43). Suomen oma bioetanolituotanto koostuu kokonaisuudessaan jätteitä hyväksikäyttävästä valmistustekniikasta. Kaikki Suomessa myytävä bioetanoli on tällä hetkellä lähtöisin elintarviketeollisuuden jätteistä ja tähteistä sekä kauppojen ja kotitalouksien biojätteistä. Tämä jätteistä valmistettu etanoli on lähes hiilineutraalia, koska voidaan sanoa, että kaikki biopolttoaineista vapautuvat hiilidioksidipäästöt ovat osa luonnon omaa hiilikiertoa. Jätteisiin perustuvan bioetanolin osuus korkeaseosetanolipolttoaineessa vähentää liikenteen fossiilisia hiilidioksidipäästöjä parhaassa tapauksessa jopa 80 prosenttia. (Motiva 2014)

Biojäte-etanoliprosessi. Biojäte-etanoliprosessi on monivaiheinen prosessi, joka alkaa jätteen murskaamisella ja vaikeasti homogenoitavien ei-hajoavien kappaleiden poistolla. Sitä seuraa massan hygienisointi ja nesteytys. Hydrolyysissä jätteessä oleva selluloosa ja tärkkelys muunnetaan sokereiksi, jonka jälkeen voidaan aloittaa käymisprosessi. Käymisprosessissa sokeri konvertoituu etanoliksi. Yksinkertaistettu biojäte-etanoliprosessi on esitetty alla olevassa kuviossa (kuvio 2) (Rättö ym. 2009, 23, 24).



Kuvio 2. Bioetanolin valmistus biojätteistä (Rättö ym. 2009, 41).

Etanolin ja bensiinin sekoittuvuus keskenään. Monien valmistusprosessien ja lopullisen tislauksen jälkeen saadaan 96 tilavuusprosenttista spriitä eli etanolia. Tämä etanoli kelpaa sellaisenaan puhdasta alkoholia polttoaineenaan käyttäviin ajoneuvomoottoreihin, mutta ei sovellu sekoitettavaksi bensiinin kanssa veden erottuessa omaksi faasikseen. Sekoittaessa etanolia bensiiniin tulee etanoli ensin absolutoida vähintään 99,6 tilavuusprosenttiseksi alkoholiksi. Tällöin etanolia voidaan sekoittaa bensiiniin kaikissa suhteissa, eikä edellä mainittua vedenerottumisongelmaa enää esiinny. Yli 99,6 prosenttisen alkoholin eli absoluuttisen alkoholin valmistukseen on olemassa erilaisia menetelmiä. Näitä ovat natrium- ja kaliumasetaattien vedensitomiskykyyn perustuva Hiag- menetelmä ja jo kauemmin tunnettu puuhiilisuodatus (Lampinen 2009, 203). Suomessa etanolia on sekoitettuna normaaliin bensiiniin joko 5 prosenttia (98e5), 10 prosenttia (95e10) tai 85 prosenttia (E85, Re85).

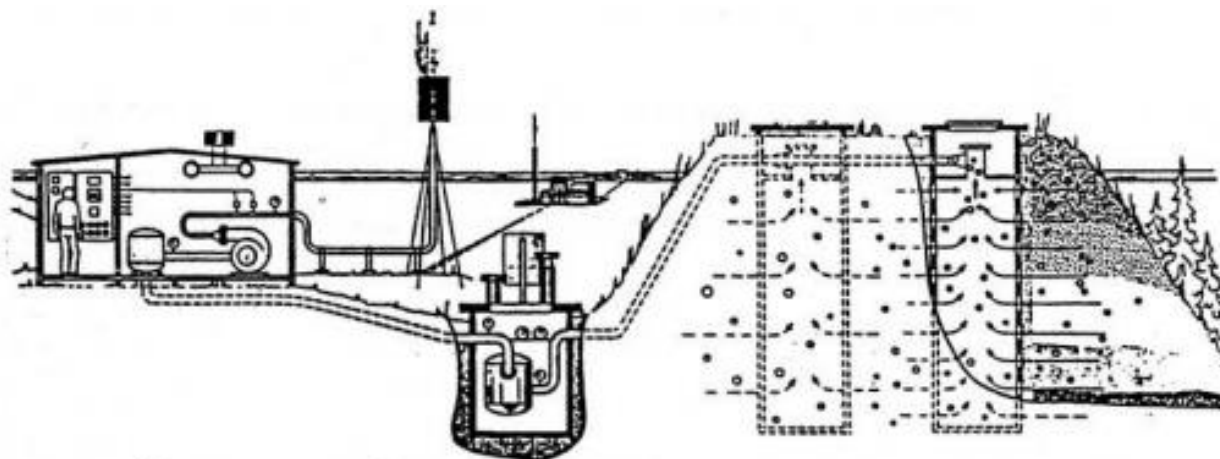
2.3.2 Metanoli

Etanolin tavoin metanoli on jo kauan ihmiskunnan käytössä ollut nestemäinen polttoaine. Metanolia on käytetty etenkin erilaisten kilpa-ajoneuvojen polttoaineena jo vuosikymmeniä sen korkean oktaaniluvun tuomien etujen vuoksi.

Metanolia on valmistettu jo yli 4000 vuoden ajan pyrolyysiöljyn sivutuotteena. Pyrolyysi eli kuivatislaus on menetelmä, jossa puuta nopeasti kuumentamalla saadaan tislattua niin sanottua pyrolyysiöljyä sekä sivutuotteena metanolia. Tämä oli yleisin metanolin valmistustapa aina 1900-luvun alkupuolelle saakka, kunnes energiatehokkaammat tuotantotavat korvasivat sen (Lampinen 2009, 199-200).

Nykyään suurin osa metanolista tuotetaan metaanikaasusta höyryreformoimalla. Siinä metaanikaasu hapetetaan ja syntetisoidaan erillistä katalyyttiä kuten kuparioksidia apuna käyttäen. Lopputuloksena saadaan puhdasta metanolia.

Uusiutuvaa metanolia. Metanolin valmistus fossiilisesta maakaasusta ei ole uusiutuvan energiantuotannon mukaista, joten yksi nopeimmin kehittyvistä metanolin tuotantotavoista on biokaasun käyttäminen synteetikaasun pohjana. Tarvittava synteetikaasu saadaan yhdyskuntajätteestä, kaatopaikoilta ja jätevedenpuhdistamoilta. Menetelmä perustuu orgaanisen jätteen hajoamisessa vapautuvan metaanin talteenottoon. Saatua kaasua pystytään puhdistettuna käyttämään metanolisynteesin pohjana. Alla on esitettynä kaatopaikalle sijoitetun biokaasun talteenottoaseman toiminta (kuvio 3). (Hiltunen 2006, 3-5)



Kuvio 3. Biokaasun talteenottoasema (Hiltunen 2006, 4).

Käymisprosessi. Metanolia saadaan myös etanolin valmistuksessa käytettävän käymisprosessin sivutuotteena. Käymisteitse valmistettaessa metanolin osuus on kuitenkin niin häviävän pieni, että taloudellinen hyöty jää vähäiseksi. (Lampinen 2009, 199-200.)

Käyttö polttoaineena. Biometanoli ja -etanoli soveltuvat molemmat hyvin käytettäväksi ottomoottoripolttoaineena. Alkoholien korkea oktaaniluku sekä polttoaineeseen itsessään sisältyvä happi tekevät niistä täydellisemmin palavia verrattuna fossiilisiin hiilivetyihin. Alkoholien energiatiheys sen sijaan on bensiiniä pienempi, joka johtaa suurempaan polttoaineenkulutukseen. Täydellisemmän palamisen vuoksi energiankulutus pysyy pienempänä kuin vastaavilla fossiilisilla hiilivedyillä.

Sekoitettaessa alkoholeja oikeassa suhteessa bensiinin kanssa voidaan sekä etanolia, että metanolia käyttää jokapäiväisen moottoroidun liikenteen polttoaineina. (Lampinen 2009, 200)

Alkoholipolttoaineiden edut ja hyödyt fossiilisiin hiilivetyihin verrattuna ovat siis suuria etenkin haettaessa moottorilta parasta mahdollista hyötysuhdetta ja suorituskykyä. Alkoholien hyödyt suorituskyvyn parantamisessa sekä hyötysuhteen nostamisessa selviävät seuraavassa osiossa, jossa vertaillaan E85 etanolipolttoaineen ja 98e5 bensiinin eroja.

2.3.3 Biodieselit (FAME, FAEE) ja uusiutuva diesel (Neste NEXBTL)

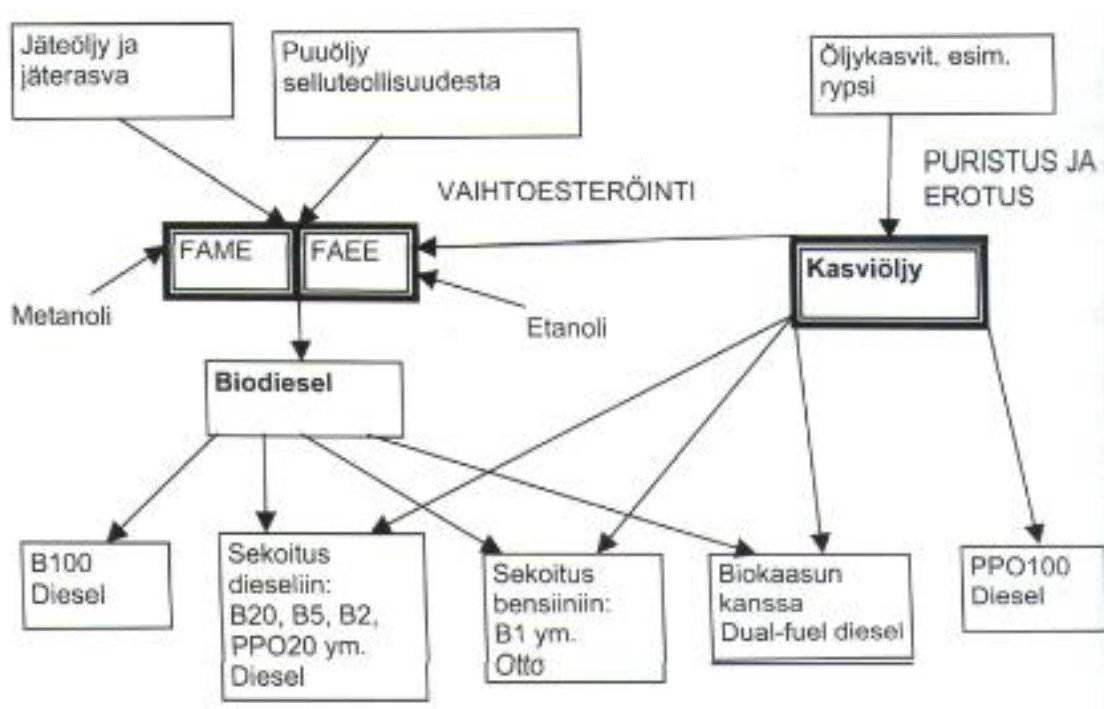
Biodiesel. Biodieseleistä puhuttaessa tarkoitetaan perinteisesti erilaisia rasvahappojen alkyyliestereitä. Valmistus tapahtuu kasviöljyjen, eläinrasvojen tai mikrobiöljyjen vaihtoesteröinnillä, rasvahappojen esteröinnillä tai vaihtometylöinnillä. (Lampinen 2009, 214)

Biodieselin ominaisuudet ovat moottorikäytössä lähellä perinteistä fossiilista diesel-öljyä. Setaaniluku ja viskositeetti ovat biodieselillä yleensä fossiilista dieseliä hieman korkeammat. Kylmäominaisuudet sen sijaan vaihtelevat suuresti valmistustavan sekä raaka-aineen mukaan ja ne ovatkin yleensä fossiilista dieseliä selvästi huonommat. (Lampinen 2009, 214)

Biodieseliä sekoitetaan fossiiliseen dieseliin yleensä suhteella 1-7 prosenttia, jolloin pystytään hyödyntämään sen vähemmän päästöjä aiheuttavat ominaisuudet, mutta samalla kompensoidaan huonoja kylmäominaisuuksia. Lisäksi Euroopassa käytössä oleva dieselpolttoainestandardi EN 590 rajoittaa biodieselkomponentin määrän dieselpolttoaineessa enintään 7 tilavuusprosenttiin. (Neste Oil 2016)

FAME ja FAEE. Fame (fatty acid methyl ester) eli rasvahapon metyyliesteri on yleisin biodiesel-tyyppi. Vaihtoesteröinnissä (kuvio 4) triglyseridi muunnetaan alkoholin ja katalyyttien avulla rasvahappoesteriksi ja sivutuotteena saadaan glyserolia. Reaktiossa käytettävä alkoholi on metanolia, jonka vuoksi saatava biodiesel on metyyliesteriä. Tämä on helpoin biodieselin tuotantotapa jonka vuoksi myös

pienemmät maatilat ja yksityisten valmistuslaitteistot tuottavat biodieseliä tällä tavalla. (Lampinen 2009, 214-2015)



Kuvio 4. Vaihtoesteröinti (Lampinen 2009,276) .

FAEE (fatty acid ethyl ester) eli rasvahapon etyyliesteri vastaa ominaisuuksiltaan FAME-biodieseliä. Erotuksena on, että esteröintitapahtumassa käytetään etanolia metanolin sijaan. Sekä metyyli että etyyliesteriä voidaan valmistaa monesta eri raaka-aineesta. Yleisimmät valmistuksessa käytettävät raaka-aineet ja niistä saatavat biodieselkomponentit lyhenteineen on listattu alla:

- RME= Rypsiöljystä valmistettu biodiesel
- SME= Soijaöljystä valmistettu biodiesel
- PME= Palmuöljystä valmistettu biodiesel
- UCOME= Käytetystä paistoöljystä valmistettu biodiesel

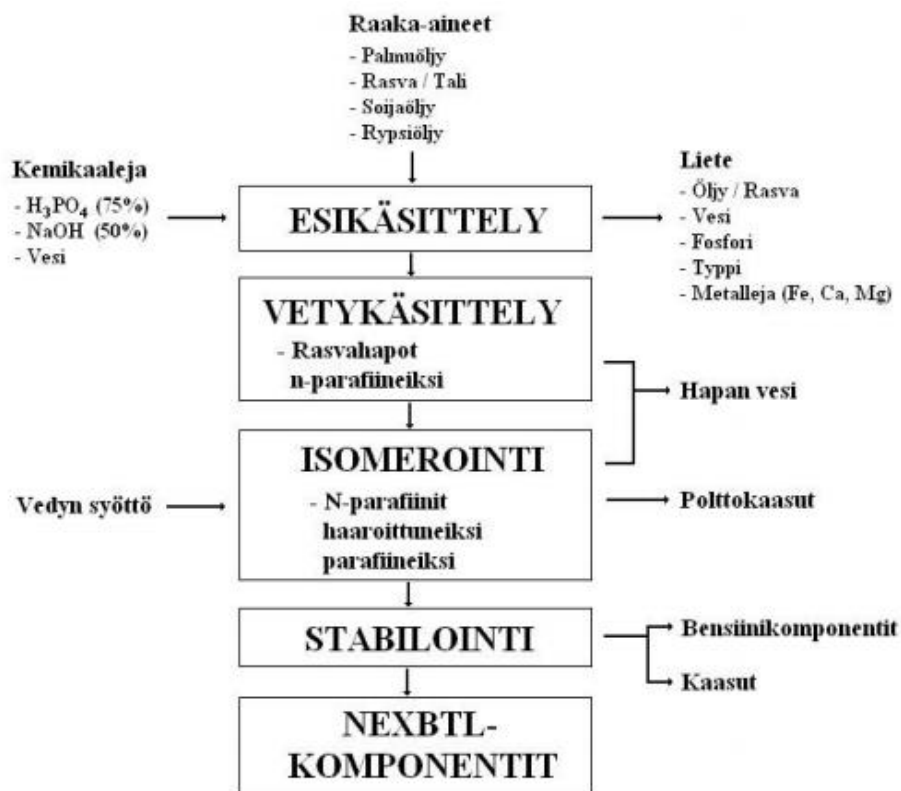
Esteröintiperiaattella valmistettu biodieselin käyttö on tällä hetkellä kovasti esillä. Vaikkakin biodieselin käyttö itsessään vähentää huomattavasti dieselmoottorista aiheutuvia päästöjä, aiheuttaa sen valmistus omat haittavaikutuksensa ympäristöön. Biodieseliä vasten kasvatetut öljykasvit ottavat osansa normaalista viljelys-

kasveille soveltuvasta peltopinta-alasta. Lisäksi palmuöljyn valmistuksessa joudutaan raivaamaan isoja sademetsiä, jolloin itse raivaaminen tuottaa jo itsessään kasvihuonepäästöjä (Motiva 2014).

Uusiutuva diesel (Neste NEXBTL). Uusiutuvaa dieseliä voidaan valmistaa useista eloperäisistä raaka-aineista, esimerkiksi elintarviketeollisuuden rasvajätteistä sekä erilaisista kasviöljyistä. Toisin kuin esteriperiaatteella tuotetussa biodieselesissä on uusiutuvan dieselin valmistuksessa jätteiden ja tähteiden käyttö suuressa asemassa. Vuonna 2013 pelkästään jätevirroista valmistetun uusiutuvan Neste NEXBTL- dieselin määrä vastasi noin miljoonan auton vuosittaista polttoainekulutusta. (Biotalous 2015)

NEXBTL- teknologia perustuu öljyjen ja rasvojen vetykäsittelyyn, josta saadaan lopputuotteena puhdas hiilivetyseos. Kemiallinen koostumus eroaa siis normaalista FAME tai FAEE- biodieselistä. Toisin kuin perinteistä biodieseliä voidaan uusiutuvaa dieseliä sekoittaa normaaliin fossiiliseen diesel-öljyyn millä sekoitussuhteella tahansa. (Biotalous 2015) Koska uusiutuva diesel koostuu hiilivedyistä fossiilisen diesel-öljyn tapaan, voidaan sen ominaisuudet säätää valmistusvaiheessa hyvin lähelle perinteistä fossiilista diesel-öljyä. Tämä poistaa monia moottorin toiminnan kannalta ongelmallisia asioita verrattuna normaaliin biodieseliin.

NEXBTL-prosessissa rasvahapot vedytetään n-parafiineiksi ja n-parafiinit isomeroidaan edelleen haaraketjuisiksi parafiineiksi. Kyseinen prosessi on kuvattu kuviossa 5. (Mäkinen ym. 2005)



Kuvio 5. NEXBTL- prosessi (Mäkinen ym. 2005).

Uusiutuva diesel on tällä hetkellä yksi nopeimmin kehittyvistä uusiutuvista liikenteen polttoaineista. Erimielisyydet ruoaksi kelpaavien raaka-aineiden käytöstä polttoaineiden valmistuksessa ovat ajaneet valmistajat uusien teknologioiden ääreen. Tällä hetkellä yli 60 prosenttia uusiutuvan dieselin raaka-aineista koostuu jätteistä ja tähteistä. Tavoitteena on kokoajan lisätä niiden osuutta (Biotalous 2015).

3 E85 KORKEASEOSETANOLIN JA 98E5 BENSIININ EROT

Etanolin ja fossiilisen bensiinin ominaisuudet eroavat toisistaan huomattavasti. Eri polttoaineita vertailtaessa tulee keskittyä palamistapahtuman kannalta oleellisiin ominaisuuksiin. Keskeisimpiä ovat polttoaineen energiasisältö eli lämpöarvo, puristuskestävyys, oktaaniluku sekä stoikiometrinen seossuhde. Lisäksi ottomoottoripolttoaineista puhuttaessa suurena tekijänä on myös polttoaineseoksen etanolipitoisuus. 98e5 bensiinin, E85-korkeaseosetanolin ja puhtaan etanolin tärkeimpiä ominaisuuksia on lueteltu taulukossa 1.

3.1 Lämpöarvo

Polttoaineen energiasisältöä mitataan sen lämpöarvolla H_u , sekä palamislämmöllä H_0 . Jos polttoaineen palaessa syntyy yhtenä palamistuotteena vettä, on käytännössä merkitystä vain lämpöarvolla H_u . (Bauer 2003, 274) Lämpöarvo on kääntäen verrannollinen tarvittavaan polttoainemäärään. Mitä pienempi polttoaineen lämpöarvo on, sitä enemmän tarvitaan polttoainetta, että saavutetaan sama moottorin tuottama tehomäärä.

Bensiinillä tehollinen lämpöarvo on noin 42 MJ/kg, kun puhtaalla etanolilla se on huomattavasti alhaisempi, noin 27 MJ/kg (Lampinen 2009, 431). Korkeaseosetanolipolttoaineella energiasisältö on etanolipitoisuudesta riippuen huomattavasti fossiilista bensiiniä pienempi. Etanolin matalasta energiasisällöstä johtuen E85-korkeaseosetanolipolttoainetta tarvitaan täydellisen palamistapahtuman saavuttamiseksi noin 30 prosenttia enemmän kuin 98e5 bensiiniä. (Motec 2016).

3.2 Oktaaniluku ja puristuskestävyys

Polttoaineen puristuskestävyys on tärkeä tekijä polttoaineiden ominaisuuksia vertailtaessa. Puristuskestävyyttä ja sitä kautta nakutuskestävyyttä mitataan polttoaineen oktaaniluvulla. Oktaaniluvulla on suuri merkitys esimerkiksi siihen, millaista puristussuhdetta, ahtopainetta ja sytytysennakkoa moottorissa voidaan turvallisesti käyttää. (Bell 2007, 4;9)

98e5 bensiinin oktaaniluku on nimensä mukaisesti Ron-asteikolla mitattuna noin 98, kun puhtaalla etanolilla vastaava luku on noin 110. E85-korkeaseosetanoliipolttoaine sijoittuu näiden väliin oktaaniluvun ollessa valmistuserästä riippuen vähintään 104. (Lampinen 2009, 431) Etanolin korkeasta oktaaniluvusta johtuen moottorissa voidaan E85-polttoaineella käyttää huomattavasti korkeampaa ahtopainetta, sytytysennakkoa sekä puristuspainetta kuin normaalia bensiiniä käytettäessä. Tämä opinnäytetyö perustuukin juuri näiden asioiden vertailuun moottoria viritettäessä.

3.3 Polttoaineen ja ilman seossuhde

Jotta moottori saataisiin toimimaan parhaalla mahdollisella tavalla, tulee sinne syötettävän polttoaine-ilmaseoksen olla oikeanlainen. Eri polttoaineilla on oma stoikiometrinen seossuhde, jolla kyseinen polttoaine saavuttaa täydellisen palamisen. Bensiinin stoikiometrinen seossuhde (AFR) on 14,7:1, eli täydellisen palamisen saavuttamiseksi tulee palotapahtumassa olla suhteessa yhtä bensiinikiloa kohti 14,7 kiloa ilmaa. (Bauer 2003, 498) Puhtaan etanolin AFR sen sijaan on 9:1 (Lampinen 2009, 431) ja E85-korkeaseosetanoliipolttoaineella polttoaineen ja ilman suhde tulee täydellisessä palamisessa olla 9,76:1.

Seossuhdetta kuvataan lisäksi pakokaasun lambda -arvolla, eli ilmakertoimella. Ilmakerroin kuvaa todellisen ilmakertoimen poikkeamaa stoikiometrisestä seossuhteesta. Esimerkiksi bensiinillä lambda-arvon ollessa 1 on afr 14,7, eli seos on stoikiometrinen. Lambda-arvon ollessa alle 1 on seos sen sijaan rikas ja käytännössä suurin moottoriteho saavutetaankin lambda-arvon ollessa 0,85-0,95. Stoikiometrisen seoksen hyödyt tulevat esille tasaisessa ajossa, jolloin kulutus saadaan laihan seoksen ansiosta pieneksi. (Bauer 2003, 498)

Ero E85-korkeaseosetanoliipolttoaineen ja bensiinin välillä on, että etanolin itsessään sisältämän hapen vuoksi voidaan moottoria käyttää huomattavasti rikkaamalla polttoaineseoksella. Rikas polttoaineseos taas jäähdyttää tehokkaasti moottoria, parantaa siten täytöstä ja antaa mahdollisuuden moottoritehon nostoon.

3.4 Höyrystymislämpö, höyrinpaine ja leimahduspiste

Etanolin höyrystymislämpö (Taulukko 1) on huomattavasti bensiiniä korkeampi, mistä syystä kylmäkäynnistyvyys on etanolipolttoaineella bensiiniä heikompaa (Lampinen 2009, 431). Lämpimällä moottorilla sen sijaan saavutetaan huomattavia etuja, sillä etanoli metanolin tavoin sitoo itseensä lämpöä moottorin imusarjasta, sylinterikannen kanavista, palotilasta sekä männistä. Viileämmässä palotilassa polttoaineseoksen tiheys on suurempi, joka edesauttaa suuremman tehon saavuttamisessa. (Bell 2007, 4;12).

Etanolin matala höyrinpaine, sekä korkea leimahduspiste (Taulukko 1) osaltaan myös vaikeuttavat kylmäkäynnistävyyttä, jonka vuoksi E85-korkeaseosetanoli-polttoaineessa onkin lisättyä vähintään 15 prosenttia bensiiniä näiden ominaisuuksien kompensoimiseksi.

Taulukko 1. 98e5 bensiinin, puhtaan etanolin ja E85-korkeaseosetanoli-polttoaineen ominaisuuksia (Lampinen 2009, 431, St1 2016).

	98e5	E85	Etanoli
Oktaaniluku Ron	98	104->	110
Stoikiometrinen ilma/polttoaineseos	14,7:1	9,76:1	9,0:1
Tiheys (kg/Nm³) @ 15°C 1 bar	720-780	778	790
Leimahduspiste °C	-50		13
Höyrystymislämpö (KJ/kg) @ 15°C	348		840
Tehollinen lämpöarvo (MJ/kg)	42		27
höyrinpaine kpa @ 37,8°C	35-100	68	16
Viskositeetti @ 20°C	0,4		1,2
Etanolipitoisuus %	5	83 (75-85)	100

4 BENSIINIMOOTTORIN MUUTOSTYÖT ETANOLIKÄYTTÖISEKSI

Bensiinimoottoria E85-korkeaseosetanolipolttoaineelle soveltuvaksi muutettaessa tulee kiinnittää huomiota useaan eri osa-alueeseen. Polttoainevaihdos tuo haasteita polttoainejärjestelmän toteuttamisessa, moottorinohjausjärjestelmässä, sekä moottoria runsaasti viritettäessä myös sen käytettävyydessä. Tässä osiossa on kerrottu yleisesti E85-etanolipolttoaineen vaatimista muutoksista polttoainejärjestelmälle, moottorille, sekä moottorinohjausjärjestelmälle. Lisäksi jokaisessa aihealueessa on keskitytty myös moottorin suorituskyvyn nostamisen vaatimiin muutoksiin.

4.1 Polttoainejärjestelmä

E85-etanolimoottorissa polttoainejärjestelmän toteutus vaatii erityishuomiota materiaalien kestävyiden sekä suuremman polttoaineenkulutuksen vuoksi. Etanolilla on kyky sitoa itseensä vettä, joka on otettava huomioon eri metallien mahdollisena korroosiona. Etanolin happaman koostumuksen vuoksi metallit, joilla on taipumus muodostaa happamassa liuoksessa nopeasti liukenevia hydroksideja, ovat alttiita etanolin ja veden yhteisvaikutukselle. Muovien ja kumien kestävyys mitataan sillä, kuinka paljon ja missä ajassa kyseiseen materiaaliin imeytyy polttoainetta. Tämä imeytynyt polttoaine voi haurastuttaa ja saada kyseisen materiaalin muuttamaan muotoaan esimerkiksi paisumalla. (Kalliohaka ym. 2008, 16)

Etanolin lisääminen bensiinin sekaan aina 10 tilavuusprosenttiin asti ei käytännössä aiheuta muutoksia materiaalivalintoihin. Sen sijaan E85-korkeaseosetanolipolttoaineella materiaalivalinnat tulee olla seuraavanlaisia:

Metallit, jotka eivät siedä jatkuvaa kosketusta polttoaineeseen:

- sinkityt osat
- pinnoittamaton sekä seostamaton alumiini
- messinki, jos ei ole inhiboitu sinkinkatoa vastaan

Ruostumaton teräs, pronssi ja pinnoitettu, anodisoitu (eloksoitu) alumiini kestävät etanolia hyvin.

Muovit ja kumit (elastomeerit), joita ei tule käyttää E85-etanolipolttoaineen kanssa:

- ulkoisesti pehmitetty PVC
- polyeetteripohjainen polyuretaani
- polyamidi (nailon), jos ei ole erikseen luokiteltu E85-polttoaineelle
- musta tavallinen kumi

Teflon (PTFE), neopreenikumi, polypropeeni ja nitrili kestävät E85-polttoaineseosta moitteetta (Kalliohaka ym. 2008, 24)

Polttoainelinjoja tehtäessä tulee myös varmistua niiden riittävän suuresta koosta. Etanolin pienemmän energiasisällön vuoksi E85-polttoainetta kuluu polttoainekäytössä noin 30 prosenttia enemmän, kuin bensiiniä (Motiva 2014). Lisäksi tulee tietenkin huomioida lisääntynyt polttoaineenkulutus moottoria viritettäessä.

4.1.1 Suuttimet

Kun bensiinimoottori muutetaan etanolikäyttöiseksi ja tehotavoite on alkuperäistä moottorin tehomäärää huomattavasti korkeammalla, tulee varmistua myös polttoainesuutinten riittävydestä, sekä niiden soveltuvuudesta E85-etanolipolttoaineelle. Liian pienet suuttimet eivät pysty suihkuttamaan riittävän suurta määrää polttoainetta, kun moottoria kuormitetaan maksimiteholla. Tämä johtaa usein moottorin ylikuumentumiseen liian seoksen johdosta ja lopulta moottorivaurioon. Liian suuret suuttimet taas vaikeuttavat esimerkiksi tyhjäkäynnin säätämistä kohdalleen (Bell 2007, 7:26,7:27).

4.1.2 Suuttimien tuoton määrittäminen

Käytännössä lähes kaikki nykyaikaiset polttoainesuuttimet soveltuvat materiaaliensa puolesta etanolipolttoaineelle sellaisenaan. Ongelmaksi koituukin etenkin moottoria viritettäessä se, että polttoaineenkulutus kasvaa huomattavasti, suuttimien staattinen virtausarvo jää liian pieneksi ja suutinten tuotto loppuu niin sanotusti kesken. Suuttimien koon määrittämiseen on olemassa erilaisia suuntaa anta-

via laskureita, mutta yksinkertaisimmillaan suuttimien koko voidaan laskea alla olevilla kaavoilla. (Bell, 2007, 7:26,7:27).

Ensiksi lasketaan suuttimen teoreettinen virtausmäärä (kaava 3)

$$TF = \frac{HP \times K}{C} \quad (3)$$

missä

TF on teoreettinen virtaus (cm^3/min)

HP on moottorin maksimiteho

K on kerroin (BSFC, vapaasti hengittävällä moottorilla noin 4,6, ahdetulla moottorilla noin 5,6)

C on sylinterien lukumäärä

Suuttimen teoreettisesta virtausmäärästä lasketaan edelleen suuttimen staattinen virtausarvo (kaava 4). Staattinen virtausarvo kertoo tarvittavan suuttimen kapasiteetin, kun suuttimelle määritetään haluttu käyttösuhte. Käyttösuhte kertoo suuttimen aukioloajan prosentteina. Suuttimen kestävyuden ja mahdollisen suihkutuskäärän vääristymisen kannalta käyttösuhteen tulisi olla maksimissaan 80 prosenttia (Bell, 2007, 7:27).

$$SF = \frac{TF \times 100}{N \times M} \quad (4)$$

missä

SF on staattinen virtausarvo (cm^3/min)

TF on teoreettinen virtaus (cm^3/min)

N on suuttimien lukumäärä per sylinteri

M suuttimien käyttösuhte (%)

Laskuista saatava staattinen virtausarvo on käytännössä se arvo, jonka suutinvalmistaja valmistamilleen suuttimille ilmoittaa (Bell, 2007, 7:28). E85-

korkeaseosetanoliipolttoainetta käytettäessä tulee huomioida myös etanolin pienemmän energiasisällön aiheuttama noin 30 prosentin kulutuslisäys laskettuun staattiseen virtausarvoon.

4.1.3 Polttoainepumppu

Korkeaseosetanolia polttoaineena käytettäessä tulee polttoainepumpun materiaalien kestää etanolia. Monet pumppuvalmistajat sallivat etanolin käytön, mutta ilmoittavat pumpulle rajoitetun käyttöiän korkeaseosetanolikäytössä. Usein pumput kestävät silti etanolia hyvinkin kauan. Korkeaseosetanolia varten on olemassa myös omia etanolikäyttöön luokiteltuja pumppuja. Aivan kuin muitakin polttoainelaitteiston komponentteja mitoitettaessa, tulee myös uuden polttoainepumpun pystyä tuotollaan kompensoimaan etanolipolttoaineen aikaansaama noin 30 prosenttia suurempi polttoaineenkulutus.

4.2 Moottorinohjaus

Auton alkuperäinen moottorinohjaus on käytännössä aina kompromissi eri osaluokkien suhteen. Tiukentuneet päästönormit sekä pienemmän kulutuksen tavoittelu menevät usein ajoneuvoteollisuudessa maksimaalisen tehon hakemisen edelle. Kun auton moottori muutetaan toimimaan korkeaseosetanoliipolttoaineella ja lisäksi tavoitteena on huomattava moottoritehon nosto, ei alkuperäinen moottorinohjauslaite enää pysty sellaisenaan vastaamaan sille asetettuja vaatimuksia. Moottorinohjauslaitteen lähettämiä käskyjä sytytysennakoista sekä polttoaineen suihkutuspäästöistä tulee siis pystyä muuttamaan niin, että ne vastaisivat nykyistä moottorin kokoonpanoa sekä käytettävää polttoainetta (Bell 2007, 9;3). Moottorinohjauksen muutostyöhön on olemassa useita eri vaihtoehtoja, joita käsitellään tarkemmin seuraavaksi.

4.2.1 Ohjelmointi

Monet nykyisistä auton alkuperäisistä moottorinohjauslaitteista ovat täysin ohjelmoitavissa. Alkuperäinen moottorinohjauslaitteen ohjelma voidaan joko korvata uudella tai ohjelmaa voidaan muokata paremmin esimerkiksi korkeaseosetanoli-polttoaineelle sopivaksi. Näin voidaan lisätä polttoaineen suihkutuspäästöjä sekä muokata sytytysennakkoa paremmin uudelle polttoaineelle sopiviksi.

Vanhemmissa moottorinohjausjärjestelmissä alkuperäistä ohjelmaa ei aina pysty muuttamaan, etenkin puuttuvan OBD-pistokkeen vuoksi. Näissä tapauksissa alkuperäinen moottorinohjauksen muistipiiri korvataan uudella muistipiirillä. (Voimaa.com, 2016)

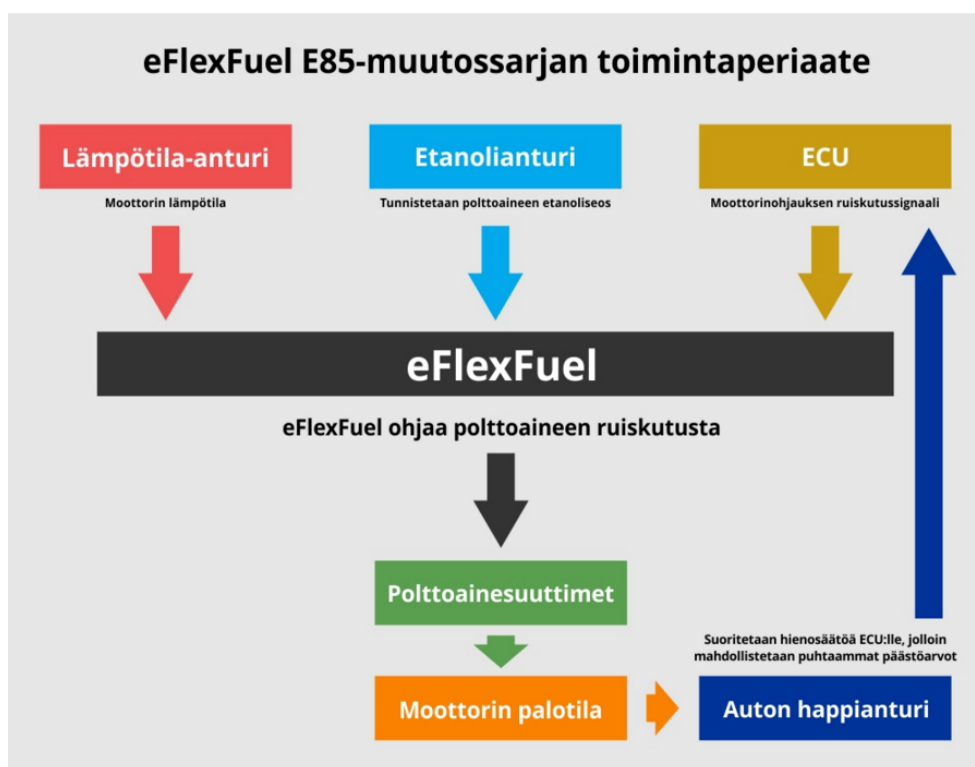
4.2.2 Moottorinohjauksen vaihto

Varsinkin vanhemmissa autoissa ei alkuperäinen moottorinohjausjärjestelmä aina ole ohjelmoitavissa, sen muistipiiriä ei voida vaihtaa tai sen rinnalle ei voida asentaa esimerkiksi ohjelmoitavaa lisäkorttia. Nykyään markkinoilla on useita kaupallisia moottorinohjausjärjestelmiä, joilla alkuperäinen järjestelmä voidaan korvata täysin. Vaihtotyössä voidaan mahdollisuuksien mukaan käyttää auton alkuperäistä johtosarjaa tai koko moottorinohjauksen ja moottorin välinen johtosarja voidaan korvata vikojen minimoimiseksi täysin uudella johtosarjalla.

Vaihtotyön jälkeen uusi moottorinohjausjärjestelmä voidaan ohjelmoida soveltumaan esimerkiksi E85-korkeaseosetanolipolttoaineelle. Vaihdoilla saavutetaan lisäksi useita etuja alkuperäiseen moottorinohjaukseen verrattuna. Sekä bensiiniä että korkeaseosetanolia polttoaineena käytettäessä suurin etu saavutetaan niin sanotulla monikarttaominaisuudella, jossa eri polttoaineseoksille soveltuvia polttoaine- sekä sytytysennakkokorttoja voidaan vaihtaa käytettävän polttoaineen muuttuessa. Useimpia kaupallisia moottorinohjauslaitteita voidaan lisäksi käyttää yhdessä etanoliseosanturin kanssa, jolloin moottorinohjaus huomioi kulloinkin käytössä olevan polttoaineen automaattisesti.

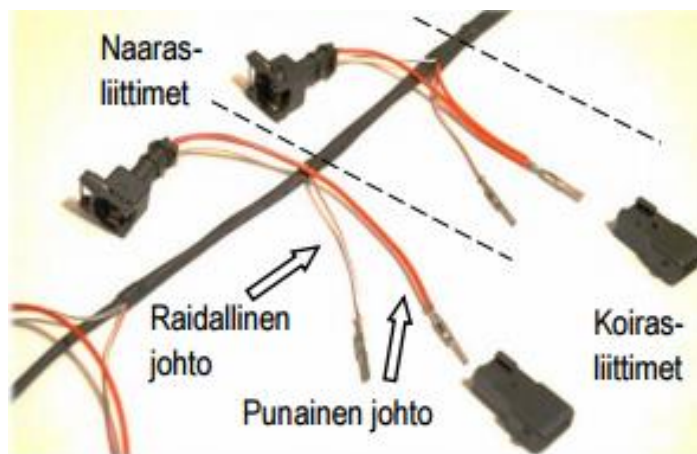
4.2.3 Valmiit E85-muutossarjat

E85- etanolikonversio voidaan toteuttaa myös jälkeenpäin asennettavalla muutossarjalla. Muutossarjan toiminta perustuu moottorinohjauslaitteelta tulevan polttoaineenruiskutussignaalin muunteluun. Käytännössä seoksen rikastus tapahtuu pidentämällä suuttimien aukioloaikoja. Kehittyneemmissä muutossarjoissa on lisäksi etanolianturi polttoainelinjassa mittaamassa polttoaineen etanolipitoisuutta, jolloin polttoainemäärä voidaan säätää optimaaliseksi kaikilla etanoliseossuhteilla. Kylmäkäynnistyksessä tarvittavaa polttoainemäärän lisärikastusta ohjataan laitteen ulkoisella lämpötila-anturilla. (eFlexfuel 2016) Kuviossa 6 on esitettyä kotimaisen eFlexfuel E85-muutossarjan toimintaperiaate.



Kuvio 6. eFlexFuel toimintaperiaate (eFlexfuel 2016).

Sarja asennetaan moottorinohjauslaitteen ja suuttimien välissä oleviin ruiskutussignaalijohtoihin. Asennus on helppoa eikä alkuperäisiä johtoja tarvitse oikeanlaisien adapterien ansiosta katkaista (kuva 1).



Kuva 1. Suuttimien liittimet (eFlexfuel 2016).

E85-etanolikonversion toteuttaminen muutossarjalla on todella helppo ja halpa ratkaisu ja soveltuu sellaisenaan hyvin useisiin jokapäiväisessä ajossa oleviin ajoneuvoihin. Ennen muutossarjan hankkimista tulee kuitenkin varmistua alkuperäisten suuttimien riittävydestä noin 30 prosentin polttoaineenkulutuksen korotukselle.

5 TYÖSSÄ KÄYTETTÄVÄ NISSAN CA18DET MOOTTORI JA SEN MEKAANISET MUUTOSTYÖT

5.1 Yleistä

Nissanin Ca- moottoriperhe koostuu 1,6-, 1,8- ja 2,0- litraisista nelisynterisistä bensiinikäyttöisistä rivimoottoreista, joita valmistettiin vuosina 1982-1991. Nämä moottorit tehtiin korvaamaan vanhemmat Nissanin Z- ja E-sarjan moottorit. Ca-sarjan moottoreissa on valurautainen sylinterilohko ja alumiinista valmistettu sylinterikansi. Ensimmäiset moottorit oli varustettu yhdellä kannen yläpuolisella nokka-akselilla ja kahdeksalla venttiilillä (SOHC), kun taas viimeisimmissä versioissa oli alumiininen sylinterikansi kahdella kannen yläpuolisella nokka-akselilla ja kuudelta toista venttiilillä (DOHC). Moottoreiden polttoaineensyöttö oli toteutettu ensimmäisissä versioissa kaasuttimella. Uudemmissa malliversioissa oli elektroninen polttoaineen suihkutussysteemi. Useista moottoreista oli saatavana hieman tehokkaampi Japaninmarkkinoiden versio, sekä normaali vientiversio. Erot kotimaan markkinoiden- ja vientimoottoreiden välillä olivat lähinnä moottorinohjauksessa sekä imupuolen kanavien muotoilussa ja määrässä. (Nissan motor Co.LTD)

5.2 Nissan Ca18det

Opinnäytetyössä käytettävä Ca18det moottori on peräisin vuosimallin 1991 Nissan 200sx s13 mallista. Moottori on Ca- moottoriperheen viimeisin versio, joka on varustettu kahdella kannen yläpuolisella nokka-akselilla ja yhdellä Garretin valmistamalla pakokaasuauhimella. Moottorin iskutilavuus on 1809cc, iskun pituus 83,0mm ja poraus 83,00mm. Puristussuhde on 8,5:1. Moottorissa on elektroninen polttoaineen suihkutussysteemi ja suorasytytys. Moottori tuottaa 124 Kw (169 hv) ja 228 Nm. (Nissan motor Co.LTD 1988)

5.3 Opinnäytetyössä käytettävän moottorin kunnostus

Opinnäytetyön ensimmäinen vaihe oli siinä käytettävän moottorin täydellinen kunnostus. Kyseinen moottori oli viime ajokaudelle jo kertaalleen kunnostettu ja sittemmin kokenut täydellisen tuhoutumisen, joten syyt ja lähtökohdat moottorin tekemiseksi uudelleen olivat hyvät. Aiemmin käytössä ollut Nissanin alkuperäinen moottorinohjausjärjestelmä ja vika-alttiinakin tunnettu nokka-akselin asentotunnistin olivat saaneet aikaan liian aikaisen sytytysennakon ja sitä kautta moottorivaurion. Liian aikaisen sytytysennakon ansiosta sylinterikannen paljealueet (kuva 2) sekä männät sulivat käyttökelvottomiksi. Samalla myös sylinterit vaurioituivat. Sen jälkeen oli siis selvää, että asiat tehtäisiin uudelleen eri tavalla.



Kuva 2. Sulanut palotilan paljealue.

5.3.1 Todetut vauriot

Moottorin ollessa täysin purettu selvisi vaurioiden laajuus. Liiallisen sytytysennakon aiheuttaman lämmön ja nakutuksen ansiosta männät olivat vaurioituneet ja kaikkien sylinterien seinämissä oli havaittavissa pystysuuntaisia naarmuja. Pystysuuntaiset naarmut olivat syntyneet männänrenkasurien vaurioituttua. Myös moottorin runko- sekä kiertokangenlaakerit ja laakerikaulat (kuva 3) olivat vaurioi-

tuneet irronneiden männänpalasten päästessä öljynkiertoon. Samasta syystä myös alkuperäinen turboahdin todettiin käyttökelvottomaksi.



Kuva 3. Jälkiä kampiakselissa.

5.3.2 Vaurioiden korjaus

Vaurioanalyysin jälkeen moottori toimitettiin koneistettavaksi. Sylinterit porattiin, lohkon tasopinta koneistettiin suoraksi ja kampiakselin runkokaulat koneistettiin seuraavaan alikokoon. Kampiakselin kiertokankien kauloista kiillotettiin pois moottoririkosta aiheutuneet pintanaarmut.

Vanha sylinterikansi oli vaurioitunut niin pahoin, että se korvattiin toisella käytetyllä sylinterikannella. Sylinterikansi koeponnistettiin halkeamien ja muiden vikojen varalta, jonka jälkeen se koneistettiin suoraksi. Lisäksi kaikkien venttiilien ja seetipintojen tiiveys testattiin (kuva 4).



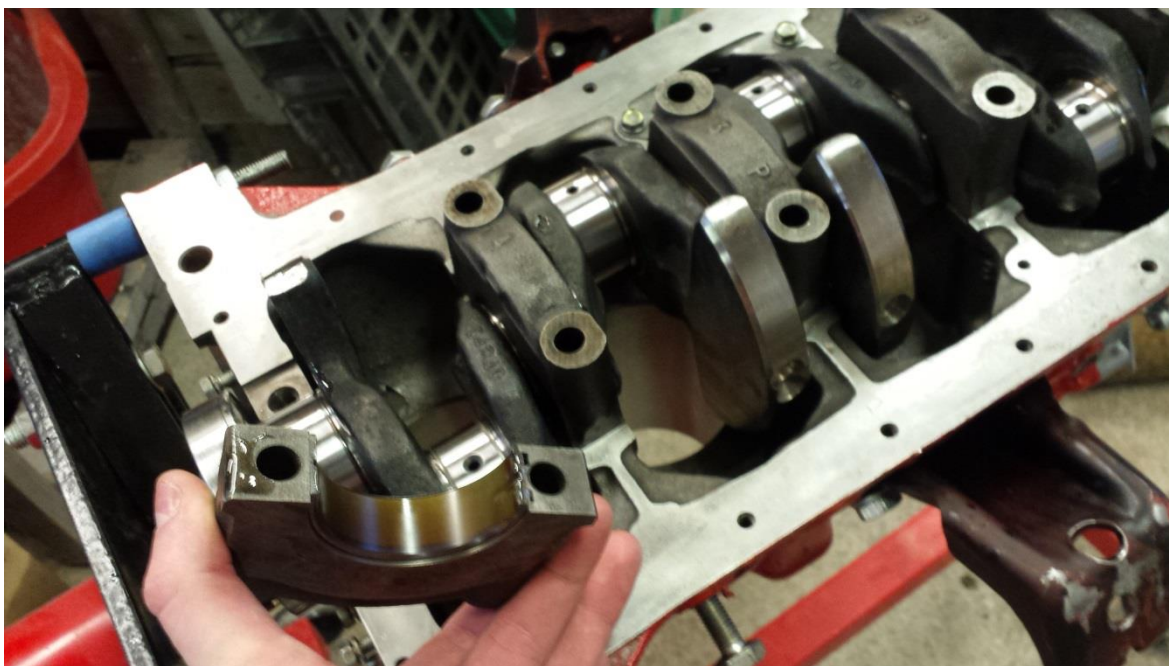
Kuva 4 Venttiilien pitävyyden testaus

5.3.3 Mekaanisen kestävyuden parantaminen

Laakerit. Kun moottoririkosta syntyneet vauriot oli saatu korjattua, alkoi moottorin kokoaminen uusilla osilla. Moottorin runko- sekä kiertokangenslaakerit vaihdettiin ACL:n valmistamiin monikerrosmetallilaakereihin (kuvio 7, kuva 5).



Kuvio 7. Acl monikerrosmetallilaakerin rakenne (Acl performance 2015).



Kuva 5. Uudet runkolaakerit ja koneistettu kampiakseli.

Öljypumppu. Koska työssä käytettävälle moottorille oli elinkaarensa aikana kertynyt jo runsaasti kilometrejä, oli vanha, vaikkakin vielä toimiva öljypumppu syytä vaihtaa uuteen. Vanha pumppu avattiin ja siitä mitattiin valmistajan antamat välykset eri osien välillä (kuvio 8). Pumpun iästä huolimatta olivat mitatut arvot valmistajan toleranssien sisällä. Kaikesta huolimatta toiminnan varmistamiseksi moottoriin asennettiin uusi korkeatuottoisempi pumppu. Alla vertailun vuoksi uusi ja vanha pumppu purettuna (kuva 6).



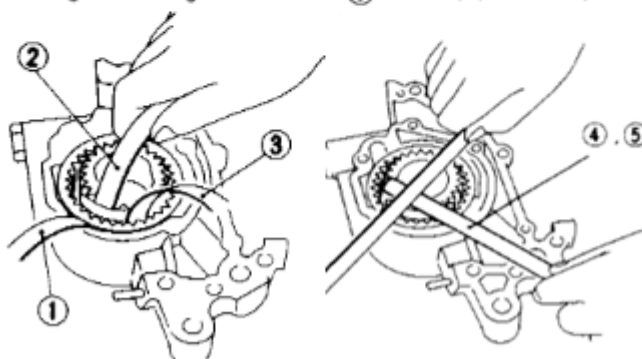
Kuva 6. Uusi ja vanha öljypumppu.

INSPECTION

Using a feeler gauge, check the following clearances.

Unit: mm (in)

Body to outer gear clearance ①	0.11 - 0.20 (0.0043 - 0.0079)
Inner gear to crescent clearance ②	0.15 - 0.26 (0.0059 - 0.0102)
Outer gear to crescent clearance ③	0.21 - 0.32 (0.0083 - 0.0126)
Housing to inner gear clearance ④	0.05 - 0.09 (0.0020 - 0.0035)
Housing to outer gear clearance ⑤	0.05 - 0.11 (0.0020 - 0.0043)



Kuvio. 8 Öljypumpun välyksien toleranssit ja mittausohjeet (Nissan motor Co.LTD 1988, LC-5).

Männät ja Kiertokanget.

Alkuperäiset valamalla valmistetut kiertokanget korvattiin takomalla valmistetuilla teräksisillä H-profiilikiertokangilla. H-profiilikiertokangen etuina on sen keveys sekä alkuperäistä kankea suurempi väsymislujuus. Myös kiertokangenpultit ovat virite-

tyssä moottorissa hyvin suurella rasituksella, jonka vuoksi ne korvattiin vahvistetuilla ARP:n valmistamilla pulteilla.

Kuvassa alla (kuva 7) vasemmalla uusi takomalla valmistettu kiertokanki ja takomalla valmistettu mäntä. Oikealla alkuperäiset valamalla valmistetut vastaavat osat.



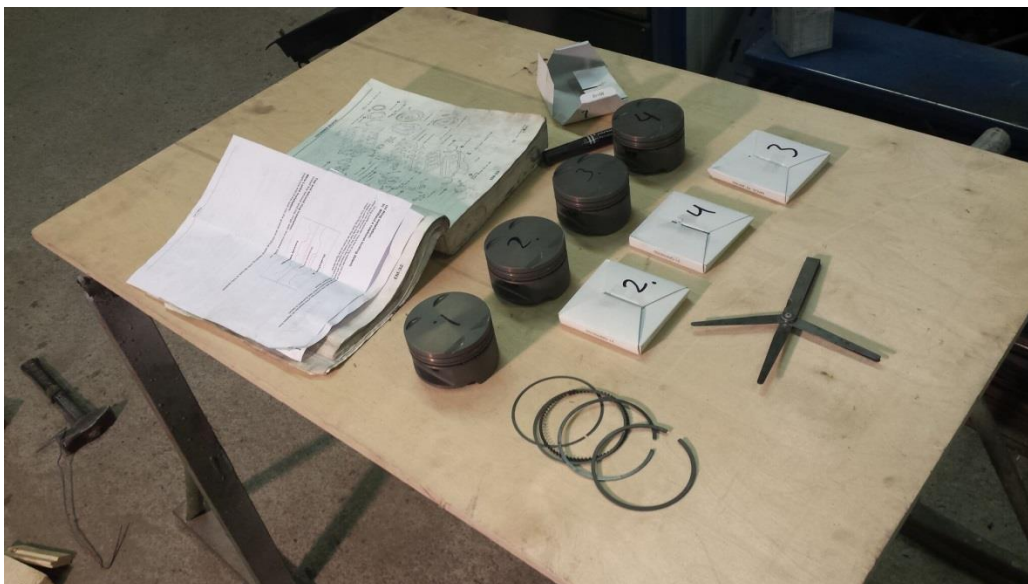
Kuva 7. Vertailussa uudet ja vanhat männät kiertokankineen.

Alkuperäiset männät korvattiin 4032-alumiiniseoksesta takomalla valmistetuilla männillä. Nämä Supertechin valmistamat männät omaavat huomattavasti alkupe- räistä paremman lämmönsiirtokyvyn ja kestävyuden sekä ovat alkupe- räistä valamalla valmistettua mäntää kevyempiä. (Supertech 2015)

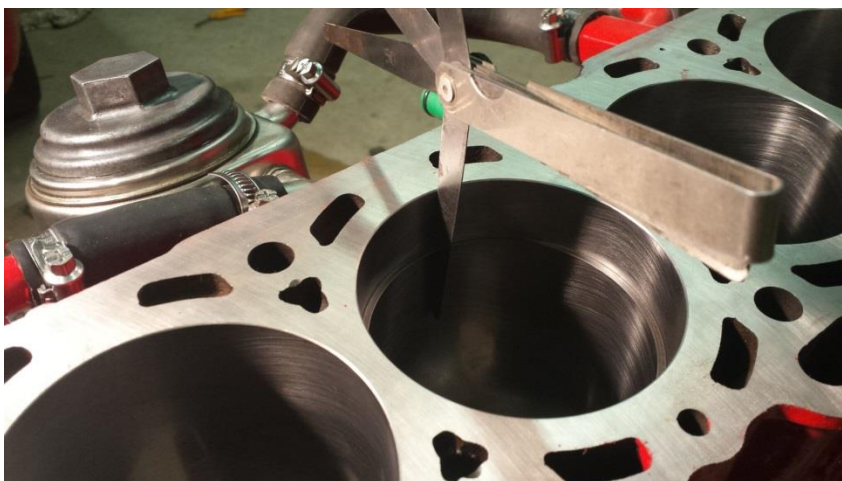
Jo kertaalleen tapahtuneen moottoririkon ansiosta sylintereitä jouduttiin poraa- maan alkupe- räistä suuremmiksi. Tämän vuoksi männät ovat yhden millin ylikokoa alkupe- räiseen nähden, sylinterin porauksen ollessa 84mm.

Männänrenkaiden (kuva 8) katkovälykset (kuva 9) pyrittiin pitämään mahdollisim- man pieninä ohivuodon minimoimiseksi. Suuremmilla välyksillä etanolipolttoaineen

bensiiniä parempi tunkeutumiskyky tuottaisi ongelmia sylinteriseinämän voitelussa. Virityspotentiaalia silmällä pitäen katkovälykset asetettiin hieman pienintä suositeltua välystä reilummiksi. Mäntien tekniset tiedot ja männänrenkaiden katkovälystaulukko on kerrottu liitteessä 1.



Kuva 8. Männänrenkaiden asennusta.



Kuva 9. Katkovälyksen mittausta vällysmitalalla.

Kannenpultit ja kannentiiviste. Koska moottoria tulnaisiin kuormittamaan huomattavasti enemmän, olisi rasitus liian kova alkuperäisille kannenpulteille. Pultit päätettiin korvata vahvistetuilla ARP:n valmistamilla kyseiseen moottoriin tarkoitettuilla pinnapulteilla ja muttereilla. Myös alkuperäinen massakannentiiviste korvattiin Cometicin valmistamalla monikerroksisella metallikannentiivisteellä (kuva 10).



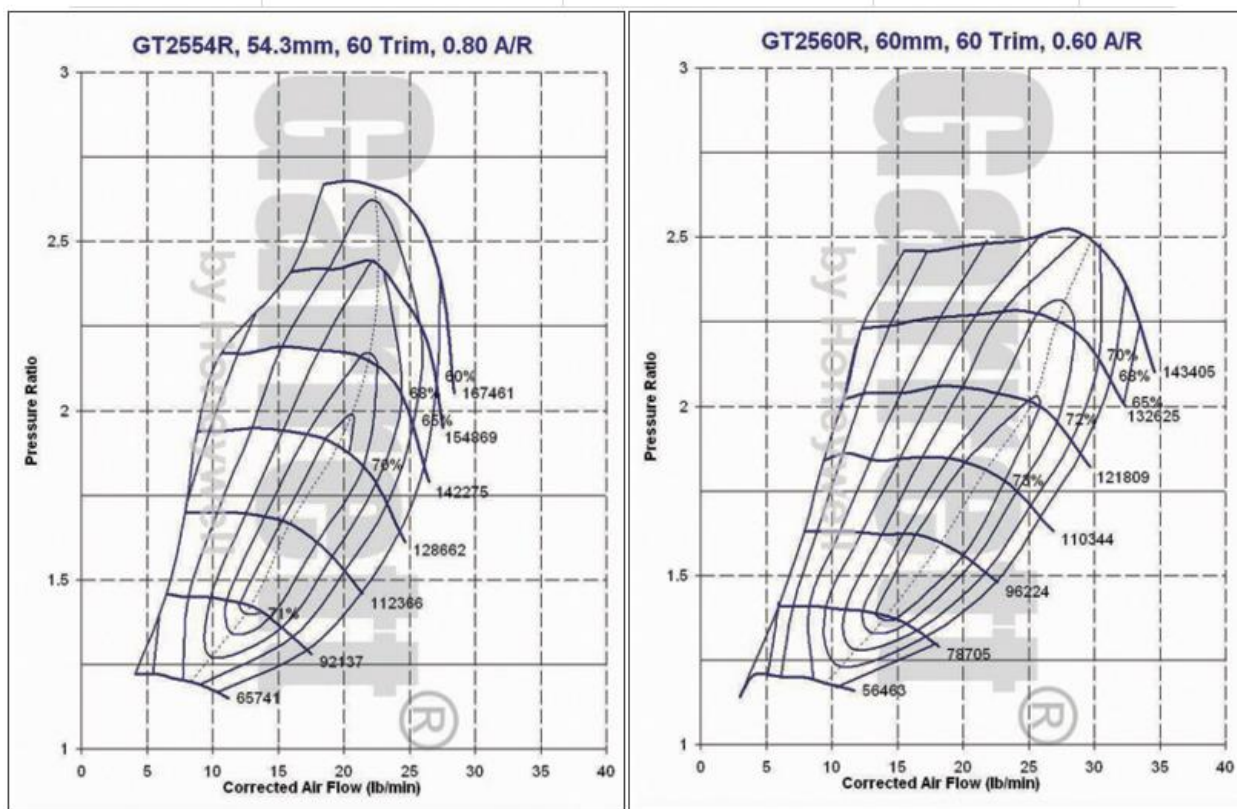
Kuva 10. Pinnapultit ja kannentiiviste.

5.4 Turboahdin

Koska työn tavoitteena oli myös parantaa moottorin suorituskykyä, tuli alkuperäinen turboahdin vaihtaa isompaan. Työn suorittamisen kannalta oli ensiarvoisen tärkeää, että moottorille tehtävät testaukset pystyttäisiin suorittamaan sujuvasti. Tämän vuoksi ei ollut tarpeellista aloittaa ahtimen valintaa suurimmasta päästä, vaan alkuperäisen Garrett T25:n (GT2554) tilalle valikoitui hieman isompi Garrett GT28 (GT2560). Tämä T28 ahdin on varustettu samalla pakopesällä kuin alkuperäinen, mutta kompressoripuoli on kookkaampi (Garrett by Honeywell 2015). Nopean kaasun vastaavuuden, kompaktin kokonsa ja matalan hintansa vuoksi kyseinen ahdin soveltui käyttötarkoitukseen mainiosti.

Alla on esitettyinä (kuvio 9) Garrett GT25r ja GT28r ahtimien kompressorikartat. Kyseiset ahtimet eroavat työssä käytetyistä ahtimista laakeroinnin osalta. R-sarjan ahtimissa keskiö on kuulalaakeroitu, kun taas työssä käytetyn T28:n ja moottorin alkuperäisen T25:n laakerointi on toteutettu normaalilla liukulaakerilla (Garrett by Honeywell 2015). Erot ovat tässä tapauksessa melko pieniä, joten pystymme käyttämään kyseisiä karttoja vertaillenamme työssä käytettävien ahtimien eroja.

Turbo GroupName	Compressor ind diameter	Compressor exd diameter	Turbine diameter	HP
GT2554R	42.10	54.30	53.00	170-270
GT2560R	46.50	60.10	53.00	200-330



Kuvio 9. Garrett GT2554R (GT25R) ja GT2560R (GT28R) kompressorikartat (Garrett by Honeywell 2015).

Vaaka-akselilta selviää ahdetun ilman massavirta (paunaa/min) ja pystyakselilta painesuhde, joka on käytännössä ahtopaineen ja vallitsevan ilmanpaineen summa. Kuviossa olevat viivat kuvaavat hyötysuhdetta. Numerot kartan oikeassa reunassa kertovat ahtimen pyörintänopeuden. (Turbotekniikka 2016.)

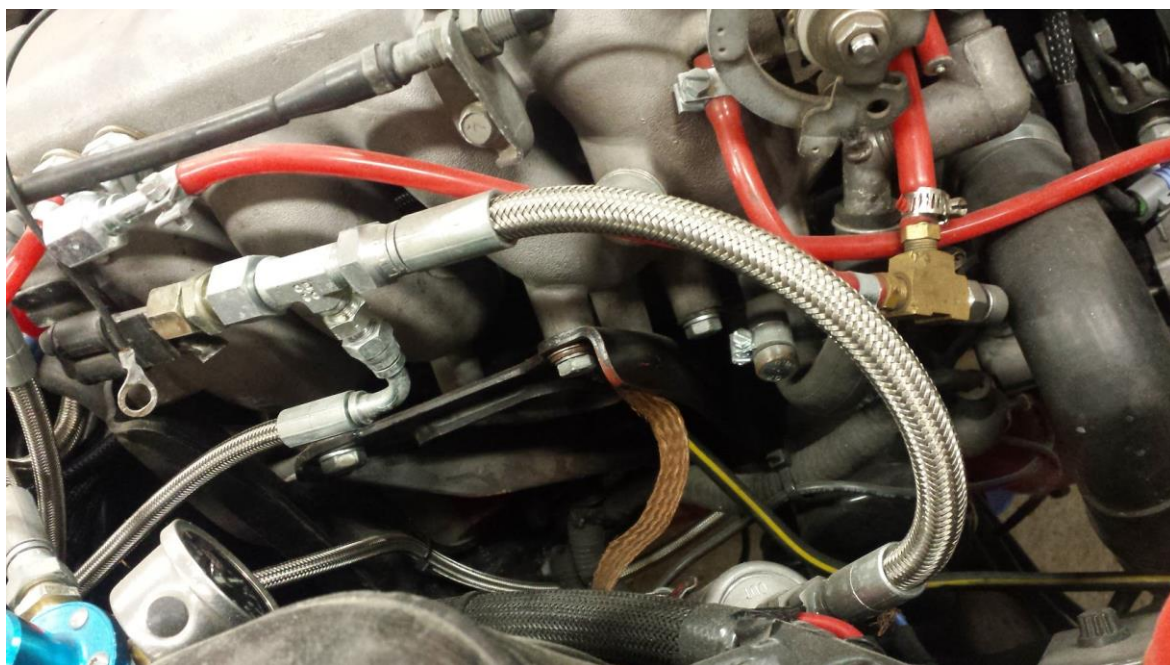
Kun lasketaan painesuhde eli ahtopaineen ja vallitsevan ilmanpaineen summa, sekä lasketaan valitun moottorin parametrejä käyttäen ilmassavirta, voidaan tulokset sijoittaa yllä oleviin karttoihin. Arvot karttaan sijoittamalla voidaan tutkia ahtimen soveltuvuutta kyseessä olevaan moottoriin (Garrett by Honeywell 2015). Koska projektissa käytettävä ahdin oli todettu muulla tavoin soveltuvaksi, ei kyseisiä teoreettisia laskelmia sen sopivuudesta tehty. Kuvioista 9 voidaan kuitenkin todeta, että ahtopaineen noustessa yli yhden barin, on suuremman Garrett Gt2560 ahtimen tuotto selvästi alkuperäistä ahdinta suurempi.

6 CA18DET- MOOTTORIN E85 ETANOLIKONVERSIDIO

Moottorin mekaanisen kunnostuksen jälkeen aloitettiin muutostyöt etanolikäytön mahdollistamiseksi. Tässä osiossa käydään läpi eri muutostyöt mitä tehtiin opinäytetyössä käytettävän Nissan Ca18det- moottorin etanolikäytön mahdollistamiseksi.

6.1 Polttoainejärjestelmän komponentit

Kuten aiemmin tässä työssä tuli ilmi, tulee polttoainejärjestelmän materiaalien olla valikoitu siten, että ne kestävät alkoholia. Alkuperäiset kumista valmistetut letkut korvattiin teräspunosvahvisteisilla teflonletkuilla ja letkujen liittoksissa käytettiin korkealuokkaisia puristettavia hydraulikkaliittimiä (kuva 12). Näin varmistettiin letkujen kestävyys, sekä liittosten pitävyys. Lisäksi varmistettiin letkujen riittävyys etanolimuutoksen tuomalle suuremmalle polttoaineenkulutukselle. Letkut toimitti Pohjanmaan teollisuuspalvelu PTP oy.



Kuva 11. Teräspunosvahvisteinen teflonletku liittimineen.

6.1.1 polttoainepumppu ja polttoaineen paineensäädin

E85-etanolikonversiossa tulee huomioida myös polttoainepumpun riittävyys suuremman polttoaineenkulutuksen vuoksi. Lisäksi polttoainepumpun eri osien tulee kestää E85-etanolipolttoainetta. Näin ollen pumpuksi valikoitui Walbron valmistama 450l/h tuottava tankin sisäinen polttoainepumppu (Kuva 13). Kyseinen pumppu on luokiteltu E85-etanolipolttoaineelle ja se voidaan asentaa alkuperäiseen pumpputelineeseen tankin sisälle. Pumppu mitoitettiin tulevia huomattavia tehotavoitteita silmällä pitäen, joten se riittää yli 600 hevosvoiman moottoritehoon saakka, polttoaineesta riippuen.



Kuva 12. Walbro E85 450lph polttoainepumppu (JM Tuonti 2016).

Lisäksi järjestelmään asennettiin säädettävä polttoaineenpaineensäädin. Peruspaineeksi asetettiin 3bar + ahtopaine. Pumpun, tarvittavan asennussarjan ja paineensäätimen toimitti JM Tuonti Kauhajoelta.

6.1.2 Suuttimet

Moottoriin päädyttiin hankkimaan Sard/Denso merkkiset 800cc/min tuottavat suuttimet. Näihin päädyttiin alhaisen hankintahinnan, nopean saatavuuden ja riittävän tuottonsa vuoksi. Koska suuttimet olivat käytettyjä, pestiin ne ASNU - ultraäänisuutinpesurissa. Suuttimien kaikki tiivisteet vaihdettiin etanolia kestäviin ja lisäksi suodatinkupit vaihdettiin uusiin. Lopuksi suuttimien tuotot testattiin ASNU-

suutintestauslaitteessa (kuva 14). Suuttimien valintaa koskevaa teoriaa käsiteltiin tarkemmin tämän työn osiossa 4.2.

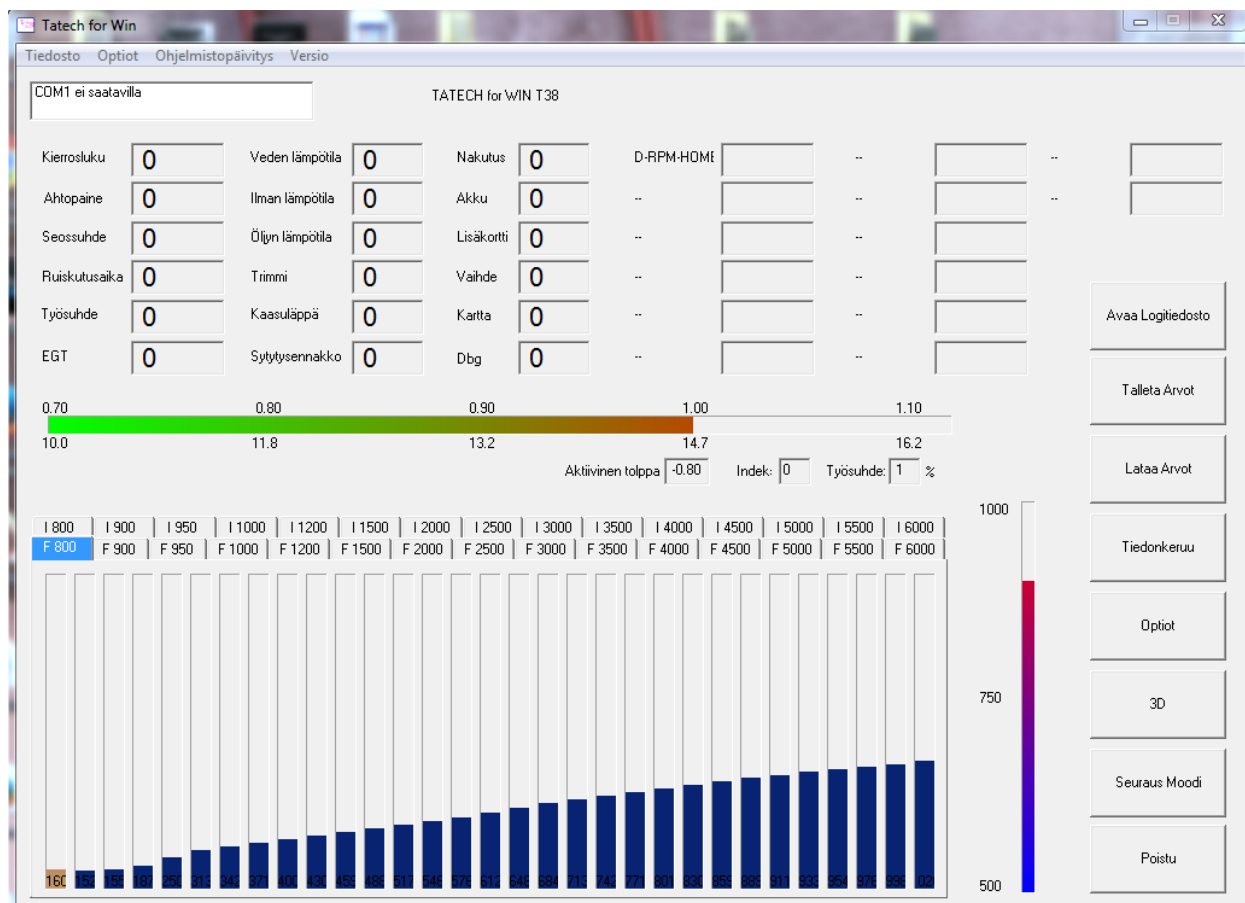


Kuva 13. Suuttimien pesu, testaus ja tiivisteiden vaihto.

6.2 Moottorinohjaus

Vaikkakin Nissanin alkuperäinen moottorinohjausjärjestelmä on omiaan toimimaan tehdaskuntoisessa moottorissa, ei se täyttänyt enää opinnäytetyössä sille asetettuja vaatimuksia. Ohjainlaitteeksi valikoitui kotimainen Tatech T38 LITE. Alkuperäisen moottorinohjainlaitteen suurimmat puutteet olivat sen epävarma moottorin pyörintänopeusanturointi, imusarjan paineanturin puuttuminen sekä rajoitettu ohjelmoitavuus. Tatech moottorinohjauslaitteen johtosarjoiheen ja antureineen toimitti JM Tuonti Kauhajoelta.

Moottorinohjainlaitteen vaihdon ansiosta opinnäytetyössä pystyttiin tutkimaan ja säätämään moottorin käytöstä hyvin tarkasti eri kuormitusalueilla. Vertailtaville polttoaineille pystyttiin tekemään oma polttoaine sekä sytytyskartta. Näin ollen pelkällä kartan sekä käytettävän polttoaineen vaihdolla voitiin saada vertailukelpoisia tuloksia molemmille käytössä oleville polttoaineille. Moottorinohjauksen säätö tapahtui Tatechin omalla Tatech for Win- säätöohjelmistolla (kuvio 10).



Kuvio 10. Tatech for Win- säätöohjelmisto.

Moottorinohjauksen asennusta ei tässä opinnäytetyössä käsitellä kokonaisuutena, sillä työ keskittyy pääosin E85-korkeaseosetanoliipolttoaineen ja bensiinin vertailuun ottomoottorin polttoaineena.

6.2.1 Johtosarja ja anturoinnit

Mahdollisten johtoliitoksista johtuvien vikojen minimoimiseksi koko moottorin johtosarja rakennettiin kokonaan uudelleen. Anturoinneissa käytettiin hyödyksi moottorin alkuperäistä lämpötila-anturia, sekä kaasulämpän asentoanturia. Sen sijaan kuormitusanturina alun alkaen käytetty alkuperäinen kuumalankatyyppinen ilmassamittari korvattiin imusarjan paineanturilla (kuva 15).



Kuva 14. Bosch imusarjan paineanturi (Bosch 2016).

Lisäksi järjestelmään lisättiin imuilman lämpöanturi (kuva 16) mittamaan moottoriin menevän ilman lämpötilaa.

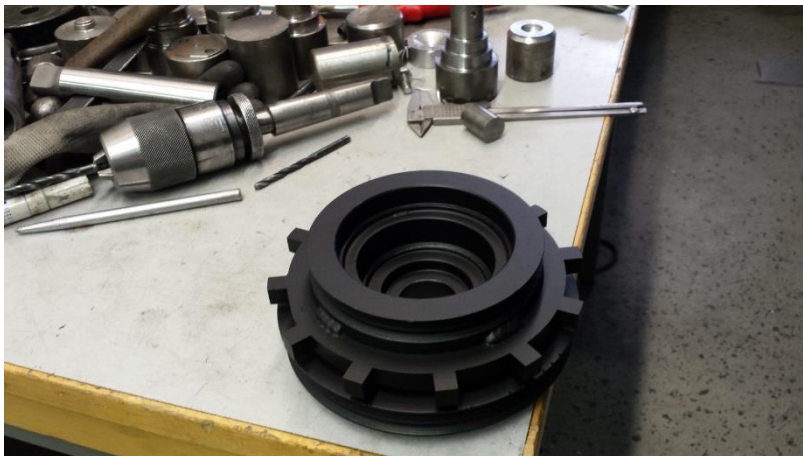


Kuva 15. Imuilman lämpötila-anturi ahtoputkessa.

Moottorin pyörintätieto on tärkein informaatio minkä sähköinen moottorinohjausjärjestelmä tarvitsee. Jos pyörintätieto saadaan luotettavasti läpi koko käytettävän kierrosalueen, niin myös itse moottorinohjauksesta saadaan luotettava. Yksinkertaisin ja toimintavarmin tapa on käyttää HALL-antureita (kuva 17) ja 12-nastaista triggerikiekkoa kampiakselilla (kuva 18) ja 1-nastaista nokka-akselilla. Tällöin moottorinohjaus tarkistaa moottorin pyörintänopeuden 12 kertaa kampiakselin kiertäessä (Tatech 2016).



Kuva 16. Honeywell hall-anturi (Honeywell 2016).



Kuva 17. 12-hampainen triggeripyörä kampiakselin hihnapyörällä.

Nissanin alkuperäinen pakonokka-akselin päässä sijaitseva nokka-akselin asentoanturi (cas) korvattiin tämän johdosta erillisellä kampiakselin asentoanturilla (kuva 19), sekä nokka-akselin asentoanturilla. Anturointi olisi onnistunut myös yhdellä 12-1- triggeripyörällä, josta olisi saatu puuttuvan hampaan ansiosta myös nokka-akselin asentotieto. Toiminnan varmistamiseksi päädyttiin kuitenkin käyttämään erillistä kampi- sekä nokka-akselin anturointia.



Kuva 18. Kampiakselin asentoanturin paikan suunnittelu.

7 TESTIJÄRJESTELYT

7.1 Superflow moottoridynamometri

Superflow Sf-901 on vesiturbiinijarruun perustuva moottoridynamometri, jonka valmistaja on amerikkalainen Superflow Corporation. Penkin vesiturbiinijarrulla vastustetaan moottorin pyörintää, jolloin voidaan mitata turbiinin kuoren kiertymää penkkiin nähden. Anturi mittaa voimaa, jolla turbiini pyrkii pyörimään moottorilta tulevan akselin mukana, jolloin anturitiedon avulla saadaan laskettua moottorin teho sekä vääntömomentti eri kierrosalueilla. Sf-901 -moottoridynamometrillä voidaan mitata moottorin vääntömomentti aina 1350Nm asti sekä mitata moottorin teho 1000 hevosvoimaan saakka. Maksimi kierrosnopeus on 10000rpm, mutta hetkellisesti penkkiä voidaan kuormittaa jopa 12000 kierrosta minuutissa. (Superflow corporation 1997, 31)

Moottoridynamometrillä on helppo säätää sekä tutkia moottorin käyttäytymistä eri kuormituksilla ja kierrosalueilla ilman, että auton voimansiirron häviöt vaikuttaisivat mittaustuloksiin. Myös usein alustadynamometrillä tapahtuva renkaiden luistosta aiheutuva mittaustulosten epätarkkuus saadaan rajattua pois, kun moottori on suoraan mekaanisesti kiinnitettynä dynamometriin. Lisäksi mittaustulokset ovat vertailukelpoisia keskenään ja toistettavuus hyvä, koska mittaolosuhteet on helppo pitää laboratoriossa vakiona.

7.1.1 Dynamometrin osat

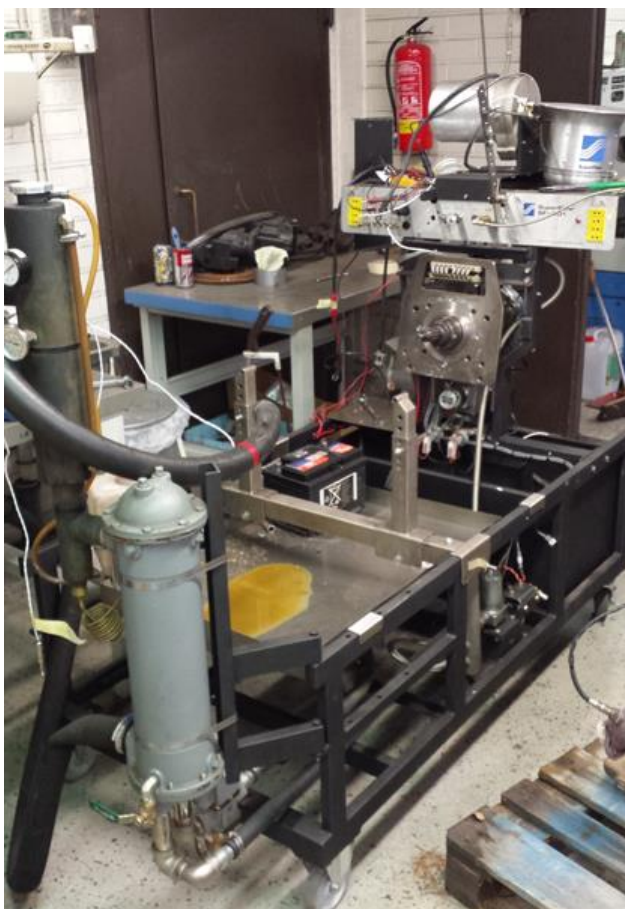
Moottoridynamometri koostuu ohjauspöydästä (kuva 20), itse moottoripenkistä (kuva 21) sekä vedenkierrätysjärjestelmästä. Lisäksi testaushuoneen ilmanvaihto on toteutettu suurtehopuhaltimin.

Ohjauspöytä on sijoitettuna eri huoneeseen kuin itse moottoripenkki, jolloin testaaminen on mielekästä ja turvallista. Vedenkierrätysjärjestelmä sen sijaan huolehtii turbiinille tarvittavan veden sekä samalla jäähdyttää itse turbiinia ja lämmönvaihtimen kautta myös huolehtii testattavan moottorin jäähdytyksestä. Jäähdytystehon

riittävyden vuoksi itse vesisäiliö on sijoitettuna ulos maan alaiseen säiliöön, jonka tilavuus on useita tuhansia litroja.



Kuva 19. Superflow ohjauspöytä.

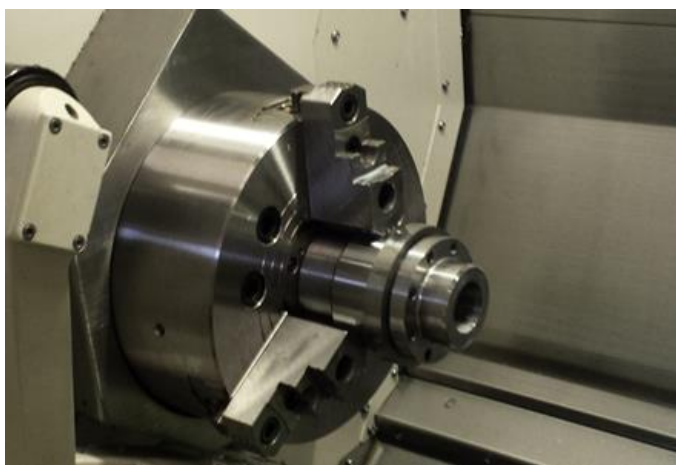


Kuva 20. Moottoripenkki.

7.2 Moottorin kiinnittäminen dynamometriin

7.2.1 Tehonsiirto

Moottorista saatava teho välittyy moottoridynamometrin vesiturbiinille voimansiirtoakselia pitkin. Voimansiirtoakseli kiinnitetään toisesta päästään turbiinissa olevaan tehonsiirtolaippaan, kun taas moottorin päässä teho siirtyy akselille moottorissa olevan kytkimen kautta. Voimansiirtoakselin laippa koneistettiin dynamometrialmistajan ohjeiden mukaan (kuva 22). Laipan mittapiirros on esitettyinä liitteessä 2. Laippa kiinnitettiin halkaisijaltaan 40 mm olevaan voimansiirtoakseliaihioon hitsaamalla. Voimansiirtoakselin (kuva 23) toinen pää valmistettiin rikkoutuneesta vaihdelaatikosta saadusta kytkinakselista, joka koneistettiin sopivan mittaiseksi ja kiinnitettiin voimansiirtoakseliin lämpösovitteella ja hitsaamalla. Alkuperäisen kytkinakselin ansiosta pystyttiin käyttämään tehonsiirrossa moottorin sopivaa mallikohtaista sinterikytkintä.



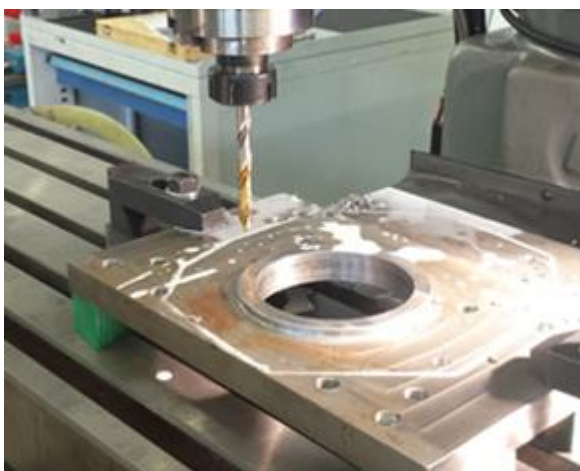
Kuva 21. Voimansiirtoakselin laipan koneistus.



Kuva 22. Voimansiirtoakseli.

7.2.2 Moottorin kiinnikkeet

Moottori kiinnitettiin moottoridynamometriin alkuperäistä kytkinkoteloja apuna käyttäen. Kytkinkotelon ja vesiturbiinijarrun väliin koneistetun adapterilevyn (kuva 24) avulla alkuperäisen kytkinkotelon pulttijako saatiin vastaamaan moottoridynamometrissä olevaa kiinnityslevyn pulttijakoa (kuva 25). Kytkinkotelon lisäksi moottori kiinnitettiin dynamometriin alkuperäisiä moottorin kannatinrautoja apuna käyttäen. Adapterilaipan mittapiirros on esitettyä liitteessä 3.



Kuva 23. Adapterilaippa ja sen koneistus.



Kuva 24. Kytkinkotelon adapterilevy paikallaan.

7.3 Testauksessa tarvittavat lisäanturoinnit ja mittarit

Testausta varten moottoriin ja dynamometriin asennettiin useita lisäantureita sekä mittareita. Useiden antureiden suurin hyöty oli se, että voitiin varmistua tärkeimpien anturitietojen oikeellisuudesta vertaamalla kahta lukuarvoa keskenään. Näitä olivat esimerkiksi kaksi erillistä toisistaan riippumatonta lambda-anturia sekä kaksi mekaanista ahtopainemittaria.

7.4 Testaus

Moottorin testauksessa keskityttiin seitsemään eri osa-alueeseen. Moottoria testattiin kaikilla osa-alueilla kahdella eri polttoaineella: 98e5 bensiinillä ja E85-korkeaseosetanoliipolttoaineella. Moottori säädettiin ensin 98e5 polttoaineelle, jonka jälkeen suoritettiin tarvittavat testaukset. Bensiinillä ajon jälkeen moottorinohjauksen kartat muutettiin bensiinikarttojen pohjalta E85-korkeaseosetanolille soveltuviksi. Molemmat kartat tallennettiin erillisinä tiedostoina, jolloin molemmille polttoaineille saatiin omat yksilöidyt polttoaine ja sytytysennakkokartat.

Tässä opinnäytetyön osiossa käsitellään kaikki tutkimuksen kohteena olleet osa-alueet ja testaustavat. Mittaustavoista sekä laitteista johtuvien virheiden minimoim-

miseksi jokainen testausosio suoritettiin molemmilla polttoaineilla kolme kertaa. Alla olevassa kuvassa (kuva 26) on esitettyä testijärjestely, jossa testattava moottori on kiinnitettyä moottoridynamometriin.



Kuva 25. Testijärjestely.

7.4.1 Teho ja vääntö

Yksi tämän opinnäytetyön keskeisimmistä tavoitteista oli kaksinkertaistaa tutkitun moottorin alkuperäiset teho- sekä vääntölukemat. Tavoite oli myös saada tehoalue mahdollisimman laajaksi sekä saada selvä ero 98e5 bensiinin ja E85-korkeaseosetanolipolttoaineen välillä.

Teho- sekä vääntömomenttimittaukset suoritettiin käyttämällä moottoridynamometriin ”500 step”- testiä. Testissä asetetaan haluttu testauksen alakierrosraja ja ajetaan moottorin kierrosluku manuaalisesti tähän pisteeseen, jolloin dynamometri alkaa jarruttaa moottoria. Kun moottorin kierrosluku pysyy tasaisesti halutussa arvossa, käynnistetään testi ja käännetään kaasua täysin auki. Dynamometri antaa kierrosten nousta portaittain 500 kierrosta kerrallaan aina testin loppuun saakka. Käytännössä testi loppuu moottorin saavuttaessa kierrostenrajoittajan, joka oli tässä tapauksessa asetettu arvoon 7300 kierrosta minuutissa. Testin valintaa puolsi

se, että oli mahdollista saada vertailukelpoisia toistettavia tuloksia, sillä käyttäjän ei itse tarvinnut säätää kaasun asentoa eikä vesiturbiinijarrun jarruvoimaa.

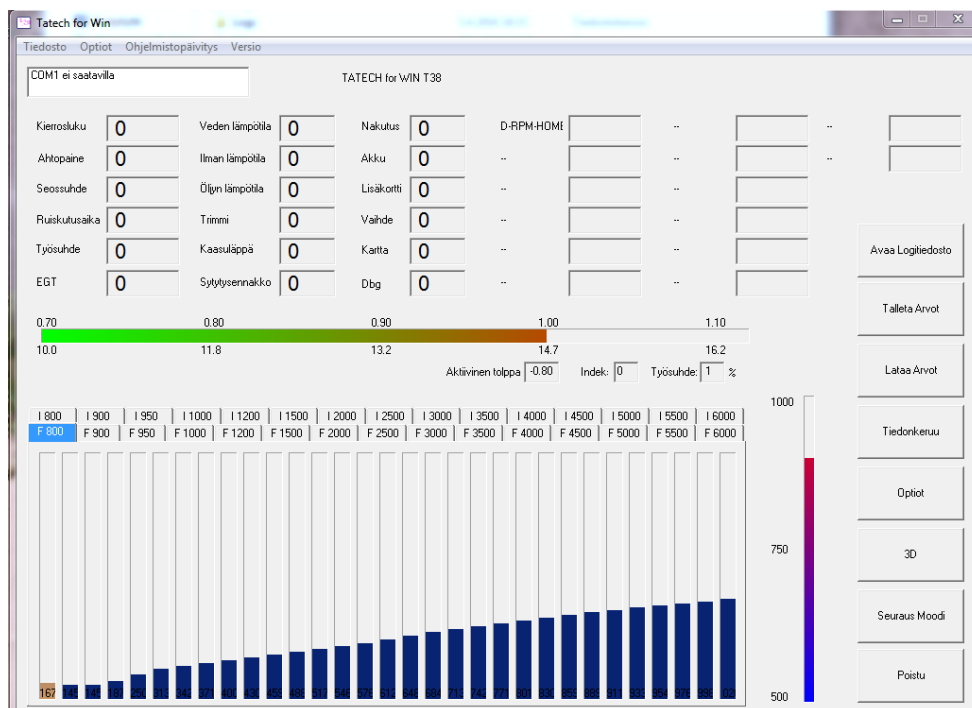
7.4.2 Sytytysennakko ja ahtopaine

Sytytysennakkoa tutkittiin moottorin koko kierrosalueella. Ennakko säädettiin nakutuskuulokkeita apuna käyttäen niin lähelle nakutusrajaa, kun moottorin turvallisen toiminnan kannalta oli mahdollista. Koska moottorinohjausjärjestelmä oli päivitetty täysin ohjelmoitavaan Tatech moottorinohjausjärjestelmään, oli ennakoiden asettaminen moottoridynamometrissä suhteellisen vaivatonta. Sytytysennakkoa tutkittiin dynamometritestauksen aikaisesta lokitiedostosta ja molemmille polttoaineille tehdyistä sytytysennakkokartoista.

Koska moottorissa käytössä ollut pakokaasuahdin oli suhteellisen pieni, tuli ahtopainetta seurata hyvin tarkasti. Ahtimen pienen turbiinipuolen vuoksi kasvaneet pakokaasun lämmöt, sekä suuri pakokaasun paine rajoittivat suuren ahtopaineen käyttöä. Vertailtavat ahtopainetiedot poimittiin Tatechin lokitiedostosta.

7.4.3 Suuttimien aukioloaika ja työsuhde

Polttoaineen suihkutuspäässä keskityttiin eroihin 98e5 bensiinin ja E85-korkeaseosetanolipolttoaineen välillä. Dynamometrimittauksen aikana tutkittiin suuttimien toteutunutta ruiskutusaikaa millisekunteina sekä otettiin huomioon suuttimien prosentuaalinen työsuhde yhden kampikierroksen aikana. Suihkutusmäärätiedot kerättiin kummankin polttoaineen erillisistä polttoainekartoista Tatech for win- säätöohjelmistolla (kuvio 11).



Kuvio. 11 Polttoaineen suihkutuskartasto (Tatech 2016).

7.4.4 Pakokaasun lämpö

Bensiinin ja E85-korkeaseosetanolin ominaisuuksien erot korostuvat pakokaasun lämpötilaa mitattaessa. Tavoitteena oli kerätä täydellinen sylinterikohtainen pakokaasunlämpötilatieto läpi koko kierrosalueen. Lisäksi tutkittiin ahtimen itseensä keräämän lämpökuorman määrää. Pakokaasun lämpötila-anturointi toteutettiin moottoridynamometrillä omilla k-typin lämpöantureilla. Testattavaan moottoriin asennettiin kaikkiaan kuusi erillistä pakokaasun lämpötila-anturia: sylinterikohtaiset anturit, pakosarjan kollektorin anturi, sekä turbon jälkeinen anturi. Sylinterikohtaisen anturin paikka ja malli on esitettyä kuvassa 27.



Kuva 27. Pakokaasun lämpötila-anturi.

7.4.5 Pakokaasupäästöt

Muiden testauksien ohella moottorista mitattiin myös pakokaasupäästöt. Koska auto on varustettu kolmitoimikatalysaattorilla, tehtiin mittaukset tarkoituksenmukaisesti katalysaattori kiinnitettynä. Koska auto on rekisteröity vähäpäästöiseksi, tuli pakokaasutestaus suorittaa sääntöjen mukaisesti tyhjäkäynnillä sekä korotetulla kierrosnopeudella.

7.4.6 Palotapahtuman paine

Palotapahtuman paineen mittausta varten yksi mitattavista sylintereistä varustettiin sylinterin sisäisiä painevaiheluita mittaavalla anturilla. Mittauksessa yksi sytytystulpista korvattiin pietsosähköisellä anturilla varustetulla Kistler-sytytystulpalla (kuva 28), joka kytkettiin suorasytytyspuolaan erillistä johtoa apuna käyttäen (kuva 29).



Kuva 28. Pietsosähköisellä anturilla varustettu Kistler-sytytystulppa.



Kuva 29. Kistler-sytytystulppa paikoillaan.

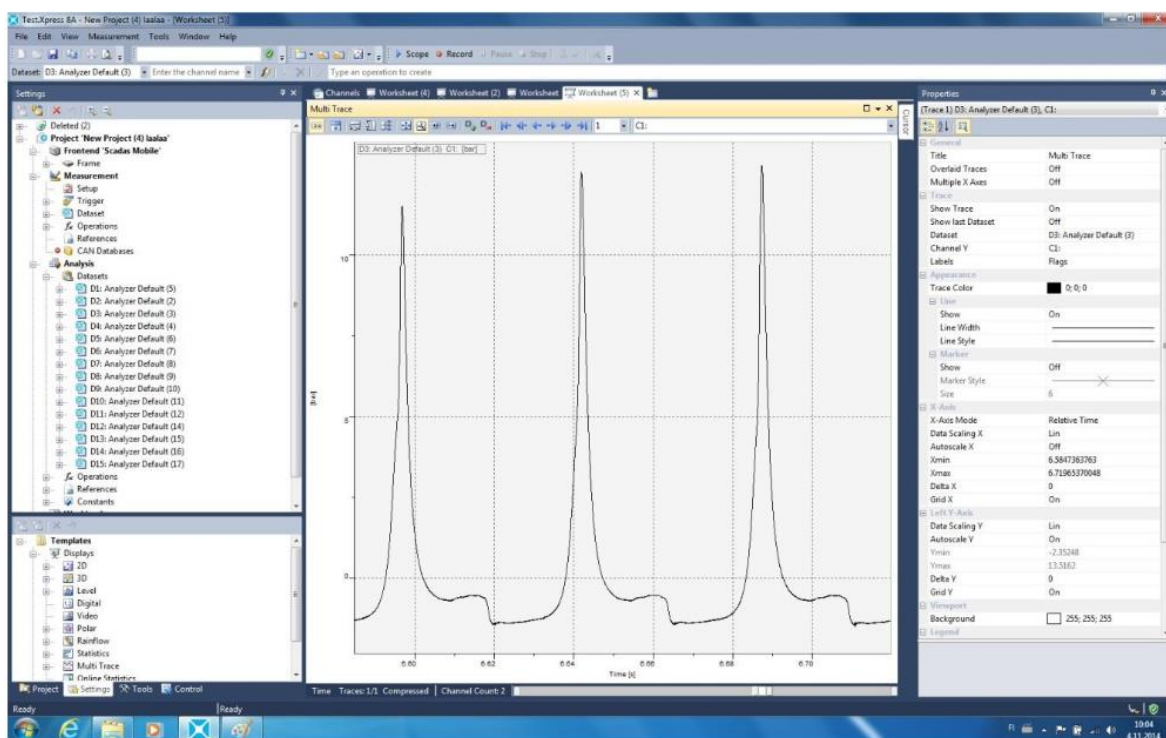
Anturitietoa luettiin Lms Scadas Mobile- mittalaitteella (kuva 30), joka muutti anturin sähköiset varausmuutokset painetiedoksi.



Kuva 30. Lms Scadas mobile- mittalaite.

Lms Scadas mobile –mittalaitteelta tiedot siirrettiin tietokoneelle, jossa anturitiedot muokattiin kaaviomuotoon laitteiston omalla Lms TestXpress –ohjelmalla (kuvio 12).

Mittauksissa pyrittiin todentamaan bensiinin ja etanolin palamisnopeuden eroavaisuuksia sekä sitä kautta paine-eroja. Mittaukset suoritettiin molemmilla polttoaineilla kierrosluvuilla 3000rpm sekä 5000rpm. Molemmilla kierrosluvuilla moottoria jarrutettiin voimakkuudella 150 Nm. Näin saatiin vertailukelpoisia tuloksia keskenään.

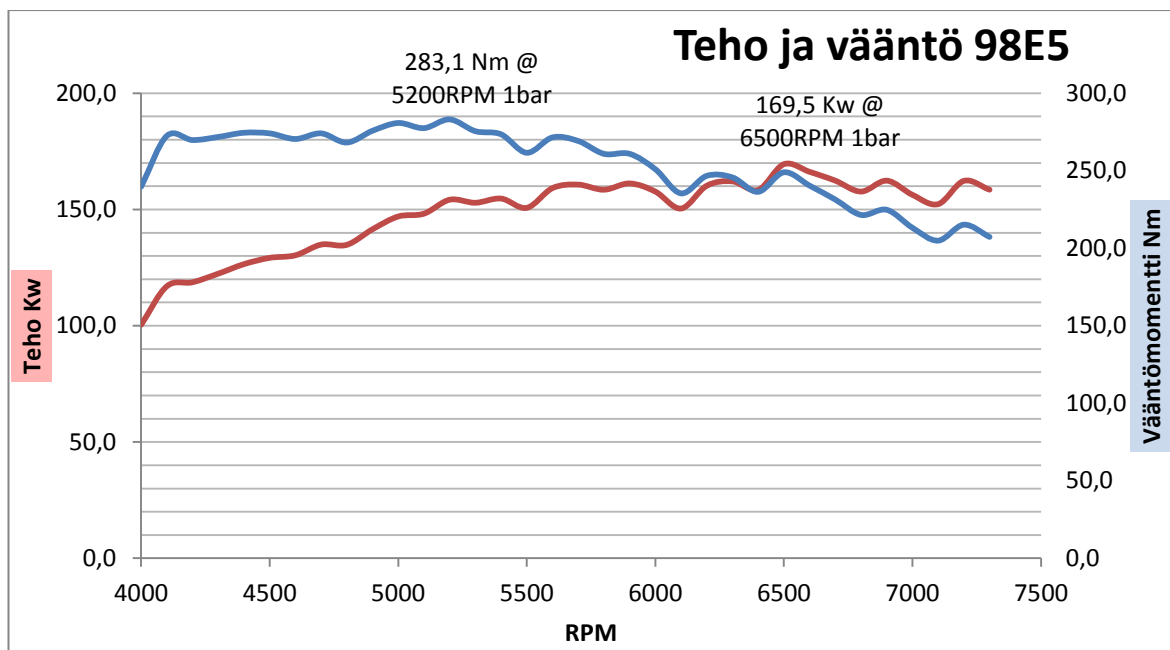


Kuvio 12. Lms TestXpress- ohjelmisto.

8 TULOKSET JA NIIDEN VERTAILU

8.1 Teho ja vääntömomentti

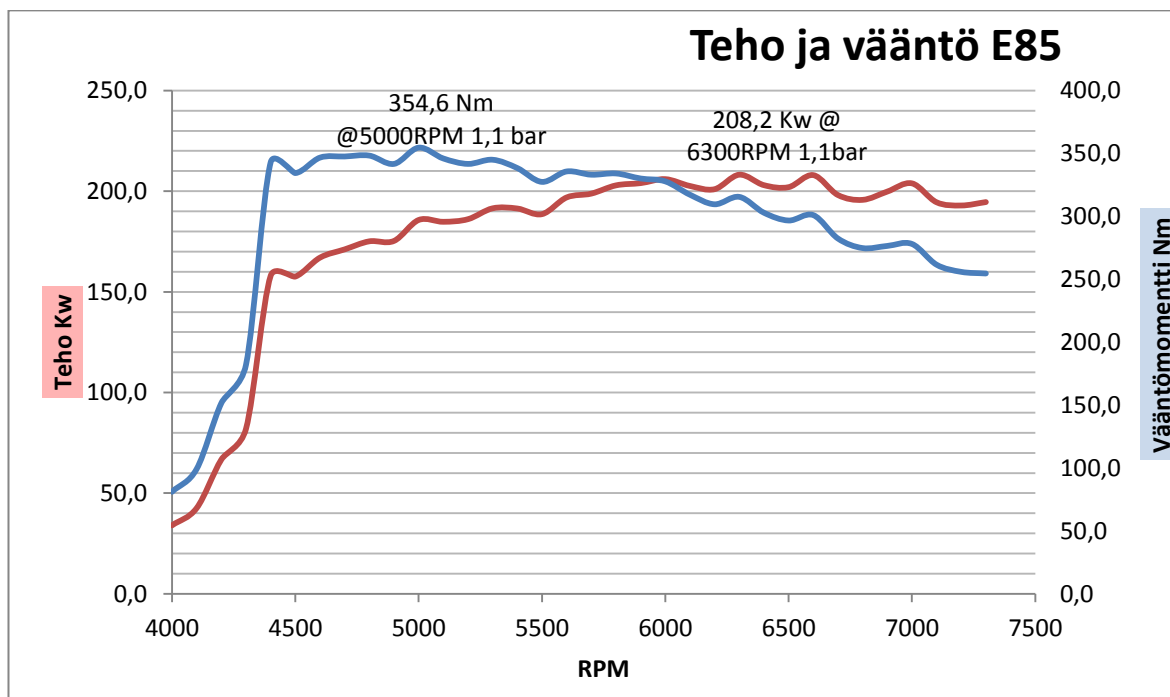
8.1.1 98E5-bensiini



Kuvio 13. Teho ja vääntömomentti 98E5-polttoaineella.

Paras teho saavutettiin kierrosluvulla 6500 rpm, teholumen ollessa 169,5Kw (kuvio 13). Parhaan vääntömomentin moottori tuotti 1200 kierrosta alemmalla, vääntömomentin ollessa 283,1Nm kierrosnopeudella 5200 rpm. Käytössä ollut ahtopaine oli rajattu lukemaan 1 bar. Tehomittaus aloitettiin kierrosluvulla 4000 rpm ja mittaus loppui kierrostenrajoittajaan kierrosluvun ollessa 7300 rpm.

8.1.2 E85-korkeaseosetanoli



Kuvio 14. Teho ja vääntömomentti E85-polttoaineella.

E85-korkeaseosetanolipolttoaineella paras teho saavutettiin kierrosluvulla 6300 rpm, teholumen ollessa 208,2 Kw. Paras vääntömomentti saatiin kierrosluvulla 5000 rpm, vääntömomentin ollessa 354,6 Nm (kuvio 14). Mittaukset suoritettiin 1,1 bar maksimiahtopaineella. Käyrän alussa näkyvä notkahdus johtuu moottoridynamometrin mittausteknisistä ominaisuuksista. Jarru ei ehtinyt jarruttaa, koska paras vääntömomentti oli saavutettuna jo aikaisessa vaiheessa mittauksen käynnistyttyä.

8.1.3 Yhteenveto

Molemmat dynamometrimittaukset suoritettiin samalla "500 step" mittausohjelmalla, jolla kierrosten annettiin nousta portaittain 500 kierrosta kerrallaan. Etenkin bensiinillä tuli ongelmaksi moottorin liiallinen kuumeneminen testin aikana, mistä syystä testaus päätettiin aloittaa vasta kierrosluvusta 4000 rpm. Koska työssä käytetty pakokaasuahdin oli suhteellisen pienikokoinen eikä sen herääminen tuottanut ongelmia, saatiin moottorista suhteellisen suuria teho sekä vääntölukemia jo alhai-

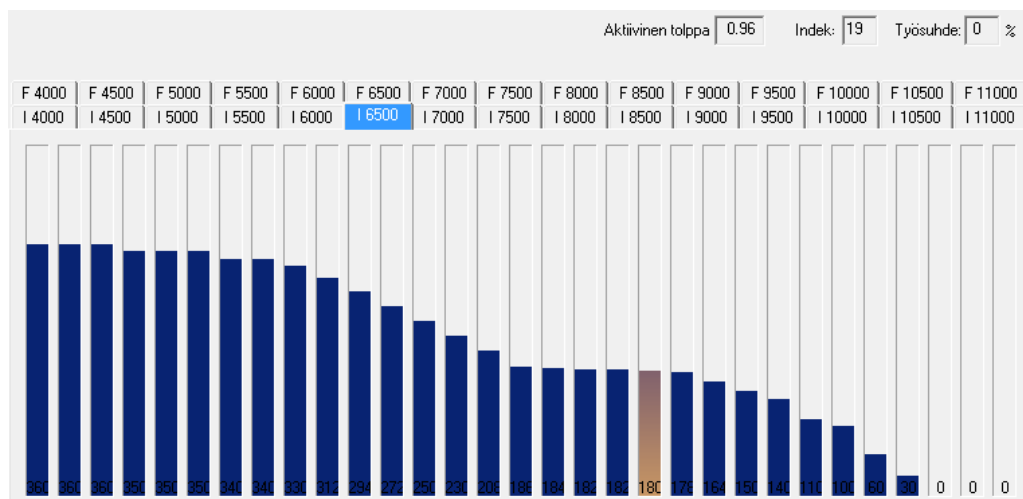
silla kierrosluvuilla. Puolestaan korkeimmilla kierrosluvuilla pieni ahdin alkoi olla hyvin kaukana parhaalta toiminta-alueeltaan, joka on nähtävissä molempien mittaustulosten lopussa olevana tehon sekä vääntömomentin heikkenemisenä.

Verrattaessa dynamometrimittauksessa saatuja teho- sekä vääntökäyriä eri polttoaineiden välillä, huomataan niiden olevan verrattain samanmuotoisia molemmilla testatuilla polttoaineilla. Pienen ahtimen vuoksi vääntöalue on suhteellisen laaja ja myös maksimiteho saadaan kohtuullisen alhaiselta kierrosluvulta. Keskimääräisesti voidaan todeta, että E85-korkeaseosetanolilla paras teho sekä vääntö saatiin noin 200 kierrosta alemmalla, kuin vastaavasti 98E5-bensiinillä.

Teho- sekä vääntömomenttiero eri polttoaineilla tehdyillä mittauksilla on huomattava: 38,7Kw ja 71,5 Nm. Tämän opinnäytetyön teoriapohjaan pohjautuen voidaan todeta, että moottorin suorituskyvyn erot eivät tule itse käytettävästä polttoaineesta, vaan E85-etanolipolttoaineen ominaisuuksista jotka mahdollistavat moottorin säädön korkeammalle hyötysuhteelle sekä mahdollistavat paremman suorituskyvyn. Seuraavissa osioissa on käyty läpi eri osa-alueet, jotka vaikuttivat osaltaan mittaustulosten eroihin kahden polttoaineen välillä. Tarkemmat koko kierrosalueen kattavat teho- sekä vääntömomentin mittaustulokset sen sijaan on kerrottu tämän opinnäytetyön lopussa liitteissä numero 4 ja 5.

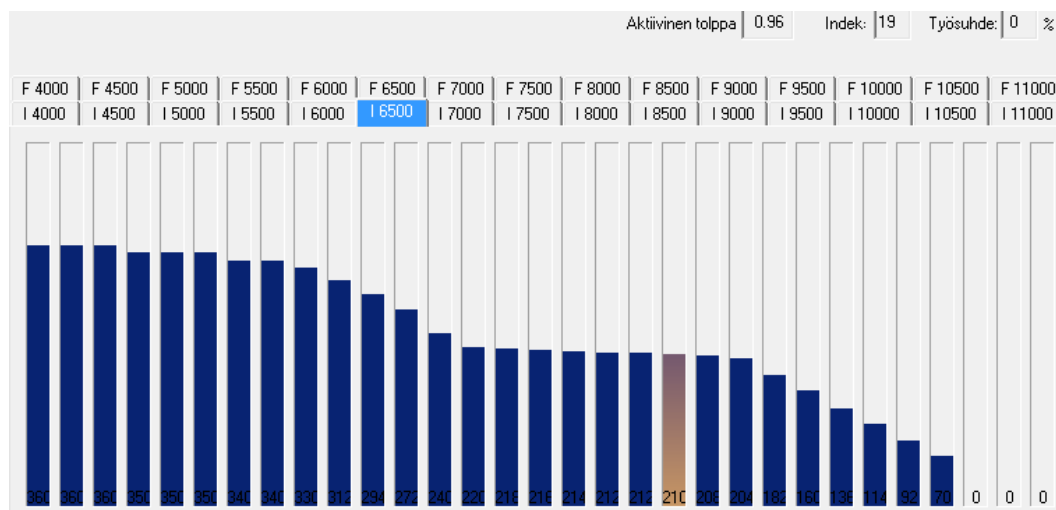
8.2 Sytytysennakko ja ahtopaine

8.2.1 98E5-bensiini



Kuviossa 16 on esitetty sytytysennakko parhaan vääntömomentin alueella, kierrosnopeuden ollessa 5200 rpm. Käytettäessä 1 barin ahtopainetta oli ennako bensiinikäytössä 19 astetta.

8.2.2 E85-korkeaseosetanoli



Parhaan vääntömomentin kierrosalueella sytytysennakko oli E85-polttoaineella käytännössä sama kuin 98E5-polttoaineella, eli noin 19 astetta (kuvio 18).

8.2.3 Yhteenveto

Sytytysennakko säädettiin nakutuskuulokkeita apuna käyttäen niin lähelle nakutusrajaa kuin moottorin turvallisen toiminnan kannalta oli mahdollista. 98E5 bensiinillä nakutusraja tuli parhaan tehon kierrosalueella vastaan noin 20 asteessa. Moottorin suojelemiseksi ennakko säädettiin turvalliselle alueelle, noin 18 asteeseen. Parhaan vääntömomentin kohdalla sytytysennakkoa pystyttiin hieman nostamaan, ennakon ollessa 19 astetta.

E85-korkeaseosetanolipolttoaineella ennakkoa lisättiin käytännössä lähes koko kierrosalueella. Parhaan tehon kierrosalueella 6300rpm sytytysennakko oli noin 21 astetta, eli kolme astetta enemmän kuin 98E5-polttoaineella. Parhaan vääntömomentin kierrosalueella sytytysennakon nosto ei juuri vaikuttanut tuloksiin, joten sitä ei lähdetty muuttamaan. Toisinkuin 98e5-polttoainella ei E85-korkeaseosetanolilla tullut vastaan selkeää nakutusrajaa. Käytännössä etanolin korkea oktaaniluku olisi mahdollistanut suuremmankin sytytysennakon käytön, mutta siitä ei nähty olevan hyötyä pienen ahtimen jo rajoittaessa maksimitehoa sekä vääntömomenttia.

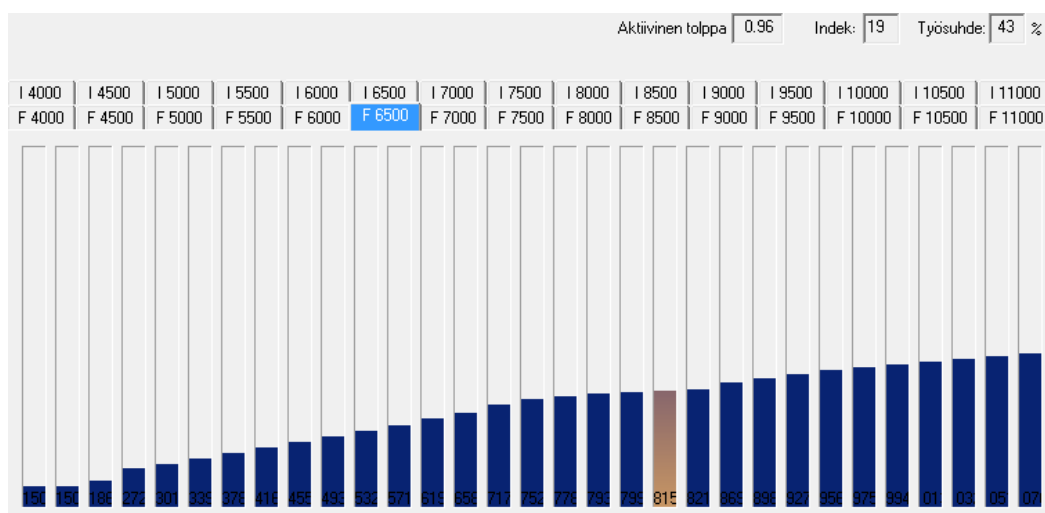
Käytettävä ahtopaine vaikuttaa monen muun osa-alueen kanssa suuresti moottorin suorituskykyyn. 98E5-bensiinillä ahtopaine rajoitettiin lukemaan 1 Bar, nakutusrajan lähestyessä sitä suuremmilla ahtopaineilla huomattavasti. Pienen ahtimen tuotto alkoi suuremmilla ahtopaineilla heikentyä, eikä ahtopainetta olisi ollut järkevää nostaa, ellei sytytysennakkoa olisi laskenut entisestään. Sytytysennakon lasku olisi osaltaan myös laskenut suorituskykyä.

Myös E85-etanolipolttoaineella käytettiin aluksi samaa 1 barin ahtopainetta. Koska haluttuihin teholumemiin ei päästy ja useiden testivetojen jälkeen ei selvää nakutusrajaa ollut löytynyt, päätettiin ahtopaine nostaa 1,1 barin paineeseen polttoaineen ominaisuuksien sen salliessa. Moottori ja käytettävä polttoaine olisi sallinut huomattavasti korkeammankin ahtopaineennoston, mutta tässä vaiheessa ahdin

alkoi olla jo niin kaukana parhaalta toiminta-alueeltaan, ettei ahtopainetta olisi ollut järkevää korottaa.

8.3 Suuttimien aukioloaika ja työsuhde

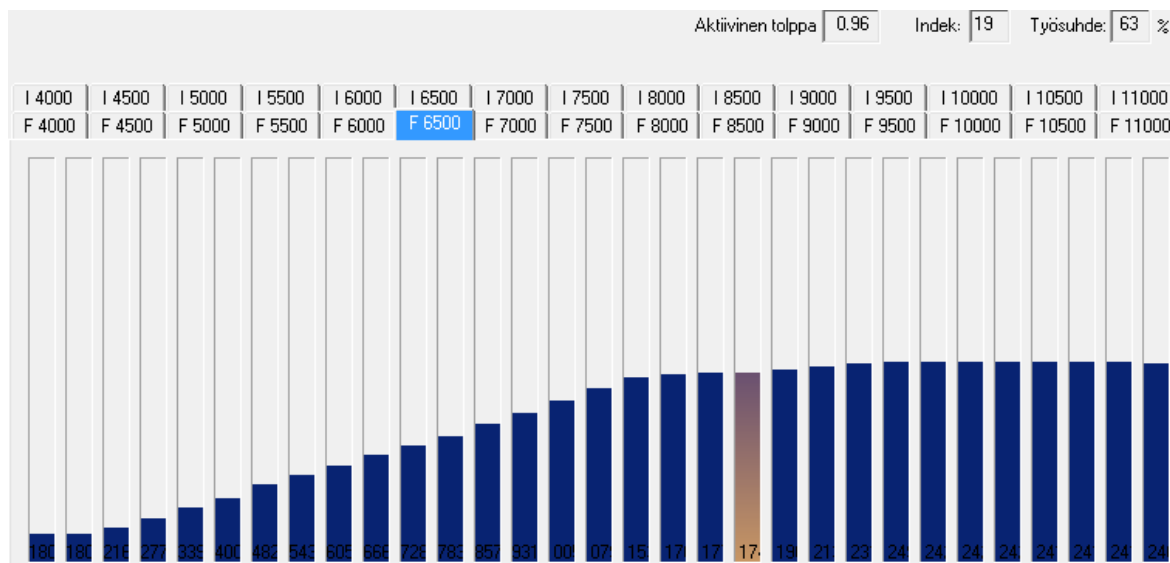
8.3.1 98E5-bensiini



Kuvio 19. Polttoaineen suihkutuskartasto 98E5-polttoaineella kierrosluvulla 6500 rpm

Kuviosta 19 selviää suuttimien aukioloaika millisekunteina kierrosnopeudella 6500 rpm. Kuormitustieto otetaan imusarjan paineanturilta, jolloin palkit kuvaavat suuttimien aukioloaikaa eri ahtopaineilla. Kuvassa oleva aktiivinen palkki kertoo suihkutusajan, kun käytössä on 0,96 bar ahtopaine. Tällä ahtopaineella suihkutusaika on 8,15 ms, suuttimen työsuhteen ollessa 43 prosenttia.

8.3.2 E85-korkeaseosetanoli

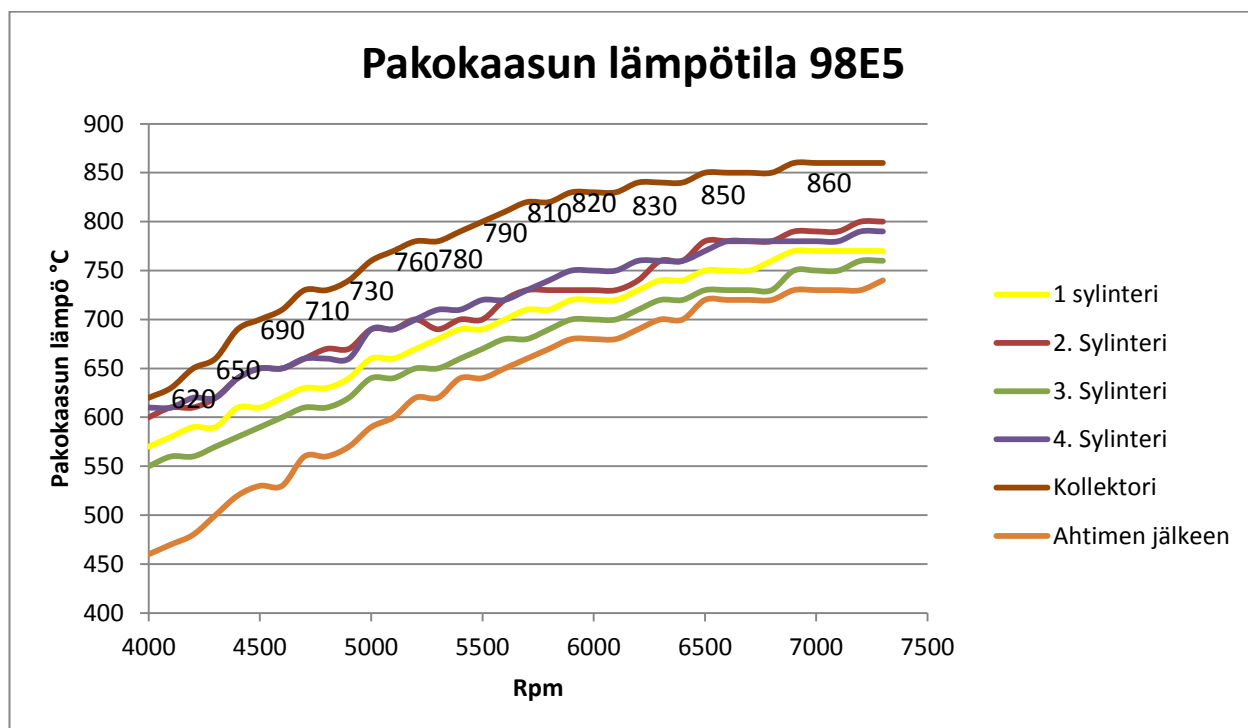


töstä E85-korkeaseosetanoliin vaatisi noin 30 prosentin lisäyksen polttoaineen todellisiin suihkutuspäämiin. Kuten kuvioista 19 ja 20 voidaan todeta, on polttoaineen suihkutuspäämät E85-polttoaineella huomattavasti korkeampia, kuin vastaavasti 98E5-bensiinillä.

Bensiinillä suuttimen aukioloaika parhaalla tehoalueella 1 bar ahtopaineella on noin 8,15 ms, kun vastaavasti etanolipolttoaineella samassa kohdassa suutin on auki 11,7 ms. Käytännössä parhaalla tehoalueella moottori tarvitsee E85-polttoainetta 43,5 prosenttia enemmän, kuin moottoria 98E5 polttoaineella käytettäessä.

8.4 Pakokaasunlämpö

8.4.1 98E5-bensiini

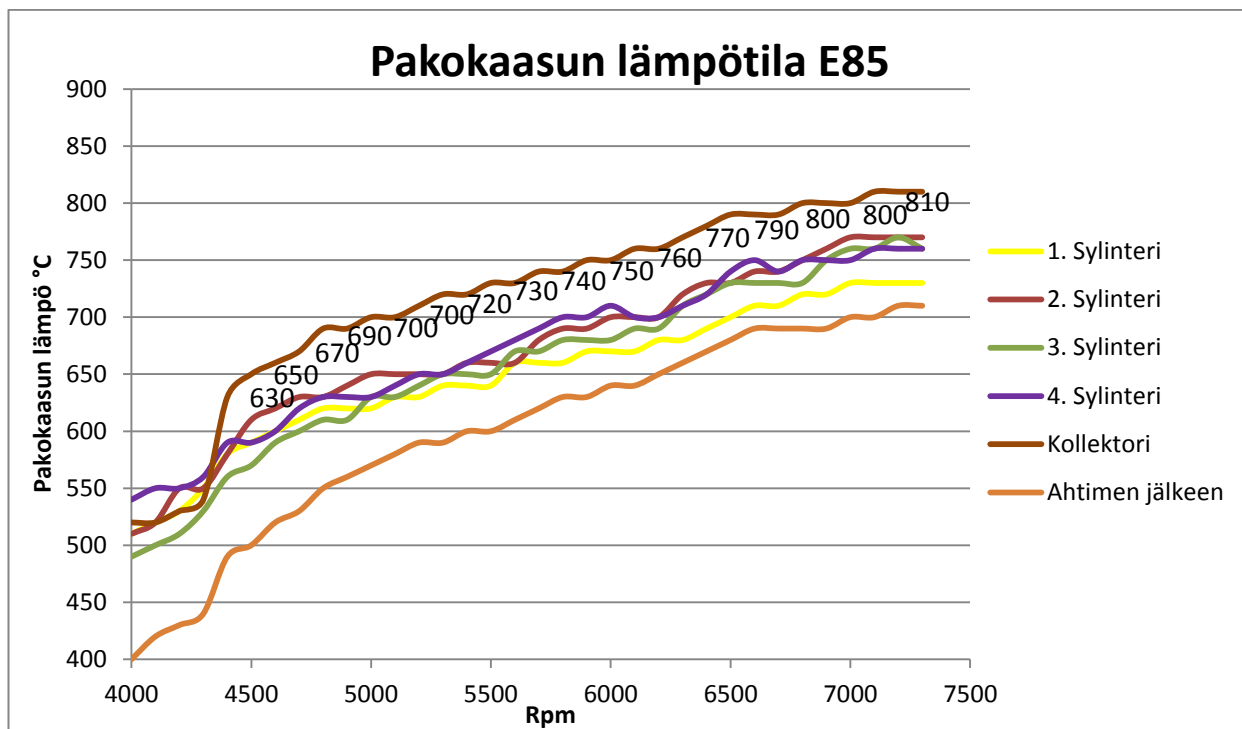


Kuvio 21. Pakokaasun lämpötila 98E5-polttoaineella.

Kuviossa 21 on kuvattuna sylinterikohtaiset pakokaasun lämpötilat 98E5-polttoaineella dynamometritestauksen aikana. Lisäksi kuvioista selviää sylinterei-

den yhteinen pakokaasun lämpötila pakosarjan kollektorilta mitattuna sekä lämpötila ahtimen turbiinisiiven jälkeen.

8.4.2 E85-korkeaseosetanoli



Kuvio 22. Pakokaasun lämpötila E85-polttoaineella.

Kuviossa 22 on esitetty sylinterikohtaiset pakokaasun lämpötilat, kun moottoria testattiin moottoridynamometrissä E85-korkeaseosetanolipolttoaineella. Kuvioista selviää myös pakokaasun lämpötila pakosarjan kollektorilla sekä ahtimen turbiinisiiven jälkeen.

8.4.3 Yhteenveto

Moottorin sylinterikohtaisia pakokaasun lämpötiloja verrattaessa on syytä kiinnittää huomiota sylinterikohtaisiin eroihin. Erot lämpötilojen välillä viittaavat usein häiriöihin joko polttoaineensyötössä tai sytytyksessä. On myös mahdollista, että pakokaasun lämpöerot johtuvat sylinterin mekaanisesta viasta. Käytännössä sylinterikohtaisten pakokaasun lämpötilojen tulisi pysyä alle 50 celsiusasteen päässä toi-

sistaan. Tällöin voidaan lähes poikkeuksetta varmistua sylintereiden samanlaisesta toiminnasta. Molemmilla polttoaineilla mitattaessa olivat erot sylinterikohtaisten lämpötilojen välillä kohtalaisen pieniä.

Koska sylintereiden välillä tapahtuu aina pientä lämpötilaeroa, on tässä tapauksessa eri polttoaineilla saatuja lämpötilatietoja yksinkertaisinta verrata pakosarjan kollektorin lämpötilatietoa tutkimalla. Pakosarjan kollektorin lämpötila on myös samalla se lämpötila, minkä turboahtimen turbiinisiipi ottaa vastaan.

Tutkittaessa pakokaasun lämpötilaa 98E5-bensiinillä parhaan tehon kierrosalueella 6500 rpm huomataan sen olevan 850 celsiusasetta (kuvio 21). Sen sijaan E85-etanolipolttoaineella lämpötila samalla kierrosalueella on vain 790 celsiusastetta (kuvio 22). 60:n celsiusasteen lämpötilaero on huomattava etu E85-korkeaseosetanolipolttoaineen eduksi. Käytännössä kollektorilta mitattu lämpötila E85-polttoaineella oli 50-80 celsiusasetta matalampi läpi kokokierrosalueen. Moottorin sekä turboahtimen kestävyuden kannalta tulos on todella tavoiteltava.

Työssä tutkittiin lisäksi turboahtimen itseensä sitoman lämpökuorman määrää. Kuormituksesta riippuen turboahdin sitoi pakokaasuvirrasta itseensä 98E5-polttoaineella noin 130-170 celsiusastetta ja muutti sen työksi pyörittäen turbiiniakselia (kuvio 21). E85-polttoaineella lämpötilaero oli suhteessa hieman pienempi jääden 100-150 celsiusasteeseen (kuvio 22).

Pakokaasun lämpötilamittaus oli todella onnistunut, sillä teoriapohjaan perustuen siitä voitiin hyvin todentaa etanolin ominaisuuksista ja seossuhteesta johtuva matalampi palamislämpötila. Tarkat lämpötilatiedot löytyvät liitteistä 6 ja 7.

8.5 Päästöt

Bensiinikäyttöisten autojen päästöistä tulee mitata häkä eli hiilimonoksidi (CO) ja hiilivety-yhdisteet (HC). Lisäksi testissä tutkitaan hiilidioksidi (CO₂) sekä happiarvoja (O₂). Koska testattava auto oli rekisteröity vähäpäästöiseksi, tuli siitä mitata pakokaasupäästöt sekä joutokäynnillä, että korotetulla pyörintänopeudella. Lisäksi mitattiin lambda-arvo eli ilmakerroin. (A-katsastus 2016)

8.5.1 98E5-bensiini

Alla on listattuna pakokaasutestin tulokset 98E5-polttoaineella.

Taulukko 2. Pakokaasupäästöt 98E5-polttoaineella.

Joutokäynti	tulokset	sallittu
pyörintänopeus	960/min	700-1000
Lambda	0,964 λ	1±0,03
CO	2,167 %	0,5
CO ₂	12,84 %	
HC	313 ppm	100
O ₂	0,95 %	
Cocor	2,167 %	
Korotettu joutokäynti		
pyörintänopeus	2120/min	
Lambda	1,005 λ	1±0,03
CO	0,013 %	0,3
CO ₂	14,43 %	
HC	77 ppm	100
O ₂	0,19 %	
Cocor	0,014 %	

Bensiinillä suoritettussa pakokaasumittauksessa ongelmaksi koitui kohonnut hiilivety-yhdisteiden määrä (HC) sekä korkea hiilimonoksidipitoisuus (Co) (taulukko 2).

8.5.2 E85-korkeaseosetanoli

Taulukko 3. Pakokaasupäästöt E85-korkeaseosetanolilla.

Joutokäynti	tulokset	sallittu
		700-
pyörintänopeus	910/min	1000
Lambda	1,023	1+-0,03
CO	0,008 %	0,5
CO2	13,61 %	
HC	63 ppm	100
O2	0,69 %	
Cocor	0,009 %	
Korotettu joutokäynti		
pyörintänopeus	2000/min	
Lambda	1,007 λ	1+-0,03
CO	0,016 %	0,3
CO2	14,1 %	
HC	42 ppm	100
O2	0,2 %	
Cocor	0,017 %	

8.5.3 Yhteenveto

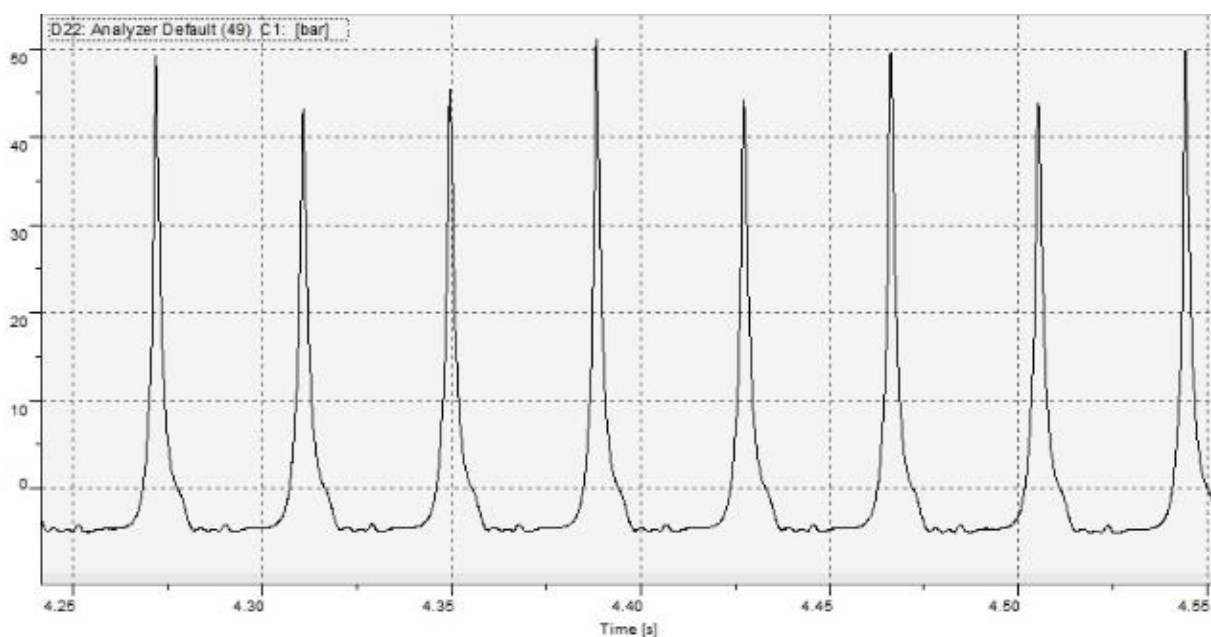
Polttoainesuutinten suuren tuoton vuoksi tyhjäkäyntipäästöt aiheuttivat ongelmia 98E5-polttoaineella (taulukko 2). Suuttimia ei saanut säädettyä tarpeeksi pienelle, joten liian rikkaasta polttoaineseoksesta johtuen hiilivety-yhdisteiden määrä kohosi yli sallitun rajan. Liian rikkaasta seoksesta johtuen myös lambda-arvo oli liian alhainen. Käytännössä suutinkoon pienentäminen sekä tyhjäkäyntikartan hienosäätö olisivat mahdollistaneet raja-arvojen täyttymisen.

Sen sijaan E85-etanolipolttoaineella kyseisiä ongelmia ei ollut (taulukko 3). Ainoa niin sanottuna vikana oli lisääntynyt jäännöshapen määrä joissain mittauksista. Kopiot alkuperäisistä pakokaasumittaustulosteista on esitetty liitteessä 8.

8.6 Palotapahtuman paine

Koska käytössä oli kaksi ominaisuuksiltaan täysin erilaista polttoainetta, päätettiin opinnäytetyössä tutkia myös palotapahtuman sisäistä painetta. Mittaukset suoritettiin erillisenä lisätutkimuksena, jolla ei ollut vaikutusta itse opinnäytetyön kuluun.

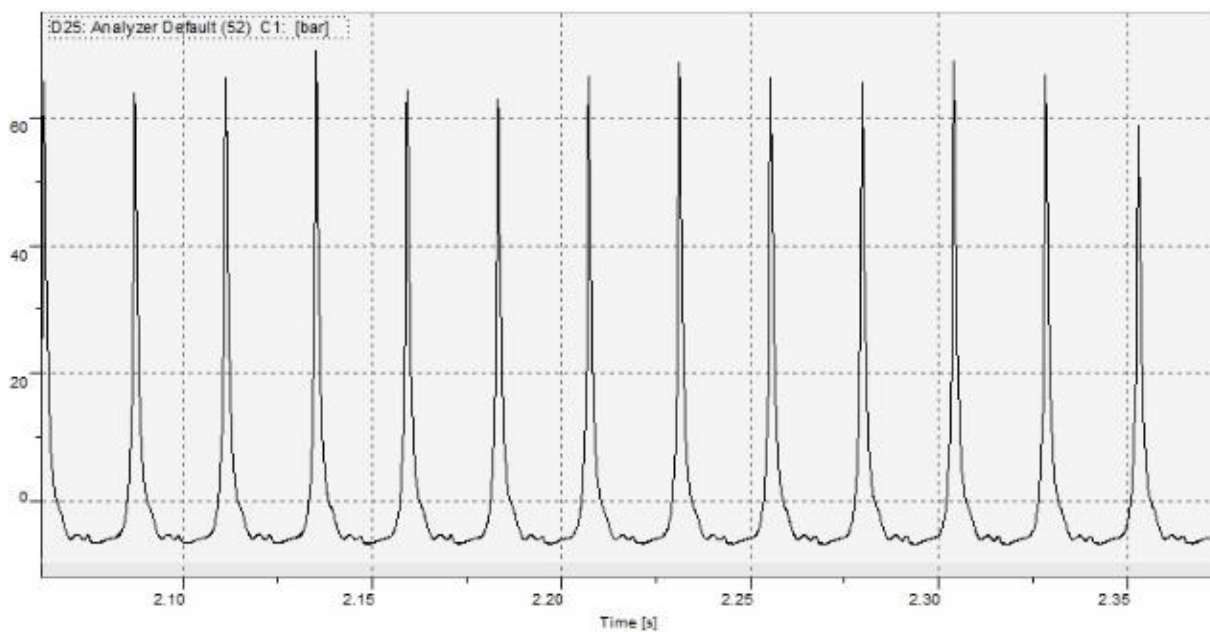
8.6.1 98E5-bensiini



Kuvio 23. Palotapahtuman paine 3000 rpm 150nm 98E5.

Kuviossa 23 on esitettyä palotapahtuman paine kierrosluvulla 3000 rpm, kun moottoria jarrutetaan moottoridynamometrissä 150 Nm voimalla. Polttoaineena on 98E5-bensiini. X-akseli kuvaa kulunutta aikaa sekunteina, yhden yksikön ollessa 0,05 s. Y-akselin arvot kertovat vallitsevan palotapahtuman paineen baareina.

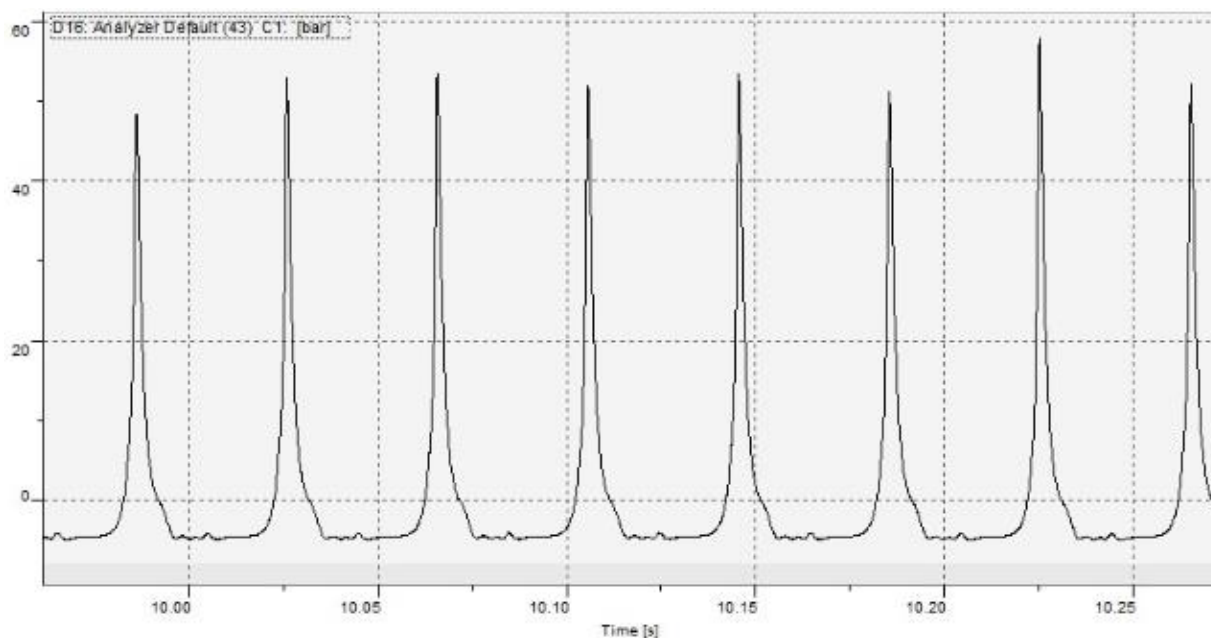
Palotapahtuman maksimipaine vaihtelee noin välillä 43-51 bar.



Kuvio 24. Palotapahtuman paine 5000 rpm 150nm 98E5.

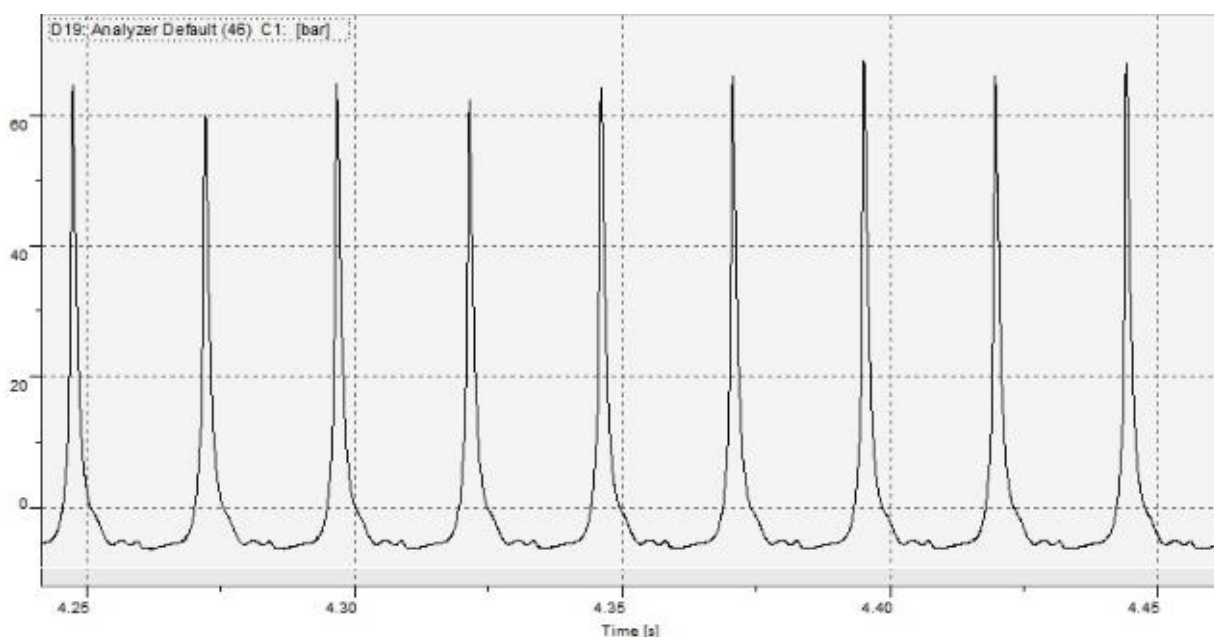
Kuvio 22 havainnollistaa palotapahtuman painetta bensiinillä 5000 rpm kierrosnopeudella, 150 Nm jarrutusvoimalla. Painehuiput liikkuvat noin välillä 60-70 bar.

8.6.2 E85-korkeaseosetanol



Kuvio 25. Palotapahtuman paine 3000 rpm 150 Nm E85.

Kuviossa 23 on esitettyä palotapahtuman paine kierrosluvulla 3000 rpm, kun moottoria jarrutetaan 150 Nm voimalla. Polttoaineena on E85-korkeaseosetanoli. Palotapahtuman maksimipaine on n.50-57 bar.



Kuvio 26. Palotapahtuman paine 5000 rpm 150 Nm E85.

Kuvio 24 esittää palotapahtuman painetta kierrosluvulla 5000 rpm, 150 Nm jarrutusvoimalla, E85-polttoaineella. Maksimipaine on n.60-70 bar.

8.6.3 Yhteenveto

Palotapahtuman painemittauksen tavoitteena oli mitata palotapahtuman aikana vallitsevan maksimipaineen eroja kahdella eri polttoaineella. Polttoaineiden erilaisista ominaisuuksista johtuen palotapahtumat eroavat eri polttoaineiden välillä toisistaan. Koska painettua tietoa E85-etanolipolttoaineen palotapahtuman paineesta ei löytynyt, päätettiin opinnäytetyössä tutkia palotapahtumaa kyseisen polttoaineen osalta sekä verrata sitä 98E5-polttoaineella tapahtuvaan palamiseen.

Testauksia suoritettiin useita erilaisia ja tavoitteena oli myös tutkia palotapahtuman painetta moottoridynamometrissä tehomittauksen aikana. Testauksessa käytetyn Kistler-sytytystulpan tarkkaa lämpöarvoa ei kuitenkaan saatu selvitettyä, mistä syystä tehomittauksen aikaisesta mittauksesta jouduttiin luopumaan mahdollisen väärän sytytystulpan aiheuttaman moottoririkon riskin vuoksi.

Palotapahtuman painetta mitattiin kahdessa eri osassa. Mittauksissa moottoria kuormitettiin moottoridynamometrissä 150 Nm:n jarruttavalla voimalla moottorin kierrosnopeuden ollessa 3000 ja 5000 kierrosta minuutissa. Kuvioissa 21 ja 22 on esitettyä palotapahtuman paine käytettäessä 98E5-polttoainetta. Kuvioissa 23 ja 24 sen sijaan on toistettu samat mittaukset E85-korkeaseosetanolipolttoaineella. Tutkittaessa tuloksia 3000 rpm kierrosalueella huomataan palotapahtuman paineen olevan hieman korkeampi E85-polttoainetta käytettäessä. Sen sijaan kierrosluvulla 5000 rpm palotapahtuman paine on käytännössä sama molemmilla polttoaineilla.

Palotapahtuman painemittaus suoritettiin ylimääräisenä mittauksena, eikä sillä näin ollut vaikutusta itse opinnäytetyön muihin tuloksiin. Saadut tulokset eivät vastanneet täysin teoriaa, eikä kaikkia mittauksia pystytty mittausteknisten ongelmien vuoksi tarkasti analysoimaan. Painemittauksen tarkoituksena oli moottorin tehollisen keskipaineen selvittäminen. Tehollinen keskipaine kertoo kuinka paljon sylinterissä pitää olla painetta työtahdin aikana, että pystytään saavuttamaan haluttu teho. Koska mittaustuloksista ei saatu riittävän tarkkoja, ei tehollista keskipainetta laskettu.

9 YHTEENVETO JA POHDINTA

Työn tarkoituksena oli esitellä erilaisia uusiutuvia nestemäisiä polttoaineita sekä niiden valmistusteknisiä seikkoja. Pääpainona työssä oli keskittyä E85-korkeaseosetanoliolttoaineen ominaisuuksiin ottomoottorin polttoaineena. Tärkein tutkimuksen kohde oli suorituskyvyn parantaminen etanolipolttoaineen tuomia ominaisuuksia hyödyntäen, mistä syystä moottori säädettiin ja testattiin moottoridynamometrissa.

Testitulokset vastasivat teoriapohjaa kaikilta osin. Saaduista tuloksista pystyttiin päättämään eri osa-alueiden vaikuttaminen moottorin toimintaan. Jo työn alkuvaiheessa oli tiedossa, että alimitoitettu pakokaasuahdin tulisi rajoittamaan suorituskykyä korkeammilla kierrosalueilla. Tästä syystä tavoitteeksi asetettiin noin sadan hevosvoiman nousu moottoritehossa. Tämä tavoite täytettiin hyvin, sillä moottorista mitattiin 282,3 hevosvoiman huipputeho kierrosnopeudella 6300 rpm. Tämä on yli 113 hevosvoimaa enemmän kuin moottorissa tehdaskuntoisena. Myös vääntömomentti nousi yli 126 Nm alkuperäiseen nähden.

Tavoitteena oli myös todentaa E85-etanolipolttoaineen tuomat edut normaaliin 98E5-bensiiniin verrattuna. Testaustuloksista selviää huomattava ero näiden kahden polttoaineen välillä. Käytännössä erot tulivat esille kaikilla tutkituilla osa-alueilla.

Koska opinnäytetyön kohteena ollut moottori rakennettiin myös rata- sekä kilpailukäyttöä silmällä pitäen, on monet teknisistä osa-alueista selvästi ylimitoitettuja. Käytännössä eri mittaukset suoritettiin hallitusti käyttäen matalaa ahtopainetta, sekä lyhyitä dynamometrimittauksia moottorin säästämiseksi. Opinnäytetyön mitausten päädyttyä moottori asennettiin kiinni autoon ja moottori säädettiin vielä erikseen alustadynamometrissä. Tällöin tehokkema E85-polttoaineella 1,3 bar ahtopaineella oli 320 hevosvoimaa kierrosluvulla 6100 kierrosta minuutissa. Nyt myöhemmin pakokaasuahdin on jo korvattu huomattavasti kookkaammalla ja tehotavoite asetettu noin 400 hevosvoiman kohdille.

Opinnäytetyö sujui kaikilta osin suunnitelmien mukaan. Itse testaus sekä säätötyö opettivat paljon nykyaikaisen moottorinohjauksen toiminnasta. Lisäksi työ antoi hyvän teoriapohjan koskien erilaisia biopolttoaineita sekä niiden valmistusta.

Haluan kiittää kaikkia opinnäytetyössä mukana olleita yhteistyökumppaneita sekä Seinäjoen ammattikorkeakoulun autolaboratorion henkilökuntaa. Erityiskiitos nopeista osatoimituksista sekä hyvästä palvelusta: Jm-tuonti.fi/ Janne Mäenpää, moottorinohjauksen säätötyö: Juha Mäki-Saari sekä osatoimitukset ja koneistukset ympäri vuorokauden: Pohjanmaan teollisuuspalvelu PTP Oy.

LÄHTEET

- A-katsastus. 2016. Päästömittaukset. [Verkkosivu]. [Viitattu 13.4.2016] Saatavana: <https://www.a-katsastus.fi/palvelut-ja-hinnat/katsastukset-ja-paastomittaukset/paastomittaukset>
- Acl performance. 2016. Performance engine bearings. [Verkkosivu]. [Viitattu 17.9.2015]. Saatavana: http://www.aclperformance.com.au/prod_e_bearings.htm
- Bauer, H. 2003. Bosch Autoteknillinen taskukirja. 6.Jyväskylä: Gummerus Oy.
- Bell, A. 2007. Nelitahtimoottorin virittäminen. Suomentaja Esko Mauno. Helsinki: Alfamer Oy.
- Biotalous. 2015. Neste Oil valmistaa uusiutuvaa polttoainetta innovatiivisella teknologialla. [Verkkoartikkeli]. [Viitattu 6.10.2015]. Saatavana: <http://www.biotalous.fi/neste-oil-valmistaa-uusiutuvaa-polttoainetta-innovatiivisella-teknologialla/>
- Bosch. 2016. Manifold absolute pressure sensors. [Verkkosivu]. [Viitattu 20.9.2015]. Saatavana: <https://www.boschautoparts.com/en/auto/air-management-sensors/manifold-absolute-pressure-sensors>
- E-Flexfuel. 2016. Uuden sukupolven E85-muutossarjan toimintaperiaate. [Verkkosivu]. [Viitattu 2.2.2016]. Saatavana: <https://eflexfuel.fi/toimintaperiaate>.
- Garrett by Honeywell. 2015. Garrett performance turbochargers. [Verkkosivu]. [Viitattu 19.8.2015]. Saatavana: <https://turbobygarrett.com/turbobygarrett/turbochargers>
- Hiltunen, S. 2006. Biometanolin tuotanto. [Verkojulkaisu]. Lappeenranta: Lappeenrannan teknillinen yliopisto. [Viitattu 20.11.2015]. Saatavana: <http://www3.lut.fi/webhotel/teke/kklemola/2006-biometanoli.pdf>
- Honeywell. 2016. Speed and direction sensors. [Verkkosivu]. [Viitattu 20.9.2015]. Saatavana: http://sensing.honeywell.com/product-page?pr_id=56041
- Jm tuonti. Ei päiväystä. Polttoainepumput.. [Verkkosivu]. [Viitattu 14.9.2015] Saatavana: <http://www.jmtuonti.fi/products.php?p=2811&lang=fi>
- Kalliohaka, T., Kytö, M., Lahtinen, R. & Paasi, J. 2008. Biopolttonesteiden turvallinen jakelu: Loppuraportti. [Tutkimusraportti]. Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy. [Viitattu 12.10.2015]. Saatavana: <http://www.vtt.fi/inf/julkaisut/muut/2008/VTT-R-07049-08.pdf>

- Lampinen, A. 2009. Uusiutuvan liikenne-energian tiekartta. Tampere: Tampereen yliopistopaino- Juvenes Print Oy.
- Motec. 1.10.2014. 98E5-bensiinistä E85-etanolipolttoaineeseen siirryttäessä huomioitavia asioita. [Verkkoartikkeli]. [Viitattu 10.1.2016]. Saatavana: http://www.motec.fi/tuotetuki_ohjeet.php
- Motiva. 9.10.2014. Liikenteen biopolttoaineet. [Verkkosivu]. [Viitattu 7.1.2016]. Saatavana: http://www.motiva.fi/toimialueet/uusiutuva_energia/bioenergia/liikenteen_biopolttoaineet
- Motiva. 8.9.2014. Korkeaseosetanoli E85. [Verkkosivu]. [Viitattu 7.1.2016]. Saatavana: http://www.motiva.fi/liikenne/henkilautoilu/valitse_auto_viisaasti/energiالاhteet/korkeaseosetanoli_e85
- Mäkinen, T., Nylund, N-O. & Sipilä, K. 2005. Liikenteen biopolttoaineiden tuotanto- ja käyttömahdollisuudet Suomessa. [Verkkojulkaisu]. Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy. [Viitattu 6.10.2015]. Saatavana: <http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2005/T2288.pdf>
- Neste oil. 2016. Biopolttoaineiden käyttö dieselmootoreissa. [Verkkoartikkeli]. [Viitattu 8.11.2015]. Saatavana: <https://www.neste.fi/artikkeli.aspx?path=2589%2C2655%2C2710%2C2821%2C2944%2C3361%2C16362%2C21511>
- Nissan motor Co. LTD. 1988. Nissan service manual.
- Rättö, M., Vikman, M., Siika-aho, M. 2009. Yhdyskuntajätteen hyödyntäminen biojalostamossa. [Verkkojulkaisu]. Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy. [Viitattu 20.9.2015]. Saatavana: <http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2009/T2494.pdf>
- ST1. 2014. Korkeaseosetanoli RE85. [Verkkojulkaisu]. [Viitattu 10.1.2016]. Saatavana: http://www.st1.fi/files/12697/RE85_tuotetieto_joulu2014.pdf
- Superflow Corporation. 1997. SF-901 Engine dyno operator's manual. [Viitattu 13.2.2016].
- Supertech performance. 2015. Piston manufacturing. [Verkkosivu]. [Viitattu 10.9.2015]. Saatavana: <https://www.supertechperformance.com/forged-pistons-p126>
- Turbotekniikka Oy. Ei päiväystä. Viritysturbon valinta. [Verkkosivu]. [Viitattu 24.8.2015]. Saatavana: <http://www.turbotekniikka.fi/viritysturbo-valinta>

Voimaa.com. Ei päivystä. Henkilöauton moottorioptimointi. [Verkkosivu]. [Viitattu 17.2.2016]. Saatavana: <http://www.voimaa.com/fin-fin/moottorioptimointi/henkiloautot/>

LIITTEET

Liite 1. Supertech takomäntien ja männänrenkaiden tekniset tiedot

Liite 2 Voimansiirtoakselin laippa

Liite 3 Kytäkotelon adapterilevy

Liite 4 Teho- sekä vääntömomentti 98E5

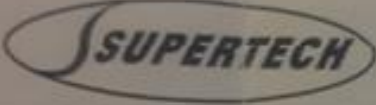
Liite 5 Teho- sekä vääntömomentti E85

Liite 6 Pakokaasu lämpötilataulukko 98E5

Liite 7 Pakokaasun lämpötilataulukko E85

Liite 8 Pakokaasupäästöt

LIITE 1

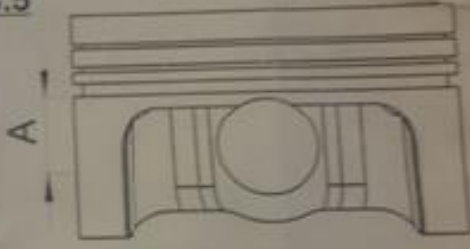


SUPERTECH Performance INC.
 3553 Chandler Park Dr., San Jose, CA 95136
 Ph: (408)443-2221 / Fax: (408)443-0702
 www.supertechperformance.com

PISTON SPECIFICATIONS / CLEARANCE INFORMATION

PISTON PART# P4-NCA18-84-CR8.5
 Cylinder bore size: 3.307 / 84.00 mm
 Compression Height: 30.00 mm
 Dome Height / Dish Depth: FLAT TOP

Valve Pocket Depth: (measured from Deck)
 Inlet 3.3 mm / Exhaust 3.1 mm
 Rings: GNH 8400
 TOP: 1.00 mm
 2nd: 1.20 mm
 OIL: 2.80 mm
 Pin Ø: 0.787 / 20.00
 Piston Weight: (Please see inside)



MIN. Ø CLEARANCE: 0.00275 (0.07)mm
 MEASURING POINT (A): 0.944" 24.00 mm

Some applications may require more clearance. Correct piston installation is responsibility of the customer.

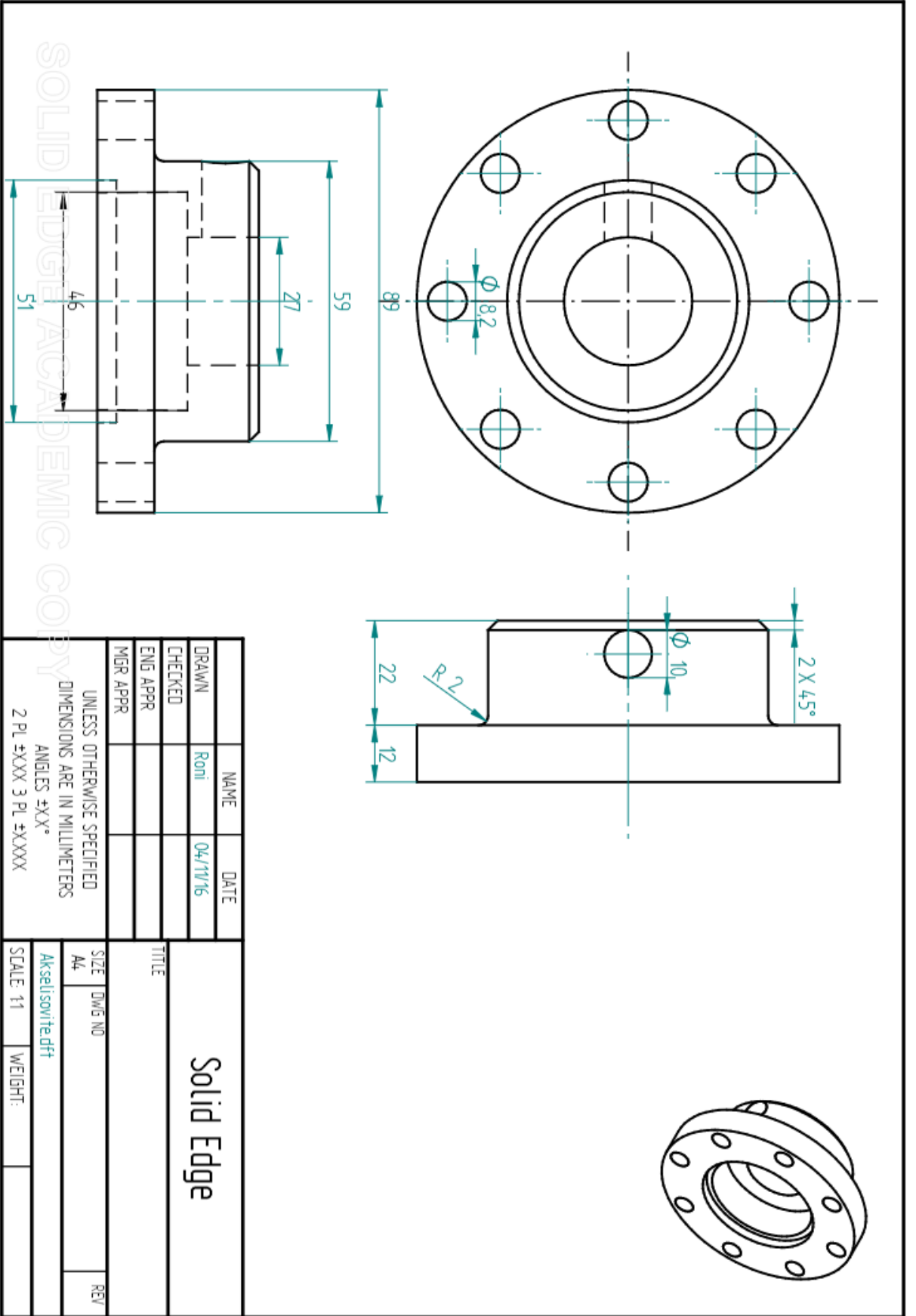
Top Ring
 Multiply the Bore diameter in inches by the following factor:
 (if diameter is in mm divide by 25.4 to convert into inches)

Application	Factor
Street Performance	0.0045
Moderate Turbo/ Nitrous	0.0050
Drag / Oval track	0.0055
Turbo / Nitrous Race only	0.0065

Second Ring
 Multiply the First Ring Gap x 1.25

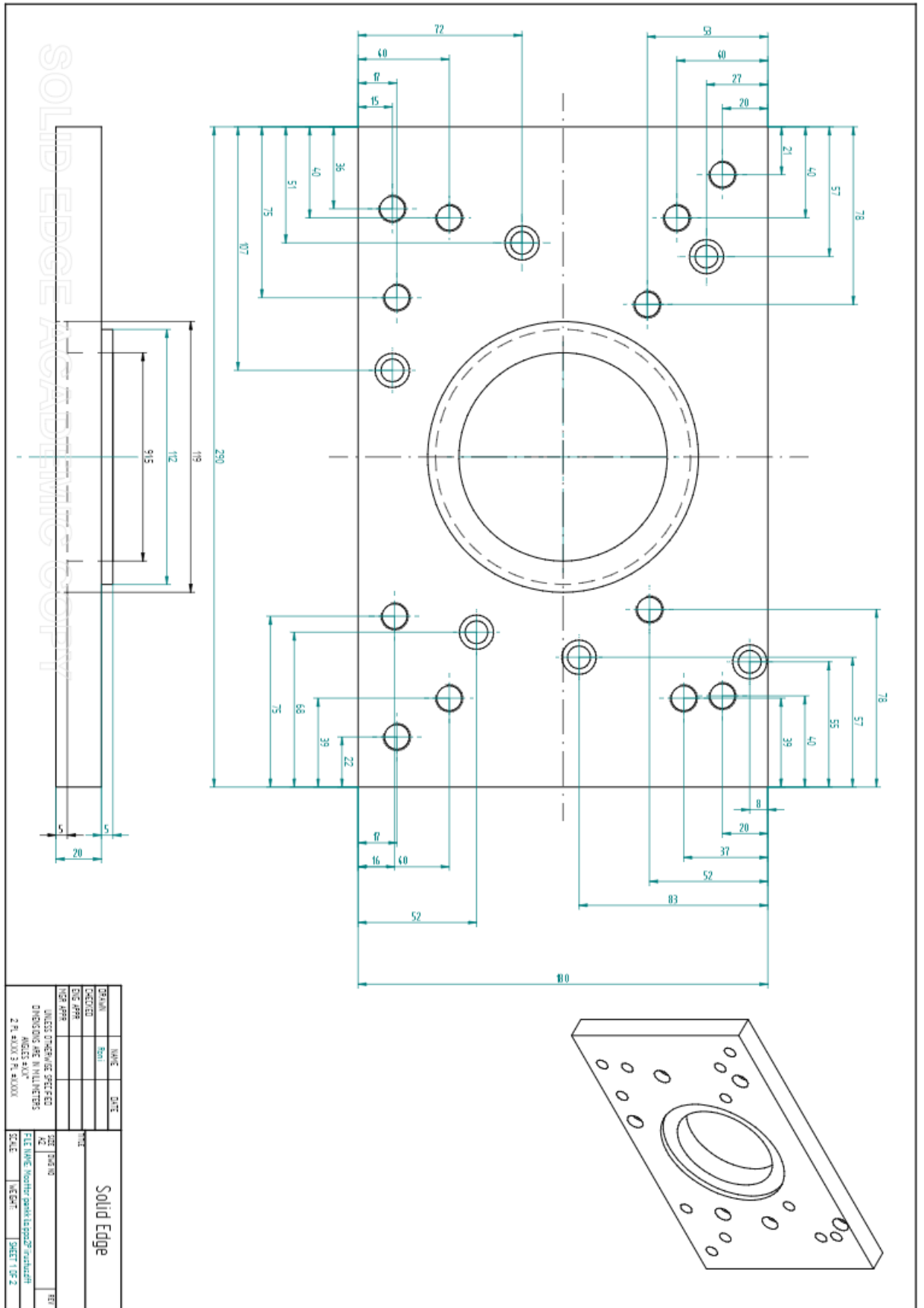
Oil Ring Gap
 Minimum Gap 0.015"

LIITE 2



SOLID EDGE ACADEMIC COPY

LIITE 3



LIITE 4

Teho ja vääntömomentti 98E5				
Line no	EngSpd 1/min	EngTrq Nm	EngPwr kW	engpwr hp
1	4000	239,7	100,4	136,2
2	4100	272,5	117,0	158,7
3	4200	269,8	118,7	160,9
4	4300	271,8	122,4	166
5	4400	274,5	126,5	171,5
6	4500	274,1	129,2	175,2
7	4600	270,5	130,3	176,7
8	4700	274,1	134,9	182,9
9	4800	268,2	134,8	182,8
10	4900	275,8	141,5	191,9
11	5000	280,8	147,0	199,4
12	5100	277,5	148,2	201
13	5200	283,1	154,2	209
14	5300	275,5	152,9	207,3
15	5400	273,5	154,7	209,7
16	5500	261,6	150,7	204,3
17	5600	271,5	159,2	215,9
18	5700	269,2	160,7	217,9
19	5800	260,9	158,5	214,9
20	5900	260,9	161,2	218,6
21	6000	251,0	157,7	213,9
22	6100	235,4	150,4	203,9
23	6200	246,7	160,2	217,2
24	6300	245,7	162,1	219,8
25	6400	236,4	158,4	214,8
26	6500	249,0	169,5	229,8
27	6600	240,4	166,2	225,3
28	6700	231,4	162,4	220,2
29	6800	221,5	157,7	213,9
30	6900	224,8	162,4	220,3
31	7000	213,2	156,3	211,9
32	7100	204,9	152,3	206,6
33	7200	215,2	162,3	220
34	7300	207,3	158,5	214,9

LIITE 5

Teho ja vääntömomentti E85				
Line no	EngSpd 1/min	EngTrq Nm	EngPwr kW	engpwr hp
5	4000	81,1	34,0	46,1
6	4100	99,3	42,6	57,8
7	4200	151,6	66,7	90,4
8	4300	182,1	82,0	111,2
9	4400	343,0	158,0	214,3
10	4500	334,4	157,6	213,7
11	4600	346,7	167,0	226,5
12	4700	347,6	171,1	232,0
13	4800	348,3	175,1	237,4
14	4900	341,7	175,3	237,8
15	5000	354,6	185,7	251,8
16	5100	346,0	184,8	250,6
17	5200	341,7	186,1	252,3
18	5300	345,0	191,5	259,7
19	5400	338,4	191,4	259,5
20	5500	327,4	188,6	255,7
21	5600	335,7	196,9	267,0
22	5700	333,1	198,8	269,6
23	5800	334,1	202,9	275,2
24	5900	330,1	204,0	276,6
25	6000	327,8	206,0	279,3
26	6100	317,2	202,6	274,8
27	6200	309,6	201,0	272,6
28	6300	315,5	208,2	282,3
29	6400	302,9	203,0	275,3
30	6500	296,7	202,0	273,9
31	6600	301,0	208,0	282,1
32	6700	282,4	198,1	268,7
33	6800	274,8	195,7	265,4
34	6900	276,5	199,8	270,9
35	7000	278,1	203,9	276,4
36	7100	261,6	194,5	263,7
37	7200	255,9	192,9	261,6
38	7300	254,6	194,6	263,9

LIITE 6

Pakokaasun lämpötila 98E5						
EngSpd 1/min	Exh1 C	Exh2 C	Exh3 C	Exh4 C	Exh5 C	Exh6 C
4000	570	600	550	610	620	460
4100	580	610	560	610	630	470
4200	590	610	560	620	650	480
4300	590	620	570	620	660	500
4400	610	640	580	640	690	520
4500	610	650	590	650	700	530
4600	620	650	600	650	710	530
4700	630	660	610	660	730	560
4800	630	670	610	660	730	560
4900	640	670	620	660	740	570
5000	660	690	640	690	760	590
5100	660	690	640	690	770	600
5200	670	700	650	700	780	620
5300	680	690	650	710	780	620
5400	690	700	660	710	790	640
5500	690	700	670	720	800	640
5600	700	720	680	720	810	650
5700	710	730	680	730	820	660
5800	710	730	690	740	820	670
5900	720	730	700	750	830	680
6000	720	730	700	750	830	680
6100	720	730	700	750	830	680
6200	730	740	710	760	840	690
6300	740	760	720	760	840	700
6400	740	760	720	760	840	700
6500	750	780	730	770	850	720
6600	750	780	730	780	850	720
6700	750	780	730	780	850	720
6800	760	780	730	780	850	720
6900	770	790	750	780	860	730
7000	770	790	750	780	860	730
7100	770	790	750	780	860	730
7200	770	800	760	790	860	730
7300	770	800	760	790	860	740

LIITE 7

Pakokaasun lämpötila E85-korkeaseosetanoli						
EngSpd 1/min	Exh1 °C	Exh2 °C	Exh3 °C	Exh4 °C	Exh5 °C	Exh6 °C
4000	510	510	490	540	520	400
4100	520	520	500	550	520	420
4200	530	550	510	550	530	430
4300	550	550	530	560	540	440
4400	580	580	560	590	630	490
4500	590	610	570	590	650	500
4600	600	620	590	600	660	520
4700	610	630	600	620	670	530
4800	620	630	610	630	690	550
4900	620	640	610	630	690	560
5000	620	650	630	630	700	570
5100	630	650	630	640	700	580
5200	630	650	640	650	710	590
5300	640	650	650	650	720	590
5400	640	660	650	660	720	600
5500	640	660	650	670	730	600
5600	660	660	670	680	730	610
5700	660	680	670	690	740	620
5800	660	690	680	700	740	630
5900	670	690	680	700	750	630
6000	670	700	680	710	750	640
6100	670	700	690	700	760	640
6200	680	700	690	700	760	650
6300	680	720	710	710	770	660
6400	690	730	720	720	780	670
6500	700	730	730	740	790	680
6600	710	740	730	750	790	690
6700	710	740	730	740	790	690
6800	720	750	730	750	800	690
6900	720	760	750	750	800	690
7000	730	770	760	750	800	700
7100	730	770	760	760	810	700
7200	730	770	770	760	810	710
7300	730	770	760	760	810	710

LIITE 8

98E5

B o s c h
Pakokaasutesti
Testitulos

TESTIPAIKKA
SEINÄJOEN AMK TEKNIikka
AUTOLABORATORIO
TORNAVANTIE 26
60200 SEINÄJOKI
PUH 0201 245 319

BEA-versio: V2.50-FIN
AMM-versio: 5579

Päiväys: 06.05.2015
Aika: 12.43

AJONEUVON TUNN. TIEDOT
Rekisterinumero:
Ajokilometrimäärä:
Merkki: Nissan
Tyyppi: 1.8T
Malli: 200SX
Käyttö: 1991
Polttoneite: Benssiini

TULOKSET

Silmän tarkistus: o.k.#

Moottori käyttölämmän #

Joutokäyntimittaus

Pyörintänopeus	960	/min
Lambda	0.964	
CO	2.167	Z til
CO2	12.84	Z til
HC	313	ppm til
O2	0.95	Z til
COcor	2.167	Z til

Korotettu joutokäynti

Pyörintänopeus	2120	/min
Lambda	1.005	
CO	0.013	Z til
CO2	14.43	Z til
HC	77	ppm til
O2	0.19	Z til
COcor	0.014	Z til

TULOKSET

Joutokäyntimittaus:
Pyörintänopeus:
(700-1000)

CO	(0.50)	o.k.
HC	(100)	o.k.

Korotettu joutokäynti:
Pyörintänopeus (2000-)

CO	(0.30)	o.k.
HC	(100)	o.k.
Lambda	(0.97-1.03)	o.k.

Testi hylätty

manuaali syöttö

Allekirjoitus:

E85

B o s c h
Pakokaasutesti
Testitulos

TESTIPAIKKA
SEINÄJOEN AMK TEKNIikka
AUTOLABORATORIO
TORNAVANTIE 26
60200 SEINÄJOKI
PUH 0201 245 319

BEA-versio: V2.50-FIN
AMM-versio: 5579

Päiväys: 05.05.2015
Aika: 15.27

AJONEUVON TUNN. TIEDOT
Rekisterinumero: GFU-519
Ajokilometrimäärä: 310000
Merkki: Nissan
Tyyppi: 1.8T
Malli: 200SX
Käyttö: 1991
Polttoneite: Benssiini

TULOKSET

Silmän tarkistus: o.k.#

Moottori käyttölämmän #

Joutokäyntimittaus

Pyörintänopeus	910	/min
Lambda	1.023	
CO	0.008	Z til
CO2	13.61	Z til
HC	63	ppm til
O2	0.69	Z til
COcor	0.009	Z til

Korotettu joutokäynti

Pyörintänopeus	2000	/min
Lambda	1.007	
CO	0.016	Z til
CO2	14.10	Z til
HC	42	ppm til
O2	0.20	Z til
COcor	0.017	Z til

TULOKSET

Joutokäyntimittaus:
Pyörintänopeus:
(700-1000)

CO	(0.50)	o.k.
HC	(100)	o.k.

Korotettu joutokäynti:
Pyörintänopeus (2000-)

CO	(0.30)	o.k.
HC	(100)	o.k.
Lambda	(0.97-1.03)	o.k.

Testi hyväksytty

manuaali syöttö

Allekirjoitus:

Hannu Ylisen

