



Osaamista  
ja oivallusta  
tulevaisuuden  
tekemiseen

Santtu Mönttinen

# Vesi-metanoliruisutus turbodiesel- moottorissa

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Ajoneuvotekniikka

Insinöörityö

5.10.2018

Tekijä Otsikko	Santtu Mönttinen Vesi-metanoliruiskutus turbodieselmoottorissa
Sivumäärä Aika	19 sivua + 1 liite 5.10.2018
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma	Ajoneuvotekniikka
Ammatillinen pääaine	Jälkimarkkinointi
Ohjaajat	Lehtori Heikki Parviainen, Metropolia Ammattikorkeakoulu
<p>Tämän insinööriyön tarkoituksena on tutkia vesi-metanoliruiskutuksen käyttöä turbodieselmoottorissa. Työssä käydään läpi järjestelmän ominaisuuksia sekä etuja ja mahdollisia haittoja. Samalla selvitetään myös, mitä moottorissa tapahtuu, kun sinne ruiskutetaan vettä ja metanolia. Pääpaino työssä on tarkastella ruiskutuksen vaikutuksia moottorin tehoon, vääntömomenttiin ja moottorin lämpötiloihin.</p> <p>Opinnäytetyössä tarkastellaan vesi-metanoliruiskutuksen tuomia muutoksia Mercedes-Benz-merkkisessä henkilöautossa. Auto on varustettu kolmelitraisella turbodieselmoottorilla, joka on tarkemmin sanottuna esikammiodieselmoottori. Työhön kuului laitteiston suunnittelu ja asennus, minkä jälkeen mittaukset suoritettiin tehodynamometrissä.</p> <p>Työn lopuksi raportoidaan muuttuneet arvot, pohditaan tulosten todenmukaisuutta ja asioita, joita muuttamalla olisi päästy toisiin tuloksiin.</p> <p>Vesi-metanoliruiskutuksen todettiin olevan varteenotettava vaihtoehto kehittää moottorin suorituskykyä ja luotettavuutta. Tähän lopputulokseen päästään alentuneiden moottorin sisäisten lämpötilojen kautta.</p>	
Avainsanat	vesimetanoli, teho, diesel

Author Title	Santtu Mönttinen Water-Methanol injection in Turbo Diesel Engine
Number of Pages Date	19 pages + 1 appendix 5 October 2018
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Automotive Engineering
Professional Major	Automotive After Sales Engineering
Instructors	Heikki Parviainen, Senior Lecturer
<p>The purpose of this thesis was to study the use of water-methanol injection in a turbo diesel engine. The thesis examines the features of the system as well as the advantages and potential drawbacks. At the same time, it also explores what happens to the engine when water and methanol are injected there. The main focus of the work is to examine the effects of spraying on engine power, torque and engine temperatures.</p> <p>The thesis examines changes in water-methanol injection in a Mercedes-Benz passenger car. The car is equipped with a three-litre turbodiesel engine, which is more precisely the pre-chamber engine. The work included design and installation of the equipment, after which the measurements were carried out in a power dynamometer.</p> <p>At the end of the work, the changed values are reported, the truthfulness of the results and the items that would have changed after the change are discussed.</p> <p>Water-methanol injection was found to be a viable option for developing engine performance and reliability. This result was achieved through reduced engine internal temperatures.</p>	
Keywords	water methanol, power, diesel

## Sisällys

### Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Vesi	1
3	Metanoli	2
4	Vesi-metanoliseos	2
4.1	Yleistä	2
4.2	Virityskäyttö	4
4.3	Historia	4
4.4	Jäähdyttävä vaikutus ruiskutuksessa	5
4.5	Metanolin vaikutus ruiskutuksessa	5
4.6	Ruiskutuksen käyttö moottoriurheilussa	6
4.7	Ruiskutuksen käyttö sarjavalmisteisissa autoissa	6
5	Dieselmoottori	7
5.1	Toimintaperiaate ja todellinen hyötysuhde	7
5.2	Esikammiodiesel	7
6	Työn suunnittelu	8
6.1	Tavoitteet	8
6.2	Lähtötilanne ja kohdemoottori	9
6.3	Toteutuksen suunnittelu	9
7	Työn toteutus ja asennus	10
7.1	Pumppu	10
7.2	Suutin	11
7.3	Nestesäiliö ja linjasto	11
7.4	Mekaaniset asennukset	12
7.4.1	Sähköasennukset	14

8	Mittaukset	15
8.1	Tehon ja vääntömomentin mittaukset	16
8.2	Lämpötilojen mittaukset	16
9	Yhteenveto ja päätelmät	17
	Lähteet	18
	Liitteet	
	Liite 1. Tehonmittaustodistus	

## Lyhenteet

rpm	revolution per minute, moottorin kierrosta minuuttia kohden
ml/min	millilitraa minuutissa, virtauksen määrä
cm <sup>3</sup>	kuutiosenttimetri, tilavuuden yksikkö
Nm	newtonmetri, vääntömomentti
hp	horsepower, hevosvoima
psi	pounds per square inch, paineen yksikkö
bar	SI-järjestelmän mukainen paineen yksikkö
kJ/kg	kilojoule per kilogramma, ominaishöyrystymislämpö
kJ/kgK	kilojoule per kilogramma ja kelviniä kohti, ominaislämpökapasiteetti
GmbH	Gesellschaft mit beschränkter Haftung, osakeyhtiö

## 1 Johdanto

Tämän insinööriyön tarkoituksena on tutkia vesi-metanoliruiskutuksen käyttöä turbodieselmoottorissa. Teoreettisessa tarkastelussa pohditaan järjestelmän etuja ja haittoja. Työssä tarkastellaan, mitä moottorissa tapahtuu, kun sinne ruiskutetaan vesi-metanoli-seosta.

Opinnäytetyössä lisätään vesi-metanoliruiskutus Mercedes-Benz-merkkiseen henkilöautoon, joka on tehtaalta tullessaan varustettu kolmelitraisella turbodieselmoottorilla. Kyseisen ajoneuvon suorituskykyä oli jo etukäteen paranneltu polttoainelaitteiston päivityksellä, suuremmalla ahtimella, imuilman välijäähdyttimellä sekä moottorin hengitystä kehittämällä. Ruiskutuksella saadaan palamistapahtumaa paremmaksi ja moottorin lämpötiloja pienemmäksi.

Työhön kuului muutosten suunnittelu ja toteuttaminen. Lopuksi muuttuneet arvot testattiin tehodynamometrillä ja niitä voitiin verrata vanhoihin tuloksiin.

## 2 Vesi

Nestemäinen vesi ( $H_2O$ ) on hajuton ja läpinäkyvä aine. Se on muodostunut kahdesta alkuaineesta, vedystä ja hapesta. Tarkemmin sanottuna vesimolekyyli koostuu kahdesta vetyatomista ja yhdestä happiatomista.

Vesi on äärimmäisen hyvä liuotin sen kemiallisen ominaisuuden, poolisuuden, ansiosta. Poolisuus kuvaa molekyylin varausjakauman epätasaisuutta. Poolisuudella tarkoitetaan käytännössä napaisuutta. Poolisessa molekyylissä elektronitiheys on jakaantunut niin, että siinä on selkeästi negatiivisesti ja positiivisesti varautuneet päät. Plusnapa on sidoksen atomi, jolla on positiivinen osittaisvaraus, ja miinusnapa on luonnollisesti negatiivisen osittaisvarauksen omaava atomi. Vesimolekyylin pooliseksi tekee se, että sen sidokset muodostavat keskenään terävän kulman. Tämän kulman ansiosta varausjakauma on epätasainen. Vastakkaisissa suunnissa olevien sidoksien napaisuudet kumoaisivat toisensa. Näin ollen poolinen sidos voi olla varausjakaumaltaan myös tasainen. [1]

### 3 Metanoli

Metanoli ( $\text{CH}_3\text{OH}$ ) on miedon alkoholin hajun omaava, väritön ja helposti syttyvä palava neste. Se palaa vaikeasti havaittavalla liekillä ja on myrkyllistä, joten sitä tulee käsitellä erittäin varovaisesti. Metanolin palamis- ja hajoamistuotteita ovat muun muassa formaldehydi ja muurahaishappo. Voimakkaat hapettimet ovat yhteensopimattomia metanolin kanssa. Aine liuottaa maaleja ja lakkoja, ja sillä on alumiinia ja lyijyä syövyttävä vaikutus. Metanolia voidaan valmistaa esimerkiksi puusta tislamalla tai syntetisoimalla sitä maakaasusta. Ominaisuuksiensa ansiosta sitä käytetään polttoaineena, liuottimena ja jäätyminenestoaineena. [2; 3]

Metanoli luokitellaan kemiassa alkoholeihin, tarkemmin yhdenarvoisiin alkoholeihin. Alkoholiyhdisteiden hydroksyyliyhdyntien määrä ( $-\text{OH}$ ) määrittelee, onko kyseessä yhdenarvoinen vai moniarvoinen alkoholi. Hiiliketjun ollessa haarautumaton puhutaan alkanolisarjan alkoholeista. Metanoli on lyhytketjuinen alkoholi, joka muodostaa vetysidoksia vesimolekyylin kanssa. Sen vuoksi se liukenee hyvin veteen [4].

### 4 Vesi-metanoliseos

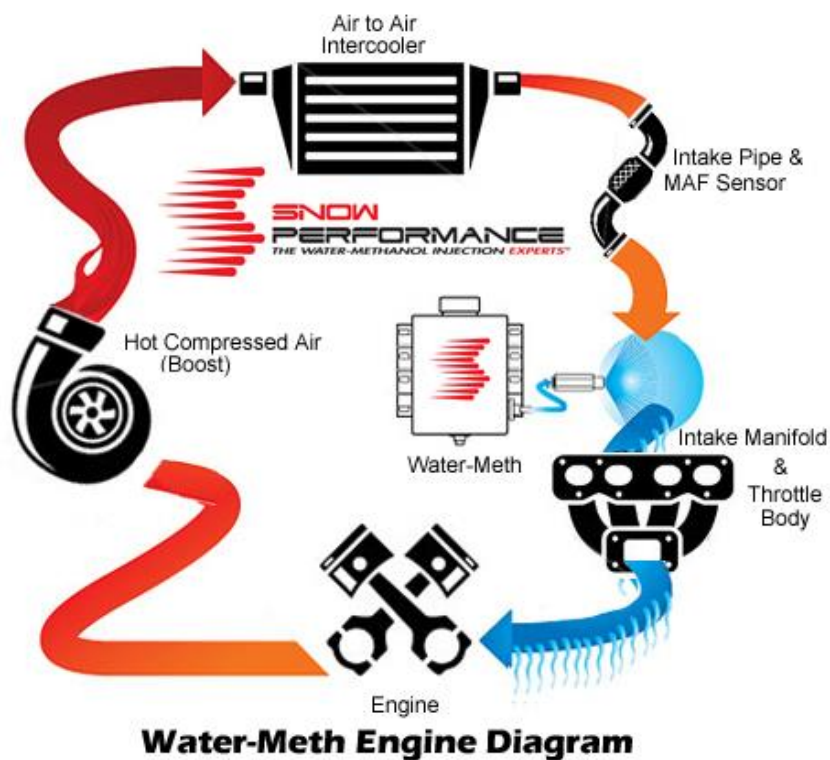
#### 4.1 Yleistä

Veden ja metanolin seosta käytetään turbodieselmoottorissa pääasiallisesti sen ahdetua imuilmaa viilentävän ominaisuuden takia (kuva 1). Se on edullinen keino parantaa moottorin palotapahtuman jäähtymistä, jolloin tehoa saadaan lisää ja moottorin vaurioitumisriskiä saadaan pienennettyä. Palotapahtuman aikana syntyvä höyry puhdistaa myös sylinteritäytökseen liittyviä mekaanisia komponentteja. Oikein asennettuna järjestelmästä ei ole moottorin toiminnalle mitään vaaraa. On kuitenkin mahdollista, että yhtäjaksoisessa pitkäkestoisessa ruiskutuksessa seosta saattaa kerääntyä johonkin moottorin komponenteista suuttimen leveään sumun takia. Suutinvalinta tulee tehdä huolellisesti, sillä liian suuri ruiskutus alkaa sammuttamaan dieselmoottorin palotapahtumaa. Moottorin käyntiäänäni muistuttaa dieselille ominaista nakutusta, mutta kovaäänisempänä. Pakokaasut muuttuvat huonosti palavan seoksen takia vaaleiksi ja savutus lisääntyy merkit-



tävästi. Tämä ilmiö ei ole pienimuotoisena haitallinen, mutta jatkuva altistus ei ole hyväksi moottorille. Laitevalmistajat myyvät erilaisia ohjainlaitteita, joilla suuttimien toimintaa voidaan ohjailta tarkasti ilman sammumista ja sen tuomia haittoja.

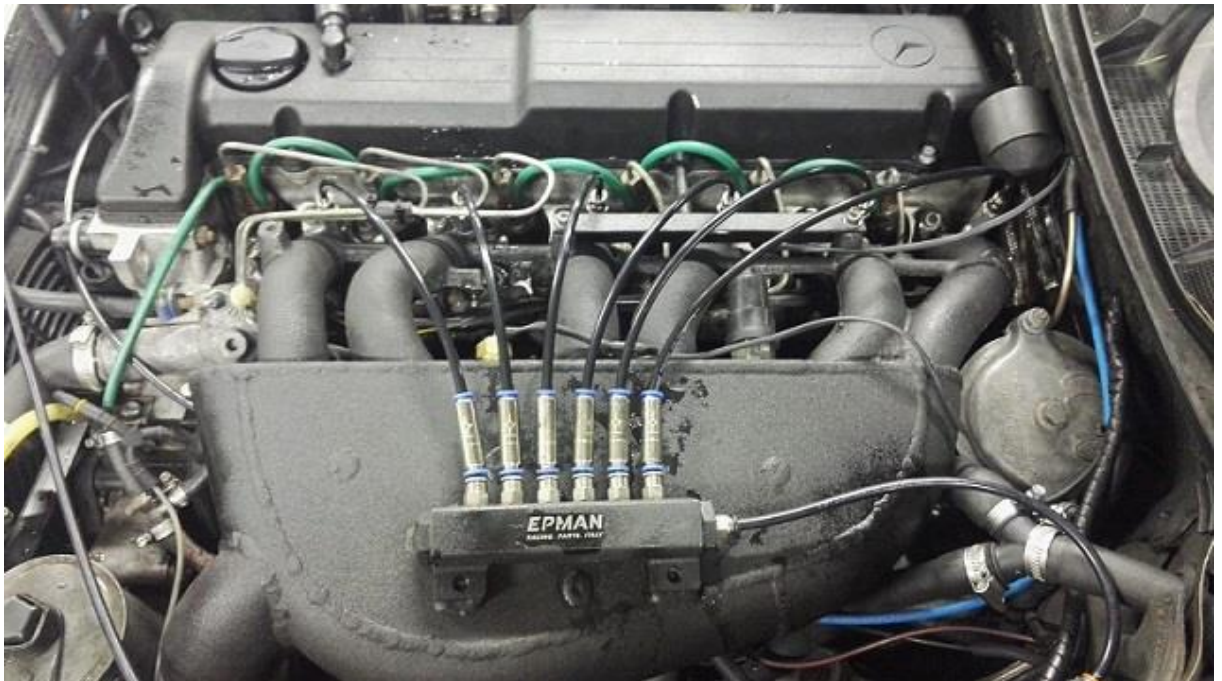
Seossuhteena moni valmistaja suosittaa 50/50-seosta, eli puolet vettä ja puolet metanolia. Sillä on havaittu olevan paras ja turvallis in jähdytysteho. Seoksen ruiskuttamisesta voi koitua haittaa moottorille käytettäessä seoksia, joissa metanolin osuus on suurempi. Se aiheuttaa suuremmalla osuudella seoksessa epätoivottua palamista ja syttymistä palotapahtumassa. [5; 6; 7]



Kuva 1. Vesi-metanolikytkennän havaintokuva, Snow Performance -verkkosivut. [6].

## 4.2 Virityskäyttö

Virityskäytössä vesi-metanoliruiskutus on suosittu yksinkertaisen asennuksen, edullisen hinnan ja vaivattomuuden takia. Seosta ruiskutetaan yleisimmin moottorin imusarjaan suuttimen läpi hienojakoisena sumuna, josta se kulkeutuu moottorin imupuolelle menevän ilmavirtauksen mukana sylinteriin. Seosta voidaan ruiskuttaa myös ahtimeen, välijäähdyttimeen ja ahtoputkistoon. Opinnäytetyössä käytetyssä ajoneuvossa oli yksi ruiskutuslaitteisto, mutta useamman suuttimen sovelluksia on myös mahdollista käyttää (kuva 2). [6] Monet yritykset tarjoavat nykypäivänä valmiita laitteistokokonaisuuksia yleisimpiin polttomoottorityyppeihin. Lisäksi on mahdollista koota ruiskutuslaitteisto pelkistä erillisistä komponenteista, niin kuin tämän opinnäytetyön autossa on tehty.



Kuva 2. Mercedes-Benzin turbodieselmoottori, jossa käytössä sylinterikohtainen vesi-metanoliruiskutus.

## 4.3 Historia

Vesiruiskutus kehitettiin tieteellisesti jo 1930-luvulla insinööri Harry Ricardon toimesta. Ensimmäisen kerran käytössä se oli toisen maailmansodan aikaan saksalaisvalmistei-

sessä Focke-Wulf 190D-9 -lentokoneessa, jossa oli mekaaninen keskipakoahdin. Lentokoneen moottorin tehot saatiin nostettua 1776 hevosvoimasta 2240 hevosvoimaan käyttämällä 50/50-suhteella olevaa vesi-metanoliseosta. General Motors kokeili auto-maailmassa vesi-metanoliruiskutusta omassa Chevrolet Corvair Turbo -mallissaan 60-luvulla. [6]

#### 4.4 Jäähdyttävä vaikutus ruiskutuksessa

Vesi-metanoliseoksen jäähdyttävä vaikutus perustuu veden ja metanolin höyrystymiseen. Metanolin ominaislämpökapasiteetti on 2,50 kJ/kgK ja ominaishöyrystymislämpö 301 kJ/kg. Veden ominaishöyrystymislämpö normaalipaineessa on noin 2260 kJ/kg. Höyrystyminen taas sitoo imuilmasta lämpöä, jolloin ilma on viileämpää. Vedellä on korkea ominaislämpökapasiteetti (4,182 kJ/kgK), joten se pystyy sitomaan todella hyvin lämpöä höyrystyessään. Imuilman jäähtyminen aiheuttaa paineen alentumisen sylinterissä. Tästä syntyvä paine-eron kasvu ulkoilman ja sylinterin välillä aiheuttaa imuilman virtauksen lisääntymisen. Ilman virtauksen kasvaessa sylinteriin saadaan syötettyä lisää ilmaa ja samalla lisää polttoainetta. Tämän ansiosta sylinterin tehollinen keskipaine kasvaa, mikä käytännössä tarkoittaa lisää vääntömomenttia. Näistä suureista saadaan puolestaan laskettua teho. Viileämpi moottorin imuilma jäähdyttää myös moottoria, jolloin jäähdytysjärjestelmä ei joudu yhtä koville ja mahdollisista ylikuumenemisongelmista päästään eroon. Vesi myös sitoo palotapahtumasta syntyvää lämpöä ja laajenee muiden palokaasujen kanssa ulos. [7]

#### 4.5 Metanolin vaikutus ruiskutuksessa

Metanoli lisää imusarjaan ruiskutettuna dieselmoottorin syttymisjättämää. Syttymisjättämä on käsitteenä se aika ennen kuin sylinteriin suihkutettu polttoaine syttyy sylinterissä tapahtuvan lämmön ja paineen vaikutuksesta. Viiveen suuruus riippuu olosuhteista, mutta yleensä se on alle millisekunti. Viivästymän aikana suuttimesta ehtii tulla lisää polttoainetta, joka taas syttyy nopeasti, kun sylinterin paine ja lämpötila ovat nousseet edellisen polttoaineen syttyä. Tämä määrältään suurempi polttoaine aiheuttaa syttyessään sylinterissä nopeaa paineen nousua, mistä johtuu dieselin terävä käyntiääni. Setaanilu-

kunsa ansiosta metanolilla saadaan aikaiseksi tehon kasvua ilman sylinteripaineen terävää kasvua. Sylinteripaineen huippuarvosta saadaan hiukan korkeampi sytytysviiveen ja paloteknisen vaikutuksen vuoksi. Niiden ansiosta polttoaine saadaan tehokkaammin poltettua palotapahtuman aikana. [8; 10]

#### 4.6 Ruiskutuksen käyttö moottoriurheilussa

Turboahdettujen moottorien tullessa formula 1 -autoihin 1980-luvulla huomattiin myös vesi-metanoliruiskutuksen tuomat edut. Tiimeistä Renault ja Ferrari ottivat ruiskutuksen ensimmäisinä käyttöön vuonna 1983. Ruiskutuksesta tuli välttämätön, jos halusi pysyä kilpailujen kärjessä. Tehon lisäys synnytti kuitenkin myös riskejä, mikä johti lopulta turboahtamisen kieltämiseen ja vesi-metanoliruiskutuksen käytön päättymiseen formula-autoissa. Vesi-metanoliruiskutusta on käytetty myös ralliautoilussa, esimerkiksi seuraavissa autoissa: Subaru Impreza, Ford Escort Cosworth, Skoda Fabia ja Lancia Delta. Tractor pullingissa ruiskutuksen käyttö on tietyissä luokissa lähes pakollista todella suurien moottorin lämpökuormien takia. [6]

#### 4.7 Ruiskutuksen käyttö sarjavalmisteisissa autoissa

Saab 99 Turbo esiteltiin vuonna 1977 Frankfurtin autonäyttelyssä. Se oli ensimmäinen sarjavalmistainen turboahtimella varustettu auto, joka toi vesiruiskutustekniikan monien ulottuville. Lisävarusteena tähän malliin sai vesiruiskutuksen. Vuonna 1998 Subaru julkisti Imprezasta kaksiovisen mallin, 22B STi:n. Se oli myös vesiruiskutuksella varustettu juhlamalli, koska Subaru autonvalmistajana täytti neljäkymmentä vuotta ja juhli kolmatta peräkkäistä valmistajien maailmanmestaruutta rallin MM-sarjassa.

BMW kehitti yhteistyössä BMW M GmbH:n kanssa automallin nimeltä M4 GTS. Auto on tarkoitettu pääosin rata-ajoon, mutta sillä voi ajaa myös tieliikenteessäkin. Vuonna 2016 auto pääsi sarjatuotantoon vesiruiskutuksen kanssa. Ruiskutuksen avulla moottorin palotapahtuman lämpötilaa saatiin laskettua 25 °C:lla. Myös moottorin tehossa ja vääntömomentissa saatiin selkeitä muutoksia ruiskutuksen avulla. Teho ja vääntömomentti ilman ruiskutusta oli 425 hp / 550 Nm. Ruiskutuksen kanssa 493hp/600nm. [6]

## 5 Dieselmoottori

Dieselmoottori on puristussytytteinen moottori, jonka tuottamaa tehoa säädellään sylinteriin suihkutettavalla polttoainemäärällä ja moottorin sylinteritäytös tapahtuu pelkällä ilmalla. Moottorin kehitti 1890-luvulla saksalainen Rudolf Diesel. Ensimmäinen toimiva dieselmoottori valmistettiin vuonna 1897, ja se patentoitiin heti seuraavana vuonna. Moottoreista on kahta erilaista päätyyppiä: suorasuihkutusdiesel ja esikammiodiesel. Tässä työssä perehdytään jälkimmäiseen malliin. [9; 12]

### 5.1 Toimintaperiaate ja todellinen hyötysuhde

Polttoaine syttyy dieselissä puristustahdin aikana kohonneen paineen vaikutuksesta. Työtahteja on neljä: mäntä liikkuu alaspäin ja palotila täyttyy imuventtiilistä tulevan ilman ja yleensä suoraan sylinteriin ruiskutettavan polttoaineen seoksella, mäntä liikkuu ylös ja puristaa seoksen, joka syttyy puristuksen vaikutuksesta, minkä seurauksena mäntä liikkuu jälleen alaspäin. Puristustahdin aikana sylinterin paine voi nousta jopa 50 baariin ja lämpötila noin 800–900 asteeseen. Ylös palatessaan mäntä poistaa palamiskaasut sylinteristä pakoventtiilin kautta.

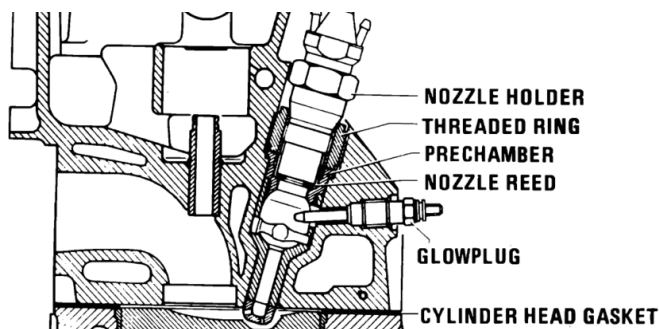
Dieselmoottorin hyötysuhde on parhaimmillaan noin 40 prosenttia. Parempi hyötysuhde johtuu korkeammasta puristussuhteesta, eikä dieselmoottorissa ole ottomoottorin tapaan kaasuläppää kuristamassa ilmvirtausta. Tällä saadaan parempi hyötysuhde varsinkin osakuormituksella. [9; 11; 12]

### 5.2 Esikammiodiesel

Esikammio moottorissa on nimensä mukaisesti kammio, johon moottorin polttoainesuihku ohjataan tappimaisen suuttimen läpi. Esikammio on kuumaseinäinen tila moottorin varsinaisen palotilan päällä tai sivulla. Polttoainesuihku ohjataan sen seinään, mikä sytyttää polttoaineen. Kammiota, joka on yhdistetty muuhun palotilaan pienellä aukolla, sanotaan etukammioksi. Pienen kokonsa vuoksi sen happimäärä ei polta kaikkea polttoainetta, mutta palotapahtuman alku nostaa paineen niin isoksi, että kammion sisältö puhaltuu varsinaiseen palotilaan muuttuen ohueksi sumuksi, jolloin loppupalaminen on

nopeaa. Isolla aukolla varsinaiseen palotilaan yhdistetty kammio on nimeltään pyörrekammio, ja siinä polttoaineen hajottaa sumuksi toisiinsa törmäävät kaasuvirtaukset (kuva 3.) [9; 12]

Opinnäytetyön auto on varustettu edellä mainitulla esikammio-moottorilla. Se on nykypäivänä jo markkinoilta poistunut moottorimalli, jonka ovat korvanneet suorasuihkutusdieselit. Niissä on palotilojen pienemmän koon ja reaaliaikaisemman palamisen johdosta noin 10 prosenttia pienempi kulutus.



Kuva 3. Halkileikkaus esikammiodieselmoottorin kansirakenteesta, Mercedes Source - verkkosivut. [13].

## 6 Työn suunnittelu

Idea tälle projektille syntyi, kun ennestään mekaanisesti viritysteeltään korkeaan moottoriin haluttiin saada lisää tehoa pienillä muutoksilla ja kohtuullisilla kustannuksilla. Vesi-metanoliruiskutus ei ole Suomessa vielä kovin yleinen tehon lisäyksen muoto, mutta esimerkiksi Yhdysvalloissa se on todella suosittu tapa lisätä tehoa dieselmootto-reihin. Täydellisiä asennussarjoja on myynnissä, mutta kustannustehokkuuden ja sopi-vuuden nimissä laitteisto tehtiin tähän opinnäytetyön autoon osista.

### 6.1 Tavoitteet

Ruiskutusta lisäämällä oli tavoitteena saada moottorin tehoa kasvatettua ja samalla saada imuilman lämpötilaa alemmaksi. Muutokset tehtiin itse, asennusten oli tarkoitus

olla huoltoystävällisiä, eivätkä ne saaneet haitata auton käytettävyyttä. Rata-ajossa vesimetanoliruiskutuksen käytöllä on myös moottorin lämpötiloja hillitsevä vaikutus, mutta niitä ei tässä työssä käsitellä.

## 6.2 Lähtötilanne ja kohdemoottori

Kohdemoottori, johon muutokset suoritettiin, oli Mercedes-Benzin alkuperäinen kolmelitrainen ja kuusisylinterinen turbodiesel, mallimerkinnältään OM603.960. Se on 12-venttiilinen, kannen yläpuolisella nokka-akselilla ja ketjujakopäällä varustettu moottori. Moottorilla oli ajettu täydellisen remontin jälkeen noin 8000 kilometriä.

Mekaanisen virittämisen yhteydessä oli suoritettu parannuksia suorituskykyä ja kestävyyttä ajatellen:

- moottorin tiivistepinnat oli koneistettu tasaisiksi
- kannentiiviste vaihdettu kestävämpään peltiseen versioon
- moottorin kiertokanget vahvempiin uudemmasta moottorista
- männät oli koneistettu ja pinnoitettu lämpöä eristävällä pinnoitteella
- venttiilijouset oli vaihdettu jäykemmiksi
- moottorin imu- ja pakosarja oli vaihdettu virtauksiltaan paremmiksi
- ruiskutuspumppu oli vaihdettu syöttömääriltään isompaan malliin
- turboahdin oli vaihdettu virityskäyttöön soveltuvammaksi ja autoon oli lisätty ahto ilman välijäähdytin.

## 6.3 Toteutuksen suunnittelu

Valmistajien internetsivuilta katsottiin täydellinen komponenttilistaus, jonka perusteella hankittiin tarvittavat osat. Pumppu ja suutin on hankittu vaatimustensa takia juuri vesimetanolille tarkoitettuna, mutta muissa osissa on sovellettu eri teollisuusalojen tuotteita ja käytäntöjä.

## 7 Työn toteutus ja asennus

Toteuttamisessa pyrittiin hyödyntämään käytössä olevia kontakteja, tiloja ja laitteita mahdollisimman tehokkaasti ja omavaraisesti. Mitään tiukkaa budjettia ei ollut asetettu, mutta lopputulos oli toivotunlainen kohtuullisilla kustannuksilla.

### 7.1 Pumppu

Ruiskutuspumpuksi valittiin saatavuuden ja hinnan takia DevilsOwn DDP5800. Se on juuri tähän käyttöön tarkoitettu erikoisvalmisteen korkeapainepumppu, jossa on sisäinen säädettävä paineensäädin. Ilmoitettu tuotto ilman vastapainetta on 1 GPM eli noin 3, l/min ja maksimipaine 17,2 bar, eli 300 psi (kuva 4). Valmistajien pumput ovat useimmiten 200 psi -malleja, mutta kohdejoneuvon käyttötarkoituksen vuoksi päädyttiin 300 psi -versioon. Dieselissä käytetään suuriakin ahtopaineita, jolloin suuremmalla paineella varustetusta pumpusta saadaan tuotettua varmemmin seosta moottoriin. Isommalla ruiskutuksen paineella myös pisaroitumisen todennäköisyys pienenee.



Kuva 4. DevilsOwn DDP 5800 -korkeapainepumppu, DevilOwn -verkkosivut. [14].



## 7.2 Suutin

Käytettävät suuttimet ovat erikoisvalmisteisia ja tuottavat hienon sumun jo pienilläkin paineilla. Pieni messinkitappi ohjaa nesteen pääsyn suuttimen reiälle. Niissä on myös sisään rakennettu verkkosihti, jolla estetään mahdollisten irtopartikkelien pääsy suuttimen kärkeen asti (kuva 5). Tämän työn ajoneuvoon suutin valittiin yhteistyössä DevilsOwn-asiantuntijan kanssa huomioiden moottorin tehotavoite ja virityssaste.



Kuva 5. DevilsOwn-vesi-metanolisuutin, DevilsOwn -verkkosivut. [14].

## 7.3 Nestesäiliö ja linjasto

Moottorin ahtauden takia nestesäiliö valmistettiin itse ruostumattomasta teräksestä metanolin alumiinia syövyttävän vaikutuksen takia ja sijoitettiin auton tavaratilaan. Linjastomateriaalina toimii raskaankaluston tarvikeliikkeestä ostettu 8-millimetrinen nylonputki, jota käytetään esimerkiksi kuorma-autojen jarrulinjoissa. Linjastossa on myös kaksi pneumaattisuuden takaiskuventtiiliä. Toinen on sijoitettu linjastoon juuri ennen nestesäiliön lähtöä ja suodatinta, toinen suuttimen eteen. Näin ollen nesteen virtaaminen takaisin säiliöön on estetty ja suuttimen edessä oleva takaiskuventtiili estää imu-sarjan ahtopaineen tyhjentämästä linjaa ennen korkeapainepumpun käynnistymistä.

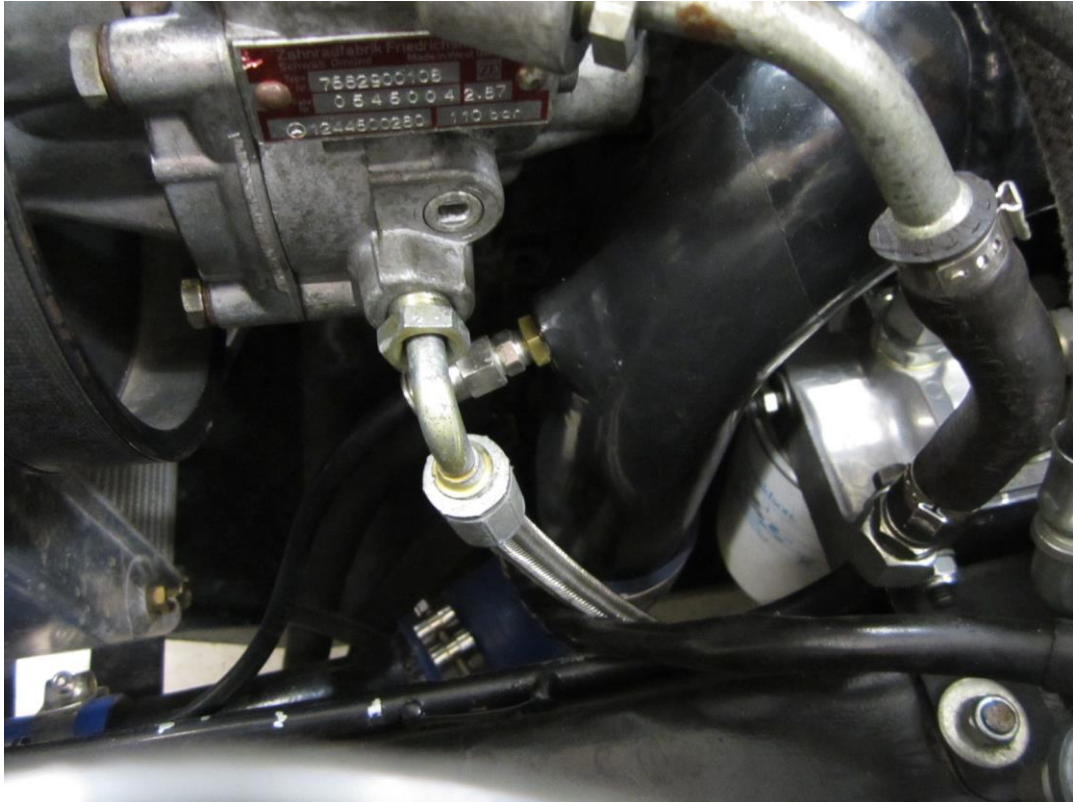
## 7.4 Mekaaniset asennukset

Mekaaninen asennustyö oli vaivaton suorittaa. Korkeapainepumppu sijoitettiin tilasyistä alkuperäiseen akkutilaan vaaka-asentoon värinäkumiensa varaan (kuva 6). Akku oli jo aikaisemmin siirretty tavaratilaan painojakauman ja akkutilan uusien asennuksien takia. Pumpun mukana tulleet suorat letkuliittimet korvattiin isommalle putkikoolle soveltuvilla, kulmamallisilla liittimillä.



Kuva 6. Korkeapainepumppu sijoitettuna kohdeajoneuvon akkutilaan.

Suutin sijoitettiin ennen imusarjaa, tarkemmin ottaen ennen painekoteloa. Ahtoputken mallin takia suutin sijoitettiin viistosti hitsatulla nipalla putkeen sumun paremman leviämisen takaamiseksi (kuva 7). Nipan kierrettä kasvatettiin, ja siihen laitettiin messinkinen muunnosnipa, joka on suuttimen irrotusta ajatellen kierteiltään kestävämpi kuin alumiini. Normaalisti suutin sijoitetaan ahtoputken 90 asteen kulmaan putken pituussuuntaan nähden. Suutinta ennen asennettiin linjaan vielä takaiskuventtiili.



Kuva 7. Vesi-metanolisuutin sijoitettuna imusarjaan.

Nestesäiliö sijoitettiin tavaratilan oikeaan reunaan, mikä oli looginen ratkaisu akun ollessa vasemmalla puolella (kuva 8). Auto on myös päivittäisessä käytössä, joten tavaratilan kapasiteetti ei saanut kärsiä suuresti. Oikealta puolelta oli myös helppo johtaa säiliön huuhotus auton oman tankkausputken vieressä olevaan tankkausluukun vedenpoistotietkuun. Linjasto asennettiin menemään taka-akseliston yli ja siitä oikeanpuolen muovihelman sisällä, jolloin erillistä kannakkeita kevyelle linjalle ei tarvittu. Takaiskuventtiili ja suodatin asennettiin ajoneuvon pohjaan käyttäen ABA:n asennussiteitä.

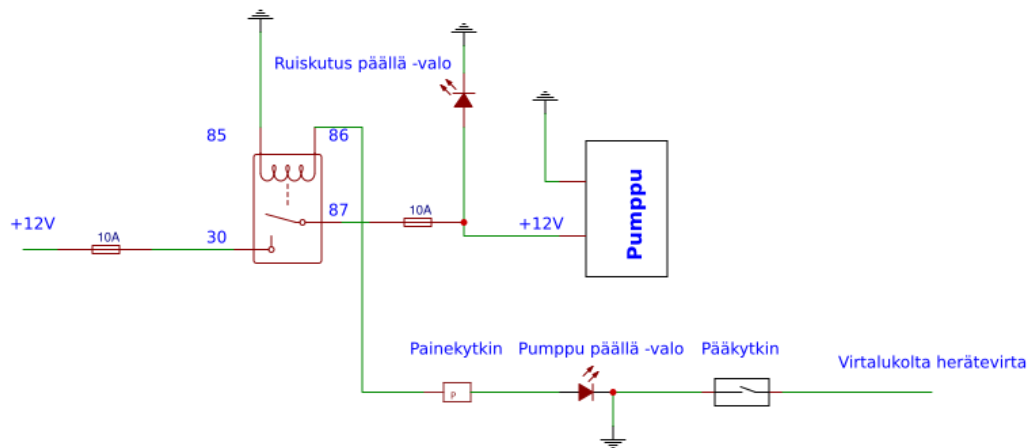


Kuva 8. Nestesäiliö asennettuna kohdeajoneuvon tavaratilaan.

#### 7.4.1 Sähköasennukset

Laitteiston ollessa itse hankittu myös sähköasennukset piti tehdä täysin itse. Järjestelmään haluttiin mahdollisuus kytkeä ruisku pois päältä ja merkkivalot eri toimintatilanteille. Järjestelmään lisättiin merkkivalot pumpun toiminnalle sekä kytkin, josta pumppu voidaan sammuttaa. Auton ohjaamoon ruiskun ohjaustaululle vedettiin kolme johdinta: yksi johdin pumpun releen herätevirrälle virtalukolta ja kaksi johdinta merkkivaloille. Pumppua ohjaava kytkentärele ruuvattiin kiinni ajoneuvon akkutilaan muiden jälkiasennettujen sähkönohjauskomponenttien viereen ja painekytkin moottoritalan ABS-yksikön läheisyyteen. Kaikki moottoritalan puolelle tehdyt kytkennät tehtiin suojatuilla liittimillä. Painekytkimelle haaroitettiin paine moottoritalassa olevasta jakoliittimestä. Ohjaamossa ruiskun merkkivalot asennettiin kojelaudan keskiosan paneeliin ja käyttökytkin vaihdekepin ympärillä olevaan keskikonsolin paneeliin. Pumpun toiminnan merkkivalo maadoitettiin kojelaudan johtosarjaan. Se saa virtansa pumpun kytkentäreleen navasta 87, josta menee

virta pumpulle, eli valo palaa aina pumpun käydessä. Katkaisijalta virta virtalukon navasta menee releen napaan 86. Napa 85 on kytketty maihin. Nämä voidaan todeta myös sähkökaaviosta (kuva 9). Painekeytkin on normaalisti auki ja sulkeutuu säädetyn painerajan ylittyessä. Painerajaa voi säätää kytkimen säätöruuvista portaattomasti välillä 0,1–3 bar.



Kuva 9. Kytcentäkaavio.

## 8 Mittaukset

Tässä työssä mitattiin moottorin muuttunutta tehoa, vääntömomenttia sekä imuilman ja pakokaasujen lämpötilaa. Kaikki mittaukset suoritettiin yhdellä kertaa samassa dynamometrissa. Kyseinen ajoneuvo on manuaalivaihteinen ja mittaukset suoritettiin 3. vaihteella. Polttoaineen ruiskutuspumppun syöttömäärä oli 130 cm<sup>3</sup>. Painekeytkin oli säädetty siten, että ruiskutus lähti päälle ahtopaineen ollessa 1,4 bar. Ruiskutussuutin oli virtaukseltaan 800 ml/min ja käytetty seos oli 1/3 metanolia ja 2/3 vettä.

## 8.1 Tehon ja vääntömomentin mittaukset

Moottoriin tehtyjen muutoksien vaikutusta tehonlisäykseen ei ollut vielä testattu aikaisemmin. Teho mitattiin 1,8 bar:n ahtopaineella, joka on suurin ahtopaine, minkä hukkaportin mekaaninen jousikuorma pystyy käsittelemään. Taulukosta 1 huomataan muuttunut teho ja vääntömomentti.

Taulukko 1. Mitatut teho ja vääntömomentti ruiskutuksella ja ilman.

Ahtopaine (bar)	Vesi-metanoliruiskutus	Teho (kW)	Kierros-luku (huipputeho rpm)	Vääntömomentti (Nm)	Kierros-luku (huippuvääntö rpm)
1,8	ei käytössä	348	4660	895	3400
1,8	käytössä	359	4560	914	3450

## 8.2 Lämpötilojen mittaukset

Imuilman lämpötilaa mitattiin yhdestä pisteestä, joka sijaitsi painekotelossa. Mittari oli juuri tähän käyttöön tarkoitettu vesitiiviin anturinsa takia. Mittarin digitaalinen asteikko oli -10 °C – 110 °C. Pakokaasun lämpötilaa mitattiin yhdellä k-tyypin anturilla, joka oli sijoitettu pakosarjassa kohtaan, jossa primääriputket yhdistyvät ennen ahtimen kiinnitys-laippaa. Tätä kohtaa kutsutaan kollektoriksi. Mittarin herkästi reagoiva anturi ja 0 °C – 1200 °C -asteikko antoivat pakokaasujen muuttuvista lämpötiloista reaaliajassa. Taulukko 2 kertoo muuttuneet lämpötilat, kun ruiskutus kytkettiin päälle.

Taulukko 2. Mitatut lämpötilat ruiskutuksella ja ilman.

Ahtopaine (bar)	Vesi-metanoliruiskutus	Imuilman lämpötila (°C)	Pakokaasun lämpötila (°C)
1,8	ei käytössä	37	431
1,8	käytössä	24	418

## 9 Yhteenveto ja päätelmät

Harrasteajoneuvon moottorin ominaisuuksia ja suorituskykyä parannettiin asentamalla siihen vesi-metanoliruiskutus. Tällä tavalla ajoneuvon moottorin vääntömomenttia saatiin kasvatettua ja kyseiselle moottorityypille ominaisia sisäisiä lämpötiloja saatiin laskettua.

Työlle asetetut tavoitteet saavutettiin hyvin. Tehonmittausvedot olivat lyhyitä, ja mittarista katsottuna vesi-metanoliseoksen jäähdyttävä vaikutus imusarjassa jatkui vielä vedon päätyttyä. Tuloksista voidaan kuitenkin nähdä suoritusarvojen kasvaneen ja lämpötilojen laskeneen.

Mittaukset suoritettiin normaalia suositusta laihemmalla vesi-metanoliseoksella, eikä korkeapainepumppua ollut säädetty maksimipaineen tuottoon. Näitä kohtia muuntamalla päästään vielä parempiin tuloksiin ruiskutusta käyttäessä. Testituloksen todenmukaisuus on teoriaan perusteltuna hyvinkin paikkansa pitävä. Eri tulos saataisiin kuitenkin eri mittauspaikassa, koska tehodynamometreissä on eroja. Testauspaikka sijaitsee rakennuksen kellarissa, joten se ei ilmanvaihtonsa, lämpötilansa ja pienen apuilmapuhaltimen ollut lämpötilaltaan kaikkein käytännöllisin. Tieliikenteessä ilmavirtaus jäähdyttää ilmaa paljon tehokkaammin ajoneuvon edetessä.

Testimoottorin tiedetyn lämpökuorman takia jatkosuunnitelmana on rakentaa kaksivaiheinen vesi-metanoliruiskutus. Tällöin suuttimia olisi kaksi, jolloin virtaukseltaan pienempi suutin ruiskuttaa seosta pienemmällä ahtopaineella ja paineen kasvaessa tiettyyn raja-arvoon alkaa virtaukseltaan isompikin suutin ruiskuttaa seosta.

## Lähteet

- 1 Harjula, Liisa. 2013. Veden ominaisuudet. Verkkodokumentti. Avoimen yliopiston Koppa. Jyväskylän yliopisto. <<https://koppa.jyu.fi/avoimet/kemia/ako/Veden%20ominaisuudet>>. Luettu 12.11.2018.
- 2 OVA-ohje: Metanoli. Verkkodokumentti. Työterveyslaitos. <<http://www.ttl.fi/ova/metanoli.html>>. Luettu 19.11.2018.
- 3 Lalli, Baljit. 2015. Methanex Corporation. About methanol. Verkkodokumentti. <<https://www.methanex.com/about-methanol/how-methanol-made>>. Luettu 19.11.2018.
- 4 Francoeur, Matt. The Chemical Company. Methanol. Verkkodokumentti. Luettu 19.11.2018.
- 5 Franks, Mike. 2018. PDQ-V. Verkkodokumentti. <<http://www.pdq-v.com/files/water-methanol-FAQs.pdf>>. Luettu 22.11.2018.
- 6 Snow, Matt. Snow Performance. Information. Verkkodokumentti. <<https://www.snowperformance.eu/en/water-injection/boost-cooler-features>>. Luettu 24.11.2018.
- 7 Georgallidis, Tom. Rally Cars. Water Injection – A Technical Description. Verkkodokumentti. <<http://rallycars.com/technical-stuff/water-injection-a-technical-description/>>. Luettu 25.11.2018.
- 8 Harris, Ryan. 2018. Diesel Tech Magazine. 11 THINGS YOU NEED TO KNOW ABOUT WATER/METHANOL INJECTION. Verkkodokumentti. <<https://www.dieselttechmag.com/2010/04/11-things-you-need-to>>. Luettu 25.11.2018
- 9 Eerola, Oiva E. 1976. Polttomoottorit. Jyväskylä: Gummerus.
- 10 Jääskeläinen, Hannu. 2013. DieselNet Technology Guide. Early History of the Diesel Engine. Verkkodokumentti. <[https://www.dieselnet.com/tech/diesel\\_history.php](https://www.dieselnet.com/tech/diesel_history.php)>. Luettu 19.12.2018.



- 11 Aalto, Jari. Motiva Oy. Dieselmoottori. Verkkodokumentti. <[https://www.motiva.fi/ratkaisut/kestava\\_liikenne\\_ja\\_liikkuminen/nain\\_liikut\\_viisaasti/va-litse\\_auto\\_viisaasti/ajoneuvotekniikka/moottoritekniikka/dieselmoottori](https://www.motiva.fi/ratkaisut/kestava_liikenne_ja_liikkuminen/nain_liikut_viisaasti/va-litse_auto_viisaasti/ajoneuvotekniikka/moottoritekniikka/dieselmoottori)>. Luettu 19.12.2018.
- 12 Sarmi, Ingmar. 1973. Polttomootorit. Helsinki: Kirjayhtymä.
- 13 Bergsha, Kent Mercedessource. Verkkodokumentti. <<https://mercedessource.com/news/whats-all-these-issues-diesel-prechambers>>. Luettu 19.12.2018.
- 14 Jouris, Kris. Alcohol Injection. Verkkodokumentti. DewilsOwn. <<http://www.alcohol-injection.com>>. Luettu 19.12.2018.

## Tehonmittaustodistus

