



SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU
SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Mika Isosomppi

Top Fuel -kiihdytysmoottoripyörä ja sen polttoainejärjestelmä

Opinnäytetyö

Kevät 2024

Insinööri (AMK), Konetekniikka



SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU

Opinnäytetyön tiivistelmä

Tutkinto-ohjelma: Insinööri (AMK), Konetekniikka

Suuntautumisvaihtoehto: Auto- ja työkonetekniikka

Tekijä: Mika Isosomppi

Työn nimi: Top Fuel -kiihdytysmoottoripyörä ja sen polttoainejärjestelmä

Ohjaaja: Ari Saunamäki

Vuosi: 2025

Sivumäärä: 33

Liitteiden lukumäärä: 1

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää, mitä kaksoispolttoainejärjestelmällä saavutaan. Fuel Express Oy oli kehittänyt fossiilittomilla polttoaineilla toimivaa Top Fuel -kiihdytysmoottoripyöräänsä uudenaikaisella polttoainejärjestelmällä. Polttoainejärjestelmällä on tarkoitus pienentää muun muassa polttoainekustannuksia. Lisäksi opinnäytetyössä selvitettiin, voidaanko jo olemassa olevaa järjestelmää tai toimintatapoja kehittää.

Aihetta tutkittiin testaamalla ja tutkimalla kilpailuista saatuja tietoja sekä perehtymällä nitrometaanikäyttöisen moottorin toimintaan, ominaisuuksiin ja teoriaan. Moottorin toimintaa pyrittiin myös ymmärtämään laskemalla ja simuloimalla moottorin toimintaa. Aineistona käytettiin Fuel Express Oy:n henkilöstön keräämää tietoa ja kokemusta Top Fuel -kiihdytysmoottoripyörästä ja sen operoimisesta. Lähteinä käytettiin myös kirjallisia lähteitä, joissa tutkitaan aihetta.

Polttoainejärjestelmällä saatiin 100 prosenttisen nitrometaanin kulutus laskemaan noin 30 litrasta 5 litraan samalla moottorin suorituskykyä ja kestävyyttä parantaen. Simuloimalla saatiin myös selville, etteivät moottorin seossuhteet vielä olleet optimaaliset, joten polttoainejärjestelmän koko potentiaalia ei ole saatu todennettua.

¹ Asiasanat: moottoripolttoaineet, kiihdytysajo, polttomoottorit

SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Thesis abstract

Degree programme: Bachelor of Engineering, Mechanical Engineering

Specialization: Automotive and Work Machine Engineering

Author/s: Mika Isosomppi

Title of thesis: Top Fuel motorcycle and its fuel system

Supervisor: Ari Saunamäki

Year: 2025

Number of pages: 33

Number of appendices: 1

The aim of the thesis was to study what could be achieved with a dual fuel system. Fuel Express Ltd has been developing its Top Fuel drag racing motorcycle which runs on a combination of fossil-free fuels, by utilizing a new type of fuel system. The dual fuel system developed can reduce fuel costs among other things. In addition, the thesis explored whether the already existing system or methods of operation could be developed.

The topic was studied by testing and investigating data obtained from competitions, as well as by practical operating experience, and exploring characteristics and the theory of a nitromethane-powered engine. The goal was also to help understand the operation of the engine by calculating and simulating it. The information and operation experience of the Top Fuel motorcycle gathered by the personnel of Fuel Express were used as a source of data. Written research sources related to the topic were also used as sources.

By the use of the fuel system, the consumption of 100% nitromethane was reduced from approximately 30 liters to 5 liters per run, while improving the performance and durability of the engine. The simulation also revealed that the engine's mixture ratios were not yet optimal, so the full potential of the fuel system was not verified.

¹ Keywords: motor fuels, drag racing, internal-combustion engine

SISÄLTÖ

Opinnäytetyön tiivistelmä	2
Thesis abstract	3
SISÄLTÖ	4
Kuva-, kuvio- ja taulukkuuettelo	5
Käytetyt termit ja lyhenteet.....	6
1 JOHDANTO	7
1.1 Taustaa	7
1.2 Drag racing.....	7
1.3 HarsH V28 historiaa	7
2 TEORIA	10
2.1 Polttoainejärjestelmän läpikäynti	10
2.1.1 Paluukierroton polttoainejärjestelmä	11
2.1.2 Paluukiertoinen polttoainejärjestelmä	11
2.2 Nitrometaani polttoaineena	12
2.2.1 Monopropellantiset polttaineet	12
2.2.2 Nitrometaanin palaminen ja kemiallinen hajoaminen	12
2.3 Metanoli.....	13
2.4 Moottorin toiminta ja palotapahtuma	14
3 POLTTOAINEJÄRJESTELMÄ.....	17
3.1 Mitoittaminen	17
3.2 Kiertävä ja kiertämätön polttoainejärjestelmä.....	19
3.3 Palotapahtuma metanolin kanssa	23
3.4 Seossuhde ja sen raja-arvojen määrittelyminen	25
3.5 Testaaminen ja havainnot	26
3.6 Simulointi.....	28
4 POHDINTAA.....	30
LÄHTEET	31
LIITTEET.....	33

Kuva-, kuvio- ja taulukkoluetelo

Kuva 1. Polttoainepaineen romahtaminen.	20
Kuva 2. Radium engineering polttoaineen värähtelyn vaimennin.	21
Kuva 3. Polttoaineen värähtelyn vaimentimen vaurioitunut kalvo.	22
Kuva 4. Polttoaineen paine polttoaineen värähtelyn vaimentimen kanssa.	23
Kuvio 1. Kytkimen aiheuttaman painon kuvaaja suhteessa kierroksiin.	9
Kuvio 2. HarsH V28 moottorin ilmanvirtaaminen (Salminen, i.a.).	14

Käytetyt termit ja lyhenteet

Detonaatio	Itsestään syttynyt liekkirintama, joka kulkee väliaineessa yliääninopeudella.
Duty Cycle	Duty cycle kertoo suuttimen aukioloajan moottorin kierrosnopeuteen suhteutettuna.
ECU	Engine Control Unit.
EFI	Electric Fuel Injection.
Eksoterminen reaktio	Energiaa vapautuu kemiallisen reaktion seurauksena.
Endoterminen reaktio	Energiaa sitoutuu kemiallisen reaktion seurauksena.
Primaaripolttoaineseos	 Polttoaineseos, jolla palotapahtuma käynnistetään.
Sekundaaripolttoaineseos	 Polttoaineseos, jolla tuotetaan moottorista varsinainen voima.
Stoikiometrinen palaminen	 Palamista, jossa polttoaine käyttää kaiken saatavilla olevan hapen.
YKK	Yläkääntökohta, eli moottorin kierroksen kohta, jonka jälkeen mäntä lähtee alaspäin.

1 JOHDANTO

1.1 Taustaa

Fuel Express Oy oli kehittänyt heidän valmistamaansa fossiilittomilla polttoaineilla toimivaa moottoria. Tässä opinnäytetyössä selvitetään alustavasti, miten yrityksen kehittämä polttoainejärjestelmä vaikuttaa moottoriin, ja miten sitä voisi kehittää. Polttoainejärjestelmän ominaisuuksia pyrittiin todentamaan nitrometanolikäyttöisessä kiihdytysmoottoripyörässä.

Tämä opinnäytetyö tehdään Fuel Express Oy:lle. Fuel Express Oy on vuonna 2003 perustettu yritys, joka valmistaa HarsH V28 kiihdytysmoottoripyöriä, varaosia HarsH V28 kiihdytysmoottoripyöriin ja myy FuelTech moottorin ohjauslaitteita. Yrityksen toimitilat sijaitsevat Seinäjoella, ja yritys työllistää täysipäiväisesti yhden henkilön.

1.2 Drag racing

Drag racing on moottoriurheilulaji, jossa kilpaillaan nopeimmasta ajasta suoralla ¼- mailin tai 1/8-mailin mittaisella suoralla radalla. Kilpailupaikkana toimii tasainen asfaltti- tai betonipäällysteinen rata, jonka pintaan on levitetty liiman ja kumin seos lisäämään pitoa (Moottoriliitto, 2024). Lähtö tapahtuu lähtövalojen avulla, ja valot ilmaisevat, milloin on lupa lähteä liikkeelle (FHRA, 2024).

1.3 HarsH V28 historiaa

Käsiteltävänä oleva moottoripyörä on Super Twin / Top Fuel -luokan kiihdytysmoottoripyörä. Super Twin -luokassa ajetaan nitrometaanikäyttöisillä moottoripyörillä. Moottoripyörän on rakentanut Jaakko Salakari. HarsH V28 on 60-asteinen V2-moottori neljällä sylinterikannen yläpuolisella nokka-akselilla (DOHC). Käyntinopeudeksi saavutettiin jopa 9700 kierrosta minuutissa. Moottorissa käytetään neliventtiilikansia, jossa jokainen venttiili on eri kokoinen. Moottoripyörämallia alettiin suunnittelemaan vuonna 2002 syksyllä ja ensimmäisen kerran sillä ajettiin 2004. Moottoripyörämallin moottori on suunniteltu alusta asti käyttämään nitrometaania polttoaineenaan, ja sen seurauksena se on nitrometaanikäyttöiseksi moottoriksi poikkeuksellinen. Moottoripyörämallia on kehitetty jatkuvasti, eikä ensimmäisessä ja nykyisessä versiossa ole käytännössä yhtään täysin samanlaista osaa. Kehitys on

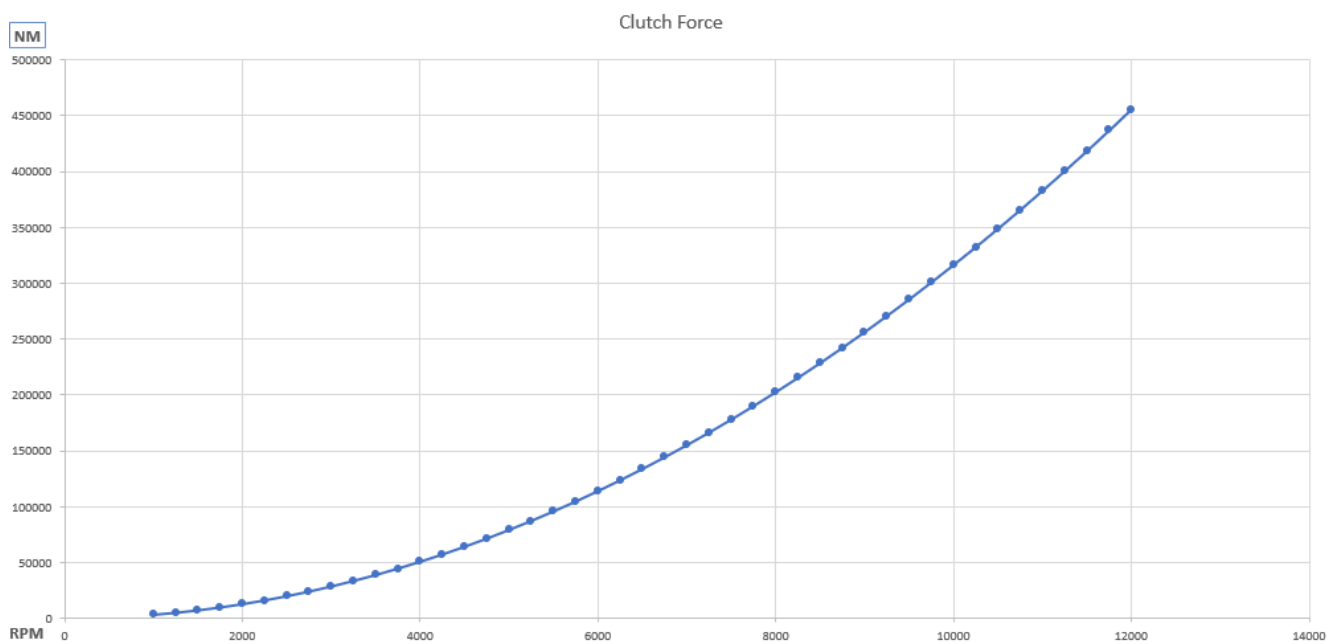
tuottanut tulosta, joista merkittävin on Super Twin -moottoripyörien maailmanennätysaika 5,8372 sekuntia ¼-maililla loppunopeudella 332,72 km/h Tierp Areenalla Ruotsissa vuonna 2018 (Bamsey, 2023, s. 18).

Erona maailmanennätysmoottoripyörässä ja tässä opinnäytetyössä käsiteltävässä moottorissa on polttoainejärjestelmä. Aikaisemmin valmistettuihin HarsH V28 moottoripyöriin aiotaan asentaa samankaltaiseen tekniikkaan perustuva polttoainejärjestelmä.

Vuonna 2015 valmistui ensimmäinen toisen sukupolven moottori, jossa oli korjattu ensimmäisen version puutteita. Tämä moottoriversio oli osoittanut potentiaalinsa maailmanennätyksen muodossa. Moottorin toiseen sukupolveen on sittemmin asennettu kaksoispolttoainejärjestelmä. Sekundaaripolttoaineena on käytössä 85–90 prosenttinen nitrometaani, jota on laimennettu metanolilla. Primaari polttoaineena käytetään enintään 40 prosenttista nitrometaania, jota on laimennettu metanolilla. Nämä eri polttoaineet ruiskutettiin imukanaviin kahdesta erillisestä polttoainejärjestelmästä, joita kumpaakin ohjattiin FuelTech FT600-moottorinohjauksyksiköllä.

Nitrometaanin pitkään kestävän palamisen takia pakoventtiilit olivat suurella mekaanisella ja lämpötermisellä rasituksella. Tyypillisesti nitrometaanikäyttöisessä moottorissa sylinteripaineet ovat huomattavan korkeita. Siksi paine sylinterissä ei ehtinyt purkautumaan pakoventtiilin aukiolon aikana riittävästi. Pakoventtiilejä kasvattamalla voitiin tehostaa paineen purkautumista, mutta tämä kasvatti venttiilikoneistoon kohdistuvaa mekaanista rasitusta. Venttiilikoneiston kestävyyttä parantamaan käytettiin kahta erikokoista pakoventtiiliä, joista pienempi oli halkaisijaltaan 44 mm ja suurempi 50 mm (Bamsey, 2023, s. 20). Pienempi pakoventtiili avataan ennen suurempaa, jolloin pienemmän venttiilin aukaisuun tarvitaan pienempi voima (Bamsey, 2023, s. 24). Koska pakoventtiilin aukaisuun tarvitaan pienempi voima, rasittaa se vähemmän venttiilikoneistoa. Isompi pakoventtiili aukeaa 20 astetta pienempää pakoventtiiliä myöhemmin. Pienemmän pakoventtiilin aukeamisen jälkeen paine palotilassa laskee voimakkaasti, jonka seurauksena suuremman pakoventtiilin aukaisuun vaaditaan huomattavasti pienempi voima. Näin saadaan kevennettyä venttiilikoneistoon kohdistuvaa kuormitusta. Myöhemmällä venttiilin aukaisulla saadaan hyödynnettyä sylinteriin syntyvä paine paremmin. Näin pakoventtiilejä voitiin kasvattaa suuremmiksi, kuin imuventtiilejä. Tämä on poikkeava ominaisuus, joka on tarpeen vain nopeakäyntisessä nitromoottorissa (Salminen, 2024).

Kipinäsytytyksestä pitää huolen kaksi FTSPARK EXTREME 1500mJ ja kaksi Fuel Techin valmistamaa CDI Racing Ignition -puolaa. Moottoripyörässä ei ole vaihdelaatikkoa, vaan kampiakselin jatkona on keskipakokytkin, josta voima välittyy ketjun kautta takapyörälle. Kytkin toimii samalla myös moottorin vauhtipyöränä. HarsH-kytkin on itsesuunniteltu kuiva monilevykytkin kolmella kytkinlevyllä. Kytkin on luokassaan poikkeuksellinen, sillä sen lukkiutuminen ei voida ohjata pakotetusti. Toimintaa säädetään jousivoimalla ja moottorin käyntinopeuden mukaan vaikuttavilla vipuvälitteisillä painoilla. Kuviossa 1 on havainnollistettuna, kuinka kytkinvoimat kehittyvät moottorin käyntinopeuden noustessa.



Kuvio 1. Kytkimen aiheuttaman painon kuvaaja suhteessa kierroksiin.

2 TEORIA

Polttoainejärjestelmällä on tärkeä rooli moottorin toiminnassa. Vaikka fyysisesti polttoainejärjestelmä on helppo eritellä moottorin muista komponenteista, polttoainejärjestelmän täytyy toimia moottorin muiden osien kanssa saumattomasti yhteen. On tärkeää ymmärtää miten polttoainejärjestelmä vaikuttaa moottorin toimintaan ja mitkä sen osat ovat. Myös käytettävät polttoaineet ja niiden ominaisuudet on tärkeää tuntea.

2.1 Polttoainejärjestelmän läpikäynti

Käsiteltävä moottori oli opinnäytetyön tekohetkellä erittäin poikkeuksellinen polttoainejärjestelmänsä suhteen, sillä siinä käytetään EFI-järjestelmää eli sähköistä polttoaineen ruiskutusta. Tämä ei ole yleistä nitrometaanikäyttöisissä moottoreissa. EFI-järjestelmän vahvuuksia on sen helppo säädettävyys, tarkkuus ja kyky reagoida moottorissa tapahtuviin muutoksiin.

Moottoripyörässä on neljä FuelTechin 720-lb/hr suutinta sekundaaripolttoaineelle. Näitä käytetään kuitenkin lähinnä hienosäätöön. Suurin osa sekundaarijärjestelmän polttoaineesta syötetään sylinterinkansissa oleviin porauksiin, jotka johtavat polttoaineen suoraan imuventtiilien lautasten yläpuolelle. Polttoainevirtaa ohjataan HarsH-moduuleilla, joissa on yksi isompi ja kaksi pienempää PWM-ohjattua magneettiventtiiliä. Suuttimia ja HarsH-moduuleita ohjataan FuelTechin FT600 moottorinohjausyksiköllä.

Polttoainejärjestelmät koostuvat useasta erilaisesta komponentista, joita ovat polttoainesäiliö, polttoainepumppu, polttoaineen suodatin, polttoainesuuttimet ja polttoaineen painesäädin. EFI-polttoainejärjestelmässä on myös moottorinohjausyksikkö, joka kerää tietoa moottorista antureilla, esimerkiksi kaasuläpän asentoa, polttoaineen painetta ja imuilman lämpötilaa.

Polttoainepumppu siirtää polttoainetta polttoainesäiliöstä paineella polttoaineen suodattimelle, joka suodattaa polttoaineesta epäpuhtauksia (How a car works, i.a.). Polttoaine siirtyy polttoainejärjestelmän rakenteesta riippuen lopulta polttoainesuuttimille. Polttoainesuuttimien tehtävänä on annostella polttoaineen määrää, jotta moottoriin saadaan haluttu polttoaineen ja ilman seossuhde. Sähköisellä polttoaineen ruiskutuksella polttoaineen määrää säädellään suuttimen aukioloajalla, eli kuinka kauan polttoaine pääsee virtaamaan suuttimen lävitse. Polttoaineen paineensäätimen tehtävänä on pitää polttoaineenpaine tasaisena. Liian korkea tai matala polttoaineenpaine heikentää moottorin hyötysuhdetta. (Deplhi, i.a.) Polttoaineen

paineensäätäjä myös nostaa polttoaineen painetta, mikäli paine imusarjassa kasvaa. Tämä toimenpide tarkoittaa suuttimen lävitse kulkevan polttoaineen määrää.

2.1.1 Paluukierroton polttoainejärjestelmä

Paluukierroton polttoainejärjestelmä, eli polttoainejärjestelmä, jossa polttoaine ei pala polttoainesäiliöön, on yleinen polttoainejärjestelmä nykyaikaisissa autoissa (VaporWorx, i.a.). Paluukierrotoissa polttoainejärjestelmässä polttoainepumppu siirtää polttoainetta polttoainesäiliöstä polttoaineen suodattimen lävitse. Polttoaineen suodattimen jälkeen polttoaine päätyy polttoainekiskoihin, joista se annostellaan suuttimilla moottorille. Polttoainekiskossa on paineanturi, jolla saadaan selville, tarvitaanko polttoainetta lisää. Modernien autojen moottorinohjauksyksiköt voivat laskea myös suuttimien aukioloajoista polttoaineen määrän tarvetta. Polttoainejärjestelmä kuluttaa vähän energiaa, koska ylimääräistä polttoaineen syöttöä ei tapahtunut. Samalla järjestelmä oli hiljaisempi ja kului vähemmän. Polttoainejärjestelmän heikkoutena on sen taipumus kuumentua suurilla tehoilla, esimerkiksi moottoritilassa olevan lämmön vaikutuksesta.

2.1.2 Paluukiertoinen polttoainejärjestelmä

Paluukiertoinen polttoainejärjestelmä on polttoainejärjestelmä, jossa osa polttoaineesta palaa polttoainesäiliöön (VaporWorx, i.a.). Paluukierrotoissa polttoainejärjestelmässä polttoainepumppu siirtää polttoainetta polttoainesäiliöstä polttoaineen suodattimen lävitse. Polttoaineen suodattimen jälkeen polttoaine päätyy polttoainekiskoihin, joista se annostellaan suuttimilla moottorille. Paluukierrotoissa polttoainejärjestelmässä osa polttoaineesta ei mene suuttimien kautta suoraan moottoriin. Osa polttoaineesta jatkaa matkaansa polttoaineen paineensäätäjälle. Polttoaineen paineensäätäjä päästää ylimääräisen polttoaineen jatkamaan matkaansa takaisin polttoainesäiliöön, kun polttoaineen paine on tarpeeksi korkea. Järjestelmä pitää polttoaineen virtauksen suurempana ja tasoittaa lämpöeroja polttoainejärjestelmässä. Järjestelmän heikkoutena on sen suuri energian kulutus, koska polttoainepumpun täytyy pyöriä koko ajan. Polttoainejärjestelmästä on olemassa myös toinen versio, jossa polttoaine kulkee paineensäätäjän lävitse ennen polttoainekiskoon päätymistä. Polttoaineen paineensäätäjä palauttaa ylimääräisen polttoaineen takaisin polttoainesäiliöön.

2.2 Nitrometaani polttoaineena

Nitrometaanin kemiallinen kaava on CH_3NO_2 . Sitä käytetään esimerkiksi polttoaineena RC-autoissa, Top Fuel-luokan kiihdytysajoneuvoissa ja joissakin rakettimoottoreissa. Nitrometaania käytetään myös joitakin räjähdaineita valmistettaessa. Nitrometaanin energiatiheys on huomattavasti matalampi kuin esimerkiksi bensiinin. Nitrometaanin energiatiheys on 11.3 MJ/kg, kun esimerkiksi bensiinillä energiatiheys on 44 MJ/kg. Vaikka nitrometaanissa on merkittävästi vähemmän energiaa massayksikköä kohden, voidaan nitrometaanilla tuottaa moottorista huomattavasti enemmän tehoa kuin bensiinillä. Nitrometaanin stoikiometrinen suhde on 1,67:1, mikä tarkoittaa, että moottori tarvitsee 1,67 kiloa ilmaa polttaakseen kilon nitrometaania (Coxon, 2010). Stoikiometrinen palaminen ei varsinaisesti ole se toimintamoodi, jolla nitrometaania hyödynnetään Top Fuel-luokan moottoreissa. Koska nitrometaani on monopropellantti, voidaan sitä käyttää myös hapettomissa olosuhteissa (Clark, 1972). Nitrometaania tulee siis käsitellä huolellisesti, sillä varomaton käsittely voi aiheuttaa räjähdysten. Nitrometaania käytettäessä on huolehdittava, että polttoaineen kanssa kosketuksissa olevat komponentit ja aineet ovat nitrometaania kestäviä, eivätkä aiheuta nitrometaanin herkistymistä. Nitrometaani voi syövyttää esimerkiksi joitain muovilaatuja. Nitrometaanin ominaispaino on 1140 kg/m^3 ja kiehumispiste $101 \text{ }^\circ\text{C}$ NTP olosuhteissa. Nitrometaanin laminaarisen liekin nopeus on noin alle 50 cm / s (Brequigny, 2019).

2.2.1 Monopropellantitiset polttaineet

Monopropellantisella polttoaineella tarkoitetaan polttoainetta, joka sisältää vähintään osittaisen ilman lisähapetta tapahtuvaan palamiseen tarvitsemansa hapen (Clark, 1972). Se siis pystyy palamaan hapettomassa tilassa. Monopropellanttia voidaan hyödyntää myös mäntämoottoreissa. Vaikka jotkin polttoaineet, kuten metanoli ja etanoli sisältävät happea, ei niitä pidä sekoittaa monopropellantteihin, sillä ne eivät pysty palamaan täysin hapettomissa olosuhteissa.

2.2.2 Nitrometaanin palaminen ja kemiallinen hajoaminen

Vaikka mäntämoottoreista puhuttaessa puhutaan polttoaineen palamisesta, ei tämä ole käytännössä tarkka ilmaus nitrometaanin osalta. HALin tutkimuksessa todettiin, että polttoaine hajosi useiden erilaisten kemiallisten reaktioiden seurauksena, joista osa oli eksotermisiä ja

osa endotermisia. Eksotermisessä reaktiossa energiaa vapautuu, endotermisessä reaktiossa energiaa sitoutuu kemiallisen reaktion seurauksena (HAL, 2019).

Nitrometaanikäyttöisissä moottoreissa polttoaine luovutti energiaa palamalla sekä kemiallisesti hajoamalla. HALin (2019) mukaan tärkeimpiä reaktioita lämmönvapautumisen kannalta olivat $\text{CH}_2 + \text{OH} = \text{HCO} + \text{H}_2\text{O}$ ja $\text{NO}_2 + \text{H} = \text{NO} + \text{OH}$. Se miten energia vapautui polttoaineesta, riippui merkittävästi vallitsevista olosuhteista. Koska polttoaineita voitiin hajottaa monella tavalla, tuli palotilaan muodostaa olosuhteet, joissa polttoaineen parhaat puolet saatiin esiin.

2.3 Metanoli

Metanoli on kemialliselta kaavaltaan CH_3OH . Metanolia käytetään polttoaineena, kemianteollisuudessa, jäätyminenestoaineena ja liuottimena. Metanoli on myrkyllistä ja sen liekkiä on vaikeaa havaita (Työterveyslaitos (TTL), 2022). Metanolin stoikiometrinen suhde on 6,5:1. Vaikka metanoli sisältää happea, ei se pysty palamaan hapettomassa tilassa (Racing junk, 2020). Metanolin energiatiheys on 19,7 MJ/kg. Metanolin ominaishöyrystymislämpö on 302 kJ / Kg ja ominaislämpökapasiteetti 2,5 kJ / (Kg*K) (Matemaattisten aineiden opettajien liitto ry (MAOL), 2014). Metanolin laminaarisen palamisen liekin nopeus on noin 43 cm/s (Metanol institute, i.a.).

Nitrometaanikäyttöisissä moottoreissa ei tyypillisesti käytetä täysin puhdasta nitrometaania. Nitrometaania laimennetaan metanolilla haluttuun seossuhteeseen. Nitrometaanin prosenttiosuus määritellään aina painon mukaan, ja seoksen pitoisuus mitataan tähän tarkoitukseen tehdyllä ominaispainomittarilla. Seoksen nitropitoisuutta voidaan käyttää yhtenä säätöparametrina. Myös sääntökirja asettaa omat rajoitteensa nitropitoisuuden suhteen (FIM, s. 13). Koska tässä opinnäytetyössä käsiteltävän moottoripyörän moottori on ahdettu ja tilavuus on alle 1,7 L, nitrometaanin suurin sallittu osuus on 100 prosenttia. Nitropitoisuuden tulee kuitenkin olla vähintään 50 prosenttia.

Yleisin tapa käyttää metanolia nitromoottoreissa on tehdä nitrometaanista ja metanolista valmiiksi sekoitettu seos, jota käytetään polttoaineena sellaisenaan. Käsiteltävänä olevassa moottoripyörässä on kaksi eri polttoainesäiliötä, joista toisessa on enintään 40 prosenttista nitrometaania ja toisessa vaihtelevasti noin 85–95 prosenttista nitrometaania. 40 prosenttista nitrometaaniseosta kutsuttiin tässä yksinkertaisuuden vuoksi metanoliksi sen matalan nitrometaanipitoisuuden ja esittämisen selkiyttämiseksi. Enintään 40 prosenttista

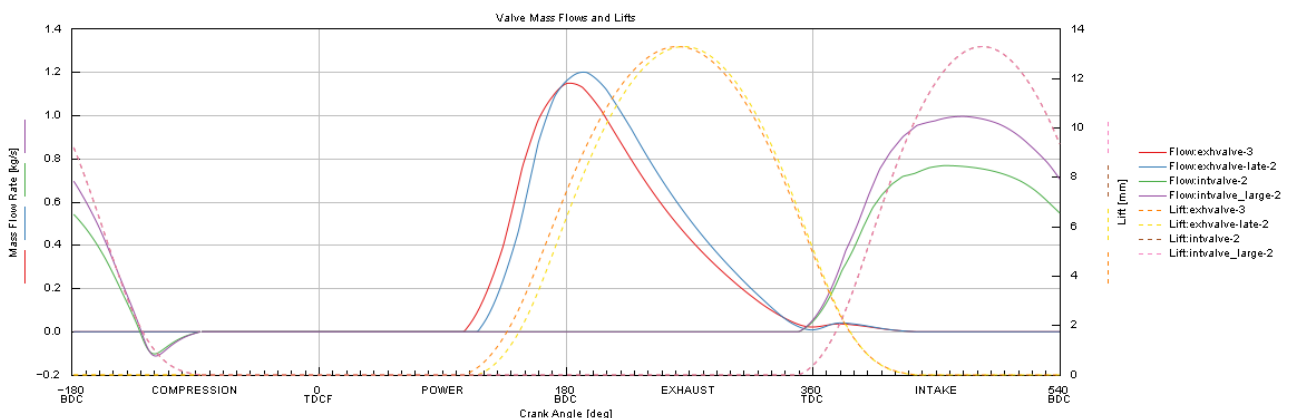
nitrometanoliseosta kutsuttiin myös primaaripolttoaineeksi. Vastaavasti väkevämpää nitrometaaniseosta kutsuttiin nitroksi tai sekundaaripolttoaineeksi. Metanoli ruiskutetaan suuttimilla ahtoputkiin, kun taas primaaripolttoaine ohjataan moottorin imukanaviin. Primaaripolttoaineen ruiskutusta ohjataan erillään sekundaaripolttoaineesta noin 35 cm päässä imukanavasta. Primaaripolttoainetta annostellaan ahtoputkiin suuttimien avulla paluukierrottoman polttoainejärjestelmän avulla. Suuttimina on käytetty FT Injector 720 lb/h tai FT Injector 520 lb/h suuttimia.

2.4 Moottorin toiminta ja palotapahtuma

Polttoainejärjestelmä vaikuttaa osaltaan merkittävästi palotapahtumaan ja sen tehokkuuteen. On kuitenkin tärkeää ymmärtää miten palotapahtuman olosuhteet muodostuvat.

Imutahdin aikana palotilaan virtaa ilmaa ja polttoainetta auenneen imuventtiilin kautta. Imuventtiilin kautta palotilaan tuleva ilma alkaa pyörteillä vaaka-akselin ympäri ja pystyakselin ympäri. Vaaka-akselin ympäri tapahtuvaa pyörteilyä kutsutaan Tumbleksi ja pystyakselin ympäri tapahtuvaa pyörteilyä kutsutaan Swirliksi (Davis, 2020). Asiantuntija H. Salmisen (henkilökohtainen tiedonanto, 14.3.2022) mukaan palotilassa tapahtuva pyörteily jatkuu hyvin suunnitellussa järjestelmässä yläkääntökohtaan asti.

Puristustahdin alussa mäntä lähtee ylöspäin. Hieman alakääntökohdan jälkeen imuventtiili sulkeutuu. Vaikka imuventtiili on hetken auki alakääntökohdan jälkeen, Bellin (2013, s. 72) mukaan ilman virtauksen suunta ei ehdi muuttua liikemäärän takia. Asia on havainnollistettu kuviossa 2.



Kuvio 2. HarsH V28 moottorin ilmanvirtaaminen (Salminen, i.a.).

Pyörteilyt hieman muuttuvat puristustahdin aikana palotilan muodon muuttumisen seurauksena. Puristustahdin loppupäässä tapahtuu polttoaineseoksen sytytys. Tyypillisesti noin 25–35 astetta ennen yläkääntökohtaa tapahtuu polttoaineseoksen sytytys, riippuen mm. moottorin kuormituksesta (Bell, 2013, s. 184). Tavoitteena on Salmisen (2024) mukaan yleisimmin energian tuonnin sijoittaminen siten, että saadaan mahdollisimman paljon mekaanista työtä. Tarvitaanko sytytysennakkoa enemmän tai vähemmän, johtuu suurelta osalta moottorin palamisjärjestelmän toteutuksesta.

Työtahti alkaa männän ollessa yläkääntökohdassa. YKK:n jälkeen palotapahtuma saavuttaa suurimman paineensa. FuelTechin (i.a.) mukaan tämän huippupaineen tuli sijoittua noin 15 astetta YKK:n jälkeen. Männän liikkeessä alaspäin paine sylinterissä laskee huippupaineen jälkeen. Palotapahtuma lähtee liikkeelle sytytystulpasta ja lähtee etenemään ympäri palotilaa. Palorintama ei etene jokaiseen suuntaan täysin tasaisesti, sillä palotilassa olevat pyörteet vaikuttavat sen etenemiseen. Liekkirintaman törmätessä palotilan seinämiin liekkirintaman laajeneminen hidastuu, mikä on tärkeää ottaa huomioon palotapahtumassa. Liekkirintamassa voi tapahtua myös ei-toivottuja ilmiöitä. Liekkirintama voi lähteä liikkeelle palotilassa olevasta kuumasta pisteestä ennenaikaisesti, mikäli lämpötila riittää sytyttämään polttoaineilmaseoksen. Esimerkiksi terävät kulmat voivat olla tällaisia, koska lämpö pääsee johtumaan niihin monesta suunnasta, mutta ei pääse johtumaan niistä riittävän hyvin pois. Liekkirintama voi myös lähteä liikkeelle puristustahdin aiheuttaman liiallisen lämmön seurauksena, kun palotilassa on korkea lämpötila. Työtahdin loppupuolella pakoventtiilit avautuvat ennen alakääntökohtaa. Sylinterissä vallitseva paine alkaa ajaa kuumia kaasuja purkautumaan pois sylinteristä.

Pakotahdissa pakokaasujen purkautuminen jatkuu männän liikkeessä ylöspäin. Pakotahdin loppupäässä imuventtiili aukeaa pakoventtiilin vielä ollessa auki. Tätä kutsutaan suomen kielellä yhtäaikaiseksi aukioloksi, mutta yleisesti englanninkielisen termin mukaan overlapiksi. Overlap tehostaa Salmisen (2024) mukaan palotilan huuhtelua ja jäähdyttää palotilan komponentteja.

Nitrometaanikäyttöisen moottorin tapauksessa palotapahtuma jatkuu vielä tässäkin vaiheessa, jonka seurauksena venttiilikoneistoon kohdistuu paljon lämpöä ja painetta. H. Salmisen (henkilökohtainen tiedonanto, 13.11.2023) mukaan $\frac{3}{4}$ palamisesta tapahtuu muun

muassa tässä moottorissa vasta sylinterin ulkopuolella. Pakokanavien välinen seinä on pahimmassa tapauksessa jopa sulanut pois. HarsH V28-moottorin pakoventtiileiltä lähtevät kanavat on tämän takia erotettu toisistaan ja suunnattu ulospäin siten, että pakoventtiilien välille ei muodostu kapeaa, molemmin puolin lämpöä vastaanottavaa kannasta. Lämmenneet pakoventtiilit luovat palotilan pinnalle kuuman pisteen, mikä voi käynnistää palamisen liian aikaisin puristusvaiheessa. Nitrometaanikäyttöisillä moottoreilla detonaatio on yleinen ongelma. Detonaatio on ylitääninopeudella eteneviä aaltoja, jotka voivat lisääntyä kulkiessaan reaktiivisen materiaalin läpi (Sharo, & Quirk, 2008).

3 POLTTOAINEJÄRJESTELMÄ

Aihetta tutkittiin muun muassa testaamalla ja tutkimalla kilpailuista saatuja tietoja, sekä perehtymällä nitrometaanikäyttöisen moottorin toimintaan, ominaisuuksiin ja teoriaan. Moottorin toimintaa pyrittiin myös ymmärtämään laskemalla ja simuloimalla moottorin toimintaa.

3.1 Mitoittaminen

Polttoainejärjestelmän mitoittaminen on yleisesti tärkeä osa polttoainejärjestelmää suunniteltaessa. Käsiteltävä moottori käyttää kuitenkin polttoaineena nitrometaania, joka on monopropellantti. Tämän takia polttoainemäärän ylärajaa ei voitu määrittellä saatavilla olleen hapen perusteella. Salakarin (2024) mukaan oli kuitenkin pidettävä huolta, että polttoainetta on riittävästi, koska liian pienellä polttoainemäärällä moottori lämpeni liikaa ja moottori vaurioitui. Polttoainetta vaaditaan itseasiassa paljon enemmän kuin stoikiometrisessä palamisessa, sillä moottorin sulamista oli havaittu, jos pakokaasun lämpötila jäi alle 700 celsiusen. Käytännössä polttoainejärjestelmä tulisi mitoittaa moottorin pakokaasun poistokyvyn ja moottorin mekaanisen kestävyuden mukaan. Hapen loppuessa nitrometaani jatkaa kemiallisesti hajoamista eksotermisessä reaktiossa. Polttoaine hajoaa viimeistään palamalla pakoputken jälkeen ilmassa. Lisäksi pitää muistaa, että moottorissa on tarkoitus polttaa myös metanolia uuden polttoainejärjestelmän myötä. Tämä teki asiasta laskennallisesti liian haastavaa opinnäytetyön laajuuteen suhteutettuna. Lisäksi suuren polttoainemäärän takia polttoaineen paineella oli tapana pudota hetkellisesti kaasuläpän auetessa, mikä piti minimoida. Uusi polttoainejärjestelmä on rakennettu vanhan järjestelmän lisäosaksi. Siksi voikin olla järkevää muuttaa mitoituksia, mikäli havaitaan tarvetta mitoituksen muutokselle.

Uuden polttoaineenkäyttöfilosofian mukaan polttoainejärjestelmän primaaripuolta voidaan mitoittaa alustavasti. Teoriaa tullaan testaamaan käytännössä, mutta testaaminen tulee tapahtumaan opinnäytetyön valmistumisen jälkeen. Oletuksena on, että nitrometaanista saadaan paras hyöty pakottamalla se hajoamaan eksotermisesti ilman, että se palaa hapen kanssa. Käytännössä tämän ajatellaan toteutuvan siten, että metanoli palaa ominaisuuksiensa takia ennen nitrometaania kuluttaen palotilassa olevan hapen. Metanolin palaessa palotilan lämpötila ja paine nousee merkittävästi. Hapettomassa, kuumassa ja korkeapaineisessa palotilassa nitrometaanin eksotermiselle reaktiolle on hyvät olosuhteet ja näin saadaan suurin hyöty monopropellantti polttoaineesta. Metanoliseos on 60–65 prosentista metanolia ja 35–40 prosentista nitrometaania. H. Salmisen (henkilökohtainen tiedonanto, 9.2.2024) mukaan 90

prosenttista metanolia ja 10 prosenttista E85 sisältävän polttoaineseoksen tai 100 prosenttista metanolin käyttöä primääripiirissä voisi simuloinnin perusteella kokeilla. Primaarijärjestelmän säädöille luodaan perusta siten, että vain primaarijärjestelmää käytettäessä saadaan aikaan suurin mahdollinen moottorin teho. Tavallisesti kilpamoottoreissa ei käytetä metanolia stoikiometrisellä polttoaineseoksella. Kilpamoottoreissa käytetään rikasta polttoaineseosta, joka viilentää palotilan pintaa ja ehkäisee sen liiallista kuumenemista.

Polttoaine tulisi ruiskuttaa mahdollisimman pienellä pisarakoolla. Pienellä pisarakoolla polttoaine sekoittuu ilman kanssa helpommin, ja se parantaa hyötysuhdetta. Yleisesti pienempi suutin sumuttaa polttoaineen hienojakoisemmin, joten suuttimen koko määritellään maksimipolttoainemäärän mukaan. Suutinta ei voitu kuitenkaan mitoittaa sen suurimman virtauskapasiteetin mukaan. Suurella duty cyclen arvolla suutin voi juuttua auki, eikä se ehdi massahitauksen seurauksena sulkeutua (FuelTech, i.a.). Laskelmissa käytetään maksimi duty cyclen arvoa 80 prosenttia.

Ahdin tuotti ilmaa moottorin kierroksen aikana 2,1 litraa. Moottorin suurimmaksi käyntinopeudeksi määriteltiin 10000 RPM. Tästä voitiin huomata, että ahdin tuotti 21 kuutiota ilmaa minuutissa. Ilman ominaismassa on 1,2 kg / m³. Ahdin tuotti siis noin 25,2 kiloa ilmaa minuutissa. Koska ei oltu varmoja, millä lambda:n arvolla metanolin täytyisi olla, mitoitettiin suutin lambda:n arvolla 0,9. Tämä tarkoitti metanolilla 5,76 kilogrammaa ilmaa polttoainekiloa kohden. Jakamalla ilman massa 5,76 saatiin selville, että polttoainetta tarvittiin noin 4,4 kilogrammaa. Polttoaineen tilavuus saatiin määrittelyä kaavalla (Matemaattisten aineiden opettajien liitto ry (MAOL), 2014, s. 139)

$$\rho = m/V$$

Missä

V on tilavuus

m on massa.

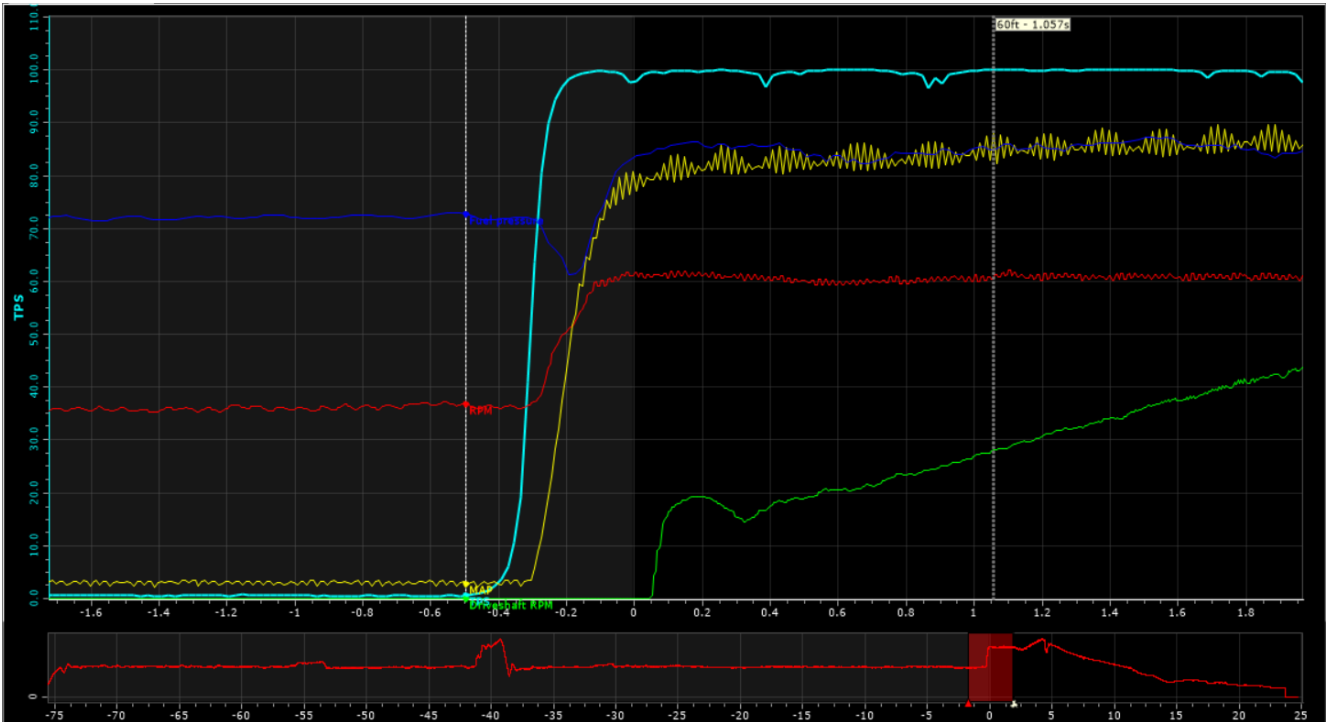
Polttoaineen tilavuus oli noin 5520 cc. Tämä jaettiin kahdelle suuttimelle ja laskettiin suurimmaksi duty cycleksi 80 prosenttia, saatiin suuttimen vaadittavaksi tuotoksi noin 3450 cc / min. Esimerkiksi FT Injector 240 olisi oikean kokoinen suutin polttoaineenpaineen ollessa 5,5 bar. Polttoaineseoksen prosenttiosuus kertoi, kuinka suuri osa massasta oli nitrometaania ja kuinka suuri osa metanolia. Laskelmien perusteella, kun nitrometaanin osuus oli 35

prosenttia - 40 prosenttia lisäsi se tarvittavaa polttoaineen virtausta 1,3–1,5 cc / minuutissa. Muutos oli niin pieni, ettei se vaikuttanut suuttimen valintaan.

Polttoaineen riittävyys haluttiin varmistaa, myös suuttimien ollessa täysin avoinna. Jotta polttoainepumppu voisi korvata suuttimista ruiskutetun polttoainemäärän järjestelmässä, täytyy polttoainepumpun tuotto olla vähintään yhtä suuri, kuin suuttimien virtaus. Lisäksi polttoainepumppuun on hyvä jäädä hieman ylimääräistä kapasiteettia, jotta polttoainepumpun tuottoa voitaisiin hienosäätää tarpeen mukaan. Kun tämä otetaan huomioon, polttoainepumpun oli tuotettava vähintään 8060 cc / min. Käytännössä, jos käytettäisiin noin 2,2 gallonaa minuutissa tuottavaa polttoainepumppua, jäisi ylimääräistä kapasiteettia noin 14 prosenttia.

3.2 Kiertävä ja kiertämätön polttoainejärjestelmä

Kauden 2022 alussa käytettiin sekundaaripolttoainejärjestelmässä paluukierrotonta polttoainejärjestelmää. Polttoainejärjestelmää päätettiin muuttaa kokeilumielessä kiertäväksi. Tässä lajissa ensimmäiset sekunnit ovat tärkeitä mahdollisimman pienen kokonaisajan saavuttamiseksi. Koska nitrometaanin tehokkuus perustuu sen suureen käytettävissä olevaan määrään, täytyy sitä olla käytettävissä paljon joka tilanteessa. Käytännössä tähän vaikuttavia asioita ovat polttoaineen paine ja polttoaineen värähtely. Tiedonkeruusta oli huomattavissa, että kaasuläpän auetessa polttoaineen paine romahti hetkellisesti. Kuvassa 1 polttoaineen painetta on kuvattu sinisellä viivalla. Tämä vaikutti suoraan sylinteriin virtaavaan polttoaineen määrään ja moottoripyörän liikkeellelähttöön. Kilpailulähdöissä ensimmäisten sekuntien merkitys on loppuajan kannalta todella tärkeä, joten ilmiöön oli reagoitava.



Kuva 1. Polttoainepaineen romahtaminen.

Kauden jälkimmäisellä puoliskolla päätettiin kokeilla kiertävää polttoainejärjestelmää. Suurimpana syynä tähän oli testata, voisiko kiertävällä polttoainejärjestelmällä kaasuläpän kääntäessä syntyvää polttoainepaineen putoamista pienentää, kasvattamalla tyhjäkäynnillä virtaavan polttoaineen määrää. Moottorin koekäytössä havaittiin moottorin tyhjäkäyntikierrosten pysyvän vakaampina primaaripolttoaineella käydessä. Kilparadalla testattaessa kuitenkin huomattiin polttoaineen paineen yhä romahtavan kaasuläpän auetessa.

Kauden lopussa päätettiin kokeilla eräänlaista polttoaineen värähtelyn vaimenninta.



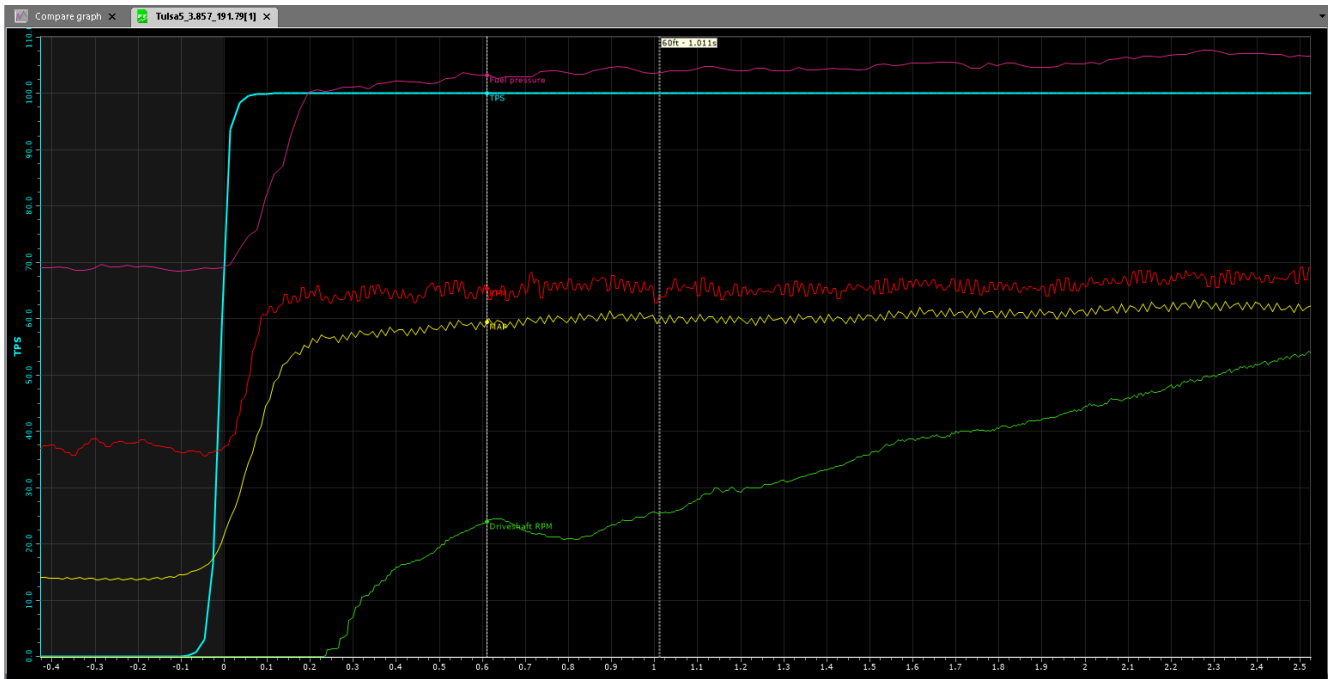
Kuva 2. Radium engineering polttoaineen värähtelyn vaimennin.

Salakarin (2024) mukaan oli huomattu, että primaaripolttoaineen suuri massavirta aiheutti värähtelyä aiheuttavia paineiskuja suuttimen sulkeutuessa. Tämä värähtely ei tasoittunut ennen seuraavaa suuttimen aukeamista, jolloin polttoainetta ei mennyt suuttimen läpi tarpeeksi tasaisella paineella. Värähtelyä vaimentamaan oli lisätty suuttimien yläpuolelle asennetuilla pullomaisilla tyhjillä kapsleilla. Nämä korvattiin polttoaineen värähtelyn vaimentimella, joka on kuvassa 2. Kaasuläpän auetessa polttoaineen paine ei romahtanut. Polttoaineen värähtelyn vaimennin toimi eräänlaisena paineakkuna. Tyhjäkäynnillä polttoaineen värähtelyn vaimentimeen varastoitui polttoainetta, joka vapautui takaisin järjestelmään polttoaineen paineen yrittäessä romahtaa. Moottorin kierrosten noustessa ahtopaine työntää polttoaineen värähtelyn vaimentimen kalvoa, jolloin kuormituksen aikana polttoainetta ei varastoitunut. Polttoaineen värähtelyn vaimentimen kalvo oli kuitenkin kovilla suuren ahtopaineen ja raskaan polttoaineen takia. Tämän seurauksena polttoaineenvärähtelyn vaimentimen kalvo irtosi liitoksistaan toistuvasti. Kuvassa 3 näkyy vaurioitunut polttoaineen värähtelyn vaimennin.



Kuva 3. Polttoaineen värähtelyn vaimentimen vaurioitunut kalvo.

Ilmiö oli toistuva ja se havaittiin myös muissa moottoripyöräyksilöissä. Polttoaineen värähtelyn vaimentimeen oli tehty muovista uusi kalvo, joka kestää paremmin. Samalla saatiin kuitenkin säilytettyä polttoaineen värähtelyn vaimentimen polttoaineenvärähtelyä vaimentavat ominaisuudet. Kuvassa 4 violetista kuvaajasta voidaan todeta, että polttoaineen värähtelyn vaimennin esti polttoaineen paineen romahtamisen.



Kuva 4. Polttoaineen paine polttoaineen värähtelyn vaimentimen kanssa.

3.3 Palotapahtuma metanolin kanssa

Perinteisesti nitrometaanikäyttöisissä moottoreissa käytetään polttoaineena nitrometaanin ja metanolin seosta. Metanolilla on nitrometaania matalampi leimahduspiste ja höyrystymispiste. Siksi metanolin oletettiin syttyvän nitrometaania aikaisemmin. Lisäksi metanoliseos ruiskutettiin ahtoputkiin, jolloin metanolilla oli aikaa höyrystyä kuuman ahtoilman seurauksena. Metanolipuolella käytetyt pienemmät suuttimet tuottavat pienempää pisarakokoa, mikä myös auttoi polttoaineen höyrystymistä.

Polttoaineen höyrystymistä auttoi myös kuuma ahtoilma. Ilmiön merkitystä päätettiin selvittää laskemalla paljonko lämmin ahtoilma höyrystää metanoliseosta. Moottorin kierrosnopeudeksi määriteltiin 6800 RPM ja ahtoilman lämpötilaksi määriteltiin 130 astetta celsiusta.

Lämpömäärä Q määritellään kaavalla (Matemaattisten aineiden opettajien liitto ry (MAOL), 2014, s. 128)

$$Q = cm\Delta t$$

Missä

c on ominaislämpökapasiteetti

m on massa ja

Δt on lämpötilan muutos.

Höyrystyminen Q määriteltiin kaavalla (Matemaattisten aineiden opettajien liitto ry (MAOL), 2014, s. 128)

$$Q = rm$$

Missä

r on ominaishöyrystymislämpö

m on massa.

Metanolin ominaislämpökapasiteetti on $2,5 \text{ kJ} / (\text{kg} \cdot \text{K})$ ja ominaishöyrystymislämpö 301 kJ/Kg . Ilman ominaislämpökapasiteetti on $1,01 \text{ kJ}/(\text{kg} \cdot \text{K})$ Nitrometaanin ominaislämpökapasiteetti on $1,75 \text{ kJ}/(\text{kg} \cdot \text{K})$. Laskelmien mukaan noin 53 prosenttia metanolista voi höyrystyä, kun otettiin mukana olevan nitronmetaanin osuus huomioon. Laskelma ei pidä enää paikkaansa, sillä primary-polttoaineen suuttimien kokoa on muutettu. Laskelmasta kuitenkin selvisi, että metanolin höyrystymisellä ahtoputkissa oli merkitystä. Ilmiö havaittiin myöhemmin Salmisen (2024) mukaan GT-Power simuloinneissa.

Teoriassa tämän pitäisi pienentää sytytysennakon tarvetta ja nostaa samalla moottorin tehoa. Tehojen pitäisi nousta, koska ennen YKK kohonneen sylinteripaineen aiheuttama negatiivinen työ on pienempi ja kestoaltaan lyhyempi. Tämä parantaa moottorin hyötysuhdetta, joten samasta polttoainemäärästä saadaan enemmän tehoa. Samalla moottorin luotettavuus kasvaa, koska moottorin eri komponentit eivät kohtaa niin suuria vastakkaissuuntaisia kuormituksia. Testeissä tähän saatiin vahvistusta, sillä sytytysennakontarve laski. Ilman metanolijärjestelmää kyseisellä moottorityypillä käytettiin sytytysennakkoa suurimmillaan noin 61 astetta saavuttaen $1/8$ mailia ajalla $3,6707$ sekuntia. Metanolijärjestelmää käyttäessä sytytysennakkoa käytettiin suurimmillaan noin 54 astetta saavuttaen ajan $3,857$ $1/8$ mailin matkalla. Tulokset eivät ole täysin vertailukelpoisia, sillä metanolijärjestelmän kanssa kaasuläppä suljettiin aikaisemmin. Toisaalta vanhalla järjestelmällä jarruvarjo oli auennut noin 30 m ennen $1/8$ -mailin kohtaa. Vaikka näiden kahden suorituksen välillä on paljon eri muuttujia, voitiin kuitenkin niistä havaita selkeä muutos. Tämä yhdistettynä nitrometaanin hitaaseen syttymiseen, johti suuren sytytysennakon tarpeeseen. Suurella ennakolla voidaan saavuttaa siis myös lisätehoa moottorin luotettavuuden kustannuksella. On otettava myös huomioon, että näiden

kahden suorituksen välillä perusmoottoria oli päivitetty, jonka seurauksena luotettavuus oli parantunut huomattavasti. Onkin siis todennäköistä, että sytytysennakon tarpeen väheneminen ei välttämättä näkynyt kokonaisuudessaan vertaillen kyseisiä suorituksia.

3.4 Seossuhde ja sen raja-arvojen määrittäminen

Moottorin optimaalisen käytön kannalta seossuhde on todella tärkeä aihe. Koska käsitellään moottoria, jossa käytettiin monopropellanttipolttoainetta, oli tarkan yleispätevän polttoaineseoksen selvittäminen hankalaa. Nitrometaani ei ole täysin riippuvainen hapen suhteen kuten metanoli, minkä seurauksena moottorin fyysiset ominaisuudet ja palotapahtuman eteneminen vaikuttavat seossuhteen valintaan. Nitrometaania käytetään myös jäähdyttämään moottoria, joka täytyy ottaa huomioon seossuhteessa. Oli otettava myös huomioon, että palotapahtuma muuttui hapen loppuessa kemialliseksi hajoamiseksi, joka ei lopu edes poistotahdin aikana vaan jatkui vielä pakoputkenkin jälkeen ilmassa, josta on merkinä pakoputkista ulostyöntyvät liekit. Polttoaine vapauttaa energiaa vielä moottorin ulkopuolella. Onkin siis virheellistä kutsua nitrometaanikäyttöistä polttomoottoria moottoriksi. Reaktori olisi täsmällisempi ilmaisu, mutta selkeyden vuoksi puhutaan moottorista.

Optimaalisen seossuhteen määrittäminen on haastavaa. Seoksen tarkan määrittämisen sijaan selvitettiin, miten moottori käyttäytyy erilaisilla seossuhteilla. Heikki J. Salmisen (henkilökohtainen tiedonanto, 27.2.2024) mukaan simuloimalla moottorin toimintaa GT-Power simulointiohjelmalla, Saatiin selville, että primaaripolttoaineen seosta kannattaisi muuttaa 40 prosenttisesta nitrometaaniseoksesta noin 30 prosenttiseen. Metanolia voitaisiin käyttää enemmän kuin stoikiometrinen palaminen vaatii. Jaakko Salakarin (henkilökohtainen tiedonanto, 15.4.2024) mukaan testeissä havaittiin, että liiallinen primaaripolttoaineen käyttö heikensi moottorin suorituskykyä. Todennäköisesti tämä johtui liiallisesta metanolista. Myös sekundaaripolttoaineessa on metanolia. Sekundaaripolttoainetta käytetään määrällisesti paljon, joten 17 prosenttia massasta sisältävä metanoli vaikutti merkittävästi metanolin kokonaismäärään. Sekondaari polttoaine sisältää massastaan noin 83 prosenttia nitrometaania, jota haluttiin käyttää mahdollisimman paljon lisätehon saavuttamiseksi. Vaikka kaksoispolttoainejärjestelmä mahdollisti molempien polttoainekomponenttien määrän tarkan hallinnan, käytännössä sitä vaikeuttaa se, että FuelTech ECU ei suoraan tue tätä mahdollisuutta.

Koska tutkimuksen kohteena oleva moottori on alle 1700cc, eivät säännöt rajoita polttoaineen nitrometaanipitoisuutta (FIM Europe, 2022). Täysin sataprosenttista nitrometaania ei kuitenkaan kannata nykyisen tiedon valossa käyttää polttoaineena. Nitrometaani ei sekoitu kovin hyvin ilmaan, jonka seurauksena se ei pala kovin nopeasti. Tämä on huono ominaisuus moottorissa, jonka pitäisi toimia yli 8000 rpm kierrosalueella. Yli 87 prosenttinen nitrometaanipitoisuus nostaa detonaatioherkkyyttä (RacingJunk, 2020). Detonaatiossa polttoaineseos syttyy ennen aikaisesti palorintaman ylittäessä äänen nopeuden. Tämä on hyvin voimakas ilmiö ja voi rikkoa moottorin todella helposti. Nitrometaania käyttäessä detonaatio ei tarvitse happea, koska polttoaine on monopropellaatti.

Koska sekundaaripolttoaineseoksen nitropitoisuutta ei voitu nostaa paljoa, jäljelle jäi vaihtoehdoksi määritellä metanolimäärälle laskennallinen lambda arvo. Tarkan arvon määrittelyminen tulee toteutumaan viimekädessä käytännön testeillä. Vallitsevan hypoteesin ja GT-Power simulointien mukaan, metanolin laskennallinen lambda arvon tulisi olla alle yksi, seoksen tulisi olla rikas.

3.5 Testaaminen ja havainnot

Testaaminen on toteutettu kilpailutapahtumissa ajamalla. Ajosta saatiin kerättyä dataa FuelTechin valmistamalla FT600 moottorinohjausyksiköllä, jossa on sisäänrakennettu tiedonkeräysjärjestelmä. Lisäksi tietoa saatiin kilpailujärjestäjän ajanottolaitteista, joista ilmeni useita väliaikoja ja keskinopeuksia. Tällaisessa toimintatavassa ovat haasteena useat muuttujat radan olosuhteissa ja pienet muuttujat moottoripyörän voimansiirrossa. Toisaalta nämä ovat ne todelliset olosuhteet, joten tuloksista nähtiin, miten moottori toimii kokonaisuutena muun moottoripyörän kanssa. Esimerkiksi g-voimien vaikutusta polttoainejärjestelmän toimintaan olisi testilaboratoriossa todella vaikea simuloida. Testaaminen toteutettiin kilpailutapahtumissa myös siksi, että radan pito kasvoi kilpailusuoritusten myötä merkittävästi. Testaaminen kilpailutapahtumien ulkopuolella ei siis olisi kovin järkevää, koska tuloksia ei voida verrata kilpailutilanteessa saatuihin tuloksiin.

Koska nitrometaanin tehokkuus perustuu suureen käytettävään määrään, nitrometaania kuluu kilpailusuorituksen aikana paljon. Nitrometaani on kallista polttoainetta, joten polttoaineen ylimääräisestä käytämisestä kannattaa luopua. Kausilla 2022 ja 2023 testattiin polttoainejärjestelmää, missä moottoriin syötettiin eri järjestelmällä metanoliseosta eli

primaaripolttoainetta ja nitrometanoliseosta eli sekundaaripolttoainetta. Moottori toimi lähtökohtaisesti primaaripolttoaineella ja sekundaaripolttoaineetta suihkutettiin moottoriin vasta kun moottorilta halutaan saada voimaa. Tämä vähensi merkittävästi tarpeetonta nitrometaanin kulutusta. Koko kilpailusuorituksen aikana käytettävästä polttoaineen määrästä nitrometaanin määrä vähentyi noin 30 litrasta noin 5 litraan. Metanolijärjestelmää ei kytketty pois päältä nitrojärjestelmän aktivoitua. Tämä vähensi merkittävästi moottorin sytytysennakon tarvetta. Nitrometaania tarvittiin myös merkittävästi vähemmän, jotta saatiin vastaavia tuloksia, kuin pelkkää sekundaaripolttoainetta käytettäessä.

Toistaiseksi suurimpana ongelmana oli kuitenkin ollut, että toteutuneen polttoaineen polttoainestokiomietrian seuraaminen on liian vaikeaa kilpailutilanteessa. Ohjaukartojen perusteella oli mahdollista laskea moottoriin syötetyn metanolin ja nitrometaanin määrät. Kun moottoriin syötetään ilmaa mekaanisen ahtamisen avulla, vastaavan ilmamäärän laskeminen on verraten helppoa. Tärkeimmäksi tavoitteeksi nousi nyt karttojen tekemisen ja polttoainelaskelmien selkeyttäminen ja yksinkertaistaminen siten, että laitteen käyttäjä olisi koko ajan tarkkaan tietoinen siitä, mitä moottorihjauksella saataisiin aikaan. Polttoainejärjestelmän erityispiirteiden vuoksi moottorihjauksella ei voitu käyttää täysin siten kuin sitä oli suunniteltu käytettävän. Tämän seurauksena käytettävän polttoaineen määrää oli haastavaa arvioida ennakkoon.

Liitteessä 1 kerrotaan Excel-tiedostosta, jonka avulla polttoaineen määrää voidaan arvioida suuntaa antavasti ennen kilpailusuoritusta. Taulukkoon 2 lisätään moottorin primary polttoainekartta, jolla ohjataan moottorin polttoaineen syöttöä. Secondary taulukkoon 3 lisätään moottorin secondary polttoainekartta, joka toimii apukarttana polttoaineen syötössä. Moottorin polttoainekarttaa voidaan hienosäätää monella tavalla. Taulukosta 4 nähdään, miten polttoainetta hienosäädetään sylinterikohtaisesti. Vaikka moottorihjauksella kuvittelee moottorissa olevan kuusi sylinteriä, ei tämä pidä paikkaansa. Parittomat luvut taulukon vasemmassa laidassa kertovat ensimmäisestä sylinteristä ja parilliset luvut toisesta sylinteristä. Taulukon alemmassa osassa kerrotaan, kuinka polttoaineen määrää säädetään aikaperusteisesti. Taulukossa 5 kerrotaan, kuinka suuria lisäsuuttimia ohjataan. Taulukon alaosassa kerrotaan, paljonko lisäsuuttimien toimintaa kompensoidaan varsinaisella polttoainekartalla. Taulukossa 6 kerrotaan, kuinka paljon nitrometaaniseosta käytetään sylinterikohtaisesti. Taulukossa 7 kerrotaan, kuinka paljon primaaripolttoainetta käytetään sylinterikohtaisesti. Taulukossa 8 kerrotaan, kuinka paljon sekundaaripolttoaineseosta käytetään sylinterikohtaisesti lisäsuuttimet

kytkettynä. Taulukossa 9 kerrotaan, kuinka paljon primaaripolttoainetta käytetään lisäsuuttimet kytkettynä sylinterikohtaisesti. Taulukon alaosassa voidaan nähdä hyvä esimerkki, kuinka erilaisten säätöparametrien kokonaisvaikutus voi olla yllättävä. Polttoaineen määrä on laskettu mitattujen suuttimien virtauskapasiteettien ja suuttimien aukioloaikojen perusteella todellisilla polttoaineen paineilla.

Vallitsevan hypoteesin mukaan metanoli syttyy aikaisemmin, kuin nitrometaani. Metanoli höyrystyy alemmassa lämpötilassa, kuin nitrometaani. Tätä ominaisuutta korostaa primaaripolttoaineen suihkuttaminen ahtoputkeen, jossa se kohtaa kuumaa ahtoilmasta, jonka mukana se matkustaa palotilaan. Tämä antaa metanolille aikaa höyrystyä ahtoilmassa olevan lämmön avulla, mikä helpottaa palotapahtuman alkamista. Sekundaaripolttoaine tulee imusarjaan vasta imukanavaan. Metanoli syttyy ensin, kuluttaen suurimman osan hapesta. Samalla palotilaan syntyy lämpöä ja painetta, mikä helpottaa nitrometaanin hajoamista. Koska metanoli on kuluttanut suurimman osan hapesta, joutuu nitrometaani siirtymään nopeammin kemialliseen hajoamiseen. Tällä tavoin saadaan palotapahtuma nopeammin liikkeelle, sekä paremmin säännösteltyä happi haluttuihin reaktioihin. Käytettävän polttoaineen määrä on Salakarin (2024) mukaan kasvanut vuosien varrella. Pakoputkien jälkeen palavat liekkirintamat ovat kasvaneen kymmenkertaisiksi (Dravis, 2022).

3.6 Simulointi

Moottoria ja polttoainejärjestelmää simuloitiin kahdella eri simulointiohjelmalla. Ohjelmina käytettiin GT-Poweria, sekä Lotus Engineeringiä. Kyseisiä ohjelmia käytettiin 1 dimensio mallilla. GT-Power oli ohjelmana käytettävyydeltään monimutkaisempi, sillä ohjelma antoi vapaat kädet mallin muokkaamisessa. Lotus Engineering -ohjelma oli yksinkertaisempi käyttää. Ohjelman yksinkertaisuudesta seuraa, että mallia ei voitu muokata yhtä vapaasti, kuin GT-Powerissa. Tämän ominaisuuden takia Lotus Engineeringillä ei voitu mallintaa moottorin toimintaa kaksoispolttoainejärjestelmällä, koska suuttimia ei voitu sijoittaa niiden oikeille paikoille. Myös polttoainemallien kanssa oli haasteita, sillä mallissa voitiin käyttää vain yhtä polttoainetta kerrallaan. Lisäksi nitrometaania ei voitu simuloida, koska polttoainemalli ei tunne tyyppiä, joten polttoainemalli ei toiminut oikealla tavalla. Lotus Engineeringiä päädyttiinkin käyttämään GT-Powerin mallin toiminnan tarkistamiseksi.

GT-Power mallissa havaittiin ongelmia, sillä samanlaiset mallit GT-Powerissa ja Lotus Engineeringissä antoivat hyvin erilaiset tulokset. Vikaa ei ehditty aikataulun puitteissa korjata, joten malliin ei voitu täysin luottaa. Vika oli todennäköisesti GT-Power mallissa, sillä sen mukaan moottorin ei pitäisi voida käydä metanolilla. Aiemmin suoritetuissa testilähdöissä oli havaittu, että moottoripyörällä voidaan ajaa pelkällä metanolilla, joten tämä ei voinut pitää paikkaansa. Tiedettiin myös, että aikaisemmin oli ollut käytössä paremmin toimiva GT-malli, mutta uuden ohjelmaversioon käyttöönoton takia vanhaa mallia ei voitu käyttää. Ongelmaa ei saatu korjattua ennen kuin SeAMKin käytössä oleva lisenssi vanheni. Siksi tässä opinnäytetyössä asiantuntijana toimiva Heikki J. Salminen jatkoi ongelman ratkaisua.

Ongelma GT-Power mallissa saatiin korjattua Heikki J. Salmisen toimesta, ja hän jatkoi tutkimusta. Heikki J. Salminen (henkilökohtainen tiedonanto, 9.2.2024) oli saanut selville, että primaaripolttoainetta tulisi muuttaa. Uuden Slturb-palamismallin mukaan saataisiin paras lopputulos, mikäli käytettäisiin 10 prosentista E85 ja 90 prosentista metanolia. Myös metanolisuuttimen sijoittaminen lähelle venttiileitä oli laskenut vääntömomenttia 6,3 Nm ja samalla polttoaineen kulutus oli kasvanut. Salmisen (2024) mukaan tämä tarkoitti, että ahtimen ulostulopuolelle syötettävä metanoliosuus paransi palamista ja höyrystymisestä johtuvalla lämpötilan alenemalla oli myös vaikutusta.

4 POHDINTAA

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää, miten kaksoispolttoainejärjestelmä vaikutti ja millaisia ominaisuuksia sillä oli. Samalla pyrittiin selvittämään miten polttoainejärjestelmää pystyisi kehittämään. Testaamisesta saatu tieto tuki hypoteesia, että metanoli nopeuttaa näin käytettynä palotapahtumaa merkittävästi. Nitrometaanin sytyttäminen vaatii paljon energiaa, mikä teki polttoaineseoksen sytyttämisestä vaikeaa. Metanoli taas syttyi huomattavasti helpommin. Koska metanoli syttyi herkemmin, aloitti se paloreaktionsa ennen nitrometaania. Oletuksena oli myös, että kaksoispolttoainejärjestelmällä tuotu metanoli höyrystyi ja sekoittui ilman kanssa nopeammin kuin nitrometaani. Tämä toi palotilaan lämpöä ja painetta, mikä helpotti nitrometaanin syttymistä. Lisäksi metanoli söi palaessaan palotilassa olevan hapen, jonka seurauksena nitrometaani ei varsinaisesti palanut vaan hajosi eksotermisessä reaktiossa.

Opinnäytetyöprosessi eteni vaihtelevasti ja melko verkkaisesti. Aihe osoittautui haastavaksi ja monimutkaisemmaksi kuin kuvittelin. Lisäksi kunnollisia lähteitä oli haastava löytää. Opinnäytetyön valmistumisen kannalta oli haastavaa, että polttoainejärjestelmää ja sen käyttöä kehitetään koko ajan usean henkilön toimesta opinnäytetyön kirjoitusvaiheessa. Siksi opinnäytetyötä oli vaikea pitää ajantasaisena, mutta samalla tarpeeksi rajattuna. Siksi tämä työ muistuttaa lähinnä väliraporttia.

Kerättyä tietoa, säätöparametreja ja vallitsevia olosuhteita olisi pitänyt kirjata järjestelmällisemmin ja tarkemmin. Myös testaamista olisi pitänyt suunnitella paremmin. Kilpailuluokalle tyypilliset moottorivauriot vaikeuttavat suunnittelun toteuttamista ja lisäävät suunnitelmien mukautumista uusiin tilanteisiin. Testaussuunnitelmien merkitys kuitenkin korostuu nopeantuotekehityksen vuoksi. Testaussuunnitelmien toteutumiseksi, sekä kilpailukyvyyn parantamiseksi osien kulumista ja käyttöikää tulisi seurata tehokkaammin. Suunnitelmia pitäisi tämentää, jotta testauksesta tulisi tehokkaampaa. Myös erilaisten varasuunnitelmien tekeminen osaksi suunnitelmia voisi olla kokeilemisen arvoista.

LÄHTEET

- Bamsey, I. (2023). Harsh V28 Super Twin. *Race Engine Technology*, 21(148), 16–31.
- Brequigny, P., Dayma, G., Halter, F., Mounaïm-Rousselle, C., Dubois, T., & Dagaut, P. (2019). *Laminar burning velocities of premixed nitromethane / air flames: an experimental and kinetic modeling study* [sähköinen tietoaaineisto]. HAL. <https://univ-orleans.hal.science/hal-02073747/document>
- Clark, J. D. (1972). *Ignition!: An informal history of liquid rocket propellants*. <https://library.sciencemadness.org/library/books/ignition.pdf>
- Coxon, J. (2010). *Nitromethane – rocket fuel or what?*. High power media. <https://www.highpowermedia.com/Archive/nitromethane-rocket-fuel-or-what>
- Davis, M. (14.8.2020). *What's the commotion about mixture motion: swirl and tumble Explained*. Motortrend. <https://www.motortrend.com/how-to/cylinder-head-swirl-and-tumble/>
- Davis, M. (21.6.2022). *What Is nitromethane, anyway?*. Motortrend. <https://www.motortrend.com/how-to/hrdp-1304-what-is-nitromethane-anyway/>
- Delphi. (i.a.). *Fuel pressure regulator*. <https://www.delphiautoparts.com/products-technologies/gasoline-fuel-systems/fuel-management-system/fuel-pressure-regulator>
- Shrestha, K. S., Vin, N., Herbbinet, O., Seidel, L., Battini-Leclerc, F., Zeuch, T., & Mauss, F. (2020). *Pexperiments in jet-stirred and flow reactors* [sähköinen tietoaaineisto]. HAL. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-02400000/document>
- FHRA. (2024). *Kiihdytysajo – Maailman nopein moottoriurheilulaji*. <https://www.fhra.fi/kiihdytysurheilu/>
- FIM-Europe. (2022). *DR14 FIM Europe technical rules for drag bikes 2022*. <http://www.fim-europe.com/wp-content/uploads/2022/02/DR14-FIM-E-TECHNICAL-2022.pdf>
- FuelTech. (i.a.). *FuelTech education: Base tune* [Luentomateriaali]
- Bell, A. G. (2013). *Nelitahtimoottorin virittäminen* (E. Mauno, käänt.; 2. uud. ja täyd. laitos). Alfamer. (Alkuperäinen teos julkaistu 1998).
- How a car works. (i.a.). *How a fuel injection system works*. <https://www.howacarworks.com/basics/how-a-fuel-injection-system-works>
- Methanol institute. (i.a.). *Methanol safe handling technical bulletin: Part2: using physical & chemical properties to manage flammable liquid hazards*. <https://www.methanol.org/wp-content/uploads/2017/05/MSH-TB-2017-05-01-Part-2-Using-Physical-and-Chemical-Properties-to-Manage-Flammable-Liquid-Hazards.pdf>

[content/uploads/2020/04/Part-2_-Using-Physical-Chemical-Properties-To-Manage-Flammable-Liquid-Hazards-.pdf](#)

Moottoriliitto. (i.a.). *Drag racing*. <https://www.moottoriliitto.fi/lajit/drag-racing/>

RacingJunk. (5.10.2020). *Weather considerations for racing methanol*. <https://www.racing-junk.com/news/weather-considerations-for-racing-methanol/>

Salakari, J. (Fuel Express). (24.4.2024). Havaintoja nitrometaanikäyttöisestä moottorista [asiantuntijahaastattelu].

Salminen, H. J. (Research Affiliate, Vaasan yliopisto & CSO, Fuel Express). (21.4.2024). *Nitrometaanikäyttöisen moottorin toiminta* [asiantuntijahaastattelu].

Seppänen, R., Mannila, L., Kervinen, M., Parkkila, I., Kontinen, P., Karkela, L., & Yli-Kokko, T. (2014). *MAOL taulukot*. (3. uud. ja täyd. laitos). Otava.

Sharpe, G. J., & Quirk, J. J. (2008). *Nonlinear cellular dynamics of the idealized detonation model: regular cells* [sähköinen tietoaaineisto]. Universities of Leeds, Sheffield and York. https://eprints.whiterose.ac.uk/7931/1/cells_revised.pdf

Shrestha, K. P., Vin, N., Herbinet, O., Seidel, L., Battin-Leclerc, L., Zeuch, T., & Mauss, F. (2020). *Insights into nitromethane combustion from detailed kinetic modeling – Pyrolysis*. [sähköinen tietoaaineisto]. Sciencedirect. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S001623611931703X>

Työterveyslaitos. (TTL). (12.8.2022). *Metanoli*. <https://ova.ttl.fi/metanoli>

VaporWorx. (i.a.). *To return or not to return (returnless), that is the question*. <https://www.vaporworx.com/resources/pwg/return-type-pwm-returnless/>

LIITTEET

Liite 1. Polttoainelaskelma

Liite 1. Polttoainelaskelma

TPS * RPM Fuel table - Primary																	
ms	2000	2500	3000	3500	4000	4500	5000	5500	6000	6500	7000	7500	8000	8500	9000	9500	10000
100	8,9	9,967	9,5	8,6	11,1	15,6	14,3	13,3	12,4	11,7	10,4	9,3	8,3	7,5	6,3	5,2	4,3
97	8,9	10,0	9,5	8,6	11,0	15,0	13,8	12,8	12,0	11,3	10,0	8,9	8,0	7,1	6,3	5,2	4,3
95	8,9	10,0	9,5	8,6	10,9	14,0	12,9	12,0	11,3	10,6	9,4	8,3	7,4	6,6	6,3	5,2	4,3
80	8,9	10,0	9,5	8,6	10,8	13,0	12,0	11,2	10,5	9,9	8,7	7,7	6,8	6,0	5,0	4,6	4,3
64	8,9	10,0	9,5	8,6	10,8	9,5	8,6	7,8	7,1	6,6	6,1	5,7	5,4	5,1	4,8	4,5	4,3
38	8,9	10,0	9,5	8,6	7,8	6,7	6,2	5,9	5,6	5,3	5,1	4,9	4,8	4,6	4,5	4,4	4,3
15	6,7	7,9	6,8	6,1	6,2	5,5	4,9	4,5	4,1	3,8	3,5	3,3	3,1	2,9	2,7	2,6	2,4
0	5,5	5,4	5,0	4,4	4,7	4,0	3,7	3,2	2,8	2,5	2,2	1,9	1,7	1,5	1,3	1,2	1,0

Taulukko 1. Primary polttoainekartta

TPS * RPM fuel table - Secondary																		
ms	2000	2500	3000	3500	4000	4500	5000	5500	6000	6500	7000	7500	8000	8500	9000	9500	10000	
100	17,5	14,0	11,7	10,0	8,8	7,8	7,0	6,4	5,9	5,4	5,0	4,7	4,4	4,2	3,9	3,7	3,5	
97	17,5	14,0	11,7	10,0	8,8	7,8	7,0	6,4	5,9	5,4	5,0	4,7	4,4	4,2	3,9	3,7	3,5	
95	17,5	14,0	11,7	10,0	8,8	7,8	7,0	6,4	5,9	5,4	5,0	4,7	4,4	4,2	3,9	3,7	3,5	
80	17,5	14,0	11,7	10,0	8,8	7,8	7,0	6,4	5,9	5,4	5,0	4,7	4,4	4,2	3,9	3,7	3,5	
64	11,1	9,0	7,7	6,7	6,0	5,4	5,0	4,6	4,3	4,1	3,8	3,6	3,5	3,3	3,2	3,1	3,0	
38	6,6	5,7	5,2	4,8	4,5	3,4	3,2	2,9	2,7	2,5	2,3	2,2	2,1	1,9	1,8	1,8	1,7	
15	2,6	2,2	2,3	2,1	1,7	1,5	1,4	1,3	1,3	1,2	1,2	1,1	1,1	1,7	1,6	1,6	1,5	
0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	

Taulukko 2. Secondary polttoainekartta

Individual cylinder trim by RPM (primary/secondary) (%)																	
%	2000	2500	3000	3500	4000	4500	5000	5500	6000	6500	7000	7500	8000	8500	9000	9500	
1	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	-10,00	-12,50	-15,00	-17,50	-20,00	-22,50	-22,50	-22,50	-22,50	0,00	Nitro FT720 primary/Side solenoid Secondary	
2	-15,00	-15,00	-15,00	-15,00	-15,00	0,00	1,70	3,30	5,00	6,70	8,30	10,00	10,00	10,00	0,00	Nitro FT720 primary/Side solenoid Secondary	
3	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	-10,00	-12,50	-15,00	-17,50	-20,00	-22,50	-22,50	-22,50	-22,50	0,00	Nitro FT720 Primary	
4	-15,00	-15,00	-15,00	-15,00	-15,00	0,00	1,70	3,30	5,00	6,70	8,30	10,00	10,00	10,00	0,00	Nitro FT720 Primary	
5	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00	10,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	Methanol FT720 Primary
6	-20,00	-20,00	-20,00	-20,00	-10,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	Methanol FT720 Primary

Time bas. ING		Time bas. Fuel		Time based Fuel Run						
Time	Timing	Time	Percentage	0	0,4	0,8	1,2	1,6	10	
0	0	0	0	1	0	0,1	-10	-10	0	0
0,3	0	0,4	0,1	2	0	0,1	-10	-10	0	0
1,6	-4	0,8	-10	3	0	0,1	-10	-10	0	0
3,55	-4	1,2	-10	4	0	0,1	-10	-10	0	0
9	-4	1,6	0	5	0	0,1	-10	-10	0	0
		10	0	6	0	0,1	-10	-10	0	0

Nitrous total calculated fuel table																
ms	2500	3000	3500	4000	4500	5000	5500	6000	6500	7000	7500	8000	8500	9000	9500	10000
1 stag	2,767	3,531	3,458	6,612	11,574	10,713	10,008	9,422	8,925	7,843	6,904	6,083	5,358	4,297	3,346	2,491
2 stag	-4,433	-2,469	-1,685	2,112	7,574	7,113	6,735	6,422	6,156	5,272	4,504	3,833	3,24	2,297	1,451	0,691
3 stag	-4,433	-2,469	-1,685	2,112	7,574	7,113	6,735	6,422	6,156	5,272	4,504	3,833	3,24	2,297	1,451	0,691
4 stag	-4,433	-2,469	-1,685	2,112	7,574	7,113	6,735	6,422	6,156	5,272	4,504	3,833	3,24	2,297	1,451	0,691
5 stag	-4,433	-2,469	-1,685	2,112	7,574	7,113	6,735	6,422	6,156	5,272	4,504	3,833	3,24	2,297	1,451	0,691
6 stag	-4,433	-2,469	-1,685	2,112	7,574	7,113	6,735	6,422	6,156	5,272	4,504	3,833	3,24	2,297	1,451	0,691

Nitrous stages fuel table																
ms	2500	3000	3500	4000	4500	5000	5500	6000	6500	7000	7500	8000	8500	9000	9500	10000
1 stag	-7,2	-6	-5,143	-4,5	-4	-3,6	-3,273	-3	-2,769	-2,571	-2,4	-2,25	-2,118	-2	-1,895	-1,8
2 stag	-7,2	-6	-5,143	-4,5	-4	-3,6	-3,273	-3	-2,769	-2,571	-2,4	-2,25	-2,118	-2	-1,895	-1,8
3 stag	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4 stag	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5 stag	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6 stag	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Taulukko 3. Pro nitrous ohjauskartta

		TPS * RPM Fuel table - Cyl 1 Nitro																
cc/rev		2000	2500	3000	3500	4000	4500	5000	5500	6000	6500	7000	7500	8000	8500	9000	9500	10000
100		7,838	7,182	6,378	5,607	6,052	7,199	4,734	4,245	3,835	3,484	3,048	2,674	2,430	2,215	1,942	1,697	1,905
97		7,844	7,182	6,378	5,607	6,030	7,009	4,611	4,137	3,738	3,398	2,967	2,599	2,357	2,145	1,942	1,697	1,905
95		7,844	7,182	6,378	5,607	6,000	6,712	4,418	3,967	3,587	3,262	2,842	2,484	2,248	2,039	1,942	1,697	1,905
80		7,844	7,182	6,378	5,607	5,965	6,374	4,199	3,773	3,414	3,107	2,699	2,351	2,121	1,917	1,694	1,579	1,905
64		6,000	5,757	5,234	4,662	5,149	4,589	2,994	2,664	2,388	2,153	1,951	1,776	1,675	1,587	1,507	1,437	1,772
38		4,721	4,816	4,518	4,106	3,782	3,105	2,081	1,891	1,730	1,590	1,469	1,362	1,308	1,261	1,219	1,181	1,479
15		2,886	3,138	2,829	2,540	2,461	2,174	1,419	1,263	1,132	1,022	0,926	0,843	0,796	0,865	0,822	0,783	0,965
0		1,757	1,735	1,590	1,396	1,500	1,269	0,845	0,716	0,610	0,521	0,447	0,384	0,340	0,301	0,266	0,235	0,267

		TPS * RPM Fuel table - Cyl 2 Nitro																
cc/rev		2000	2500	3000	3500	4000	4500	5000	5500	6000	6500	7000	7500	8000	8500	9000	9500	10000
100		4,924	4,559	4,067	3,581	3,912	4,714	5,068	4,757	4,495	4,280	3,918	3,598	3,317	3,020	2,638	2,296	1,808
97		4,928	4,559	4,067	3,581	3,897	4,585	4,932	4,631	4,378	4,169	3,811	3,493	3,214	2,920	2,638	2,296	1,808
95		4,928	4,559	4,067	3,581	3,876	4,383	4,718	4,433	4,193	3,997	3,644	3,332	3,058	2,770	2,638	2,296	1,808
80		4,928	4,559	4,067	3,581	3,853	4,153	4,474	4,208	3,984	3,800	3,454	3,147	2,878	2,597	2,286	2,130	1,808
64		3,824	3,706	3,381	3,015	3,362	2,995	3,191	2,969	2,781	2,625	2,491	2,375	2,274	2,153	2,044	1,947	1,691
38		3,058	3,142	2,952	2,681	2,468	2,032	2,227	2,118	2,027	1,954	1,892	1,839	1,795	1,731	1,674	1,623	1,433
15		1,901	2,083	1,872	1,680	1,633	1,444	1,538	1,431	1,341	1,266	1,202	1,146	1,097	1,177	1,118	1,065	0,924
0		1,195	1,180	1,081	0,949	1,020	0,863	0,939	0,832	0,741	0,663	0,596	0,536	0,483	0,427	0,378	0,334	0,267

Taulukko 4. Secondaari polttoaineen määrä sylinterissä 1 ja 2

		TPS * RPM Fuel table - Cyl 1 Methanol																
cc/rev		2000	2500	3000	3500	4000	4500	5000	5500	6000	6500	7000	7500	8000	8500	9000	9500	10000
100		1,311	1,468	1,404	1,267	1,637	1,682	1,406	1,304	1,220	1,148	1,023	0,914	0,818	0,734	0,618	0,515	0,421
97		1,314	1,468	1,404	1,267	1,627	1,618	1,353	1,256	1,176	1,108	0,984	0,876	0,782	0,699	0,618	0,515	0,421
95		1,314	1,468	1,404	1,267	1,613	1,517	1,271	1,182	1,107	1,045	0,924	0,819	0,728	0,647	0,618	0,515	0,421
80		1,314	1,468	1,404	1,267	1,597	1,403	1,177	1,096	1,029	0,972	0,855	0,754	0,665	0,586	0,495	0,456	0,421
64		1,314	1,468	1,404	1,267	1,587	1,028	0,842	0,766	0,702	0,648	0,602	0,562	0,527	0,496	0,468	0,443	0,421
38		1,314	1,468	1,404	1,266	1,156	0,721	0,613	0,578	0,549	0,524	0,503	0,485	0,469	0,455	0,443	0,431	0,421
15		0,985	1,157	1,009	0,903	0,908	0,593	0,484	0,440	0,403	0,371	0,344	0,321	0,300	0,282	0,267	0,252	0,240
0		0,811	0,801	0,734	0,645	0,692	0,429	0,361	0,315	0,276	0,243	0,215	0,191	0,169	0,149	0,132	0,117	0,103

		TPS * RPM Fuel table - Cyl 2 Methanol																
cc/rev		2000	2500	3000	3500	4000	4500	5000	5500	6000	6500	7000	7500	8000	8500	9000	9500	10000
100		0,699	0,783	0,749	0,676	0,873	1,376	1,406	1,304	1,220	1,148	1,023	0,914	0,818	0,734	0,618	0,515	0,421
97		0,701	0,783	0,749	0,676	0,868	1,324	1,353	1,256	1,176	1,108	0,984	0,876	0,782	0,699	0,618	0,515	0,421
95		0,701	0,783	0,749	0,676	0,860	1,242	1,271	1,182	1,107	1,045	0,924	0,819	0,728	0,647	0,618	0,515	0,421
80		0,701	0,783	0,749	0,676	0,852	1,148	1,177	1,096	1,029	0,972	0,855	0,754	0,665	0,586	0,495	0,456	0,421
64		0,701	0,783	0,749	0,676	0,846	0,841	0,842	0,766	0,702	0,648	0,602	0,562	0,527	0,496	0,468	0,443	0,421
38		0,701	0,783	0,749	0,675	0,617	0,590	0,613	0,578	0,549	0,524	0,503	0,485	0,469	0,455	0,443	0,431	0,421
15		0,526	0,617	0,538	0,481	0,484	0,485	0,484	0,440	0,403	0,371	0,344	0,321	0,300	0,282	0,267	0,252	0,240
0		0,433	0,427	0,391	0,344	0,369	0,351	0,361	0,315	0,276	0,243	0,215	0,191	0,169	0,149	0,132	0,117	0,103

Taulukko 5. Primaaripolttoaineen ruiskutus sylinterissä 1 ja 2

TPS * RPM Fuel table + ALL IN - Cyl 1 Nitro																	
cc/min	2000	2500	3000	3500	4000	4500	5000	5500	6000	6500	7000	7500	8000	8500	9000	9500	10000
100	7,8	14,1	12,2	10,6	10,4	11,1	3,3	3,0	2,7	2,5	2,1	1,8	1,6	1,5	1,2	1,0	1,9
97	7,8	14,1	12,2	10,6	10,4	10,9	3,2	2,9	2,6	2,4	2,0	1,8	1,6	1,4	1,2	1,0	1,9
95	7,8	14,1	12,2	10,6	10,3	10,6	3,0	2,7	2,4	2,2	1,9	1,7	1,5	1,3	1,2	1,0	1,9
80	7,8	14,1	12,2	10,6	10,3	10,2	2,8	2,5	2,3	2,1	1,8	1,5	1,3	1,2	1,0	0,9	1,9
64	6,0	14,1	12,2	10,6	10,3	9,1	2,0	1,7	1,6	1,4	1,3	1,1	1,1	1,0	0,9	0,9	1,8
38	4,7	4,8	4,5	4,1	3,8	3,1	2,1	1,9	1,7	1,6	1,5	1,4	1,3	1,3	1,2	1,2	1,5
15	2,9	3,1	2,8	2,5	2,5	2,2	1,4	1,3	1,1	1,0	0,9	0,8	0,8	0,9	0,8	0,8	1,0
0	1,8	1,7	1,6	1,4	1,5	1,3	0,8	0,7	0,6	0,5	0,4	0,4	0,3	0,3	0,3	0,2	0,3

TPS * RPM Fuel table + ALL IN - Cyl 2 Nitro																	
cc/min	2000	2500	3000	3500	4000	4500	5000	5500	6000	6500	7000	7500	8000	8500	9000	9500	10000
100	4,9	2,2	2,1	1,9	2,4	3,4	5,3	7,4	7,8	7,3	6,8	6,2	5,8	5,3	4,8	4,4	1,9
97	4,9	2,2	2,1	1,9	2,4	3,2	5,1	7,3	7,7	7,2	6,6	6,1	5,7	5,2	4,8	4,4	1,9
95	4,9	2,2	2,1	1,9	2,4	3,0	4,9	7,1	7,5	7,1	6,5	6,0	5,5	5,1	4,8	4,4	1,9
80	4,9	2,2	2,1	1,9	2,4	2,8	4,7	6,8	7,3	6,9	6,3	5,8	5,3	4,9	4,5	4,2	1,9
64	3,8	2,2	2,1	1,9	2,3	2,1	3,3	4,9	6,1	6,0	5,6	5,2	4,9	4,6	4,4	4,2	1,8
38	3,1	3,1	3,0	2,7	2,5	2,0	2,2	2,1	2,0	2,0	1,9	1,8	1,8	1,7	1,7	1,6	1,4
15	1,9	2,1	1,9	1,7	1,6	1,4	1,5	1,4	1,3	1,3	1,2	1,1	1,1	1,2	1,1	1,1	0,9
0	1,2	1,2	1,1	0,9	1,0	0,9	0,9	0,8	0,7	0,7	0,6	0,5	0,5	0,4	0,4	0,3	0,3

Taulukko 6. Sekundaaripolttoaineen määrä sylinterissä 1 ja 2 pro nitrouksin kanssa

TPS * RPM Fuel table - Cyl 1 Methanol																	
cc/min	2000	2500	3000	3500	4000	4500	5000	5500	6000	6500	7000	7500	8000	8500	9000	9500	10000
100	1,311	1,468	1,404	1,267	1,637	1,682	1,406	1,304	1,220	1,148	1,023	0,914	0,818	0,734	0,618	0,515	0,421
97	1,314	1,468	1,404	1,267	1,627	1,618	1,353	1,256	1,176	1,108	0,984	0,876	0,782	0,699	0,618	0,515	0,421
95	1,314	1,468	1,404	1,267	1,613	1,517	1,271	1,182	1,107	1,045	0,924	0,819	0,728	0,647	0,618	0,515	0,421
80	1,314	1,468	1,404	1,267	1,597	1,403	1,177	1,096	1,029	0,972	0,855	0,754	0,665	0,586	0,495	0,456	0,421
64	1,314	1,468	1,404	1,267	1,587	1,028	0,842	0,766	0,702	0,648	0,602	0,562	0,527	0,496	0,468	0,443	0,421
38	1,314	1,468	1,404	1,266	1,156	0,721	0,613	0,578	0,549	0,524	0,503	0,485	0,469	0,455	0,443	0,431	0,421
15	0,985	1,157	1,009	0,903	0,908	0,593	0,484	0,440	0,403	0,371	0,344	0,321	0,300	0,282	0,267	0,252	0,240
0	0,811	0,801	0,734	0,645	0,692	0,429	0,361	0,315	0,276	0,243	0,215	0,191	0,169	0,149	0,132	0,117	0,103

TPS * RPM Fuel table - Cyl 2 Methanol																	
cc/min	2000	2500	3000	3500	4000	4500	5000	5500	6000	6500	7000	7500	8000	8500	9000	9500	10000
100	0,699	0,783	0,749	0,676	0,873	1,376	1,406	1,304	1,220	1,148	1,023	0,914	0,818	0,734	0,618	0,515	0,421
97	0,701	0,783	0,749	0,676	0,868	1,324	1,353	1,256	1,176	1,108	0,984	0,876	0,782	0,699	0,618	0,515	0,421
95	0,701	0,783	0,749	0,676	0,860	1,242	1,271	1,182	1,107	1,045	0,924	0,819	0,728	0,647	0,618	0,515	0,421
80	0,701	0,783	0,749	0,676	0,852	1,148	1,177	1,096	1,029	0,972	0,855	0,754	0,665	0,586	0,495	0,456	0,421
64	0,701	0,783	0,749	0,676	0,846	0,841	0,842	0,766	0,702	0,648	0,602	0,562	0,527	0,496	0,468	0,443	0,421
38	0,701	0,783	0,749	0,675	0,617	0,590	0,613	0,578	0,549	0,524	0,503	0,485	0,469	0,455	0,443	0,431	0,421
15	0,526	0,617	0,538	0,481	0,484	0,485	0,484	0,440	0,403	0,371	0,344	0,321	0,300	0,282	0,267	0,252	0,240
0	0,433	0,427	0,391	0,344	0,369	0,351	0,361	0,315	0,276	0,243	0,215	0,191	0,169	0,149	0,132	0,117	0,103

Taulukko 7. Primaaripolttoaineen määrä sylinterissä 1 ja 2 pro nitrouksin kanssa