

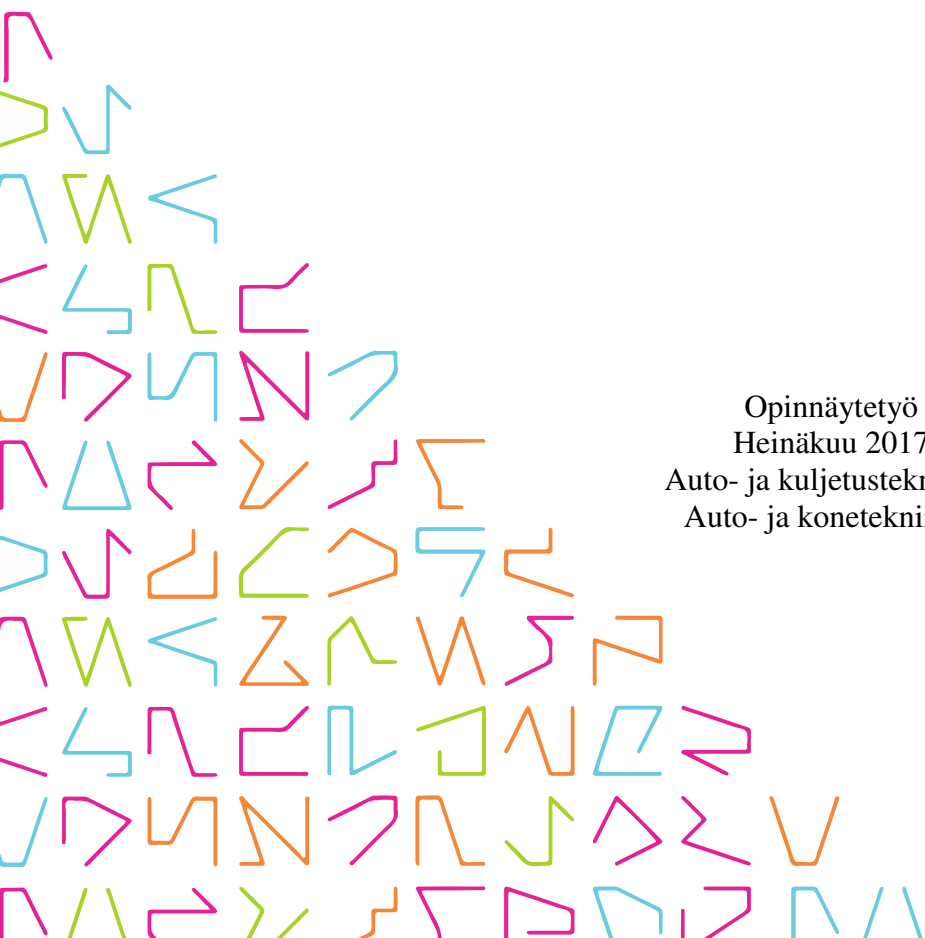


TAMPEREEN
AMMATTIKORKEAKOULU

BENSIINKÄYTTÖISEN HENKILÖAUTON JÄLKIAHTAMINEN

Jimmy Ekholm

Opinnäytetyö
Heinäkuu 2017
Auto- ja kuljetustekniikka
Auto- ja konetekniikka



TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Auto- ja kuljetustekniikka
Työkonetekniikka

EKHOLM, JIMMY:
Bensiinikäyttöisen henkilöauton jälkiahtaminen

Opinnäytetyö 41 sivua, joista liitteitä 0 sivua
Heinäkuu 2017

Tässä työssä tutustuttiin bensiinikäyttöisen vapaasti hengittävän ajoneuvon jälkiahtamiseen. Työssä käydään lyhyesti läpi mitä jälkiahtaminen käsitteenä tarkoittaa ja kerrotaan perusteet työn tekemiselle. Ahtamisen kannalta oleelliset komponentit käydään läpi ja niiden mitoitus lasketaan teoriassa moottoriin ja tavoitetehtoihin sopiviksi.

Kun komponentit oli saatu mitoitettua, osat tilattiin, ajoneuvo kasattiin ja säädettiin. Kun ajoneuvo oli saatu täysin toimivaksi mitattiin komponenttien toimintaa käytännössä ja verrattiin saatuja tuloksia laskettuihin arvoihin. Lopuksi tutkittiin osien mitoituksen ja saatujen tuloksien eroavaisuuksia.

Työn kannalta tärkeiden komponenttien valinta oli onnistunut ja haluttuun tehotavoitukseen päästiin. Työssä ei tullut vastaan suurempia vastoinkäymisiä ja projekti saatiin onnistuneesti loppuun.

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Degree Programme in Vehicle Engineering
Industrial vehicle engineering

EKHOLM, JIMMY:
Supercharging a petrol powered car

Bachelor's thesis 41 pages, appendices 0 pages
July 2017

In this thesis we examine what it takes to supercharge a naturally aspirated car. The thesis briefly describes what the term forced induction means and explains the basics what is needed to supercharge your car. The most relevant components for the operation are examined and described. After that the components are calculated to fit the engine and the target power figure.

After the components had been successfully calculated the parts were ordered and the vehicle was assembled and tuned. Once the vehicle was fully operational, the performance of the components was measured and the results were compared to the calculated values. After that the differences between calculated results and measured results were examined.

In The end the selection of the most important components for the job was successful and the desired power figures were achieved. The job did not have any major setbacks and the project was successfully completed in time.

Key words: forced induction, supercharger

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	5
2	AJONEUVON JÄLKIAHTAMINEN	6
2.1	Jälkiahtaminen teoriassa	6
2.2	Kohdejoneuvo	6
2.3	Moottorinohjaus.....	7
2.4	Ahdin	8
2.4.1	Pakokaasuahdin.....	8
2.4.2	Mekaaninen ahdin	10
2.5	Polttoainesuuttimet	12
2.6	Polttoainepumppu	12
2.7	Muut tarvittavat komponentit	12
2.7.1	Laajakaista Lambda	12
2.7.2	Välijäähdytin	14
2.7.3	Kytkin.....	15
3	KOMPONENTTIEN MITOITUS JA VALINTA	16
3.1	Moottorinohjauksen valinta	16
3.2	Ahtimen mitoitus ja valinta.....	17
3.3	Polttoainesuuttimien mitoitus ja valinta	19
3.4	Polttoainepumpun mitoitus ja valinta	21
3.5	Laajakaista lambdan valinta.....	23
3.6	Välijäähdyttimen ja ahtoputkien valinta	24
3.7	Kytkimen valinta.....	24
4	ASENNUSTYÖ	26
5	MITTAUSTULOKSET	34
5.1	Tehonmittaus	34
5.2	Saavutettu teho ja laskennallinen teho.....	34
5.3	Muut mittaustulokset	35
	POHDINTA	38
	LÄHTEET.....	39
	LIITTEET	41

1 JOHDANTO

Autojen päästömääräysten tiukentuessa valmistajat pyrkivät saamaan yhä pienemmistä moottoreista enemmän tehoa ulos pärjätäkseen kilpailussa muiden valmistajien kanssa. Yleinen reitti moottorin tehon nostoon on sen ahtaminen, tällöin moottorilla on käytävissänsä hetkellisesti suuri tehomäärä, mutta normaalissa matka-ajossa kulutus ei nouse ja moottori voidaan pitää pienenä.

Vanhoja ajoneuvoja piinaa monesti heikkotehoiset moottorit, joilla nykyisen liikenteen seassa ajaminen voi olla tarpeettoman haastavaa tai paikoin jopa vaarallista. Yleisesti ottaen alle 30 vuotta vanhalla ajoneuvolla pärjää kuitenkin liikenteen seassa vielä hyvin, mutta poikkeuksiakin löytyy. Suurempi ongelma on urheiluautoissa tapahtunut suuri tehojen nousu. Jo muutaman vuoden vanha urheiluautomalli on käytännössä monta kymmentä prosenttia heikkotehoisempi kuin mallisarjan uudempi versio.

Tässä työssä tutustutaan bensiinikäyttöisen henkilöauton jälkiahtamiseen. Työssä käydään läpi ajoneuvon jälkiahtamiseen tarvittavat komponentit ja niiden mitoitus. Komponenttien mitoitus lasketaan teoriassa, ajoneuvo kasataan, säädetään ja lopulta vertailaan saatuja tuloksia alkuperäisiin laskelmiin.

2 AJONEUVON JÄLKIAHTAMINEN

2.1 Jälkiahtaminen teoriassa

Ajoneuvon jälkiahtamisella tarkoitetaan ahtimen lisäämistä vapaasti hengittävään moottoriin. Vapaasti hengittävässä moottorissa polttoaineen ja ilman seos etenee moottoriin normaalilla ilmanpaineella. Kun moottori ahdetaan, polttoaine ja ilman seos pakotetaan sylintereihin ahtimen toimesta. Mitä enemmän polttoainetta ja ilmaa saadaan syötettyä moottorille, sitä enemmän tehoa moottorista saadaan. (Turboahdin toiminta)

Kun ajoneuvosta haetaan parempaa tehoa, voidaan moottorin kokoa joko kasvattaa tai moottori voidaan ahtaa. Ahtamisen etuina ovat muun muassa pienempi moottorin tilantarve, moottorin ja täten koko ajoneuvon massan pysyminen pienenä, moottorin kokonaisyötysuhteen paraneminen ja päästöjen pieneminen. (Peltonen, 2014)

2.2 Kohdeajoneuvo

Jälkiahtamisen kohdeajoneuvoksi tuli vuoden 1999 Mazda MX-5. Ajoneuvo oli ollut omistuksessani työn alkaessa yhden kesän ja olin todennut sen sopivan työn aiheeksi. MX-5 oli mielestäni ajettavuudeltaan mieluinen, mutta tehon puutos sai harkitsemaan jo ajoneuvosta luopumista.

MX-5 on maailman myydyin kaksipaikkainen avoauto ja niitä on myyty jo yli miljoona kappaletta (Taylor, 2016). Kohdeajoneuvo on siis toisen sukupolven versio, jonka moottorina toimii 1,6 litrainen nelisynterinen rivimoottori. Moottori tuottaa vakiona lähteestä riippuen noin 108 - 110 hevosvoimaa auton kiihtyvyyden ollessa 0 - 100 km/h noin 9,7 sekuntia. (Mazda MX-5 II (NB) - 1.6i)

Jos ajoneuvon suorituskykyä vertaa esimerkiksi samoihin aikoihin Hondan valmistamaan S2000 avoautoon, huomaa että Mazdan teholumika jää vain noin puoleen Hondan vastaavasta kiihtyvyyden ollessa noin puolet suurempi (Webster, 1999). MX-5 on ollut aina tehoissa jäljessä kilpailijoitaan ja Mazda onkin houkuttellut asiakkaita hyvällä ohjattavuudella ja kehittyneellä alustageometrialla (Bedard, 1998).

Moottorin kannalta MX-5 on ihanteellinen kohdejoneuvo jälkiahtamiseen. Moottori on suunniteltu alunperin Mazdan 323 turbo -mallin moottoriksi ja Mazda on tehnyt vain pieniä muutoksia muuttaessaan moottorin vapaasti hengittäväksi. Moottoriin on vaihdettu muun muassa korkeapuristeiset männät, kevyemmät kiertokanget ja kevyempi vauhtipyörä (Stocker).

Moottorin taustojen selvittämisen jälkeen projektin tehotavoitteeksi asetettiin 200 hevosvoimaa moottorilta jonka moottorin ja voimansiirron pitäisi varmuudella kestää. MX-5:n ahtamisesta löytyi hyvin tietoa eri lähteistä, mutta lähteiden tarkkuudesta ja oikeellisuudesta ei voinut olla täysin varma, joten päädyin suhteellisen turvalliseen tehotavoitteeseen.

Polttoaineeksi päätettiin valita moottorin korkeahkon puristuspaineen vuoksi E85 - polttoaine jonka korkeampi oktaaniluku ja matalampi palamislämpötila helpottaisivat moottorin säätöä, eikä moottori rupeaisi nakuttamaan niin helposti.

2.3 Moottorinohjaus

Nykyaikaisissa autoissa polttoaineen ja sytytyksen säätöä ohjataan erillisellä elektronisella moottorinohjaus yksiköllä. Moottorinohjaus saa tiedon ajoneuvossa sijaitsevilta antureilta ja säätää saamiensa tietojen mukaan moottorin toimintaa mahdollisimman optimaaliseksi. Mitä paremmin polttoaine seosta saadaan säädettyä, sitä vähemmän ajoneuvo kuluttaa polttoainetta ja sitä pienemmät siitä syntyvät päästöt ovat. (How an engine control unit affects performance)

Moottorinohjauksella voidaan säätää myös muun muassa moottorin tyhjäkäyntiä, venttiilien ajoitusta, laturin tehoa ja ahtopaineiden määrää (How an engine control unit affects performance). Kohdejoneuvossa ollutta alkuperäistä moottorinohjausjärjestelmää ei pystynyt säätämään jälkikäteen, joten kun ajoneuvon päätettiin lisätä ahdin, tarvittiin moottorinohjaus jolla pystyttäisiin säätämään polttoaineseos ja sytytyksen ajoitus.

2.4 Ahdin

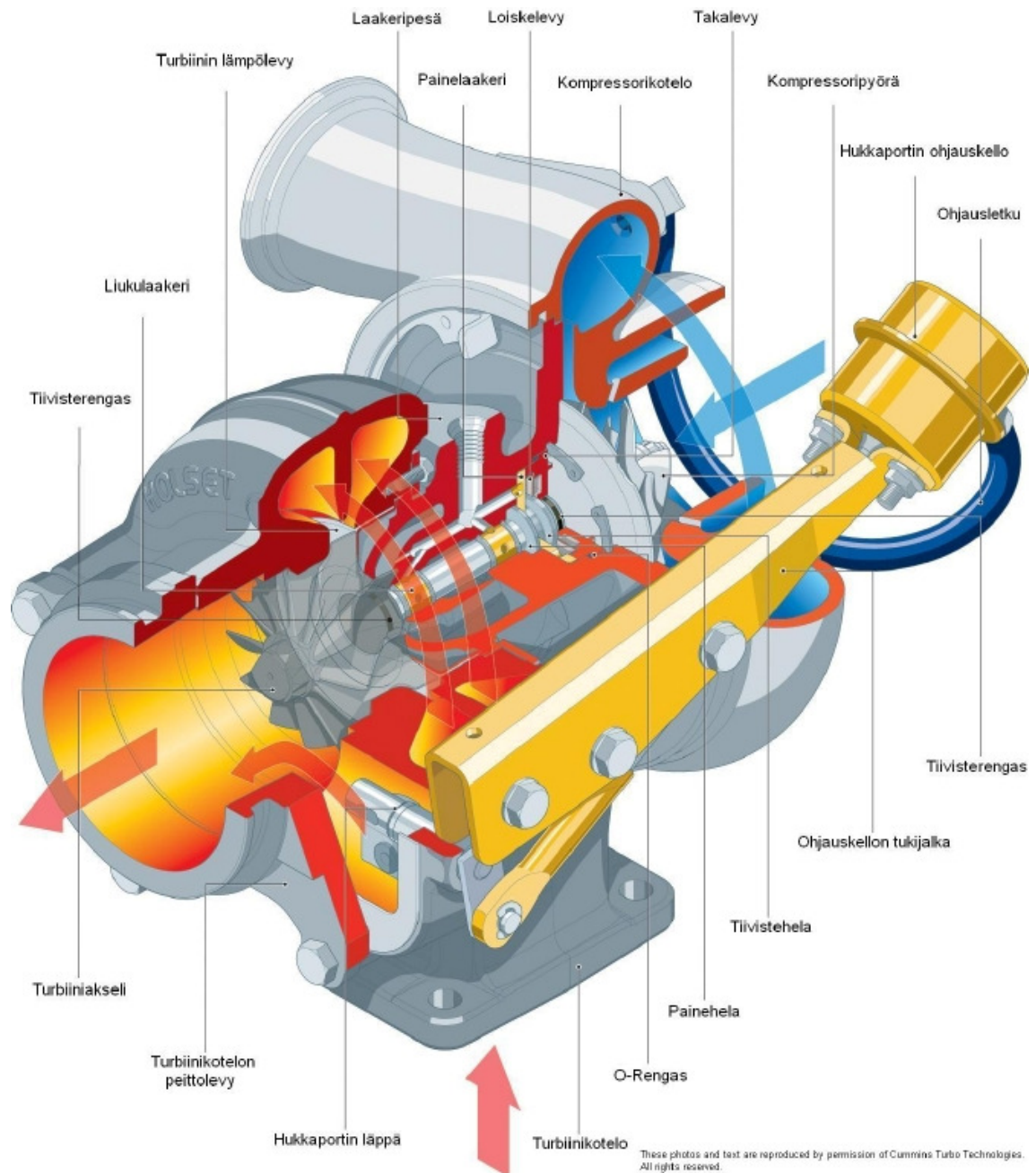
Moottorinohjauksen lisäksi yksi tärkein komponentti on tietenkin ahdin. Ahtimen mitoituksella pystytään vaikuttamaan täysin tehojen määrään ja tehon keston. Mikäli pienen moottoriin asennetaan suuri ahdin, saadaan aikaiseksi monesti vain pienen hetken kestävä tehopiikki joka on ajettavuuden kannalta epämiellyttävä. Hyvä ahdin onkin sellainen joka herää tarpeeksi matalilla kierroksilla ja jolla teho nousee jatkuvasti aina moottorin korkeimmille kierroksille saakka.

Ideaalista ahdinta on kuitenkin välillä vaikea löytää kun puhutaan jälkiahtamisesta, ahdin jää monesti joko liian pieneksi jolloin sen teho pienenee kierrosten noustessa tai ahdin on liian iso jolloin pienillä kierroksilla saatava vääntö heikkenee.

Ahtimia on käytössä käytännössä kahta erilaista, pakokaasuahdin eli kansankielessä turboahdin ja mekaaninen ahdin eli remmiahdin. Pakokaasuahdin saa voimansa nimensä mukaisesti moottorin pakokaasuista kun taas mekaaninen ahdin saa voimansa moottorin kampiakselilta yleisesti hihnan välityksellä.

2.4.1 Pakokaasuahdin

Pakokaasuahdin eli turboahdin on ehdottomasti yleisin ahtamiskeino nykyisissä ajoneuvoissa. Ahtimia asennetaan käytännössä lähes jokaiseen moderniin dieselmoottoriin ja yhä useampaan bensiinikäyttöiseen henkilöautoon. Kuvassa 1 nähdään perinteisen pakokaasuahhtimen rakenne ja komponentit.



KUVA 1. Turboahdin toiminta (Turboahdin toiminta)

Pakokaasuahdin koostuu siipipyörästä, turbiinista ja kompressorista. Moottorista saavat pakokaasut ohjataan turboahdinten turbiinikoteloon jossa ne pyörittävät ahtimen turbiinia joka puolestaan antaa liike-energian akselin välityksellä kompressoripyörälle. Ahtimen kompressorilla ahtaa puolestaan ilmaa moottoriin. (Turboahdin FAQ)

Pakokaasuahdin tarvitsee kovan pyörimisnopeuden vuoksi jatkuvaa voitelua laakereilleen. Ahtimen voitelusta vastaa ajoneuvokäytössä moottoriöljy ja ahdinta voidaan myös viilentää tämän lisäksi moottorin jäähdytysnesteellä (Turboahdin FAQ). Jälkiasennuk-

sessä tämä tarkoittaa että moottorin öljy- ja vesilinjoihin pitää tehdä muutoksia pakokaasuahdinten asennusvaiheessa.

Kun pakokaasuahdinta verrataan mekaaniseen ahtimeen, sen suurin etu on että se hyödyntää pakokaasusta saatavaa, muutoin hukkaan menevää energiaa, tämä puolestaan parantaa moottorin hyötysuhdetta. Huonoina puolina voidaan mainita edellä mainittu tarve tehdä muutoksia moottorin öljy- ja vesilinjoihin ja tarve uudelle pakosarjalle ja pakoputken alkuosalle. (Engineering Explained)

2.4.2 Mekaaninen ahdin

Mekaanisia ahtimia on käytännössä kolmea eri tyyppiä. Keskipakoahdin, roots -ahdin ja ruuviahdin. Keskipakoahdin muistuttaa toiminnaltaan ja ulkonäöltään pakokaasuahdinta, mutta siinä missä pakokaasuahdin saa pyörimisenergian pakokaasuilta, keskipakoahdinta pyöritetään kampiakselin avulla. Keskipakoahdinten tehon tuottoa pystytään säätämään hihnapyörien kokoa muuttamalla, mutta myös kompressorikotelon siipipyörää vaihtamalla. (Roots vs. Centrifugal vs. Screw Type Supercharging)

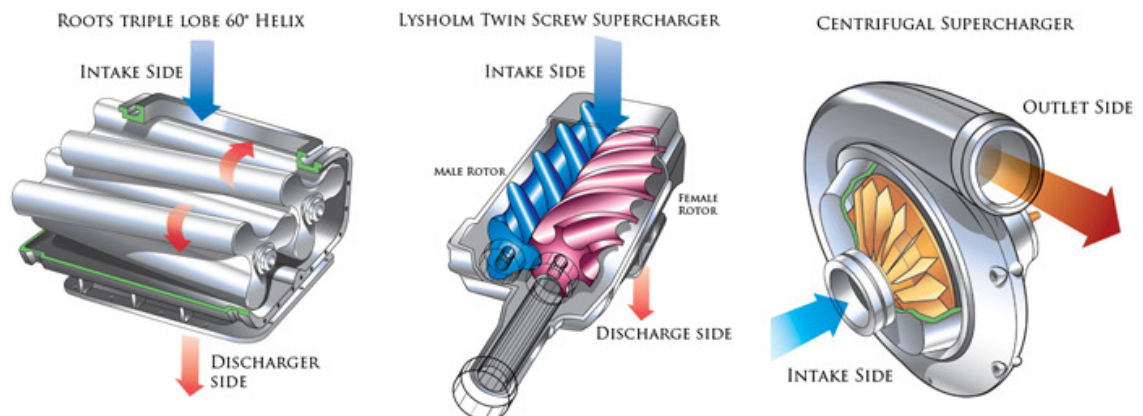
Keskipakoahdinten pieni koko, luotettavuus ja helppo muokattavuus onkin tehnyt siitä yhden suosituimman mekaanisen ahdintyyppin. Keskipakoahdinten ainoana huonona puolena on pienempi tehon tuotto pienillä kierroksilla verrattaessa ruuvi- ja roots -ahtimeen, keskipakoahdin vaatii myös voitelun moottorilta jolloin asennus on hieman roots- ja ruuviahdinta vaikeampaa. Kuvassa 2 nähdään keskipakoahdin kuvan oikeassa reunassa. (The Roots Supercharger)

Roots -ahdin on yksi ensimmäisistä mekaanisista ahdintyypeistä. Roots -ahdin koostuu kahdesta kiertomännästä jotka liikkuvat remmiahtimen kotelon sisällä. kiertomännät voivat olla joko kaksi- tai kolmesiipisiä riippuen ahtimen koosta. Roots -ahtimessa on itsessään oma voitelujärjestelmä joten moottorin voitelu ja jäähdytysjärjestelmiin ei tarvitse koskea asennuksessa. (Roots vs. Centrifugal vs. Screw Type Supercharging)

Roots ahtimen yksi suurimmista eduista on sen kyky tuottaa ahtopainetta heti tyhjäkäynniltä aina huippukierroksille asti. Ahtimen mitoitus on kuitenkin vaikeaa ja monesti ahtimen ilmantuotto jää pieneksi korkeilla kierroksilla. Myös ahtimen suurempi koko

voi vaikeuttaa asennusta ajoneuvoihin. Suurimpana miinuksena on kuitenkin ilman kova lämpeneminen, tätä edesauttaa myös se ettei ahdin purista ilmaa kasaan vaan toimii ennemminkin ilmapumppuna työntäen ilmaa moottoria kohti. Kuvassa 2 nähdään kolmesiipinen roots -ahdin. (Roots vs. Centrifugal vs. Screw Type Supercharging)

Ruuviahdin on suunniteltu roots -ahtimen pohjalta, mutta siinä missä roots -ahdin vain työntää ilmaa koneeseen, ruuviahdin myös puristaa ilmaa, tällöin ilman lämpötila saadaan pidettyä pienempänä ja ahtimen hyötysuhde paranee. Ruuviahtimen siivet eivät myöskään kosketa toisiaan ahtimen pyöriessä minkä seurauksena ahdin ei käytännössä kulu laisinkaan. Ruuviahtimen voitelu on toteutettu samalla tavalla kuin roots -ahtimessa. Kuvassa 2 nähdään Lysholm -tyyppinen ruuviahdin keskellä kuvaa. (The Roots Supercharger)



KUVA 2. Yleisimmin käytössä olevat mekaaniset ahtimet

Koska mekaaninen ahdin ottaa tehonsa kampiakselilta, ahtimen etuina pakokaasuahtimeen voidaan mainita muun muassa välitön tehon saanti aina tyhjäkäynniltä asti. Mekaanisen ahtimen asentamiseen ei myöskään tarvita pakosarjan muutoksia, eikä muutoksia öljy- ja vesilinjoihin joten se on monesti pakokaasuahdinta halvempi vaihtoehto. (Engineering Explained)

2.5 Polttoainesuuttimet

Polttoaineensuihkutusjärjestelmässä polttoaine syötetään palotilaan polttoainesuuttimilla. Suutin avautuu ja sulkeutuu sähköisesti moottorinohjauksen käskyjen mukaan ja polttoaineen ja ilman seossuhde pystytään säätämään tarkasti halutuksi. Moottorinohjaus ohjaa suuttimen sisällä olevaa solenoidia, joka avautuu päästäten paineistetun polttoaineen moottoriin. (Tracy, 2013)

Suuttimien mitoituksessa tärkeää on valita oikean kokoiset suuttimet, liian isot suuttimet eivät toimi kunnolla pienellä polttoainemäärällä, esimerkiksi tyhjäkäynnillä ja liian pienistä suuttimista voi loppua teho silloin kuin polttoainetta eniten tarvittaisiin.

2.6 Polttoainepumppu

Polttoainepumpun tehtävä on siirtää polttoaine ajoneuvon polttoainetankista suuttimille ja siitä lopulta aina moottoriin asti. Ruiskumoottorissa polttoainepumppu ylläpitää myös painetta bensalinjoissa, tavallinen bensanpaine polttoainejärjestelmässä on yleensä noin 3 baaria moottorin täydellä kuormalla (Tracy, 2013). Ahdetussa moottorissa bensanpaine nousee lineaarisesti ahtopaineiden mukaan, eli 1 baarin ahtopaineilla bensanpaineen pitää olla 4 baaria

2.7 Muut tarvittavat komponentit

Lisäksi työssä tarvittiin tärkeimpinä komponentteina laajakaista lambda, välijäähdytin, sekä suuremmat tehot kestävä kytkin. Tämän lisäksi ajoneuvoon piti vaihtaa ilmamasamittarin tilalle imusarjan paineanturi.

2.7.1 Laajakaista Lambda

Bensiinimoottoria virittäessä yksi parhaimmista turvallisuuskomponenteista on laajakaista lambda. Kapeakaista lambda poiketen laajakaista lambda voidaan tarkasti tarkastella moottoriin menevää polttoaine - ilma seosta.

Kapeakaista lambda tarkoittaa yleisesti Nernst cell tekniikalla toimivaa lambdaa. Kuvan 3 mukaisesti kapeakaista lambda antaa ulos jännitettä 0 - 1 voltin välillä, kuvassa pystyakselilla on jännite ja vaakakselilla lambda-arvo. Kuten kuvasta 3 nähdään, kapeakaista lambda on suhteellisen tarkka seoksen ollessa lähellä lambda arvoa 1. Tällöin polttoaine -ilmaseos on palamisen kannalta ihanteellisin.

Lambda arvon noustessa, eli seoksen laihentuessa tarkkuus pienenee, mutta on kuitenkin luettavissa suhteellisen tarkasti. Suurempi ongelma on kuitenkin lambda arvon pienentyessä, jolloin lämpötila vaikuttaa suuresti lambdaalta saatavaan signaaliin (Aem electronics 2014, 3.). Ajoneuvon kiihtyvyyden kannalta paras seossuhde lähentelee 0,85 - 0,9 lambda arvoa vapaasti hengittävissä moottorissa ja 0,75 - 0,8 lambda arvoa ahdetussa moottorissa.

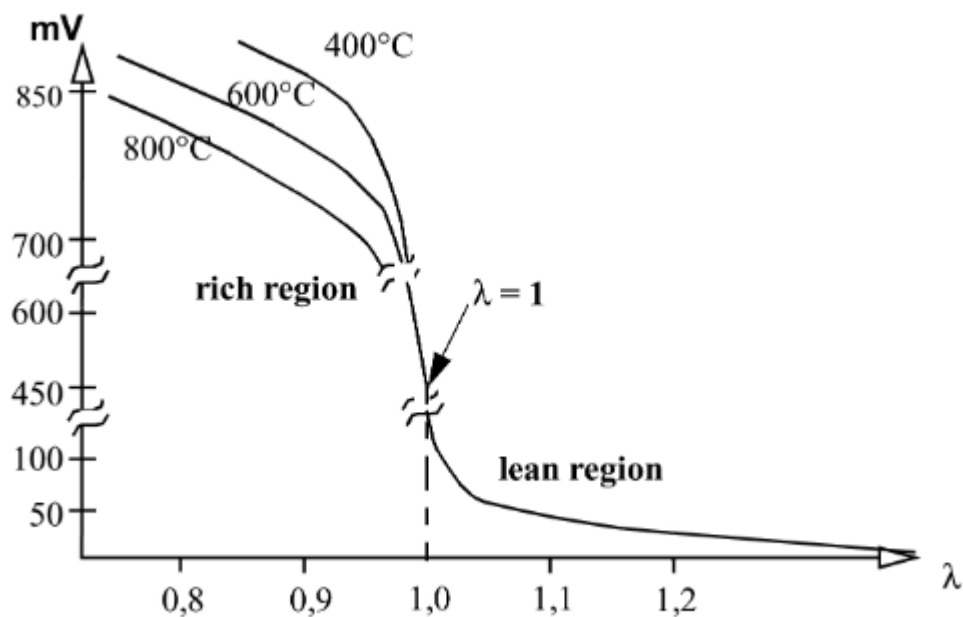
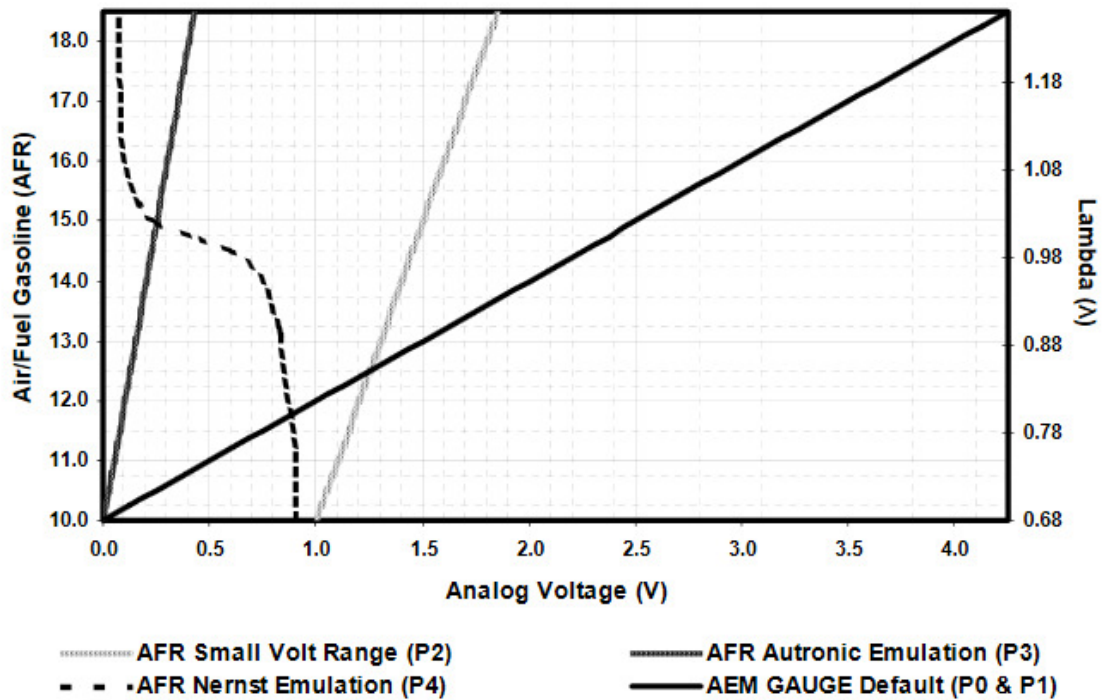


Figure 1. Characteristic curve of a Nernst Cell O2 Sensor

KUVA 3. Kapeakaista lambda (Aem electronics 2014, 3)

Epätarkkuutensa vuoksi kapeakaista lambda ei siis sovellu tarkempiin ajoneuvon seosten tarkkailuun, vaan tarvitaan laajakaista lambda. Kuvasta 4 nähdään ero laajakaista- ja kapeakaista lambda signaaleilla. Kuvassa 4 vasemmalla pystyakselilla on bensa -ilmaseos, oikealla pystyakselilla on vastaavat lukemat lambda arvoina ja vaakakselilla on anturilta saatava jännite.



KUVA 4. Laajakaistasta saatavat ulostulosignaalit. (Aem electronics 2014, 12)

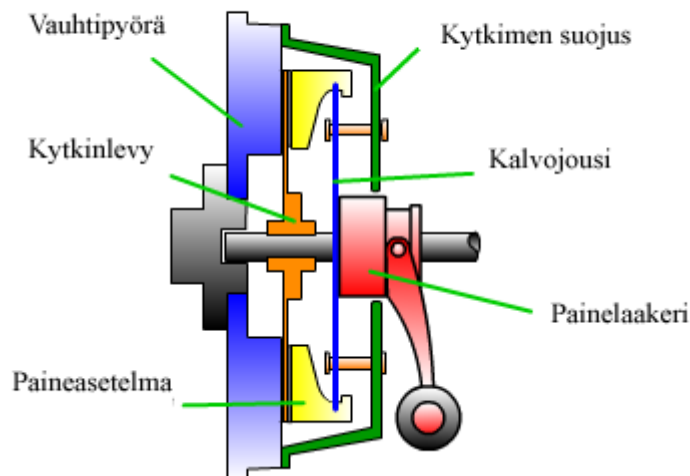
Kuten kuvasta 4 nähdään laajakaista lambdaalta saatava signaali on lineaarinen 0 voltista aina 5 volttiin asti. Tällöin mittaustarkkuus on laajempi ja tarkempi kuin kapeakaista lambdaalla joka toimii vain 0 - 1 voltin välillä ja on epälineaarinen.

2.7.2 Välijäähdytin

Mitä enemmän ahdin ahtaa, sitä lämpoisemmäksi ahtimelta tuleva ilma muuttuu. Koska kuuma ilma sisältää vähemmän happimolekyylejä kuin kylmä ilma tarvitaan välijäähdytin viilentämään ahtimelta tulevaa ilmaa. Välijäähdyttimen tehtävä on yksinkertaisesti viilentää ahtimelta moottoriin tuleva ilma ja parantaa moottorilta saatavaa tehoa. Viileämpi ilma myös pienentää sylinterin lämpötilaa ja ehkäisee nakutusta. (What is an intercooler)

2.7.3 Kytkin

Kytkin sijaitsee moottorin ja vaihdelaatikon välissä ja on osa ajoneuvon voimansiirtoa. Yksinkertaisimmillaan kytkimen tehtävä on kytkeä ja irrottaa moottorilta tuleva voima vaihdelaatikolle ja siitä eteenpäin perälle ja aina renkaille asti. Kuvassa 5 nähdään kytkimen osat. (Bumbeck)



KUVA 5. Kytkin

Vauhtipyörä pultattu kiinteästi kiinni moottorin kampiakseliin ja täten pyörii aina samaa vauhtia kuin moottori. Paineasetelma puolestaan on pultattu kiinni vauhtipyörään. Paineasetelman tehtävä on pitää kytkinpaketti kasassa ja irrottaa kytkinlevy vauhtipyörästä kun kytkintä painetaan. Kun kytkin on painettuna pohjaan ei veto enää välity moottorilta vaihdelaatikolle ja vaihteen vaihtaminen onnistuu. (Bumbeck)

Kytkinlevyn molemmilla puolilla on kitkapinta joka kiinnittyy toiselta puolelta vauhtipyörään ja toiselta paineasetelmaan. Kytkimen tehonkesto riippuu kytkimen pinta-alasta, käytetystä materiaalista ja paineasetelman jäykkyydestä. Kun ajoneuvon tehoa kasvatetaan ei alkuperäisen kytkimen tehonkesto riitä ja kytkin rupeaa tällöin luistamaan eikä teho välity enää moottorilta vaihdelaatikolle. (Bumbeck)

3 KOMPONENTTIEN MITOITUS JA VALINTA

3.1 Moottorinohjauksen valinta

Uuden moottorinohjausyksikön valinnassa kannattaa kiinnittää huomiota siihen mitä ominaisuuksia moottori vaatii. Vanhemmassa moottoreissa ei yleensä ole sellaista teknologiaa minkä johdosta täytyisi ostaa pitkälle kehitelty moottorinohjausyksikkö, vaan monesti halvemmallaakin tulee yhtä hyvin toimeen.

Kriteereinä moottorinohjausyksikölle oli moottorin käyntiin saamisen lisäksi, suora liitettävyyden Mazda alkuperäiseen johtosarjaan, tällöin ajoneuvo pystyttäisiin saattamaan takaisin alkuperäiseen kuntoon ja ajoneuvon ei tarvitsisi lisätä uutta moottorin johtosarjaa. Kohde ajoneuvossa moottorinohjaus säätää myös laturin jännitettä ja halusin säilyttää tämän ominaisuuden laturin vaihtamisen sijaan.

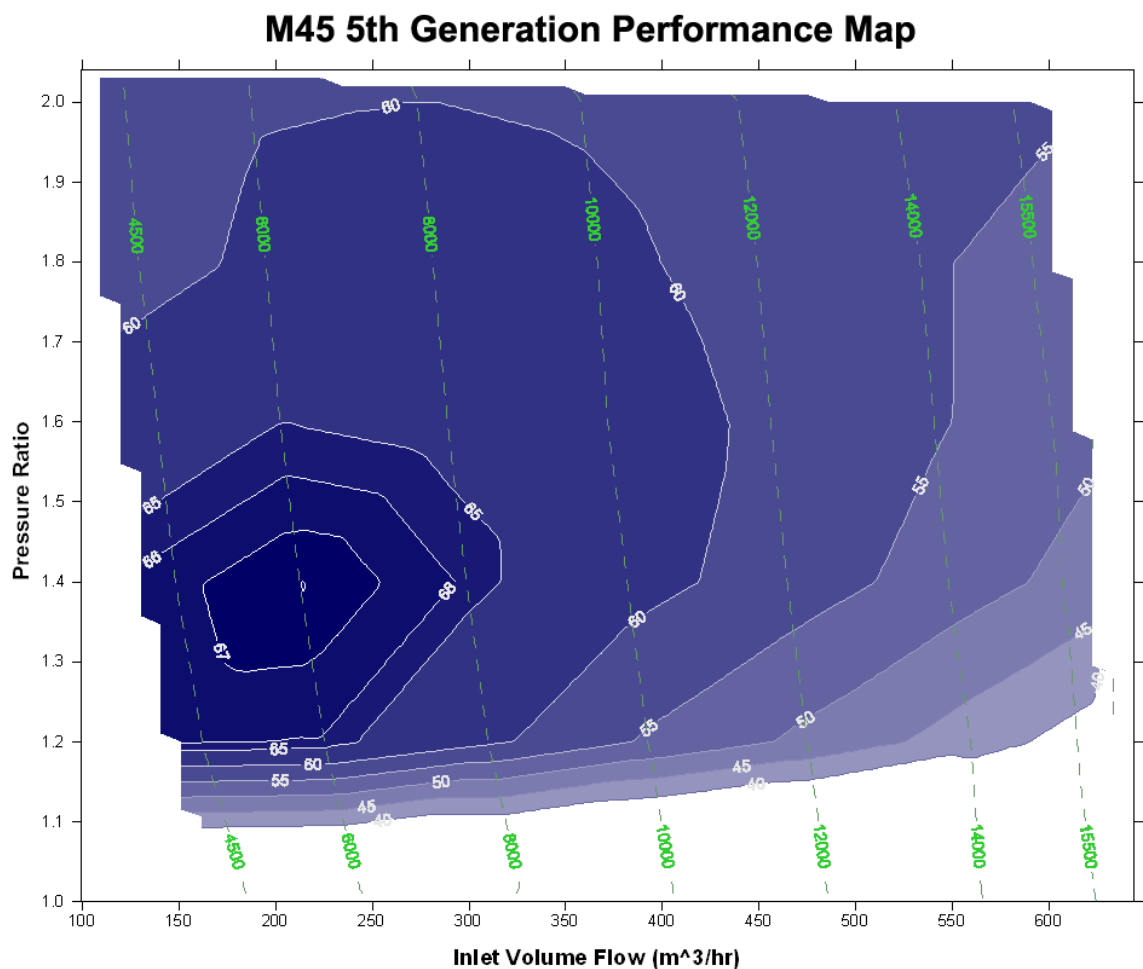
Koin myös että moottorinohjausta olisi hyvä päästä itse säätämään tarvittaessa ja että siitä löytyisi hyvin tietoa. Monen valmistajan moottorinohjauksista löytyy hyvin suppeasti tietoa ja moottorinohjaimen säätäminen on tarkoitettu tehtäväksi valtuutetuilla jälleenmyyjillä. Tällöin jokaisen pienen muutoksen jälkeen ajoneuvo on vietävä säädettäväksi, joka kuluttaisi ylimääräistä aikaa ja rahaa.

Koska työ tehtiin pienellä budjetilla, eikä näin ollen kalliimpiin moottorinohjauksiin ollut mahdollisuutta, päädyttiin työssä kreikkalaiseen mslabs:n valmistamaan Enhanced MS2:een. Kyseinen yksikkö on valmistettu Megasquirt:n pohjalle toimimaan täysin MX-5 ajoneuvossa ja sen pystyy liittämään alkuperäiseen moottorin johtosarjaan. Moottorinohjaus sisältää muun muassa tarvittavan laturin säädön, digitaalisen laajakaistalambdan ohjauksen, OBD-II väylän, ahtopaineiden säädön ja monia muita tässä työssä vähemmän oleellisia ominaisuuksia. (MS labs ECU Comparison Sheet)

3.2 Ahtimen mitoitus ja valinta

Projektin tekohetkellä oli saatavissa suhteellisen edullinen remmiahdin paketti kohdeajoneuvoon. Remmiahdin on merkkiä Eaton M45 ja se on kolmisiipinen roots ahdin. Ahdin on alunperin lähtöisin Mini Cooper S mallista. Minissä remmiahdin on asennettu 1.6 litraiseen moottoriin josta tehoa saadaan 160 hevosvoimaa (Robinson, Aaron).

Ennen remmiahtimen hankkimista, tarkistin ahtimen tehokartan, josta näkee ahtimen hyötysuhteen ja ahtimen tuottaman ilmamäärän eri paineilla. Kuvan 6 vaaka-akselilla on ilmamäärä ja pystyakselilla on ahtimen painesuhde. Kuvan sisällä olevat alueet kuvaavat ahtimen hyötysuhdetta ja pystyviivoin olevat luvun ahtimen pyörimisnopeutta.



KUVA 6. M45 Mekaanisen ahtimen teho kartta. (M45 Performance Map)

Jotta pystyttäisiin tietämään riittääkö kyseinen ahdin halutuille tehoille, täytyy laskea vapaasti hengittävän moottorin ilmamäärä huippukierroksilla kaavalla 1.

$$\frac{m^3}{h} = \eta_v \cdot n \cdot \frac{l}{2} \cdot \frac{h}{V} \quad (1)$$

jossa η_v on moottorin arvioitu tilavuushyötysuhde (85%), n on moottorin maksimi pyörimisnopeus $\frac{1}{\text{min}}$, l on moottorin litratilavuus, h on ajan muunnos (60) ja V on litratilavuuden muutos kuutioksi (1000). Kaavaa 1 käyttämällä saadaan moottorin ilmamääräksi $293 \frac{m^3}{h}$.

Kun tiedetään että moottorin tuottama teho on $293 \frac{m^3}{h}$ ilmamäärällä on noin 110 hevosvoimaa, voidaan arvioida, että jos ilmamäärä saadaan tuplattua myös moottorin tuottama teho tuplaantuisi. Haluttuun 200 hevosvoiman tehoon tarvittaisiin siis 82 % suurempi ilmamäärä eli noin $532 \frac{m^3}{h}$.

Koska 110 hevosvoimaa saavutetaan yhden baarin ilmanpaineessa, tarvitaan haluttuun tehoarvoon 82 % suurempi paine, eli noin 1,82 baaria. Kuvasta 6 selviää että haluttu $530 \frac{m^3}{h}$ ilmamäärä 1,82 baarin paineilla saadaan kun ahdin pyörii noin $14\,000 \frac{1}{\text{min}}$.

Remmiahtimen tehoa pystytään säätämään moottorin hihnapyörän ja ahtimen hihnapyörän suhteella. Jos ahtimesta halutaan paras hyötysuhde jokaiselle kierrosluvulle, pitäisi ahtimen pyöriä $15\,500 \frac{1}{\text{min}}$, moottorin pyörimisnopeuden ollessa $7200 \frac{1}{\text{min}}$. Tällöin moottorin hihnapyörän ja ahtimen hihnapyörän välinen suhde olisi noin 2,15:1. Haluttuun 200 hevosvoiman tehoon ahtimen pitäisi pyöriä $14\,000 \frac{1}{\text{min}}$ moottorin pyöriessä $7200 \frac{1}{\text{min}}$, tällöin hihnapyörrien väliseksi suhteeksi tulee 1,94:1. Työssä käytetty välitysuhde oli 2:1

3.3 Polttoainesuuttimien mitoitus ja valinta

Kun ajoneuvoa ryhdytään ahtamaan jäävät alkuperäiset suuttimet yleensä aina liian pieneksi. Auton alkuperäiset suuttimet olivat myös työn tekohetkellä yli 15 vuotta vanhat, joten ne päädyttiin vaihtamaan.

Mazdan alkuperäissuuttimet ovat Denson valmistamat 195500-3030 suuttimet jotka tuottavat $205 \frac{\text{cc}}{\text{min}}$ 3 baarin paineella. Jotta pystytäisiin laskemaan kuinka suuret suuttimet moottori tarvitsee, tarvitaan laskea polttoaineen massavirta $'m_f$ kaavalla 2

$$'m_f = \frac{P_e}{n_e h_n} \quad (2)$$

jossa $'m_f$ on polttoaineen massavirta, P_e on valmistajan ilmoittama moottorin teho kilowatteina (82 kW), n_e on moottorin kokonaishyötysuhde (33 %) ja h_n on polttoaineen alempi lämpöarvo ($42\,000 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$). Kaavaa 2 käyttäen polttoaineen massavirraksi saatiin noin $0,00592 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$.

Kun polttoaineen massavirta tiedettiin, pystyttiin laskemaan polttoaineen ominaiskulutus b kaavalla 3.

$$b = \frac{3,6 \cdot 10^6 \cdot 'm_f}{P_e} \quad (3)$$

jossa b on polttoaineen ominaiskulutus, $'m_f$ on polttoaineen massavirta ja P_e on moottorin teho kilowatteina. Kaavaa 3 käyttäen polttoaineen ominaiskulutukseksi saatiin $259,74 \frac{\text{g}}{\text{kWh}}$.

Kun ominaiskulutus tiedetään, voidaan laskea mille tehoille auton nykyiset $205 \frac{\text{cc}}{\text{min}}$ suuttimet riittävät, tätä ennen suuttimien yksikkö muutetaan muotoon $\frac{\text{g}}{\text{h}}$ kaavalla 4.

$$inj_s = inj_k \cdot \rho_f \cdot h \quad (4)$$

jossa inj_s on suuttimien koko $\frac{g}{h}$, inj_k on suuttimien koko $\frac{cc}{min}$, ρ_f on polttoaineen tiheys $0,75 \frac{kg}{l}$ ja h on ajan muutos minuuteista tunneiksi. Kaavaa 4 käyttäen saadaan suuttimien kooksi $9225 \frac{g}{h}$.

Kun suuttimien yksikkö on muutettu kaavaan sopivaksi, voidaan laskea suuttimilta saatava teho kaavalla 5.

$$kW_s = \frac{inj_s \cdot inj_n \cdot DUTY}{b} \quad (5)$$

jossa kW_s on suuttimilta saatava maksimiteho, inj_s on suuttimen tuotto $\frac{g}{h}$, inj_n on suuttimien määrä, DUTY on suuttimen aukiolomäärä prosentteina yhden työkierron aikana (80 %) ja b on moottorin ominaiskulutus $\frac{g}{kWh}$.

Kaava 5 käyttämällä saadaan selville että alkuperäiset suuttimet riittäisivät bensalla noin 113,7 kW tehoille. Kun kaavaa 5 muunnetaan kaavan 6 muotoon, voidaan laskea haluttu suuttimien koko kun moottorin tehoksi halutaan 200 hevosvoimaa, eli noin 149,1 kW.

$$inj_s = \frac{kW \cdot b}{inj_n \cdot DUTY} \quad (6)$$

jossa inj_s on suuttimen tuotto $\frac{g}{h}$, kW on moottorilta haluttu maksimiteho kilowatteina, b on moottorin ominaiskulutus $\frac{g}{kWh}$, inj_n on suuttimien määrä (4) ja DUTY on suuttimen aukiolomäärä prosentteina yhden työkierron aikana (80 %).

kaavan 6 tuloksena saadaan $12094,2 \frac{g}{h}$ joka muutetaan muotoon $\frac{cc}{min}$ niin tulokseksi saadaan noin $269 \frac{cc}{min}$. Koska koeajoneuvossa päädyttiin käyttämään polttoaineena etanolia jonka energiasisältö on noin 28 % huonompi kuin bensiinillä (Eko E85), tulisi polttoainesuuttimien olla vähintään $344 \frac{cc}{min}$.

Vapaasti hengittävä moottori saavuttaa huippunopeuden lambda arvon ollessa 0.85 - 0.9, kun taas ahdetulla moottorilla tarvitaan rikkaampi seos huipputehon saavuttamiseen, lambda on tällöin noin 0,75 - 0,8 (Banish, Greg). Kun tämä otetaan vielä suuttimien koossa huomioon saadaan tarvittavaksi suuttimen kooksi noin $400 \frac{\text{cc}}{\text{min}}$.

Jotta ajoneuvon säätäminen olisi helpompaa, eikä polttoaineen loppumista tarvitsisi pelätä, päädyttiin työssä Boschin valmistamiin EV14 $550 \frac{\text{cc}}{\text{min}}$ suuttimiin. Projektin teko hetkellä $550 \frac{\text{cc}}{\text{min}}$ suuttimia ei kuitenkaan ollut helposti saatavilla ja lopulta projektiin tuli Bosch EV14 $630 \frac{\text{cc}}{\text{min}}$ suuttimet.

3.4 Polttoainepumpun mitoitus ja valinta

Kohdeajoneuvon alkuperäisestä polttoainepumpusta löytyi työntekohetkellä huonosti tietoa ja pumppu päätettiin vaihtaa bensansaannin varmistamiseksi. Samalla kun polttoainepumppu vaihdettiin, päädyttiin myös päivittämään pumppu vastaamaan teho tavoitetta.

Polttoainepumppu päätettiin mitoittaa vastaamaan suuttimien polttoaineen tarvetta täydellä teholla. Tämä olisi maksimi mitä pumpun pitäisi pystyä tuottamaan ja koska suuttimia pyrittäisiin käyttämään alle 80 % teholla, ei polttoaine tulisi loppumaan missään vaiheessa.

Koska polttoainepumput mitoitetaan yleensä gallonaa/tunnissa, tuli suuttimien polttoaineen käyttö muuttua tähän muotoon. Kun $1 \frac{\text{cc}}{\text{min}} = 0,016 \text{ gph}$, saatiin neljälle $630 \frac{\text{cc}}{\text{min}}$ suuttimelle polttoainemääräksi 40,32 gph.

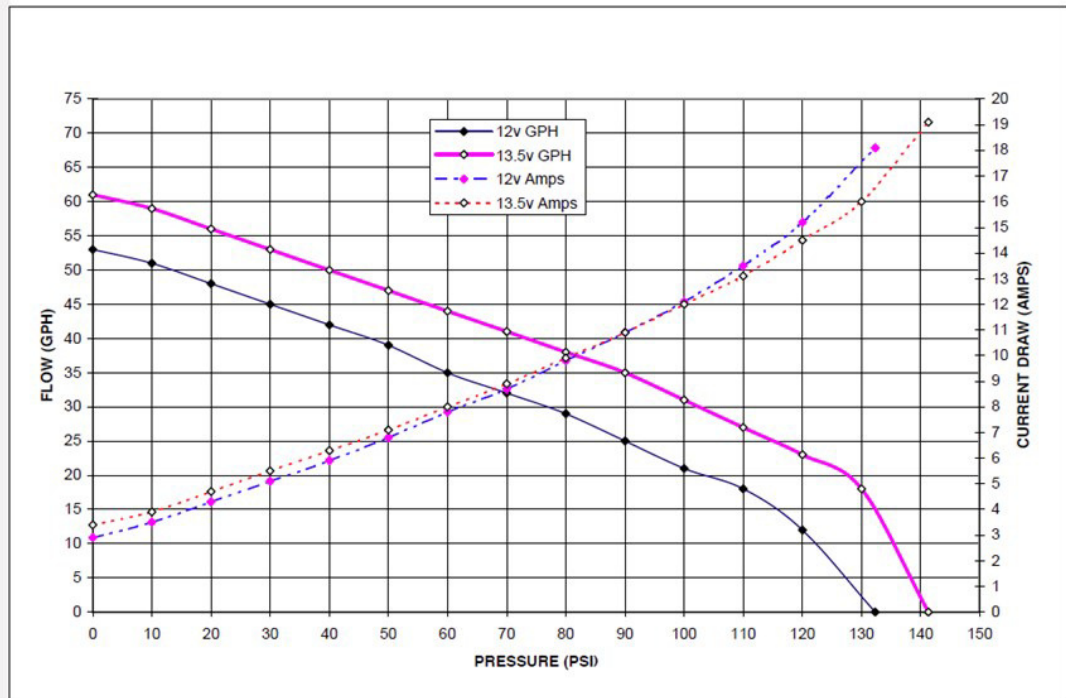
Mekaanisen ahtimen tuottaman maksimiahtopaineen ollessa 2 baaria täytyisi polttoainepumpun tuottaa 40 gph vähintään 4 baarin paineella. Tällöin polttoaineen ja ilman välinen paine-ero pysyisi vakiona.

Kuvassa 7 nähdään Walbron 190 LPH High Pressure polttoainepumpun tuotto eri jännitteellä. Vasemmalla pystyakselilla on polttoaineen virtaus gallonaa/tunnissa ja alhaalla

on polttoaineen paine paunaa neliötuumaa kohden. Tarvittava 4 baarin paine oli siis noin 58 PSI.

Pump GSL394 Typical Performance

Flow vs. Pressure 12 and 13.5 VDC in Stoddard Solvent



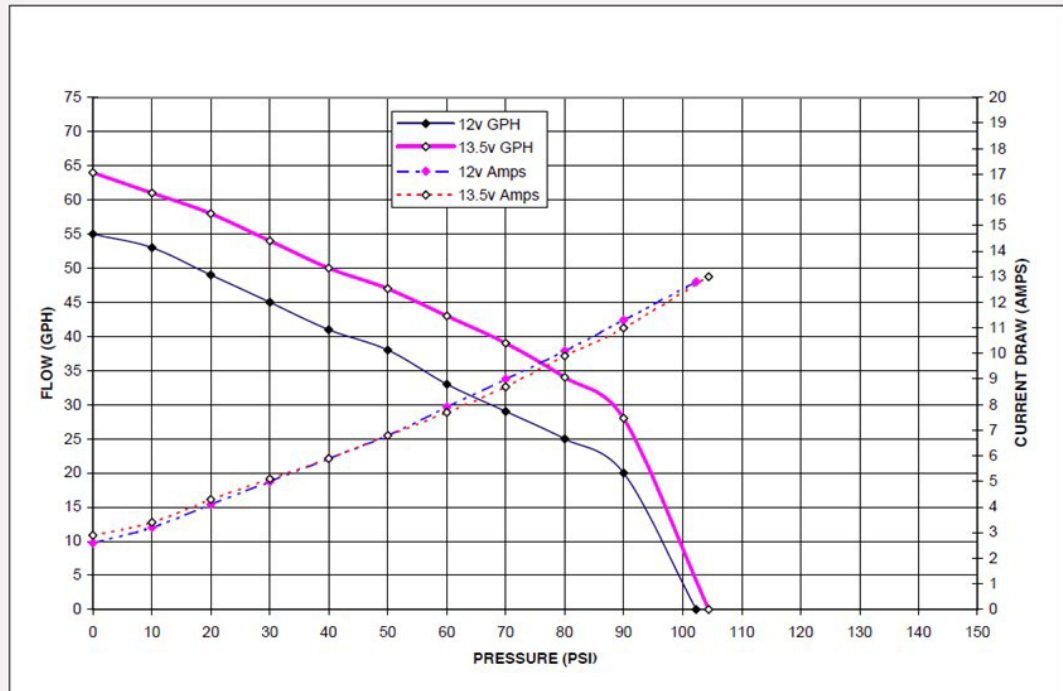
KUVA 7. Walbro 190 LPH HP

Kuten kuvasta 7 nähdään Walbro 190 LPH pumppu tuottaa 13,5 voltin jännitteellä 40 gph aina 73 PSI (5 bar) paineelle.

Vastaavasti Walbron 190 Standard Pressure polttoainepumppu tuottaa kuvan 8 mukaisesti lähes saman polttoainemäärän pienemmillä paineilla, mutta korkeammille paineille mentäessä pumpun teho putoaa ja tuotto heikkenee huomattavasti.

Pump GSL391 Typical Performance

Flow vs. Pressure 12 and 13.5 VDC in Stoddard Solvent



KUVA 8. Walbro 190 Standard Pressure.

Teoriassa Walbro 190 Standard Pressure pumppu olisi riittänyt tarvittavaan 40 gph, valmistaman antamissa virtauskaavioissa ei kuitenkaan oteta huomioon polttoaineeseen kohdistuvia painehäviöitä sen kulkiessa polttoainetankista suuttimille, jolloin pumpun maksimituoton ollessa vain noin 43 gph paineen ollessa 60 PSI, päädyttiin turvallisempaan Walbro 190 LPH HP versioon.

3.5 Laajakaista lambdan valinta

Työssä päädyttiin AEM:n valmistamaan AEM UEGO 30-4110 laajakaistalambdaan. Kyseinen lambda käyttää uusinta Boschin LSU 4.9 lambda-anturia ja on ominaisuuksiltaan työhön täysin soveltuva. Lambdan pystyy kiinnittämään moottorinohjaukseen digitaalisesti mikä vähentää häiriöitä ja parantaa signaalin tarkkuutta. AEM oli myös vertailemistani merkeistä työn tekohetkellä halvin ja merkki on tunnettu hyvästä laadustaan.

3.6 Välijäähdyttimen ja ahtoputkien valinta

Välijäähdyttimen valinnassa pyrittiin hyödyntämään olemassa oleva tila ajoneuvon keulalta ilman suurempia muokkauksia ajoneuvon runkoon. Koska kyseessä oli mekaanisesti ahdettu roots -ahtimella varustettu ajoneuvo tarvittiin ilman jäähdyttämiseen enemmän tehoa kuin vastaavan kokoiseen pakokaasuahtimeen.

Ajoneuvon keulalta otettiin tarpeelliset mitat ja niiden perusteella ruvettiin etsimään sopivan kokoista välijäähdytintä. Sopivan mittainen välijäähdytin löytyi lopulta Saab 9000 mallista. Kyseinen välijäähdytin oli noin 500 mm leveä, 420 mm korkea ja 30 mm paksu. Välijäähdyttimen lähdöt olivat suunnattu hyvin yläviistoon, jolloin suurimmilta korin muokkauksilta vältyttäisiin ja ahtoputkista saataisiin mahdollisimman lyhyet.

Ahtoputket päätettiin tehdä työn alusta alkaen itse. Koska välijäähdytin tulisi olemaan eri ajoneuvosta eikä kyseistä jäähdytintä ollut käytetty MX-5:ssä olisi ahtoputkien teettäminen kallista. Ahtoputkien materiaali tulisi olemaan joko alumiini tai teräs. Teräksen helpomman saatavuuden, halpuuden ja ahtoputkien lyhyen pituuden takia päädyin tekemään ahtoputket teräksestä.

Mekaanisen ahtimen ulostulon, välijäähdyttimen ulostulon ja ajoneuvon alkuperäisen kaasuläpän ulostulon ollessa noin 63 mm halkaisijalla, päädyttiin ahtoputket tekemään samankokoisesta materiaalista. Loppujen lopuksi ahtoputkiksi riitti yksi 45 asteen kulmalla oleva putki ja yksi suora noin 10 cm pituinen putki. Tämän lisäksi tarvittiin kaksi 90 asteen silikonimutkaa, yksi 30 asteen silikonimutka ja yksi lyhyt suora silikoniletku.

3.7 Kytkimen valinta

Ajoneuvon alkuperäinen kytkin on mitoitettu kestäämään tehtaalta 110 hevosvoiman tehon ja 134 Nm väännön. Koska teho ja vääntö tultaisiin projektin aikana lähes tuplaamaan, tarvittiin järeämpää kytkintä. Halusin ajettavuuden ja kytkintuntuman pysyvän kuitenkin alkuperäisen kaltaisena, joten lähdin etsimään tietoa Mazdaan saatavilla olevista alkuperäisistä kytkimistä.

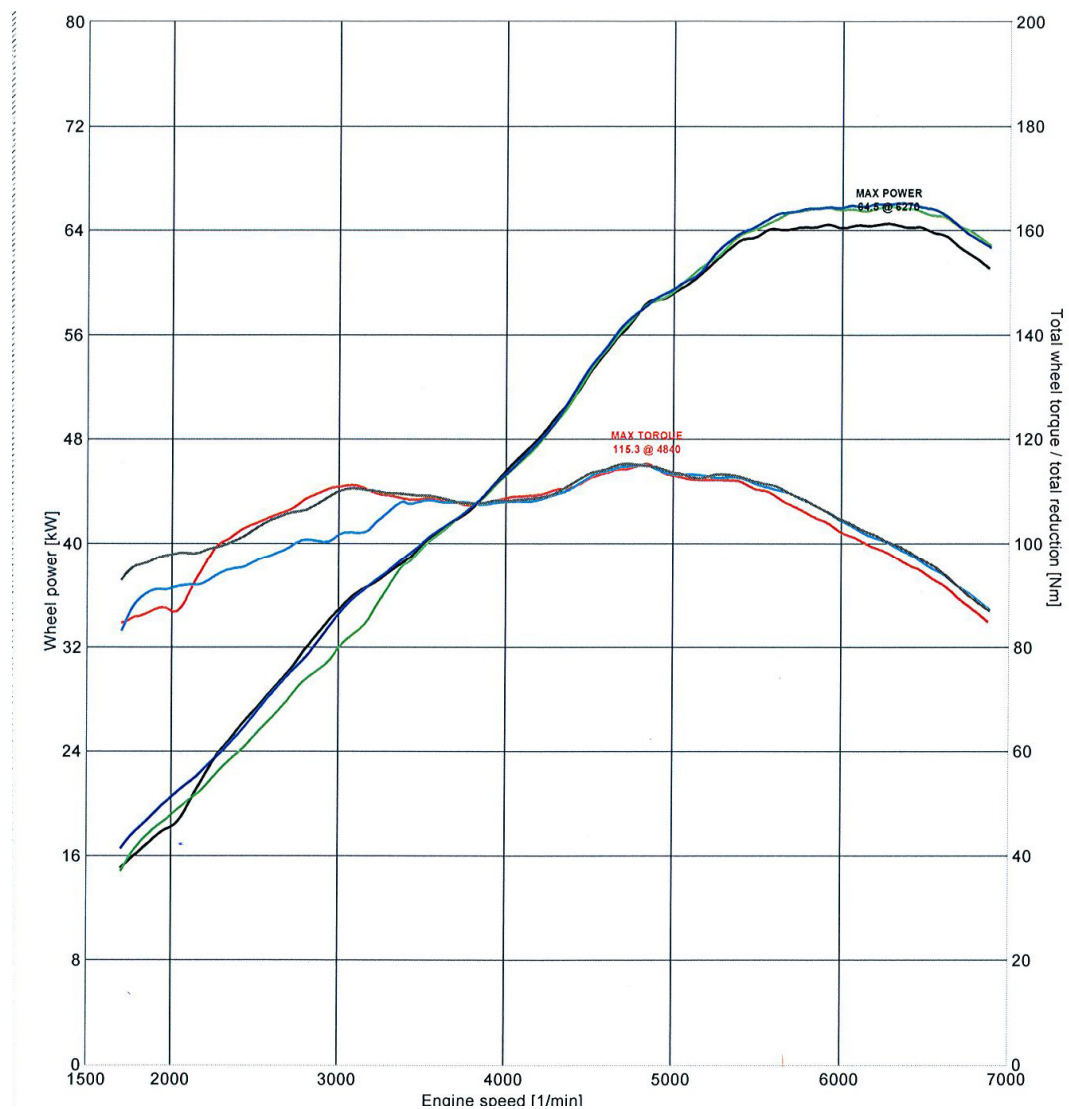
Mazda MX-5 on ollut saatavilla Suomessa myös 1.8 litraisella tehokkaammalla moottorilla. Tämä moottori tuottaa 146 hevosvoiman ja 168 Nm väännön (Mazda MX-5 II (NB) - 1.8i). Kytöntä ei kuitenkaan valmisteta suoraan ajoneuvon tehoihin nähden, vaan kytkimeen jätetään yleensä 20 - 30 % tehoreservi, tällöin 1.8 litraisen kytkinpaketin pitäisi kestää tarvittava teho. Kytkimestä oli myös hyviä kokemuksia keskustelupalstoilla ja kytkimiä löytyi hyvin ja halvalla.

Kytöimen vaihdon yhteydessä pitää 1.6 moottoriin vaihtaa myös 1.8 vauhtipyörä ja painasetelma. Monet jälkimarkkinoilla olevat kestävämmät kytkimet oli myös valmistettu pelkästään 1.8 vauhtipyörälle sopiviksi, joten paremman saatavuuden kannalta päädyin hankkimaan 1.8 vauhtipyörän. Vauhtipyörän mukana tuli Mazdan alkuperäinen kytkinlevy ja painasetelma jotka asennettiin autoon vauhtipyörän vaihdon yhteydessä.

4 ASENNUSTYÖ

Ennen varsinaista remmiahtimen asennusta moottorille tehtiin perushuolto, joka kattoi öljyn vaihdon, öljyn, polttoaine- ja ilmansuodattimen vaihdon ja tulppien vaihdon. Ajoneuvoon vaihdettiin myös uusi jakopään hihnan ja vesipumppu ja tarkastettiin jarrujen ja alustan toiminta. Jakopään hihna vaihdettiin ajoneuvon arveluttavan historian vuoksi riskien minimoimiseksi.

Tämän jälkeen ajoneuvo käytettiin Tampereen ammattikorkeakoululla alustatehodynamometrillä, Rototest VPA-RX33:lla. Kuvassa 9 näkyy ajoneuvon tuottama vääntö ja teho renkailta. Vasemmalla pystyakselilla on teho kilowateissa ja oikealla vääntö Newtonmetreissä ja vaaka-akselilla moottorin kierrosnopeus kierroksina minuutissa



KUVA 9. Lähtökohta

Kuten kuvasta 9 nähdään, ajoneuvon tuottama maksimiteho oli 64,5 kW kierrosluvulla $6270 \frac{1}{\text{min}}$ ja maksimivääntömomentti 115.3 Nm saadaan $4840 \frac{1}{\text{min}}$ kierrosluvulla

Varsinainen jälkiahtaminen alkoi ahtimen paikan määrittämisellä. Mazdassa mekaaninen ahdin asennetaan yleensä pakosarjan yläpuolelle. Alunperin pakosarjan päällä sijaitsee tuulilasin pesunestesäiliö, joka poistettiin työn aluksi. Seuraavaksi irrotettiin pakosarjan suojaapelti.

Tämän jälkeen asennettiin vähemmän tilaa vievä pakosarjan suojaapussi ja mekaanisen ahtimen teline pakosarjan päälle kuvan 10 mukaisesti. Kuvassa on myös asennettuna mekaanisen ahtimen hihnan kiristin.



KUVA 10. Mekaanisen ahtimen kiinnike ja pakosarjan suoja

Kuvassa 11 nähdään mekaanisen ahtimen hihnan kiristin paremmin. Kiristin tuli alkupe-
räisen ohjaustehostimen kiristimen tilalle ja mekaanista ahdinta pyörittävä hihna pyörit-
tää myös ohjaustehostinta.



KUVA 11. Hihnankiristin

Seuraavaksi mekaaninen ahdin asennettiin telineeseen ja ahtimeen tulevat lähdöt kiinnitettiin paikalleen. Ahtimen mukana tuli valmiiksi muokattu ilmanotto omalla kaasuläpällä. Kun mekaaninen ahdin oli asennettu kokonaisuudessaan, ruvettiin suunnittelemaan tarvittavia ahtoputkia ja välijäähdyttimen sijaintia.

Kuvassa 12 näkyy ahdin asennettuna, tämän jälkeen jouduttiin kuitenkin muokkaamaan ahtimen mukana tulleen kaasuläpän sijaintia tämän osuessa jarruputkiin.



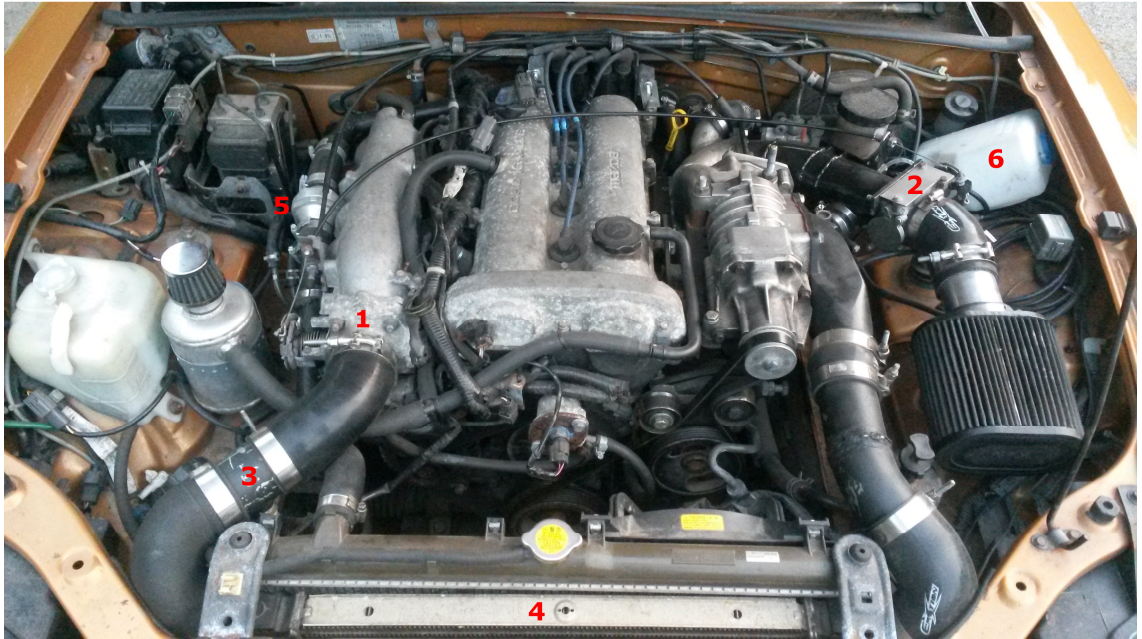
KUVA 12. Ahtimen koeasennus

Samalla kun muokattiin kaasuläpän sijaintia, päädyin myös tekemään muutoksia ajo-neuvon nestekiertoön jäähdytyksen parantamiseksi. Tämä osa työstä ei ole välttämätön kadulla ajettaessa, mutta kovemmassa rata-ajossa saattaisi tulla ongelmia ilman kyseistä muutosta.

Seuraavaksi vaihdettiin uudet suuttimet vanhojen suuttimien tilalle ja asennettiin uusi polttoainepumppu polttoainesäiliöön. Suuttimet ja polttoainepumppu sopivat suoraan alkuperäisten osien tilalle, asennuksen jälkeen tarkistettiin polttoainelinjaston tiiveys ja jatkettiin asennustöitä.

Kun ahdin oli aseteltu sen lopulliseen paikkaan piti vielä mitata tarvittavan hihnan pituus ja tarkistaa ahtimen hihnapyörän suoruus koneeseen nähden. Ahtimen hihnapyörän suoruus koneen hihnapyöriin nähden tarkistettiin pitkällä metallilevyllä ja ahtimen sijainti hienosäädettiin säätöpaloilla kohdilleen.

Kuvassa 13 nähdään valmis asennus. 1 on merkitty alkuperäinen kaasuläppä. 2 merkkää lisättyä toista kaasuläppää. 3 numeron putken alapuolelle on asennettu uuden moottorinohjausjärjestelmän vaatima imuilmän lämpötila-anturi. 4 numeron alla on välijäähdytin. Numeron 5 vieressä on uusittu vesilinja joka kiertää moottorin etuosan sijaan moottorin taakse parantaen vesikiertoa ja numero 6 osoittaa uutta pissapojannestesäiliötä jonka sijaintia ei oltu vielä kuvaamisen hetkellä päätetty.



KUVA 13. Valmis konehuone

Tämän jälkeen moottoriin vaihdettiin vielä uusi vauhtipyörä ja kytkinasetelma. Kun asennustyö oltiin saatu konehuoneen puolelta valmiiksi siirryttiin moottorinohjauksen asennukseen. Mazdassa moottorinohjaus sijaitsee apukuskin jalkatilassa peltisuojan alla. Kuvassa 14 näkyy uusi moottorinohjaus yksikkö. Kuvassa moottorinohjausta ei ole vielä asennettuna paikalleen.



KUVA 14. Moottorinohjauksen asennus

Moottorinohjaus sopi alkuperäisiin liittimiin halutulla tavalla ja asennuksessa tarvitsi vetää vain alipainelinja moottorilta moottorinohjauksen paineanturille. Kun moottorinohjaus oli todettu toimivaksi asennettiin se pysyvästi paikalleen ja lattiamatto asennettiin paikalleen.

Moottorinohjaus oli valmistajan toimesta testattu ja siihen oli asennettu valmiiksi peruskartat joilla ajoneuvo saatiin siirrettyä säädettäväksi. Ennen säätöä ajoneuvoon tankattiin E85 polttoainetta ja peruskarttoja rikastettiin noin 28 % vastaamaan etanolin tarvetta. Kuvassa 15 nähdään kannettava tietokone jolla pystyttiin säätämään ajoneuvon moottorinohjausta.

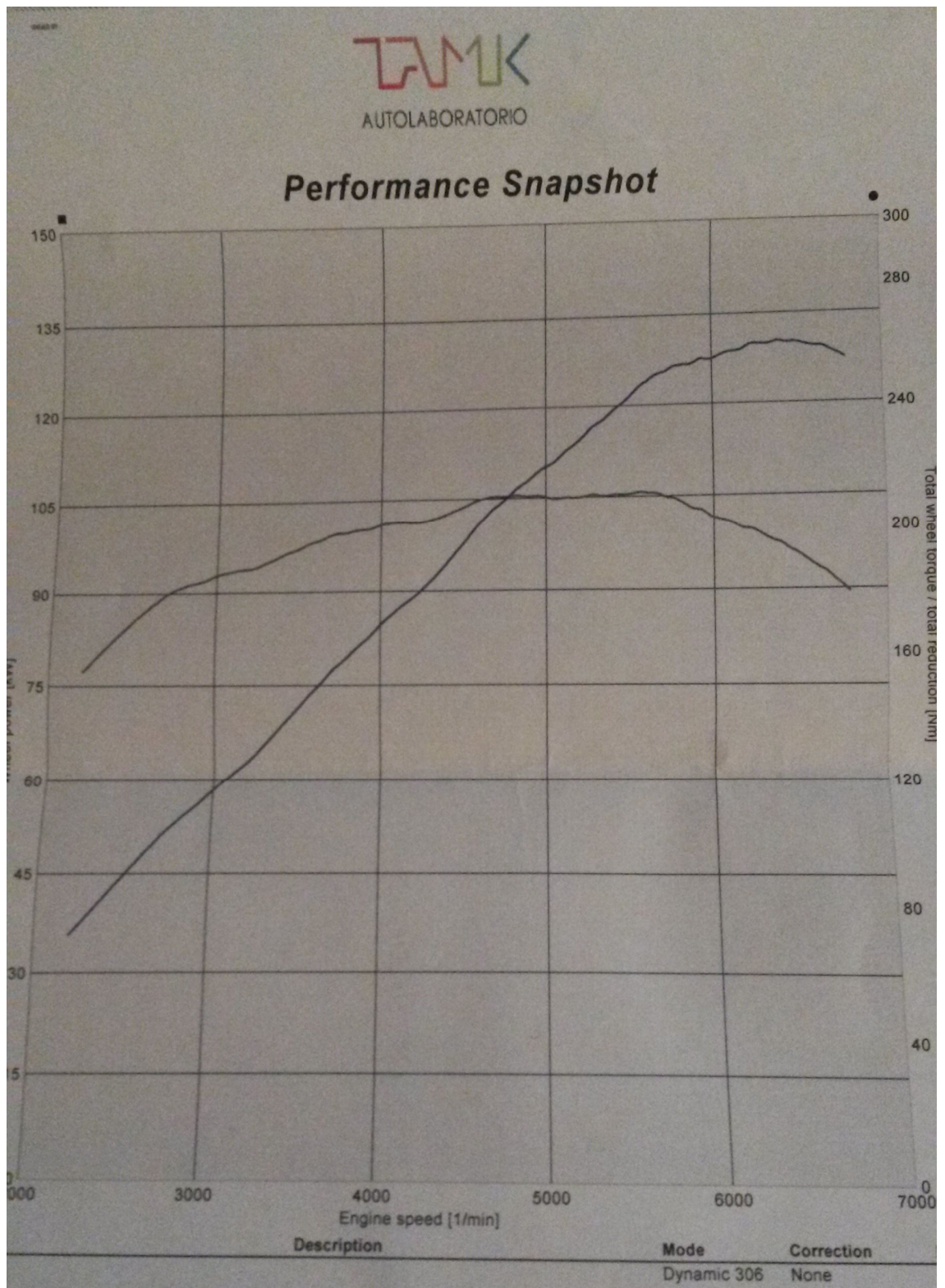


KUVA 15. Moottorin säätöä

Kun moottori oltiin saatu säädettyä, käytiin ajoneuvolla samassa mittauspenkissä missä ennen työn aloittamista mittaamassa renkailta saatava teho ja vääntö. Kuvassa 16 nähdään ajoneuvo asennettuna alustatehodynamometriin ja Kuvassa 17 nähdään puolestaan saadut teho ja vääntöarvot rengastehoina.



KUVA 16. Tehonmittaus



KUVA 17. Lopullinen rengasteho

Rengastehoksi saatiin 133 kW kierrosluvun ollessa $6400 \frac{1}{\text{min}}$, vääntömomenttihuipun ollessa noin 212 Nm:iä kierrosluvulla $5800 \frac{1}{\text{min}}$.

5 MITTAUSTULOKSET

5.1 Tehonmittaus

Ennen projektin aloittamista ajoneuvosta mitattiin rengasteho Tampereen ammattikorkeakoululla alustatehodynamometrillä, Rototest VPA-RX33:lla. Rengasteholla tarkoitetaan moottorilta renkaille välittyvää tehoa. Rengasteho on aina pienempi kuin valmistajan ilmoittama moottoriteho koska muun muassa vaihdelaatikko ja tasauspyörästö aiheuttavat tehohäviöitä voiman välittyessä renkaille.

5.2 Saavutettu teho ja laskennallinen teho

Kuten kuvasta 9 nähdään, ajoneuvon tuottama maksimiteho oli 64,5 kW eli noin 87 hv. Kuvassa 17 nähdään samalla alustatehodynamometrissä tehty mittaus josta saatiin tulokseksi 133 kW eli noin 178 hv. Jos oletetaan moottoritehon olleen alunperin lähelle Mazdan ilmoittamaa 110 hevosvoimaa, voidaan arvioida ahtamisen jälkeiseksi moottoritehoksi yli 200 hevosvoimaa.

Teoreettinen moottorilta saatava huipputeho määräytyi pitkälti ahtimen valinnan kautta. Ahdin pystyi tuottamaan valmistajan mukaan maksimissaan $600 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$. Moottorin ja ahtimen hihnapyörien suhteen ollessa 2:1 ahtimen maksimi teoreettinen tuotto oli noin $548 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$. Ilman ahdinta moottorin käyttämäksi ilmamääräksi laskettiin kaavalla 1 noin $293 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$. Käyttämällä kaavaa 7 saadaan selville ahtimelta saatava teoreettinen maksimiteho ja työssä käytetyllä välityssuhteella saatava teho.

$$x = \frac{hp_e \cdot cm_{max}}{cm_e} \quad (7)$$

jossa x on selvitettävä tehoarvo, hp_e on moottorin tuottama teho, cm_{max} on ahtimen tuottama maksimi ilmamäärä ja cm_e on moottorin käyttämä ilmamäärä. Jos laskuissa käytetään Mazdan ilmoittamaa teholumetta, saadaan ahtimen maksimituotolla tehoarvoksi

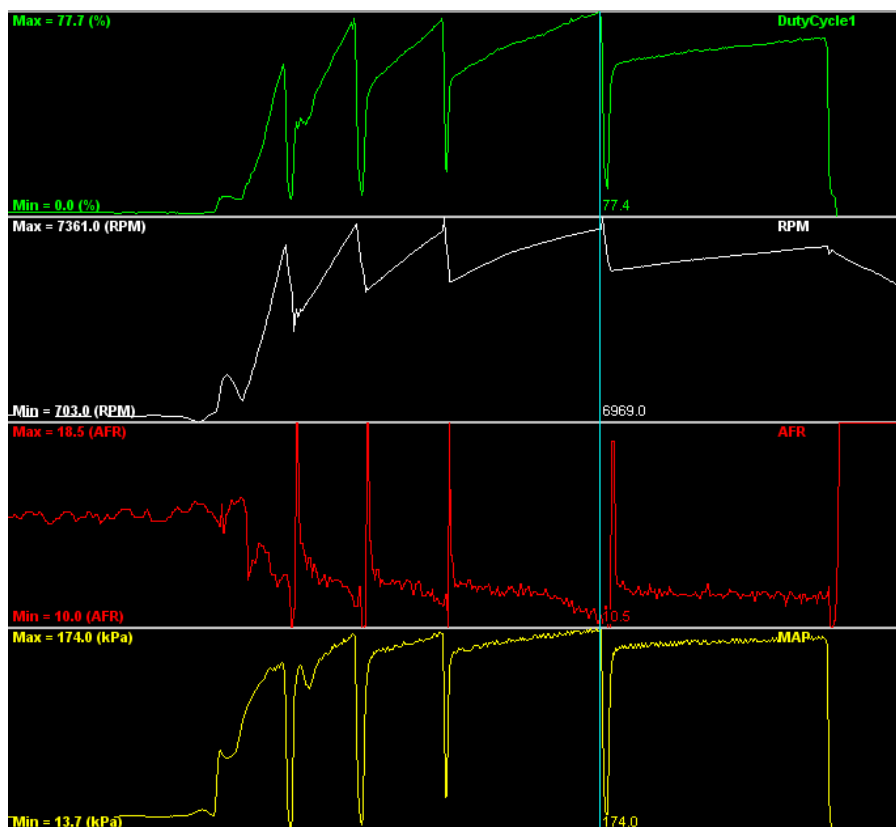
225 hv ja työssä käytetyllä välityssuhteella 205 hv. Mitatulla rengasteholla ahtimen maksimitehoksi tulee 178 hv ja käytetyllä välityssuhteella 163 hv.

Moottorin ilmamäärä laskuissa käytetty kaava oli hyvin pelkistetty ja kaava olettaa moottorin pystyvän tiettyyn hyötysuhteeseen. Lopullinen rengasteho ei kuitenkaan eroa laskuissa kuin 15 hevosvoimaa, eli noin 8 %.

5.3 Muut mittaustulokset

Ajoneuvolla käytiin ajamassa seisova maili ennen tehonmittausta. Nimensä mukaisesti seisovalla maililla ajoneuvolla lähdetään paikaltaan ja ajoneuvon huippunopeus mitataan yhden mailin matkalta.

Kyseisellä mittauksella selvitettiin muutosten kestävyyttä ja saatiin samalla tarpeellista tietoa eri komponenttien käyttäytymisestä. Kuvasta 18 nähdään suuttimien aukioloaika vihreällä, moottorin kierrosluku valkoisella, polttoaineen seossuhde punaisella ja ahtimelta paine keltaisella.



KUVA 18. Mittaustulokset seisova maili

Mittauspiste on neljännen vaihteen huippukierroksilla jossa ahtopaine ja kierrokset ovat parhaimmillaan. Ahtopaineet olisivat saattaneet nousta vielä korkeammalle viidennellä vaihteella, mutta ajettava matka loppui kesken. Kuten kuvasta 18 nähdään ahdin kerää lähes huippupaineet joka vaihteella ja paineen nousu on tasaista eikä painepiikkejä synny.

Huippukierroksilla imusarjan paine oli maksimissaan 174 kPa, eli 1,74 baaria. Teoreettiseksi maksimipaineeksi oltiin laskettu noin 1,82 baaria, eli tästä jäätiin noin 0,08 baaria. Työssä oli käytetty kuitenkin hieman laskennasta poikkeavaa hihnapyörien välityssuhdetta, jolloin ahtimen olisi pitänyt tuottaa haluttua suurempi painelukema.

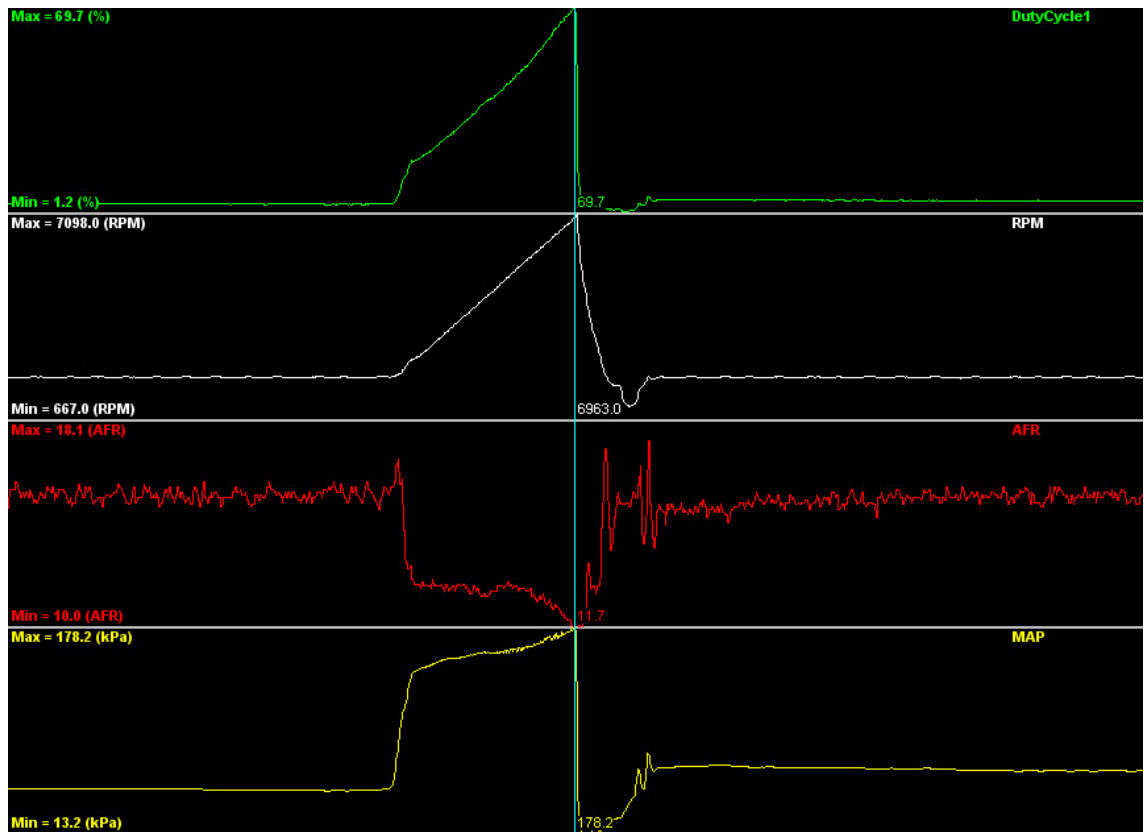
Moottorin seossuhde oli huippukierrosten aikana 10,5 AFR. Moottorinohjaus luki arvon bensiiniin verraten, jolloin kaavan 8 mukaisesti lambda arvoksi saadaan noin 0,71.

$$\lambda = \frac{10,5}{14,7} \quad (8)$$

jossa λ on lambda, 10,5 on moottorin ohjaimelta saatu seossuhde ja 14,7 on bensiinimoottorin ihanteellisin seossuhde lambda ollessa tällöin 1.

Seossuhde oli hieman liian rikkaalla huipputehon saavuttamiseksi. Liika polttoaineen määrä vaikutti myös suuttimien aukioloaikaan joka oli suurimmillaan 77,7 % maksimin ollessa noin 80 %. Seossuhde oli kuitenkin parempi alle $6500 \frac{1}{\text{min}}$ ja tällöin päästiin tavoiteltuun 0,8 lambda arvoon.

Mittauksesta saatujen tietojen perusteella autoa hienosäädettiin ja muun muassa ahtoputkistoa muokattiin paremmin virtaavaksi ja seossuhdetta säädettiin laihemmalle korkeilla kierroksilla. Kuvasta 19 nähdään alustatehodynamometrillä mitatut arvot moottorinohjaimelta. Kuvassa suuttimien aukioloaika vihreällä, moottorin kierrosluku valkoisella, polttoaineen seossuhde punaisella ja ahtimelta paine keltaisella.



KUVA 19. Mittaustulokset alustatehdynamometrillä

Ajoneuvon suorituskykyä saatiin siis selkeästi parannettua hienosäädöillä. Suuttimien aukiolo-aika pieneni paremman seossuhteen vuoksi 69,7 %:iin aiemmasta 77,7 %:sta. Lambda arvoksi saatiin hieman alle 0,8 mikä on ihanteellinen ahdetulle moottorille. Myös ahtoputkiston muutoksien myötä ahtopaineet paranivat huippukierroksilla ja imu-sarjan paine saatiin hieman paremmaksi. Saatujen muutosten myötä lopulliseksi teholu-kemaksi alustatehdynamometrillä saatiin 133 kW kierrosluvun ollessa $6400 \frac{1}{\text{min}}$, vään-tömomenttihiipun ollessa noin 212 Nm:iä kierrosluvulla $5800 \frac{1}{\text{min}}$.

POHDINTA

Aloittaessani projektia, työ vaikutti suhteellisen helpolta ja simppeiltä. Kuitenkin mitä pidemmälle työ eteni sitä monimutkaisemmaksi se muuttui ja jokainen muutos vaikutti moneen eri osa-alueeseen. Osien tarkempi mitoitus vei myös yllättävän paljon aikaa.

Mikäli käytössä olisi ollut suurempi budjetti olisi työn saanut nopeammin valmiiksi, muun muassa suuttimissa hinta nousi monesti lähes lineaarisesti suuttimen tuoton mukaan. Yksinkertaisemmilla laskuilla ajoneuvosta olisi varmasti saanut toimivan, mutta jotkut osista olisivat olleet huomattavasti kalliimpia ja ylimitoitettuja.

Budjetista riippuen myös työn tehotavoite haluttiin pitää suhteellisen maltillisena. Kohdeajoneuvon moottorista löytyi paljon tietoa jälkiahdettuna ja monet enemmän tehoa hakeneet olivat törmänneet muun muassa moottorin kiertokankien ja vaihdelaatikon hajoamisiin. Ajoneuvo toimitti kuitenkin käyttöauton virkaa ja näiltä ongelmilta haluttiin välttyä.

Mitattujen arvojen suhteen päästiin suhteellisen lähelle laskettuja arvoja, ainoastaan suuttimien koossa tuli selkeä ero laskennallisiin arvoihin. Suuttimia laskettaessa piti pystyä arvioimaan moottorin hyötysuhdetta joka eri lähteistä riippuen oli 30 - 35 %. Mikäli työssä olisi käytetty laskettuja $400 \frac{\text{cc}}{\text{min}}$ suuttimia olisi auton säätäminen ollut erittäin tarkkaa ja lambda arvo, varsinkin korkeilla ahtopaineilla ja kierroksilla, olisi saattanut mennä herkästi laihalle joka puolestaan olisi voinut aiheuttaa moottorin rikkoutumisen.

Varsinaisessa asennustyössä ei ilmennyt suurempia vastoinkäymisiä ja ajoneuvo saatiin kasattua viikonlopun aikana ajokuntoon. Myöhempään hienosäätöihin ja muutoksiin kului sittemmin enemmän aikaa, mutta mikäli työ pitäisi tehdä nyt uudestaan, saataisiin se valmiiksi huomattavasti nopeammin. Kaiken kaikkiaan projekti onnistui yli odotusten ja ajoneuvosta saatiin huomattavasti parempi ajettava maantienopeuksilla.

LÄHTEET

Turboahdin toiminta. Luettu 24.4.2017. <https://turbotekniikka.fi/turbot/turboahdin-toiminta/>

Taylor, James. Miata hits a million: the one millionth Mazda MX-5 produced. 26.4.2016. Luettu 10.4.2017. <http://www.carmagazine.co.uk/car-news/industry-news/mazda/miata-hits-a-million-the-one-millionth-mazda-mx-5-produced/>

Mazda MX-5 II (NB) - 1.6. Tekniset ominaisuudet. Luettu 10.4.2017. https://www.auto-data.net/fi/?f=showCar&car_id=11257

Webster, Larry. 2000 Honda S2000. Elokuu 1999. Luettu 9.5.2017. <http://www.caranddriver.com/reviews/2000-honda-s2000-archived-test-review>

Bedard, Patrick. 1999 Mazda MX-5 Miata. Maaliskuu 1998. Luettu 9.5.2017 <http://www.caranddriver.com/reviews/1999-mazda-mx-5-miata-road-test-review>

Stocker, Randy. Mazda 4 cylinder engine history and interchangeability guide. Luettu 10.4.2017. <http://www.solomiata.com/Mx5Engine.html>

Peltonen, Jarkko vko 40 2014. Moottoritekniikka. Luento Tampereen ammattikorkeakoulu

How an engine control unit affects performance. Luettu 24.4.2017. <http://procarmechanics.com/how-an-engine-control-unit-affects-performance/>

MS labs ECU Comparison Sheet. Luettu 24.4.2017 <https://www.mslabs.gr/mslc.html>

Turboahdin FAQ. Luettu 24.4.2017. <http://www.fin-turbo.fi/turboahdin/turboahdin.html>

Turboahdin toiminta. Viitattu 24.4.2017. <https://turbotekniikka.fi/turbot/turboahdin-toiminta/>

Roots vs. Centrifugal vs. Screw Type Supercharging . Luettu 12.5.2017 http://www.superchargersonline.com/index.php?main_page=page&id=7

The Roots Supercharger. Luettu 12.5.2017. <https://www.enginebasics.com/Advanced%20Engine%20Tuning/Forced%20Induction%20Pg7.html>

Engineering Explained: The Pros And Cons Of Turbochargers Vs Superchargers. 2015. Luettu 24.4.2017. <https://www.carthrottle.com/post/engineering-explained-the-pros-and-cons-of-turbochargers-vs-superchargers/>

Robinson, Aaron. Mini Cooper S. Toukokuu 2002. Luettu 12.5.2017. <http://www.caranddriver.com/reviews/mini-cooper-s-first-drive-review>

What is an intercooler. Luettu 15.8.2017.

<https://www.enginebasics.com/Advanced%20Engine%20Tuning/Intercooler.html>

Bumbeck, Mike. How a car clutch works. Luettu 15.8.2017.

<https://mobiloil.com/en/article/car-maintenance/car-maintenance-archive/how-does-a-car-clutch-work>

M45 Performance Map. Viitattu 9.5.2017

http://www.eaton.com/ecm/groups/public/@pub/@eaton/@per/documents/content/ct_128483.gif

Mazda Miata B6ZE Performance Engine Parts, luettu 13.10.2014

<http://www.nolimitmotorsport.com/engine/B6ZE.html>

Eko E85. Luettu 12.6.2017. <https://www.abcasemat.fi/fi/polttoaineet/eko-e85>

Banish, Greg. Wide-open-throttle tuning. 30.4.2012. Luettu 8.6.2017.

<https://www.carttechbooks.com/techtips/wideopenthrottletuning/>

Tracy, David. How Electronic Fuel Injection Works. 11.6.2013. Luettu 12.6.2017.

<http://jalopnik.com/how-electronic-fuel-injection-works-499902815>

Aem electronics. Installation Instructions for 30-4110 Gauge-Type UEGO Controller. 2014. Luettu 12.5.2017.

Mazda MX-5 II (NB) - 1.8. Tekniset ominaisuudet. Luettu 10.4.2017. https://www.auto-data.net/en/?f=showCar&car_id=11260

LITTEET