

Juha-Matti Paukkunen T497SN

BMW M30B34 MOOTTORIN
VIRITTÄMINEN SEKÄ
MEGASQUIRT
MOOTTORINOHJAUKSEN
ASENTAMINEN JA SÄÄTÄMINEN

Opinnäytetyö
Auto- ja kuljetustekniikka


Tammikuu 2012




MIKKELIN AMMATTIKORKEAKOULU

Mikkeli University of Applied Sciences

KUVAILULEHTI

 MIKKELIN AMMATTIKORKEAKOULU Mikkeli University of Applied Sciences	Opinnäytetyön päivämäärä 21.1.2012				
Tekijä(t) Juha-Matti Paukkunen	Koulutusohjelma ja suuntautuminen Auto- ja kuljetustekniikka				
Nimeke BMW M30B34-moottorin virittäminen sekä MegaSquirt- moottorinohjauksen asentaminen ja säätäminen					
Tiivistelmä <p>Opinnäytetyön tarkoituksena oli korvata BMW:n valmistaman kuusisylinterisen M30B34-moottorin ohjainlaite täysin säädettävään MegaSquirt-moottorinohjaukseen sekä tehdä moottoriin mekaanisia muutostöitä, joilla suorituskykyä saataisiin kasvatettua. Autosta ei tehty ahdettua, sillä se on vähäpäästöinen ja haluttiin säilyttää vapaasti hengittävän ottomoottorin luonne.</p> <p>Alkuperäiskunnossa olevassa moottorissa on yleensä jo valmistusvaiheessa jouduttu tekemään useita kompromisseja suorituskyvyn suhteen pelkäästään kustannussyistä. Ennen työhön ryhtymistä minulla ei ollut juurikaan tietoa säädettävän moottorinohjaimen toiminnasta, mutta koska sen rakensi ja opiskeli kokonaan itsenäisesti, oppi myös sen toiminnan komponenttitasolta alkaen.</p> <p>Tuloksista voi todeta työn onnistuneen suunniteltua paremmin. Työ osoittaa, että ottomoottoria on ajateltava kokonaisuutena, mikäli sen suorituskykyä ja ominaisuuksia halutaan lähteä parantamaan. Tässä on myös tärkeässä roolissa moottorin ohjainlaite, jolla jo itsestään voidaan vaikuttaa huomattavasti varsinkin vanhemmissa autoissa. Moottorin teho ja vääntö nousivat huomattavasti vakiokuntoiseen moottoriin verrattuna, joten työn tavoitteet täyttyivät hienosti ja tulokset olivat odotettuakin paremmat.</p>					
Asiasanat (avainsanat) MegaSquirt, BMW, virittäminen					
Sivumäärä 31	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%;">Kieli</td> <td style="width: 50%;">URN</td> </tr> <tr> <td>Suomi</td> <td></td> </tr> </table>	Kieli	URN	Suomi	
Kieli	URN				
Suomi					
Huomautus (huomautukset liitteistä)					
Ohjaavan opettajan nimi Jarkko Peltonen DI	Opinnäytetyön toimeksiantaja				

DESCRIPTION

 <p>MIKKELIN AMMATTIKORKEAKOULU Mikkeli University of Applied Sciences</p>		Date of the bachelor's thesis 21.1.2012	
Author(s) Juha-Matti Paukkunen		Degree programme and option Automotive and transport engineering Automotive and electrics engineering	
Name of the bachelor's thesis Tuning an BMW M30B34-engine and installing and controlling MegaSquirt engine management system			
Abstract <p>The purpose of this thesis was to replace the original engine management system used in BMW M30B34-engine to fully adjustable MegaSquirt engine management system. Also the purpose was to make mechanical changes to the engine in order to improve its overall efficiency and performance. The car was not to be turbocharged because of its pollution limits and to maintain the aspects of a naturally aspirated engine.</p> <p>Factory built engines very often have many compromises considering overall performance, mainly because of expenses. Before the beginning of this work I did not have much knowledge about adjustable engine management systems, but when I built the system on my own I was able to learn all the main principles needed.</p> <p>By looking at the results one can say that the goal was reached successfully. This work also taught me that ignition engine is to be thought as a whole in order to develop its performance features. Fuel management system also played big role in this work, because it alone can improve engines features a lot especially if the car is a bit older. Horsepower and torque figures grew substantially compared to factory built engine, so the goal was clearly reached and the results were even better than expected.</p>			
Subject headings, (keywords) MegaSquirt, BMW, tuning			
Pages 31	Language Finnish	URN	
Remarks, notes on appendices			
Tutor Jarkko Peltonen M.Sc		Bachelor's thesis assigned by	

SISÄLTÖ

1	JOHDANTO	1
2	TYÖN TAVOITTEET	2
3	OTTOMOOTTORIN TOIMINTA	2
4	MOOTTORIN MUUTOSTYÖT	6
4.1	Sylinterikansi ja venttiilit.....	7
4.2	Puristussuhde ja palotilat	9
4.3	Nokka-akseli ja ajoitus	12
4.4	Läppärungot.....	15
4.5	Polttoainejärjestelmä.....	18
4.6	Pakosarja ja putkisto	19
5	MEGASQUIRT.....	21
5.1	Ohjainlaitteen rakentaminen.....	22
5.2	Johtosarja	23
6	SÄÄTÄMINEN TUNERSTUDIO-OHJELMALLA.....	25
7	MITTAUKSET JA TULOKSET	28
8	POHDINTA	31

LIITTEET

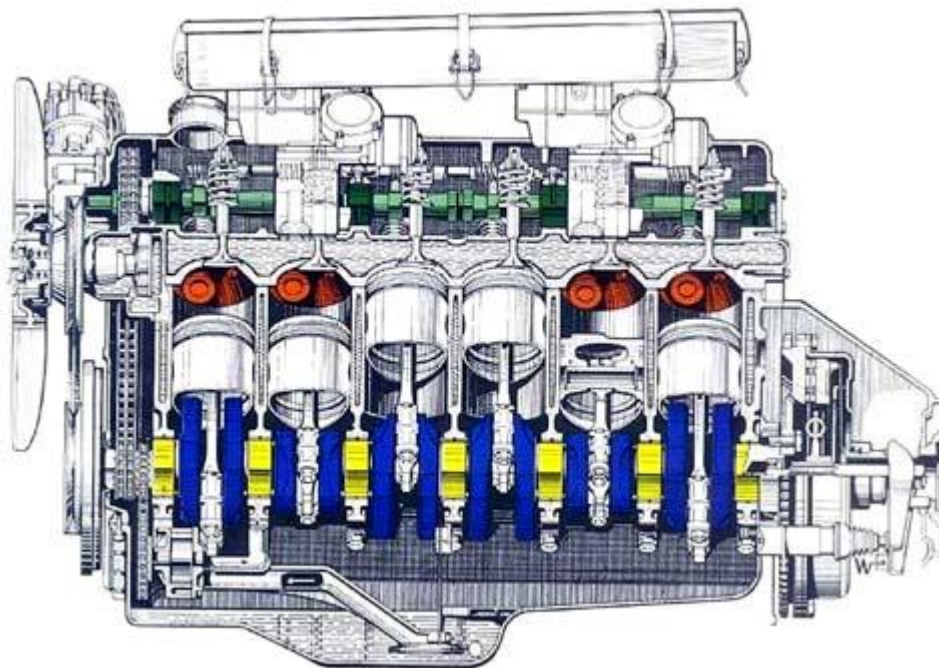
Liite 1. Moottorin tehodynamometrikartta vakio moottorilla.

Liite 2. Moottorin tehodynamometrikartta viritetyllä moottorilla.

1 JOHDANTO

Kohdeautona toimii kesäkäytössä oleva vuonna 1991 valmistettu E34-korimallinen 5-sarjan BMW mallimerkinnältään 535i. Opinnäytetyössäni perehdytään vapaasti hengittävän, kohdeautossa käytössä olevan BMW:n valmistaman M30B34-ottomoottorin mekaaniseen virittämiseen, sekä alkuperäisenä käytettävän Motronic 1.3-moottorinohjauksen korvaamiseen säädettävällä MegaSquirt-moottorinohjauksella.

BMW:n M30B34-moottori on iskutilavuudeltaan 3430 cc, ja sen suorituskyky on tehdaskuntoisena 211 hevosvoimaa sekä 305 Nm vääntöä. Moottori on 12-venttiilinen kuusisylinterinen rivimoottori. M30-moottorilla on pitkät juuret kauas menneisyyteen, sillä vuonna 1968 ensiesiteltiin kuusisylinterinen M06-moottori, joka perustui pääosin vuonna 1965 esitelyyn nelisylinteriseen M05-moottoriin. M06-moottori erosi M05-moottorista siten, että siihen oli periaatteessa vain lisätty kaksi sylinteriä lisää. Kun vuonna 1986 ensiesiteltiin uusi 7-sarjan BMW, korimalliltaan E32, saivat myös moottorit uuden loogisemman mallimerkintäjärjestelmän. BMW käytti kolmelitraista M30B30-moottoria vuoteen 1994 asti, jolloin samaa moottoriperhettä olevia moottoreita oltiin käytetty yhteensä yli 25 vuotta. /3./



KUVA 1. M30-moottorin poikkileikkaus /1./

Voisi siis olettaa, että jos perusmoottori on näinkin pitkän ajan ollut ajatukseltaan samanlainen, olisi myös hyvät mahdollisuudet lähteä parantelemaan sitä suorituskyvyllisessä mielessä. Ajan myötä moottorin ulkopuoliset apulaitteet ovat kehittyneet paljon. Tästä huolimatta jokainen tehdastuotantona autoon asennettu moottorinohjausjärjestelmä on kuitenkin kompromissi todella monen asian suhteen. Näillä kompromisseilla on yleensä haettu pääasiassa pienempää polttoaineen kulutusta sekä pienempiä päästöjä, yleensä suorituskyvyn kustannuksella. Kohdeautossa alunperin käytössä ollut Motronic 1.3 moottorinohjausjärjestelmä on myös tämän päivän standardeilla mitattuna jo vääjäämättä vanhentunutta tekniikkaa, eikä enää moottorin mekaanisen virittämisen jälkeen pysty suorittamaan suunniteltua tehtäväänsä oikein. Tästä syystä perehdyn työssäni myös uudemmanaikaisen, säädettävän moottorinohjausjärjestelmän rakentamiseen, asentamiseen ja säätämiseen.

2 TYÖN TAVOITTEET

Nelitahtista vapaastihengittävää ottomoottoria viritettäessä täytyy muistaa muutama perussääntö: kaikki vaikuttaa kaikkeen ja liian tarkka ei voi koskaan olla. Moottorin toimintaa täytyy siis miettiä kokonaisuutena, koska jonkin tietyn yksittäisen osa-alueen virittämisellä ei välttämättä saada juuri minkäänlaista oikeaa hyötyä, vaan pahimmassa tapauksessa vain huononnetaan moottorin ominaisuuksia.

Ensimmäinen ja tärkein asia työhön ryhtyessäni on selvittää, pystynkö auton vielä muutostöiden jälkeen katsastamaan normaalisti tieliikennekäyttöön. Vähintäänkin yhtä tärkeänä tavoitteena on saada moottorista huomattavasti vakiota tehokkaampi, mutta silti kestävä. Nämä perusajatukset mielessä pitäen työn tarkempi suunnittelu saattoi alkaa.

3 OTTOMOOTTORIN TOIMINTA

Nelitahtisen moottorin yhteen työkiertoon kuuluu kaksi täyttä kampiakselin kierrosta, ja nämä kierrokset pitävät sisällään neljä eri tahtia. Tahteja ovat tapahtumajärjestyksessä imutahti, puristustahti, työtahti sekä pakotahti. Näiden eri tahtien paras mahdollinen hyödyntäminen sekä kipinähetken paras mahdollinen

ajoitus ovat kuitenkin todella monen tekijän summa. Paljon riippuu myös siitä, mitä ominaisuuksia moottorista on alun perin haluttu nostaa esille. Yleensä autotehtaat joutuvat moottoreita suunnitellessaan tekemään todella monta kompromissia osien suunnittelun sekä mitoituksen suhteen. Tämä voi johtua konehuoneen tilan ahtaudesta tai yksinkertaisesti suoraan valmistuskustannuksista. Hyvin usein moottoritilaan katsomalla voi huomata jo paljaalla silmällä jonkin osa-alueen, jossa tehdas on säästänyt, esimerkiksi pakosarjat. Pakosarjat ovat merkittävä osa-alue ottomoottorin toiminnan ja ominaisuuksien suhteen. Usein tehtaan alkuperäinen pakosarja on valmistettu joko valu-menetelmällä raudasta, tai sitten prässätty pellistä. Tilankäytön, valmistuskustannusten ja helppouden takia ne ovat usein virtausopillisesti jo lähtökohtaisesti huonoja ratkaisuja. Pakokaasujen virtauksen parantamisella ja pakosarjan huolellisella suunnittelulla voidaan siis jo yksinään parantaa moottorin hyötysuhdetta. Primääriputkien sekä kollektorien, eli kohtien, jossa primääriputket yhtyvät, oikealla mitoituksella voidaan tuottaa pakopulssien avulla imevään sylinteriin jopa alipaine. Tällaisissa olosuhteissa sylinteriin saadaan enemmän ilmaa ja näin ollen myös edellytykset tehokkaampaan palamistapahtuma.

Ottomoottori tarvitsee toimiakseen myös polttoainetta. Sähköisesti ohjatussa polttoaineen syötössä on tapahtunut vuosien mittaan nopeaa kehitystä yksipisteruiskusta monipisteruiskutukseen ja nykypäivänä käytettävään suoraruiskutukseen, jossa polttoaine suihkutetaan suoraan palotilaan. Yksipisteruiskussa ja monipisteruiskussa polttoaine suihkutetaan imusarjaan tai imukanavaan, jossa ilma-polttoaineseos muodostetaan. Monipisteruiskutuksessa siis jokaiselle imukanavalla on oma suuttimensa, johon polttoaine suihkutetaan käyttämällä kaikki suuttimet yhdistävää bensakiskoa, jossa paineensäädin pitää mitoitettun vakiopaineen polttoaineelle. Suuttimet on mitoitettava aina moottorin tarvitseman polttoainemäärän mukaan. Mitoituksen tulee olla sellainen, että suuttimet eivät joudu olemaan suurimmillakaan käyntinopeuksilla koko ajan avoinna, sillä siitä voi seurata suuttimen ylikuumentuminen ja pahimmassa tapauksessa vaurioituminen. Pelkällä suurempituottoisten suuttimien asentamisella ei moottorista yleensä saada enempää tehoa irti, ellei sylintereihin saada johdettua myös enemmän happea. Näidenkin osa-alueiden parantamisen jälkeen voi seuraava moottorin hengitystä ahdistava tekijä olla vakio pakosarja. Yhden bensiinikilogramman täydellistä palamista varten tarvitaan 14,7 kilogrammaa ilmaa. Tällaista 1:14,7 seos-suhdetta kutsutaan

teoreettisesti oikeaksi eli stoikiometriseksi seossuhteeksi. Stoikiometrinen seossuhde ei kuitenkaan läheskään aina ole paras mahdollinen sen paremmin moottorin tehokkuuden, käynnin tasaisuuden kuin polttoaineen kulutukseenkaan kannalta, joten seoksen on tarpeen mukaan oltava joko rikas tai laiha. /2, luku 7./

Imusarja on myös oleellinen osa-alue moottorin luonteen kannalta. Yleensä siviililiikenteeseen tarkoitetuissa henkilöautoissa imusarjan imukanavista on pyritty tekemään kohtalaisen pitkät, jotta moottorin tehoalueesta saataisiin laajempi ja varsinkin alakierroksille sitkeyttä. Imusarjaa suunniteltaessa on myös otettava huomioon se, että jokainen sylinteri saisi saman verran ilmaa. Myös imusarjan osalta autonvalmistajat joutuvat yleensä tilanpuutteen vuoksi tekemään kompromisseja optimaalisen suunnittelun suhteen. Usein näkee, ettei esimerkiksi kaasuläppäkotelon ole sijoitettu optimaalisesti imusarjan kokoojakammioon nähden, mikä aiheuttaa virtauseroja sylinterien kesken. Oikeastaan minkä tahansa suureen muuttaminen imusarjan mitoituksessa vaikuttaa omalla tapaa moottorin ominaisuuksiin. Imusarjan kanavat ovat periaatteessa suoraan kannen kanavien jatkeita, ja sen takia myös imusarjan kanavien muotoilullakin on oma roolinsa moottorin toiminnassa.

Merkittävin rooli on kuitenkin itse imuputkilla, joita voidaankin pitää varsinaisina ”viritystyökaluina”. Perussääntö imukanavien mitoitukseseen on se, että mitä suurempi läpimittaiset ja lyhyemmät imukanavat on, sitä suurempi on moottorin huipputeho ja sitä korkeammalla kierrosalueella se esiintyy. Tällöin pienemmillä käyntinopeuksilla moottorin käyttöominaisuudet ovat sitten heikommat. Vastaavasti imukanavien läpimitan pienentäminen ja piteuden lisääminen parantavat moottorin tehokkuutta alemmilla kuormitusasteilla. Huippukierroksilla moottori ei enää tällöin pysty toimimaan niin vapaasti kuin suuriläpimittaisilla ja lyhyillä kanavilla, mikä tottakai rajoittaa moottorista saatavaa huipputehoa. Usein normaaleissa sarjatuotantoautoissa vakio imusarjaan ohjataan ilmaa yhden kaasuläppäkotelon avulla, joka on tietysti kustannustehokas tapa, mutta on myös hyvin potentiaalinen imuilman virtausvastuksen aiheuttaja.

Tästä syystä moottoria viritettäessä läppärunkojen asentaminen antaa usein paljon hyötyä, sillä läppärungoissa jokaisessa imukanavassa on oma kaasuläppänsä, ja siten virtausvastus on myös tavanomaista imusarjaa ja kaasuläppäkoteloa pienempi. Niinpä

moottorin on tällöin mahdollista saada enemmän happea palotapahtumaan. Moottorin herkkyys myös paranee yleensä huomattavasti siirryttäessä käyttämään läppärunkoja. Läppärunkoja käyttäessä pystytään myös vaikuttamaan moottorin ominaisuuksiin runkoihin kiinnitettävien imutorvien avulla, joiden tehtävä on myöskin toimia imukanavan jatkeena. Imutorvia on olemassa eri läpimittaisina ja eri pituisina sekä myöskin erilaisilla päätyjen pyörityksillä. Päätyjen pyörityksilläkin on oma merkityksensä; esimerkiksi 180-asteinen ja mahdollisimman leveä pyöritys imutorven päässä parantaa ja tasoittaa virtausta verrattuna ilman pyöritystä oleviin torviin.

Sylinterikansi imu- ja pakoventtiileineen sekä nokka-akseleineen on moottorin toiminnan kannalta ehdottoman tärkeä osakokonaisuus. Sylinterikannen hengitysominaisuudet määrittelevät pitkälti moottorin luonteen ja käyttöominaisuudet sekä sen, paljonko moottori pystyy sisuksissaan tehoa ja vääntömomenteja kehittämään. Usein koskemattomasta sylinterikannesta löytyy ainakin jonkinasteisia valuvirheitä sekä virtausta heikentäviä muotoja. Nämä valuvirheet poistamalla sekä kanavien muotoilulla pystytään jo vaikuttamaan huomattavasti moottorin hengitykseen. Myöskään venttiileiden ja seetipinnan muotoilu ei yleensä ole suorituskyvyn kannalta kovinkaan kaksinen ilman muokkauksia. Virtaukseen voidaan vaikuttaa esimerkiksi tekemällä venttiililautasen yläreunaan 30 asteen viiste ja ohentamalla imuventtiilin vartta korkeintaan 1 millimetri. Toisin kuin imuventtiilissä, ei pakoventtiilin varren halkaisijaa saa ohentaa, sillä siitä voi hyvin helposti seurata pakoventtiilin liiallinen heikkeneminen. /2, luku 3./

Imu- ja pakoventtiileitä availevalla ja sulkevalla nokka-akselilla on myös oma tärkeä roolinsa moottorin hengitykseen ja oikeastaan koko moottorin toimintaan ja luonteeseen. Nokka-akselin astelukua kasvattamalla saadaan venttiileille pidempi aukioloaika sekä nostoa kasvattamalla parempi hengitys. Nokka-akselin asteluvut ilmoitetaan kampiakselin asteina. Täyden kierroksen ollessa 360 astetta voi imuventtiili olla auki esimerkiksi 264 astetta täydestä kierroksesta ja pakoventtiili esimerkiksi 260 astetta. Venttiilin nostoa kasvatettaessa on syytä kiinnittää huomiota, että venttiilin ja männän väliin jää vielä riittävästi tilaa, koska muutoin tiedossa voi olla kallis koneremontti jo ensimmäistä kertaa moottoria käynnistäessä. Valittaessa nokka-akselia katuautoon ei yleensä kannata valita kaikista ”jyrkintä” eli

asteluvuiltaan ja nostoltaan suurin arvoista nokka-akselia, jotta säilytetään edes jonkinlainen käyttömukavuus katuliikenteessä. Usein siirryttäessä todella jyrkkään nokka-akseliin myös moottorin päästöt nousevat ja näin ollen voivat tehdä auton katsastamisen haasteelliseksi. Lisäksi todella raju nokka-akseli yleensä vaatii moottorilta reilusti suurempia maksimikierrosnopeuksia, jotta hyötyä saataisiin irti.

4 MOOTTORIN MUUTOSTYÖT

Moottorin muutostöitä varten auto nostettiin pukkien päälle sekä irroitettiin akun kengät irti. Ennen tätä oli hyvä irroittaa bensapumpun rele ja pyörittää moottoria startilla, jotta bensa-paineet saatiin laskemaan. Tällöin bensalinjoissa ei ole enää painetta niitä irroittaessa. Tässä tapauksessa bensalinjoissa olisi muutoin ollut 3 baarin paine, joka olisi voinut aiheuttaa turhia vaaratekijöitä polttoaineletkujen irroituksessa. Moottoritalasta oli tässä vaiheessa myös pyyhkiä ylimääräinen lika pois. Näiden muutamien toimenpiteiden jälkeen oli turvallista aloittaa itse muutostöiden tekeminen. Lähtötilanteessa moottoritala oli kuvan 2 näköinen.



KUVA 2. Alkuperäiskunnossa olevan konehuoneen osien sijoittelu

4.1 Sylinterikansi ja venttiilit

Sylinterikannen irrottaminen alkoi kaikkien sitä ympäröivien osien irroituksella, minkä jälkeen koneesta laskettiin jäähdytysnesteet ja öljyt ulos. Irroitusyön jälkeen kanta pystyi tutkimaan tarkemmin mahdollisten vaurioiden varalta. Mitään vaurioita, eikä liiallista karstaakaan kuitenkaan löytynyt, joten aloitin purkamaan nokka-akselia, keinuvipuja, keinuvipuakseleita sekä venttiileitä irti kannesta.



KUVA 3. Muokkaamaton sylinterikansi irroitettuna moottorista

Kannen eri osien purkamisen jälkeen se on hyvä pestä kunnolla, jolloin sitä on mukavampi ja turvallisempi käsitellä. Venttiileitä ei tarvinnut hankkia uusia, sillä vanhat todettiin mikrometrillä mittaamalla vielä hyväkuntoisiksi, eli venttiilin varret eivät olleet juurikaan kuluneet. Kannen kanavat olivat jo valmiiksi kohtalaisen hyvinmuotoiset, eikä valuvirheitä juurikaan ollut havaittavissa. Muokkaustyöt kuitenkin aloitettiin imukanavien muotoilulla sekä läppärunkojen asentamista varten hankittujen adapterilevyjen muotoilulla ja kohdistamisella. Imukanavien mutkan sisälaitaa pyöristettiin, jotta ilma virtaisi jouhevammin venttiililautasen reunoille.

Kanavia myös hieman levennettiin, jotta ne mukailisivat asennettavien läppärunkojen kanavia. Venttiilin ohjureita ei tarvinnut vaihtaa uusiin, mutta ne kuitenkin holkitettiin uudelleen sekä imu- että pakopuolelta, koska niihin oli päässyt syntymään jo hieman välystä.



KUVA 4. Muokkaamaton imukanava

Kuten kuvasta 4 nähdään, ei kanavassa ole alunperinkään havaittavissa kriittisiä valuvirheitä. Kanavien muokkaustöiden jälkeen tarkistettiin, että kanavat vastaavat keskenään toisiaan. Tämän jälkeen kanavien seinämät hiottiin, mutta jätettiin tarkoituksella hieman karheiksi, mikä estää muun muassa polttoaineen pisaroitumista kanavien seinämille. Pakokanaville riitti pelkkä pieni seinämien siistiminen, sillä ne olivat jo alkuperäisenä riittävän hyvät muotoilultaan ja virtausominaisuuksiltaan.



KUVA 5. Imukanavat ja läppärunkojen adapterilevyt muokattuina

Kun kanavien muutostyöt oli saatu tehtyä, lähdettiin parantelemaan venttiileitä. Venttiileiden kokoa ei lähdetty kasvattamaan, sillä kanteen ei juurikaan vakioita suurempia venttiileitä edes saisi mahtumaan, ja tämä olisi myös nostanut kustannuksia turhan paljon. Venttiilit puhdistettiin huolellisesti karstasta ja venttiililautasen yläreunaan tehtiin 30 asteen viiste parantamaan virtausta. Vastaavanlaisen viisteen tekemisen on mitattu joissakin tapauksissa parantavan virtausta jopa 12%. /2, luku 3./

4.2 Puristussuhde ja palotilat

Moottorin puristussuhde on merkittävä tekijä polttoaineseoksen palamisen tehokkuuteen. Moottorin puristussuhteen kasvaessa kohoaa samalla myös puristusaine. Suurempi puristusaine tarkoittaa myös suurempaa voimaa, joka painaa mäntää alaspäin ja tällöin myös suurempaa moottoritehoa. Puristussuhteen nostaminen parantaa siis suoraan moottorin hyötysuhdetta ja näin vähentää myös polttoaineen kulutusta. /2, luku 4./

Ensimmäiseksi mitattiin männän patin tilavuuden. Tämä laskettiin asettamalla mäntä ensin yläkuolokohtaansa ja sen jälkeen moottoria pyörittämällä laskettiin mäntää kolme millimetriä alaspäin. Sen jälkeen sylinterin päälle asetettiin kirkas akryylilevy,

jossa on reikä öljyn syöttämistä varten. Levy tehtiin pintaan tiiviiksi vaseliinin avulla, ja männän ja sylinterin välinen rako tiivistettiin samoin. Levyn reijästä alettiin lääkeruiskulla täyttää tilaa öljyllä, jolloin saatiin mitattua tilavuudeksi $19,5\text{cm}^3$. Sen jälkeen laskettiin, mitä tilavuus on ilman pattia käyttämällä kaavaa 1. Huomioon täytyi ottaa myös se, että mäntä tuli yläkuolokohdassaan $0,38$ millimetriä lohkon tason yläpuolella. Männän patin tilavuudeksi saatiin näin mitattua $2,08\text{cm}^3$. Puristettuna olevan kannen tiivisteiden paksuudeksi mitattiin $1,72$ millimetriä, ja sen tuoma tilavuus oli myös otettava huomioon puristussuhdetta laskiessa. Kannentiiviste toi tilavuutta lisää $11,43\text{cm}^3$, joka laskettiin myös kaavan 1 avulla. Kannen palotilan tilavuus mitattiin molempien venttiileiden ollessa kiinni ja käyttäen taas kirkasta akryylilevyä ja öljyllä täyttämällä. Palotilan tilavuudeksi mitattiin $65,5\text{cm}^3$.

$$V = \frac{\pi \times D^2 \times H}{4000} \quad (1)$$

,jossa V =tilavuus (cm^3), D =sylinterin halkaisija (mm) ja H =etäisyys männän laesta sylinterin yläreunaan (mm).

Näiden mittausten jälkeen pystytään määrittämään kokonaispuristustilavuus laskemalla yhteen kannen palotilan tilavuus ja kannentiivisteiden tuoma tilavuus, josta vähennetään männän patin tilavuus sekä tilavuus, jonka mäntä syrjäyttää tullessaan lohkon tason yläpuolelle. Näillä arvoilla pystyttiin määrittämään moottorin vakion puristussuhteen laskemalla yhteen yhden sylinterin iskutilavuuden ja sylinterin puristustilavuuden, joiden summa jaetaan taas sylinterin puristustilavuudella. Tulokseksi saatiin kaavaa 2 käyttäen vakiomoottoriin puristussuhteeksi $8,9:1$, kun tehdas ilmoittaa $9,0:1$.

$$CR = \frac{CV + CCV}{CCV} \quad (2)$$

,jossa CR =puristussuhde, CV =yhden sylinterin iskutilavuus (cm^3) ja CCV =sylinterin puristustilavuus (cm^3).

Paljeraoksi mitattiin $1,34$ millimetriä, jota ei lähdetty enää pienentämään, koska ensinnäkin tämän moottorin paljealue on todella pieni, joka tekee myös paljeraon

pienentämisen hyödyn kyseenalaiseksi. Toisekseen paljeraon pienentäminen olisi vaatinut moottorin alakerran irrottamisen ja purkamisen, jotta lohkon tasosta olisi saatu höylättyä materiaalia pois. Tämä olisi lisännyt taas huomattavasti kustannuksia ja käytettyä aikaa. Hyötyä tämä toimenpide ei olisi tuonut juuri mitään, sillä paljeraon on hyvä olla muutenkin noin 0,9-1,1 millimetriä, jotta mäntä ei pääse missään tilanteessa tavoittamaan sylinterikanteen. /2. luku 4./



KUVA 6. Männän patin tilavuuden mittaaminen

Puristussuhteen nostamiseksi kantta madallettiin 1,5 millimetriä, mikä on tästä nimenomaisesta sylinterikannesta puhuttaessa vielä turvallista, sillä kanavissa ei ole sellaisia viistotuksia, jotka kannen madalluksen myötä heikentäisivät kannen lujuutta. Tämän jälkeen kannen palotilan tilavuus mitattiin uudestaan, jolloin tilavuudeksi saatiin $57,5\text{cm}^3$. Utta arvoa käyttämällä ja kaavaa 2 hyödyntäen voitiin laskea uuden puristussuhteen olevan 9,9. Jos puristussuhdetta haluttaisiin vielä nostaa nykyisestä, vaatisi se jo toisenlaisten mäntien vaihtamista, jolloin myös kustannukset nousevat huomattavasti korkeammiksi.



KUVA 7. Kannen palotilan tilavuuden mittaaminen

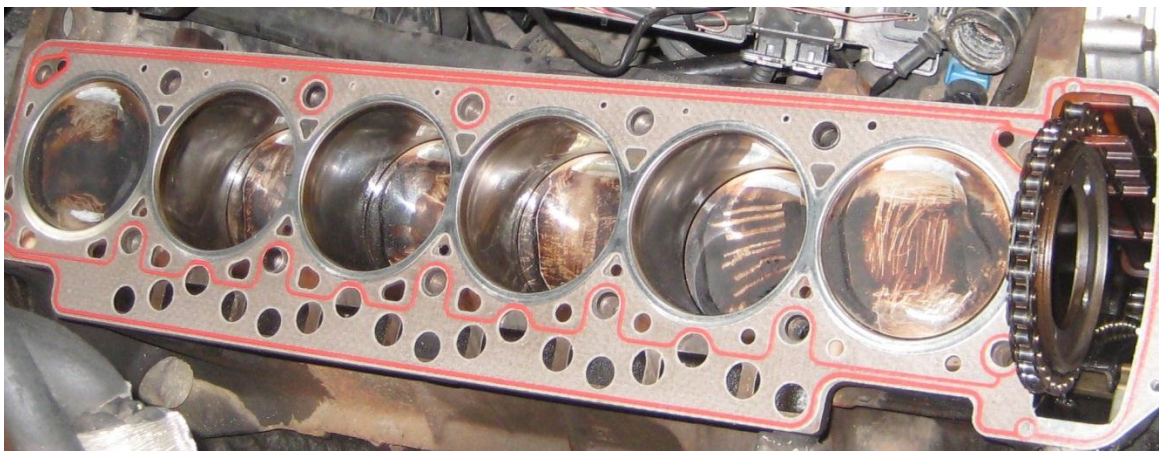
4.3 Nokka-akseli ja ajoitus

Kanteen hankittiin uudet keinuvivut sekä nokka-akseliksi uusi Schrickin valmistama 284/280-asteinen nokka-akseli, joka mahdollistaa suuremmat venttiilin aukioloajat sekä pidemmän venttiilin noston. Venttiilijousista tehtiin nokka-akselin valmistajan suositusten mukaisen jäykät. Jousikupin ja jousen väliin laitettiin siis säätölevyjä, eli niin sanottuja shimmilevyjä. Jäykemmät venttiilijouset mahdollistavat moottorin pyöriä korkeammilla kierroksilla turvallisemmin, koska venttiilijousi pysyy tällöin paremmin nokka-akselin mukana, eikä kansankielellä sanottuna sekoa. Venttiilijousien sekoaminen tarkoittaa sitä, että jousi ei palaudu riittävän nopeasti ylös, jolloin keinuvipukaan ei enää seuraa nokan profiilia. Jouset alkavat tällöin käytännössä hyppimään hallitsemattomasti voiden aiheuttaa keinuvivun katkeamisen, nokka-akselin vaurioitumisen tai jopa männän osumisen venttiiliin.



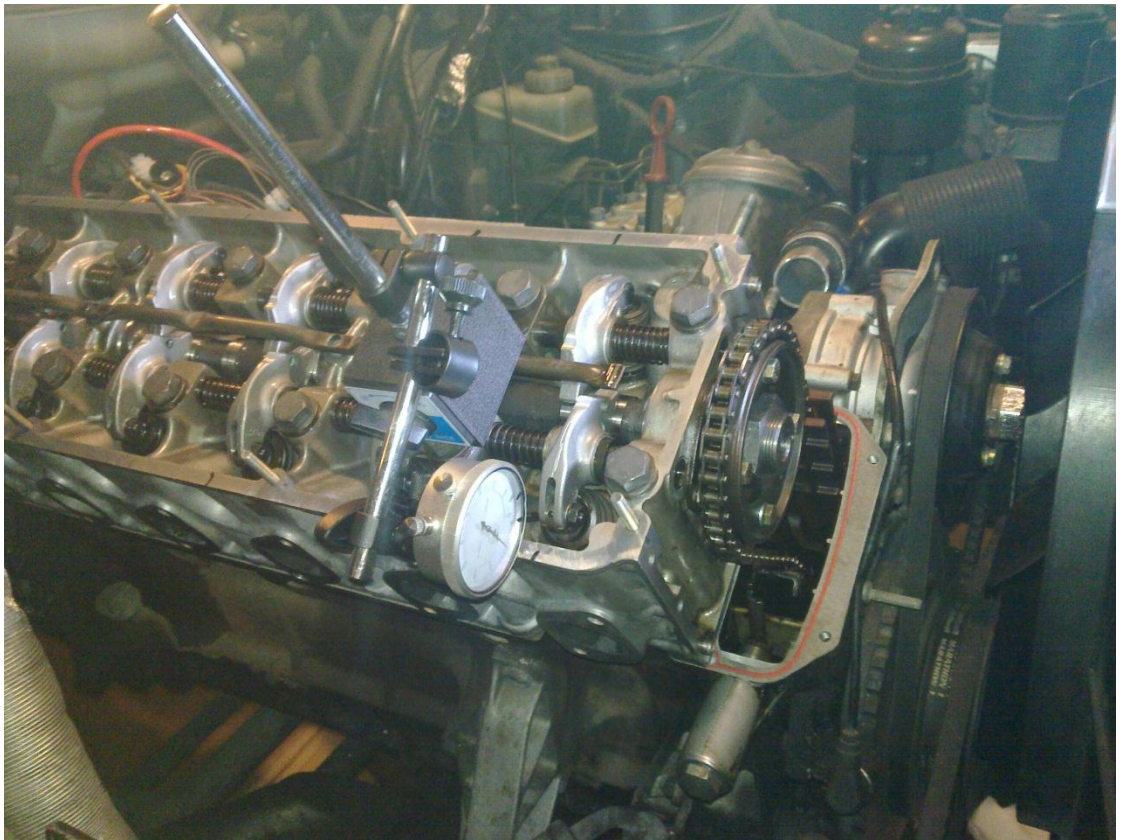
KUVA 8. Nokka-akselin, keinuvipuakseleiden sekä keinuvipujen asennus

Uudella viritysnokka-akselilla ja 1,5 millimetriä madalletulla kannella jäi venttiilin ja yläkuolokohdassaan olevan männän väliin heittokellolla mitattuna liian vähän tilaa. Venttiilin ja männän väliin on hyvä jäädä vähintään 1,5 millimetriä tilaa, jottei mäntä ja venttiili pääse kosketuksiin missään tilanteessa moottorin käydessä. Tämä ratkaistiin tekemällä paineilmavingulla hiomakärkeä käyttäen pienet lisäsyvennykset mäntiin. Prosessi on todella työläs ja aikaa vievä, mutta se kannattaa tehdä huolella ja tarkasti, jotta ongelmilta vältytään.



KUVA 9. Mäntien lisäsyvennykset valmiina

Nokka-akseli ajoitettiin heittokellon avulla. Moottorin alakerta oli valmiiksi siinä asemassa, että ykkössylinteri oli yläkuolokohdassaan. Tämän jälkeen ennen kuin kansi asennettiin lopullisesti paikalleen, käännettiin nokka valmiiksi lähelle oikeaa asentoon. Kun sylinterikansi oli nostettu paikalleen ja kiristetty sekä säädetty venttiilinvälkyt nokka-akselin valmistajan ilmoittamiin 0,25 millimetrin välyksiin, säädettiin sitten heittokellolla nokka-akseli lopulliseen asentonsa ja kiristettiin nokkapyörästä pultit kiinni. Alkuperäisestä nokkapyörästä koneistettiin säädettävä, jotta ajoitus saadaan kohdalleen, vaikka sylinterikantta onkin madallettu.



KUVA 10. Nokan ajoitus heittokelloa käyttäen

Jakoketjun öljynpaineella toimivaan kiristimeen tehtiin myös kuvan 11 mukainen varmistus, mikä estää ketjun liiallisen löystymisen, jos kone jossain tilanteessa pääsisi pyörimään takaperin. Ilman tätä varmistusta mäntä todennäköisesti ottaisi venttiiliin kiinni edellä mainitussa tilanteessa.



KUVA 11. Alkuperäiset ketjunkturistimen osat, joista alempana olevaan rakennettu varmistus

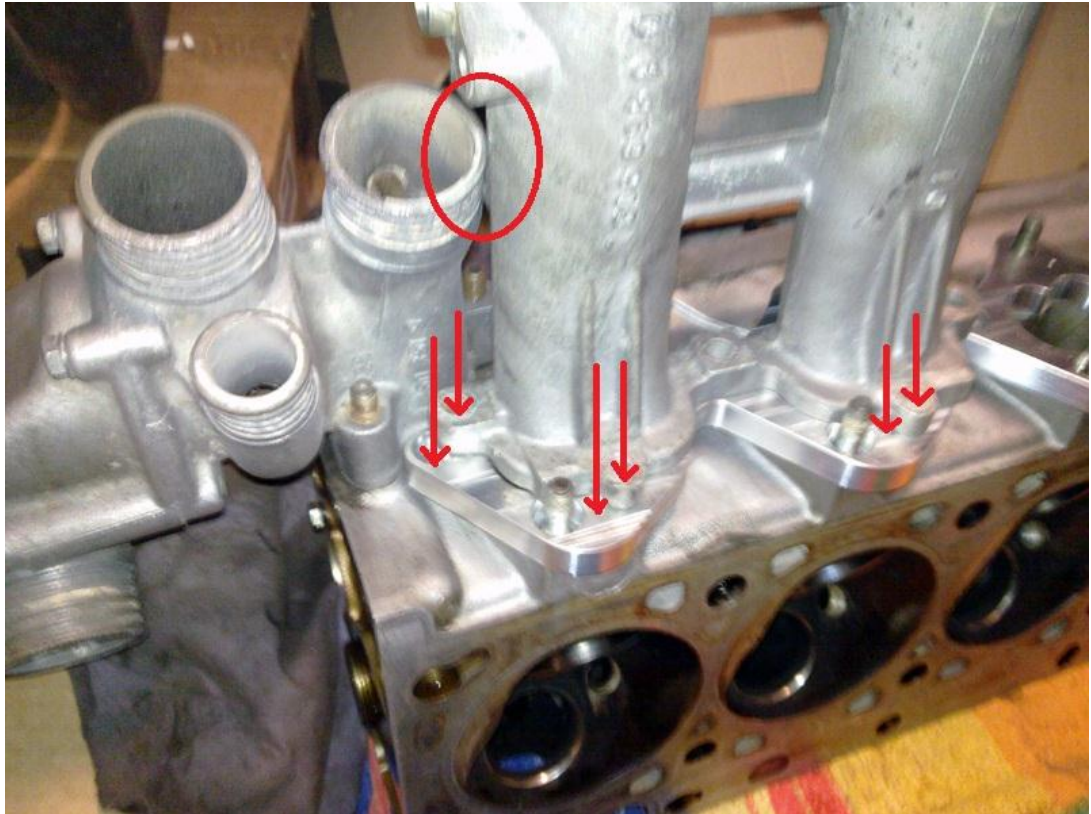
4.4 Läppärungot

Läppärungot hankittiin käytettynä, ja ne ovat peräisin E28-korimallin M5 BMW:stä. Nämä läppärungot soveltuvat hyvin tähän moottoriin, sillä rungot ovat valmiiksi samalla jaolla kuin mitä sylinterikannen kanavat. Näiden läppärunkojen kanavien muoto oli jo valmiiksi lähellä kannen kanavan muotoja, mutta myös niitä muokattiin hieman, jotta nekin istuvat saumattomasti läppärunkojen kiinnitystä varten oleviin adapterilevyihin sekä kannen kanaviin. Läppärungot myös purettiin sekä puhdistettiin kunnolla ja lisäksi öljyttiin akselit sekä laakerit. Runkojen välisten ilmanjakoputkien o-renkaat vaihdettiin myös uusiin mahdollisten imuvuotojen poistamiseksi.

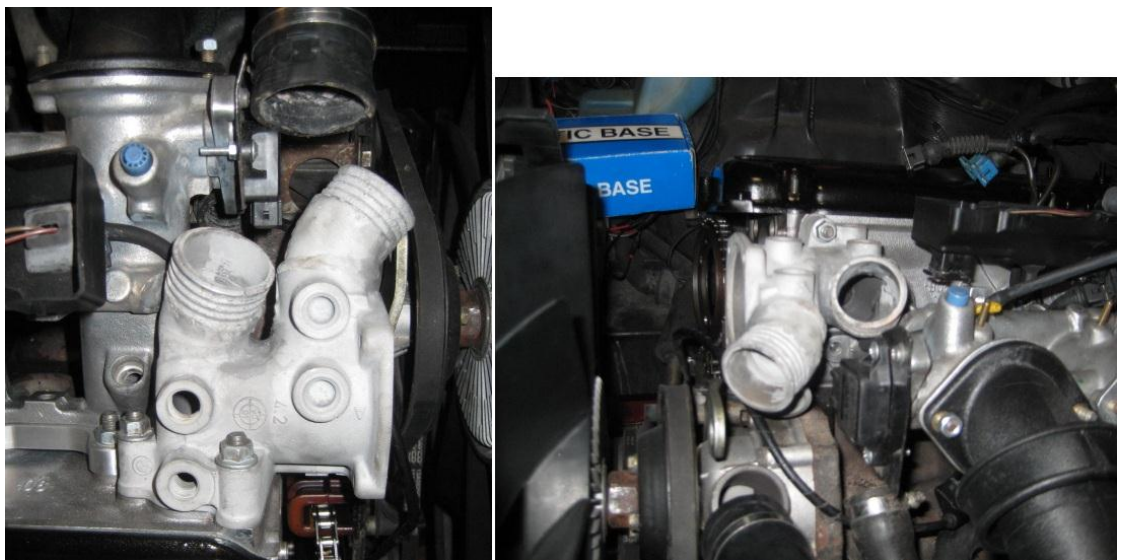


KUVA 12. Vasen läppärunkopari purettu puhdistusta varten

Imukanavien vieressä sijaitseva termostaattikotelo kuitenkin osoittautui ongelmaksi, sillä läppärungot ottivat siihen kiinni, jolloin niitä ei voinut myöskään kiinnittää kanteen. Myös kaasuläppien asentotunnistin sijaitti samalla linjalla ylävesiletkun ja termostaattikotelon letkulähtön kanssa, jolloin tästäkin syystä koteloa joutui muokkaamaan alumiinihitsaamalla muuttaen letkulähtöjen pituutta sekä suuntaa.



KUVA 13. Ongelma läppärunkojen ja termostaattikotelon kiinnityksessä

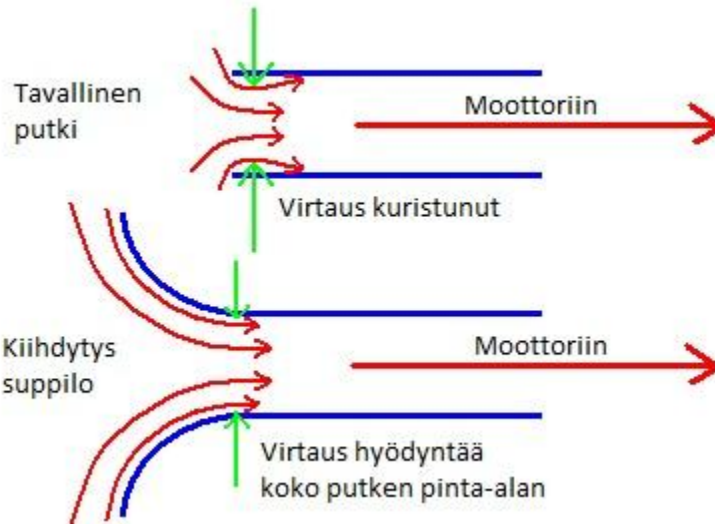


KUVA 14. Ongelma korjattu lähtöjen kulmia ja pituuksia muuttamalla

Läppärunkoja asentaessa ilmeni myös, että kaasuvipu otti konehuoneen tulipellisä sijaitsevaan paisuntasäiliöön kiinni. Ongelma korjattiin niinkin yksinkertaisesti kuin vääntämällä kaasuvipua sen verran, että ongelma poistuu. Kaasuvaijerin kiinnitykseen hankittiin alkuperäinen läppärunkoihin kiinnitettävä metalliosa, johon kaasuvaijerin säätökappale tulee kiinni. Seuraavaksi oli aika asentaa läppärunkoihin imutorvet. E34-korimallin 3,6-litraisessa M5-mallissa imutorvet ovat 120 millimetriä pitkät ja 46 millimetrin sisähalkaisijalla. Sama sisähalkaisija on myös käyttämässäni läppärungoissa ja siksi valinta oli helppo. Kyseiset BMW:n valmistamat imutorvet ovat kuitenkin tarkoin suunnitellut sekä niiden suuaukossa on 180 asteen pyöritys, joka parantaa ilman virtausta imukanaviin, kuten kuvasta 16 ilmenee. Imutorvien päihin hankittiin erittäin laadukkaat 150 millimetriä pitkät Redlinen valmistamat yksiosaiset vaahtomuoviset imutorvisuodattimet, joiden sisällä on lisäksi jousi pitämässä suodattimia ryhdissä ja estämässä kurttuun menemistä, mikäli suodatin joutuu nojaamaan esimerkiksi moottoritilaa vasten.



KUVA 15. Läppärungot, termostaattikotelo, imutorvet sekä imutorvisuodattimet asennettuna



KUVA 16. Ilman virtaus tavallisessa putkessa verrattuna pyöristetyllä päällä olevaan putkeen

4.5 Polttoainejärjestelmä

Polttoainejärjestelmään ei tehty muita muutoksia kuin suurempituottoisten suuttimien asentaminen. Alkuperäisten suuttimien tuotto oli vain 188cc/min 3 barin polttoaineen paineella, jonka todettiin Megasquirtin avulla tallennetuista lokitiedoista olevan juuri ja juuri riittävä moottorin ollessa viritysteeltään vakio, sillä täydellä kuormituksella niiden käyttösuhte oli jo niinkin korkea kuin 90 %. Tämä tarkoittaa sitä, että sadan sekunnin aikana suutin on avoinna 90 sekuntia. Näin korkea käyttösuhte voi aiheuttaa suuttimiin tuotoseroja sekä turhaa ylikuumentumista ja vaaraa suuttimien hajoamiseen. Näin siis todettiin alkuperäisten suuttimien riittämättömyys, kun moottoria lähdettiin virittämään.

Uusien suuttimien tarvittava tuotto laskettiin kaavoja 3 ja 4 käyttämällä, eli ensin laskettiin suihkutussuuttimen teoreettinen virtausmäärä ja tästä saatua arvoa käyttämällä staattinen virtausarvo. Koska tässä vaiheessa ei vielä tiedetty, kuinka paljon hevosvoimia moottori tulee valmiina tuottamaan, laskelmat tehtiin likiarvoisesti käyttämällä kaavoissa hevosvoimien määränä 250 ja suuttimien maksimi käyttöasteena 75 %. Kyseisiä arvoja käyttäen saatiin tulokseksi 255 cc/min, jonka perusteella uudet suuttimet hankittiin alkuperäisten tilalle. Jos suuttimia ei oltaisi vaihdettu suurempiin, olisi alkuperäisistä suuttimista noussut käyttösuhte vieläkin

suuremmaksi ja niiden ruiskutusmäärä ei olisi riittänyt, jolloin myös moottoriteho olisi jäänyt alhaisemmaksi.

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

,jossa TF= teoreettinen virtaus (cc/min), HP= moottorin maksimiteho (hv), K= kerroin (4,6 vapaastihengittävälle moottorille, 5,6 ahdetulle moottorille), C= sylinterien lukumäärä.

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

,jossa SF= staattinen virtausarvo (cc/min), TF= teoreettinen virtaus, N= suuttimien lukumäärä per sylinteri, M= suuttimien käyttösuhte (%)

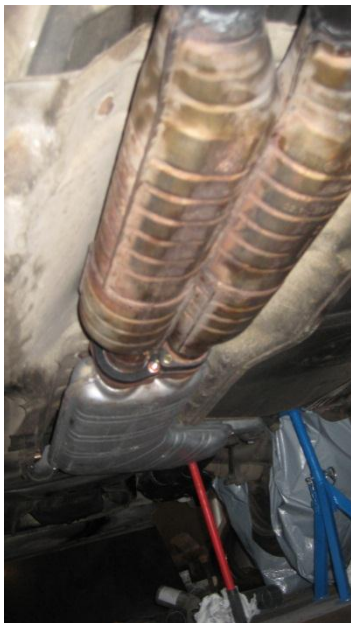
4.6 Pakosarja ja putkisto

Kustannussyistä pakosarjoja ei lähdetty tekemään mittatyönä kokonaan uusia, vaan hankittiin käytetyt ruostumattomasta teräksestä valmistetut, BMW:n S38B38-moottorilla varustetusta M5-mallista peräisin olevat pakosarjat. Näihin päädyttiin kohtuullisen saatavuuden ja valmiiksi sopivan mitoituksen takia, sekä myös siksi, että BMW on virtausominaisuuksiltaan ne jo tehtaalla tarkasti suunnitellut tehokkaaseen moottoriin. Hankittujen pakosarjojen asentaminen vaati kuitenkin pakosarjan laippojen vaihtamisen. Tämä toteutettiin leikkaamalla alkuperäiset laipat irti, jonka jälkeen hankittiin valmiiksi muotoillut M30-moottorin kanteen sopivat pakosarjan laipat. Laippoihin joutui hitsaamaan noin 8 cm pitkät putket, jotta pakosarjojen sijainti saataisiin siihen mihin se on suunniteltukin. Alkuperäiset pakosarjat olivat valmistettu valuraudasta ja heikkojen virtausominaisuuksien johdosta olisivat moottoria muutoin virittäessä toimineet esteenä tehokkaalle moottorin hengitykselle.



KUVA 17. Virityspakosarjat, joista alkuperäiset laipat irroitettu

Pakokaasut ohjataan pakosarjoilta auton alle, mihin hankittiin suoraan pakosarjojen perään sopiva pakoputkisto. Tämä putkisto on peräisin samasta autosta, kuin mistä pakosarjatkin ovat lähtöisin. Pakoputkisto koostuu kahdesta 2,5 tuumaa läpimitaltaan olevasta putkesta, jotka kulkevat auton perälle asti. Pakokaasujen puhdistus hoidetaan kahden rinnakkain olevan metalliverkkoisen ja hyvin virtaaviksi todettujen katalyysaattorien avulla.



KUVA 18. Pakoputkisto katalyysaattoreineen

5 MEGASQUIRT

Moottorin ohjainlaitteeksi valittiin Bowling & Grippon alun perin kehittämä ja suunnittelema avoin tee-se-itse-tyyppinen ohjainjärjestelmä nimeltään MegaSquirt. MegaSquirtin etuja ovat muun muassa sen asennettavuus mihin tahansa kipinäsytytyksellä varustettuun ottomoottoriin, joka on varustettu sähköisellä polttoaineen suihkutusjärjestelmällä. Se ei myöskään ole ns. kaupallinen ohjainlaite, vaan jokaisen kehiteltävissä ja muunneltavissa oleva ohjainjärjestelmä ohjelmointikoodia myöten. Hyvinä puolina tässä moottorinohjauksjärjestelmässä on sen halpa hankintahinta sekä sen saatavuus rakennussarjana. Tämä on hyvä asia, mikäli haluaa omakohtaisesti perehtyä moottorin ohjainlaitteen toimintaan ja rakenteeseen. Tällöin pystyy myös rakentamaan ohjainlaitteen piirilevyyn juuri ne ominaisuudet, joita itse omassa sovelluksessaan tarvitsee. MegaSquirtia säätäessä ei myöskään tarvitse osata mitään erityistä koodikieltä, vaan sen säätämiseen on olemassa ilmaisia ja valmiita ohjelmistoja, kuten hieman vanhanaikaisen oloinen Megatune sekä modernimpi ja monipuolisempi TunerStudio MS. Tällöin polttoaine- ja sytytyskarttojen sekä muiden ominaisuuksien säätämiseen riittää oma tietokone ja ilmainen säätöohjelma. Tässä työssä käytettiin nykyaikaisempaa TunerStudio MS-ohjelmaa, jolla ohjainlaitteen ominaisuuksia saadaan paremmin ja helpommin hyödynnettyä ja muunneltua. Toisaalta haasteita ja vaikeustasoa lisäsi se, ettei kyseiselle moottorinohjaimelle ole olemassa mitään virallista toiminnan varmistavaa teknistä tukea, vaan kaikki rakentamisen yhteydessä ilmenevät pulmat on ratkaistava itse.

MegaSquirtista on tullut vuosien saatossa markkinoilla useita eri kehitysversioita. Esimerkiksi prosessoreita on valittavissa kolme erilaista, kukin omaa aikakauttaan edustava. Uusin MS III-prosessori on tullut juuri äskettäin markkinoille. Piirilevyjä on valittavissa myös kolme eri vaihtoehtoa. V2.2 on vanhin ja yksinkertaisin ja V3.0 on uusin kehitysversio. Nämä kaksi versiota ovat itse rakennettavia, mutta saatavilla myös V3.75, joka on peruskomponenteiltaan valmiiksi rakennettu hyödyntäen pintaliitoskomponentteja. Tässä työssä käytetään MS II-prosessoria ja V3.0-piirilevyn rakennussarjaa. V3.75-piirilevyä ei valittu, koska haluttiin opiskella moottorin ohjainlaitteen toimintaan perusteellisesti sekä tehdä mahdollisimman paljon itse. Tällöin ohjainlaitteesta saatiin ominaisuuksiltaan juuri sellainen kuin haluttiinkin.

Lisäksi pintaliitoskomponenteilla kasatun piirilevyn muokkaaminen olisi ollut reilusti vaikeampaa verrattuna tavanomaiseen piirilevyyn. /4./

5.1 Ohjainlaitteen rakentaminen

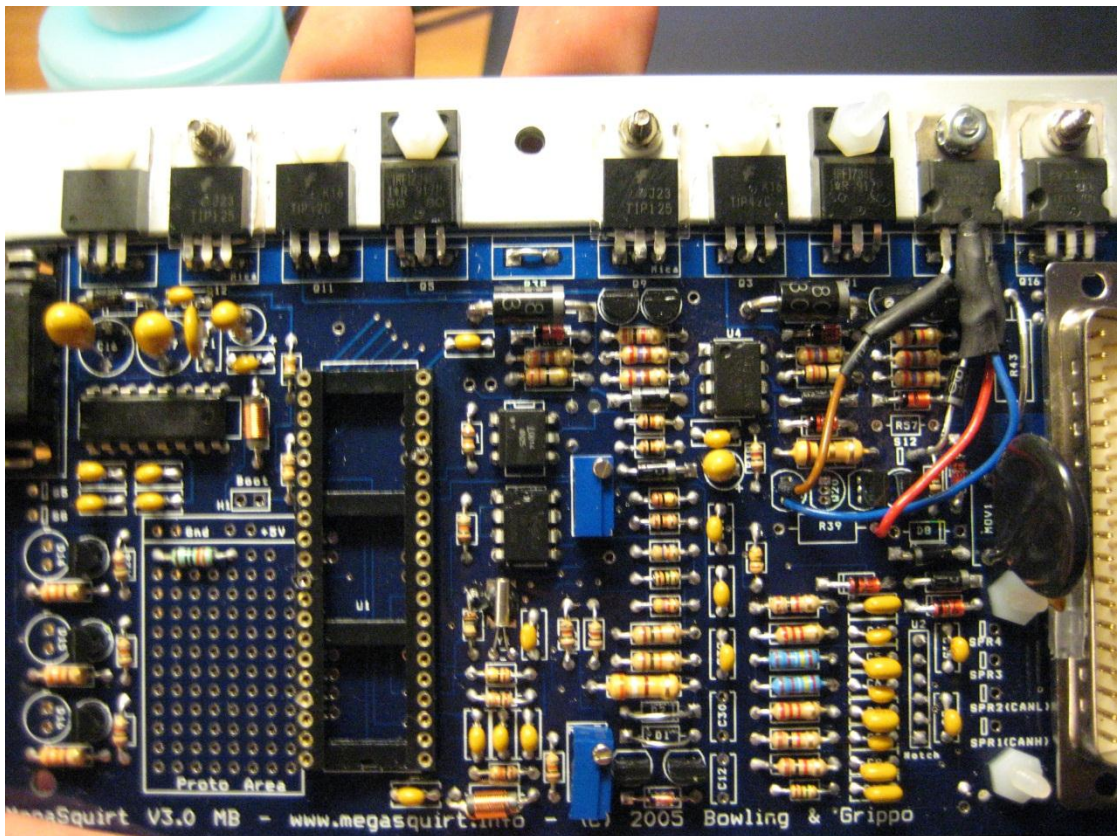
Ohjainlaitteen rakentaminen aloitettiin leikkaamalla alkuperäisestä Motronic 1.3-moottorinohjaimesta piirilevy irti moottorin johtosarjaan liitettävästä liittimestä ja kotelosta. Seuraavaksi ryhdyttiin rakentamaan tilalle tulevaa MegaSquirt-ohjainlaitetta. Rakennussarjan mukana ei tullut minkäänlaisia ohjeita, mutta internetissä on englanninkielinen ohje sen rakentamiseen. Kyseinen ohje on kuitenkin vain suuntaa antava, ja tiettyjä toimintoja halutessa näistä ohjeista jouduttiin poikkeamaan. Ohjeessa tuli myös vastaan kohtia, joissa joutui valitsemaan eri ominaisuuksien väliltä. Toisinaan tutkimustyöhön kului jopa useampi viikko, ennen kuin selvisi, mitä komponentteja seuraavaksi tulee asentaa.



KUVA 19. MegaSquirt MS II V3.0-rakennussarja

Koska piirilevy oli tarkoitus asentaa alkuperäisen moottorin ohjainlaitteen alkuperäisten kuorien sisälle, täytyi rakennussarjan mukana tulleen 90-asteen kulmassa olevan 37-napaisen liittimen tilalle hankkia pystymallinen liitin. 90-asteista

liitintä käyttäessä se olisi ottanut kotelon sivuseinämään kiinni. Lisäksi hankittiin samalla kertaa rakennussarjan kanssa komponentit, jotka asentamalla pystyttiin hyödyntämään auton alkuperäistä, pulssiohjattua tyhjäkäyntimoottoria. Jotkin komponenteista olivat myös todella pieniä, jolloin niiden juottaminen piirilevyyn oli melko haastavaa. Piirilevyn eri osa-alueita olisi ollut myös mahdollista testata toimivuudeltaan jo kasausvaiheessa siihen suunniteltua stimulaattoria hyväksikäyttäen. Näin ei kuitenkaan tehty, sillä en ollut kyseistä stimulaattoria hankkinut. Koko piirilevy tehtiin siis suoraan valmiiksi asti, ja tästä syystä oli syytä olla erityisen huolellinen jokaisen juotoksen sekä komponentin suhteen. Kun piirilevy oli juotosten osalta valmis, oli aika siirtyä suunnittelemaan johtosarjan tekemistä.

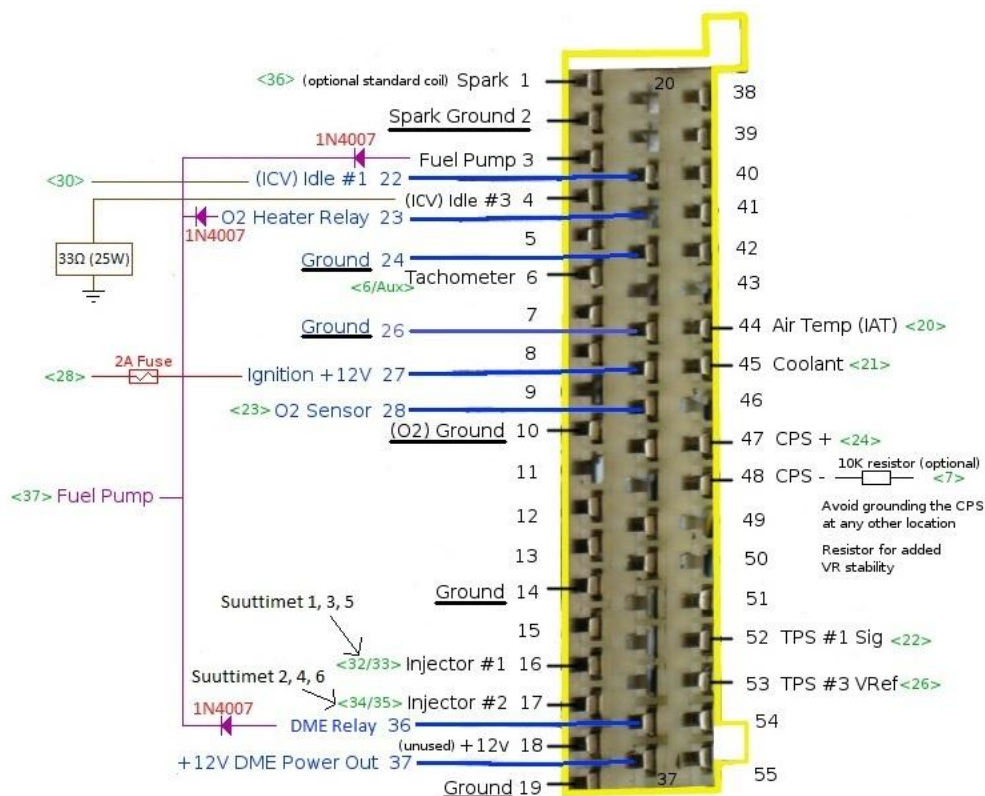


KUVA 20. MegaSquirt-piirilevy ilman prosessoria

5.2 Johtosarja

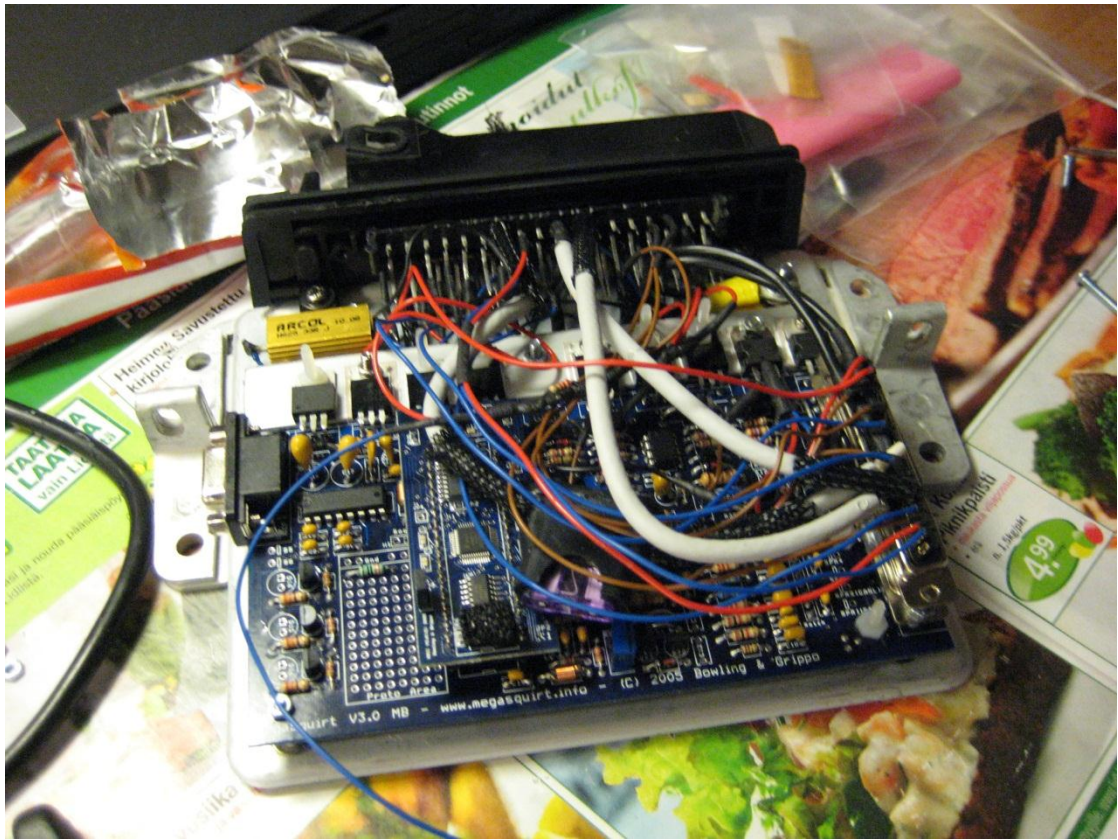
Koska MegaSquirtin piirilevy päätettiin asentaa alkuperäisen moottorin ohjainlaitteen kotelon sisälle, ei johtosarjasta tarvinnut tehdä kuin noin 20 cm pituinen. Näin tehdessä asennuksesta saadaan mahdollisimman yksinkertainen, sekä pystytään

hyödyntämään moottorin alkuperäistä johtosarjaa täysin. Moottorin anturit ja komponentit olivat myös imuilman lämpöanturia, kaasuläpän asentotunnistinta sekä lambda-anturia lukuunottamatta suoraan yhteensopivat MegaSquirtin kanssa. Imuilman lämpöanturia ei ollut alunperin ollenkaan, mutta johtosarjan suhteen tässäkin tilanteessa pystyttiin hyödyntämään uuden ohjainlaitteen myötä turhaksi jääneen ilmamäärämittarin johdotus. Kaasuläpän asentotunnistimen tilalle täytyi vaihtaa potentiometrinen tunnistin, sillä alkuperäinen anturi ei tunnista kuin joutokäynti, sekä täyskaasun asennon. Potentiometrinen tunnistin taas tunnistaa kaasuläppäakselin jokaisen asennon. Lisäksi tavallisen kapeakaistaisen lambda-anturin tilalle vaihdettiin laajakaistainen anturi, sillä alkuperäistä anturia käyttämällä ei seoksia pysty juurikaan säätämään kapeasta mitta-alueesta johtuen. Tavallinen lambda-anturi mittaa jännitettä välillä 0-1V, kun laajakaistainen taas kykenee mittaamaan välillä 0-5V. Kytkenät MegaSquirtin 37-napaisen liittimen ja moottorin johtosarjaan käyvän 55-napaisen liittimen välille tehtiin kuvan 21 mukaisesti. Kuvassa vihreän väriset hakasulkeiden sisällä olevat numerot ilmoittavat sijainnin MegaSquirtin 37 napaiseen liittimeen. Lisäksi MegaSquirtin liittimestä täytyi maadoittaa navat 8-19 ohjainlaitteen koteloon.



KUVA 21. Moottorin johtosarjan kytkentäkaavio

Kun johtosarja oli saatu kytkentöjen osalta valmiiksi, ei tarvinnut tehdä muuta kuin kiinnittää valmis piirilevy kotelon pohjaan kiinni ja kytkeä johtosarjan 37-napainen liitin piirilevyyn kiinni. Tämän lisäksi kotelon kanteen tehtiin tarvittavat aukot imusarjan alipainetta mittaavalle letkulle sekä piirilevyltä tietokoneeseen liitettävälle johdolle. Tämän jälkeen ohjainlaite oli valmis ja helppo asentaa alkuperäiseen paikkaansa ja kytkeä moottorin johtosarjan alkuperäinen liitin kiinni. Ohjainlaite toimi heti hienosti, joten tarkka ja harkittu kokoaminen tuotti heti tulosta tässä suhteessa.

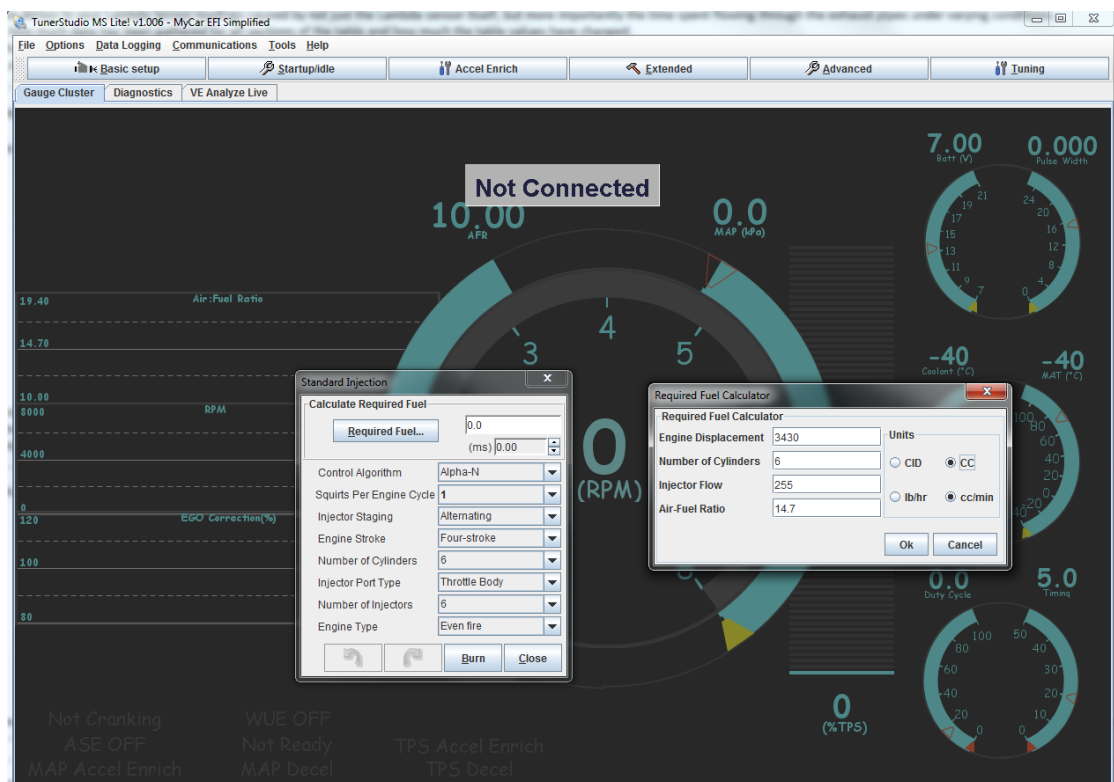


KUVA 22. Valmis MegaSquirt-ohjainlaite ja johtosarja Motronic 1.3 koteloon rakennettuna

6 SÄÄTÄMINEN TUNERSTUDIO-OHJELMALLA

MegaSquirtin säätämiseen valittiin TunerStudio MS-niminen ohjelma, sillä sen todettiin olevan ulkoasultaan sekä ominaisuuksiltaan modernimpi ja selkeämpi verrattuna esimerkiksi MegaTune-nimiseen ohjelmaan. Säätötoimenpiteet aloitettiin asettamalla ohjelmaan moottorin pysyvät parametrit. Ohjelmassa on sisäänrakennettu toiminto, joka laskee tarvittavan polttoainemäärän. Tämän laskentaan syötettiin tiedot

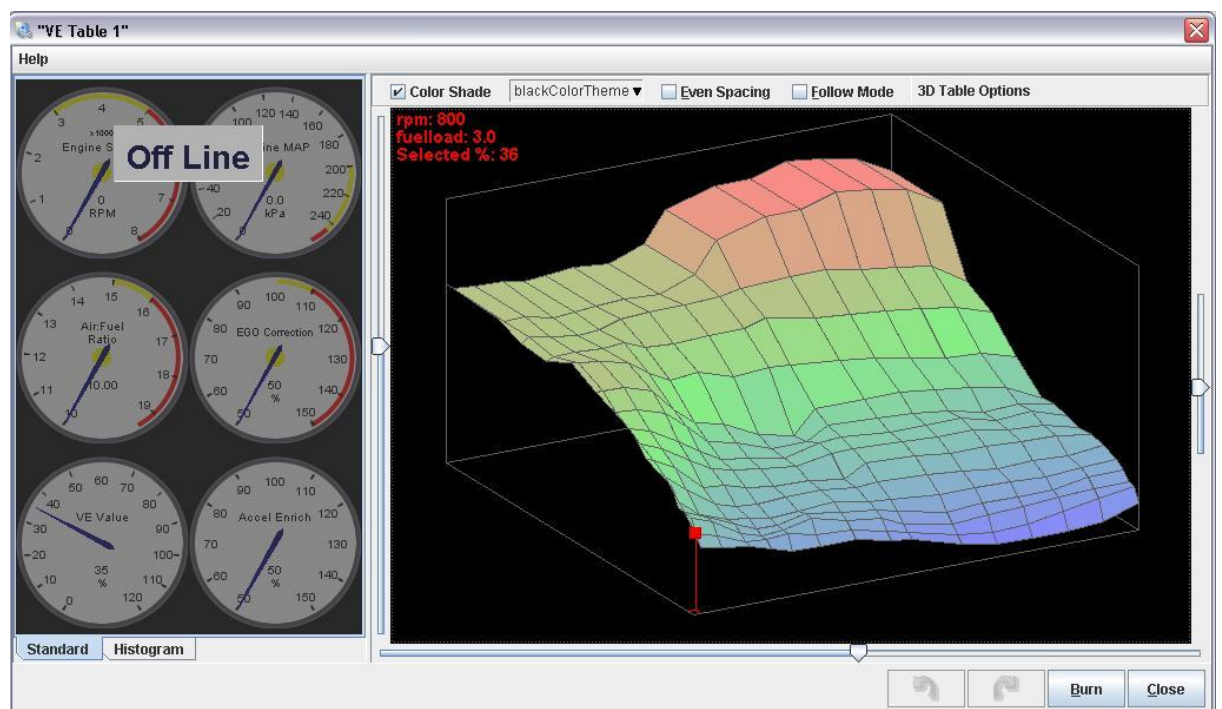
sylinterien lukumäärästä, iskutilavuudesta, halutusta seossuhteesta sekä suuttimien virtauskapasiteetista. Muita moottorikohtaisiin suureisiin vaadittuja asioita olivat myös lamda-anturin tyyppi, moottorin tahtisuus, suuttimien samanaikainen tai jaksoittainen aukeaminen sekä suuttimien lukumäärä. Tämän jälkeen myös imuilman lämpötila-anturi sekä moottorin jäähdytysnesteen lämpötila-anturit täytyivät kalibroida ohjelmaan. Tämän pystyy määrittämään mittaamalla anturista vastusta eri lämpötiloissa, jonka jälkeen arvot syötetään ohjelmaan. Tässä tapauksessa mittauksia ei tarvinnut tehdä, sillä antureiden kalibrointi-arvot löytyivät valmiina suoraan TunerStudio-ohjelmasta.



KUVA 23. Moottorin vakioiden määrittäminen TunerStudio-ohjelmaan

Alkuperäistä imusarjaa käyttäessä polttoainekarttaa voitiin säätää mittaamalla imusarjan alipainetta sekä moottorin kierrosnopeutta. Siirryttäessä läppärunkoihin ja jyrkempään nokka-akseliin tämä ei enää kannattanut, sillä läppärungoissa oleva alipaine ei ollut enää yhtä voimakas ja tasainen kuin alkuperäisessä imusarjassa. Tällöin ohjelmasta muutettiin polttoainekartta Alpha-N-ohjatuksi. Alpha-N-ohjatussa polttoainekartassa pystyakselilla on imusarjan alipaineen sijaan kaasuläpän asentotieto, joka ilmoitetaan prosentteina nolasta sataan. Tällöin kartasta pystyttiin tekemään oikein jaoteltuna tarkempi ja tasaisempi. Vaaka-asteikkona käytetään

edelleen moottorin kierroslukutietoa, jota MegaSquirt lukee kampiakselin päässä sijaitsevalta 60-2-tyyppiseltä triggeripyörältä. Polttoainekartassa säädetään suuttimien aukioloaikoja eri kuormitusasteen mukaiseksi kohti haluttua polttoaineen seossuhdetta. Polttoainekarttaa säädettiin ajossa siten, että käytettiin mahdollisimman paljon eri kuormitusasteita eri kierrosnopeuksilla seuraten samalla laajakaistalambdan ilmoittamaa polttoaineen seossuhdetta. Ajon aikana tallennettiin kaikki ohjainlaitteen tiedot logiin. Tämän jälkeen pystyi rauhassa analysoimaan polttoaineen seossuhdetta eri tilanteissa ja tekemään polttoainekarttaan muutoksia tämän perusteella. Lopullisen säätötyön tehodynamometrissä suoritti kuitenkin Motest-niminen yritys Jyväskylässä.



KUVA 24. 3D-polttoainekartta ja apumittaristo

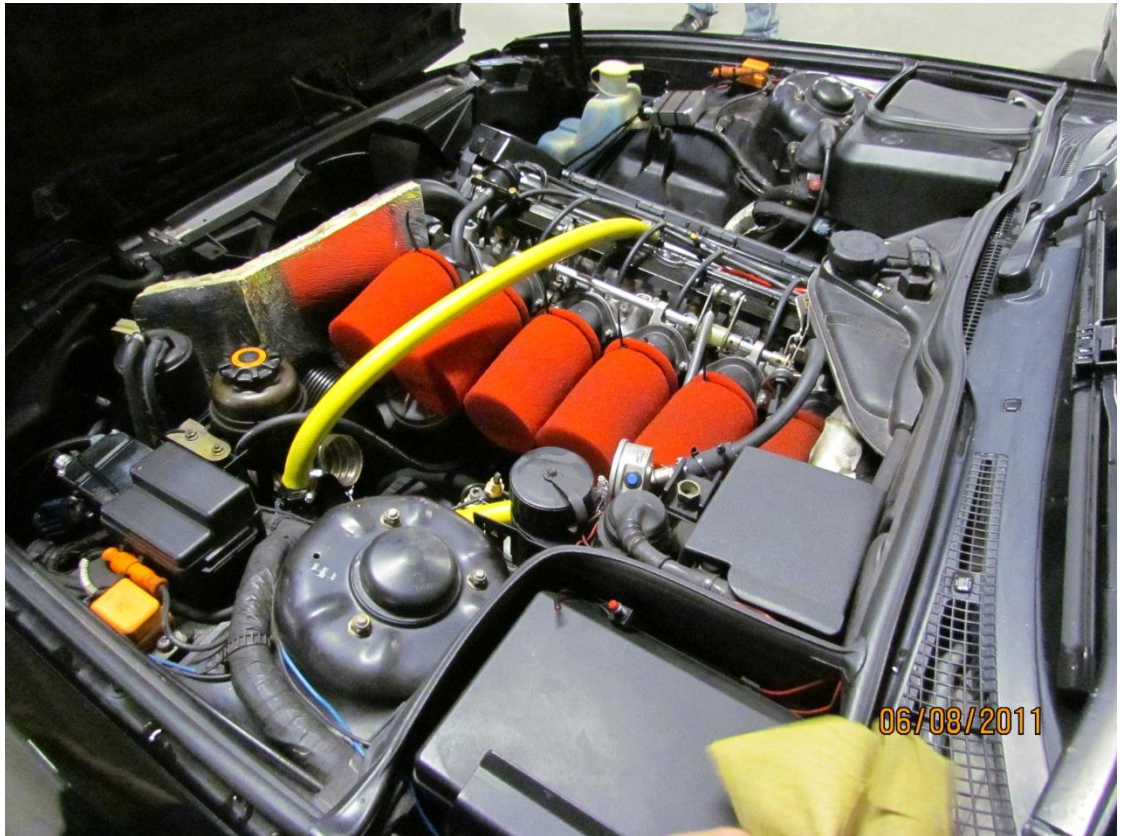
Sytytyskartan säätämisessä päätettiin käyttää edelleen tavanomaista mittaustapaa, eli imusarjan alipainetta sekä kierrosnopeustietoa. Tähän päädyttiin, koska sytytysennakkokartta ei ole esimerkiksi moottorin nykimisen, eikä myöskään säätämisen helppouden kannalta yhtä kriittinen kuin polttoainekartta. Imukanavien alipaineen paineheittelyiden tasoittamiseksi painetta mittaavalle anturille kulkevan letkun väliin lisättiin kaasutinmoottoriin kuuluva polttoainesuodatin, jonka on todettu tasaavan painetta ja antavan siten tarkemman mittaustiedon anturille.

Sytytyskartan säätäminen ajossa oli paljon haasteellisempaa kuin polttoainekartan säätäminen, sillä moottori ei alkanut nakuttamaan edes todella korkeilla sytytystenakoilla. Tästäkin syystä autoon tehtiin lopullinen säätötyö tehdynamometrissa, jossa moottorin tehon nousun tai laskun pystyy toteamaan heti ja tekemään karttoihin välittömiä muutoksia. Lisäksi ohjelmassa on mahdollista tehdä myös erillinen seossuhdekartta ja määrittää moottorinohjaus muuntamaan polttoaineen seossuhteessa kyseisiä arvoja kohti. Tällöin on syytä asettaa myös tietynlaisia reunaehtoja tämän kyseisen toiminnon suhteen ja esimerkiksi kylmällä moottorilla tai täydellä kaasulla kiihdyttäessä tästä ominaisuudesta voi olla enemmän haittaa kuin hyötyä. Tätä ominaisuutta ei kuitenkaan tässä tapauksessa otettu vielä käyttöön.

Kylmäkäynnistystilanteita varten ohjelmassa on mahdollisuus säätää myös polttoaineseoksen rikastusta eri jäähdytysnesteen lämpötilan mukaan. Tämän lisäksi moottorin joutokäyntiä voidaan säätää samalla periaatteella, eli kylmällä moottorilla joutokäyntikierronnopeutta voidaan korottaa ja moottorin lämmitessä kierrosnopeus laskee hiljalleen kohti lämpimälle moottorille määriteltyä arvoa. Lisäksi ohjelmassa on todella monia säätömahdollisuuksia valmiina vieläkin tarkempaan moottorin hienosäätöön sekä valmiudet useiden eri järjestelmien käyttöön.

7 MITTAUKSET JA TULOKSET

Onnistuneiksi tuloksiksi voidaan laskea osiltaan jo suoraan toimivaksi rakennettu MegaSquirt-ohjainlaite sekä myös onnistuneet toimenpiteet moottorin mekaanisen virittämisen suhteen. Eron mekaanisesti tehdaskuntoiseen moottoriin huomasi heti tehdynamometrissä tehtyjen säätötoimenpiteiden jälkeen. Ero oli todella selkeä suorituskyvyn suhteen. Lisäksi auto meni myös puhtaasti läpi vähäpäästöisen auton päästörajoista katsastuksen yhteydessä. Tämä osoittaa huomattavan moottorin hyötysuhteen kasvattamisen onnistuneesti ilman, että haitalliset pakokaasupäästöt olisivat juurikaan lisääntyneet. Myös asennuksen ulkonäöstä tuli erittäin onnistunut ja siisti. Tilaa ei moottoritilassa ole juurikaan ylimääräistä, sillä nykyinen kokoonpano täyttää tilan alkuperäistäkin tarkemmin. Kuvista 25 ja 26 ilmenee moottoritilan lopullinen ulkonäkö sekä komponenttien sijoittelu.



KUVA 25. Valmiiksi rakennettu moottori



KUVA 26. Valmiiksi rakennettu moottori

Alkuperäiskuntoisen moottorin ja mekaanisesti viritetyn moottorin dynamometrikarttoja vertaamalla (liite 1 ja liite 2) voidaan havaita, että moottorin suorituskyvylliset ominaisuudet ovat parantuneet koko kierrosalueella ja lisäksi moottorin jo tunnetuksi tulleet alavääntöominaisuudet on saatu säilytettyä ja jopa parannettua entisestään. Liitteessä 1 näkyvä teho- ja vääntökäyrä kuvaavat suoraan moottorin ominaisuuksia, kun taas liitteessä 2 näkyvässä dynamometrikartassa teho- ja vääntökäyrä taas kuvaavat takapyöriltä mitattua tehoa, joten tämä on syytä huomioida pelkkiä karttoja verratessa. Liitteessä 2 ilmoitettu suurin teho ja vääntö ovat kuitenkin moottorille ilmoitettuja arvoja, joten voimme siis havaita esimerkiksi huipputehon nouseen yli 46 hevosvoimaa lukemasta 215,6 lukemaan 262, joka on vapaasti hengittävälle moottorille hyvin onnistunut suorituskyvyn lisäys. Tasaisesti nouseva teho- ja vääntökäyrä kertovat myös moottorin olevan mekaanisesti hyvässä kunnossa. Oletuksena oli työtä tehdessä, että moottorista saataisiin ainakin 250-hevosvoimainen, joten tässä suhteessa tavoitteet ylitettiin kirkkaasti. Auto oli myös esitteillä Kouvolassa järjestetyssä Night Cruising-harrasteautonäyttelyssä ja vaikutti kiinnostavan myös monia paikalle saapuneita vierailijoita.



KUVA 27. Valmis auto harrasteautonäyttelyssä

8 POHDINTA

Koska opinnäytetyö oli sisällöltään erittäin laaja, täytyi siinä perehtyä paljon niin teoreettisiin asioihin kuin itse mekaaniseen työhönkin. Työn tarkoitus oli perehtyä ja tutkia, kuinka voitaisiin lähteä parantamaan alkuperäisen moottorin suorituskyvylisiä ominaisuuksia ilman, että auton ajomukavuus kärsisi ja auton pystyisi edelleen katsatamaan normaalisti siviililiikenteeseen. Moottorista saatavista suorituskyvylisistä arvoista oli jonkin asteinen aavistus, mihin ne voisivat nousta, mutta pyrkimys jokaisen osa-alueen huolelliseen toteutukseen palkitsi vieläkin paremmilla tuloksilla. Opinnäytetyö opetti niin teorian kuin mekaanisen toteutuksen puolesta auton moottorin toiminnan sekä eri osa-alueiden muuntamisen vaikutukset moottorin toimintaan. Lisäksi työ opetti hallitsemaan monimutkaista projektia kokonaisuutena sekä toimimaan ennalta laaditun suunnitelman mukaan. Yksi tärkeimmistä opituista asioista oli myös moottorin ohjainlaitteen toiminta, rakentaminen sekä haluttujen ominaisuuksien pohtiminen ja toteuttaminen.

Työ vei aikaa suurin piirtein niin pitkään, mitä olin suunnitellutkin, mutta välillä jonkin yksittäisen ongelman ratkaisuun saattoi kulua aikaa jopa useampi viikko. Autolla on ajettu työn valmistumisen jälkeen noin 5000 kilometriä ja käyty ajamassa myös moottoriradalla. Mitään mekaanisia vikoja ei näiden kilometrien aikana ole ilmentynyt. Työn valmistuttua nousi esille myös muutamia kohteita, joita muuntamalla moottorista saataisiin ominaisuuksiltaan vielä suorituskykyisempi. Suuttimet olivat laskettu ja mitoitettu 250 hevosvoiman mukaan, joten nykyisillä yli 260 hevosvoiman tehoilla niiden käyttösuhte on hieman haluttua korkeampi ollen korkeimmillaan jopa 85 %. Myös polttoaineen painetta voisi kohottaa nykyisestä 3 barista ainakin yhden barin korkeammaksi, jolloin polttoaineen sumu olisi moottorin pienilläkin kuormituksilla hienojakoisempaa. Liitteessä 2 näkyvästä tehokartasta voidaan myös todeta, että moottorin huipputeho tuli kohdassa, jolloin moottorinohjauksen kierrostenrajoittimen pehmeä rajoitus kytkeytyy päälle. Huippukierroksia nostamalla ja suuttimet vaihtamalla sekä polttoaineen painetta korottamalla moottorista voidaan odottaa vieläkin parempaa suorituskykyä. Voidaan siis kuitenkin todeta, että opinnäytetyö onnistui laajuudestaan huolimatta suunnittelun ja toteutuksen osalta kuitenkin odotettua paremmin.

LÄHTEET

/1/ Bmwblog. WWW-dokumentti.

<http://www.bmwblog.com/2011/04/15/are-you-going-to-miss-the-big-six-engines>.

Ei päivitystietoa. Luettu 10.12.2011

/2/ Bell A. Graham. Nelitahtimoottorin virittäminen. Helsinki: Alfamer Oy. 1998.

/3/ BMW Club Finland. WWW-dokumentti.

<http://bmwclub.fi/frame?p=/fi/techinfo.html>. Ei päivitystietoa. Luettu 10.12.2011

/4/ Megasquirt 2011. WWW-dokumentti. <http://megasquirt.info>. Päivitetty 22.2.2011.

Luettu 20.1.2012.



LIITE 2.

