

Esa Nykänen

MOOTTORIPYÖRÄN
TURBOAHTAMINEN
Suzuki gsx-r1100

Opinnäytetyö
Auto- ja kuljetusalan koulutusohjelma

Kesäkuu 2012




MIKKELIN AMMATTIKORKEAKOULU

Mikkeli University of Applied Sciences

 MIKKELIN AMMATTIKORKEAKOULU Mikkeli University of Applied Sciences		Opinnäytetyön päivämäärä 28.5.2012
Tekijä(t) Esa Nykänen		Koulutusohjelma ja suuntautuminen Auto- ja kuljetustekniikan koulutusohjelma
Nimeke Moottoripyörän turboahtaminen		
Tiivistelmä Tässä opinnäytetyössä tutkittiin moottoripyörän moottorin tehon lisäämistä ahtamalla. Koska työn kohteena ollut moottoripyörää tullaan myös käyttämään tieliikenteessä, täytyi pyörään tehtyjen muutosten täyttää myös voimassa oleva tieliikennelainsäädäntö. Tehtyjen muutosten vaikutusta seurattiin työn aikana, jolloin niiden tuoman vaikutuksen perusteella voitiin päätellä kyseisten muutosten tuomaa hyötyä ja tarvittaessa tehdä korjauksia muutoksiin. Työn alkuperäisenä tavoitteena oli tutkia välijäähdyttimen hyötyä moottoripyöräkäytössä. Tästä tavoitteesta jouduttiin luopumaan järjestelmän haasteellisesta säätämisestä johtuneen kiireen takia. Laskemalla saatu arvio saavutettavasta tehosta piti yllättävän hyvin paikkansa. Moottorin huono kunto ja vakiosytytysjärjestelmä vaikuttivat todennäköisesti moottorin toimintaan siinä määrin, ettei laskennallista tehotavoitetta saavutettu. Ahtimen turbiinipuoli havaittiin työn aikana liian kookkaaksi kyseiselle moottorille. Tällä turbiinilla ahtimen toiminta-alue sijoittui 8 000 - 11 000 r/min alueelle, joten normaalissa matka-ajossa ahtimesta oli hyötyä vain ohitustilanteessa käytettäessä 2 - vaihdetta. Työstä saatujen kokemusten perusteella moottorille tullaan suorittamaan täydellinen kunnostus, jonka lisäksi ahtimen pakopuoli aiotaan vaihtaa pienempään, jotta ahtopainetta muodostuisi jo noin 4 000 r/min alueelta lähtien. Nykyiset kaasuttimet aiotaan myös korvata sylinterikohtaisella kaasuläppä yksiköllä ja polttoaineen suihkutuksella, jotta polttoaineen syöttöä saataisiin tarkemmaksi. Polttoaineen syötön ohjaus aiotaan järjestää Megasquirt -ohjainyksiköllä, joka mahdollistaa myös sytytyksen ohjauksen ja samalle ohjainyksikölle voidaan myös tallentaa moottorista saatavaa dataa. Mahdollisesti näiden muutosten aikana järjestelmä muunnetaan toimimaan myös RE85 -polttoaineella.		
Asiasanat (avainsanat) Gsx-r1100, turbo, ahdin, moottoripyörä		
Sivumäärä 34	Kieli Suomi	URN
Huomautus (huomautukset liitteistä)		
Ohjaavan opettajan nimi Ehrnrooth Kari		Opinnäytetyön toimeksiantaja

DESCRIPTION

 <p>MIKKELIN AMMATTIKORKEAKOULU Mikkeli University of Applied Sciences</p>		Date of the master's thesis 28.5.2012	
Author(s) Esa Nykänen		Degree programme and option Bachelor's degree in automotive engineering	
Name of the master's thesis Motorcycle turbocharging			
Abstract <p>The aim of this thesis is to study the possibilities how to add power of a motorcycle engine by charging. Motorcycle is going to be used in normal street use, so it has to fulfill local laws and regulations. As this project went along, any modification made to the engine in effort to gain more power were analysed and necessary modifications were made based on results.</p> <p>Original aim of this thesis was to study the efforts of an intercooler in a motorcycle use, but due to challenging tuning of the original carburettors made this study impossible to achieve in available time.</p> <p>Estimated power gain that was calculated was actually quite close to what was achieved. Standard ignition system with no boost retard and the fact that the engine was in need of total overhaul probably were the reasons why calculated estimations were not achieved.</p> <p>During this project the turbine side of the turbocharger was discovered to be too large for this motorcycle engine. With this turbine, boost began to build as late as 8 000 rpm witch is bit too late for normal cruising speeds on a highway. Benefits of this turbocharger were noticed only when passing another vehicle in second gear and when revolutions went over 8 000 rpm.</p> <p>The information gained by this project made clear that the engine has to go thru total overhaul and the current turbine needs to be replaced with a smaller one. By changing the turbine to smaller one causes the turbocharger shaft spin more rapidly in lower engine revs and the compressor side builds boost earlier. Original carburettors are also going to be replaced with individual throttle body and fuel injection. Fuel and ignition control will be guided by Megasquirt-controller which also allows data logging and future modifications to run with high ethanol based RE8.</p>			
Subject headings, (keywords) Gsx-r1100, turbo, charging, motorcycle			
Pages 34		Language Finnish	
URN			
Remarks, notes on appendices			
Tutor Ehrnrooth Kari		Master's thesis assigned by	

Alkusanat

Tässä opinnäytetyössä tutkitaan moottoripyörän moottorin turboahtamista ja pyritään samalla vertaamaan valmiin turbosarjan hintaa itse valmistettavaan sarjaan. Työ on suoritettu viimeisen opiskeluvuoden aikana eikä taloudellinen tilanne ollut parhain mahdollinen. Työ olisi ollut lähes mahdoton suorittaa tässä ajassa ilman ulkopuolista tukea, joten haluan kiittää seuraavia yhteistyökumppaneita opinnäytetyöni edistämisestä: Fixus Mikkeliä ahdin- ja pientarvikkeiden sponsoroinnista, Metallityö Dufvaa painekotelon tarveaineiden ja työkalujen käytöstä, sekä Tmi Hoksua, vara- ja huolto-osien nopeasta toimituksesta.

Esa Nykänen

SISÄLTÖ

1	JOHDANTO	1
2	TYÖN KOHDE.....	2
3	AHTAMISEN PERIAATE.....	3
4	AHTAMISMENETELMÄT	5
4.1	Ram-air -ahtaminen	5
4.2	Kemiallinen ahtaminen	6
4.3	Mekaaninen ahtaminen	6
5	TURBOAHDIN	9
5.1	Historia ja tämän päivän trendi.....	9
5.2	Ahtimen mitoittaminen	12
6	VERTAILUARVOJEN MITTAUS.....	17
7	MUUTOKSET	20
7.1	Kaasuttimet	20
7.2	Ahdin	22
7.3	Ahtimen öljyliitännät	23
7.4	Painekotelo	24
7.5	Välijäähdytin ja öljynlauhdutin	24
8	TULOKSET	26
9	POHDINTA	28
	LÄHTEET	33

1 JOHDANTO

Tässä työssä haluan tutkia, kuinka haastavaa on kaasuttimilla varustetun moottoripyörän turboahtaminen. Moottoripyörän ahtaminen ei työn osalta sinällään poikkea esimerkiksi auton moottorin ahtamisesta. Ainoina eroina ovat oikeastaan rajallisemmat tilat osien asettelussa ja moottorin laajempi käyntialue verrattuna normaalin henkilöauton moottoriin.

Nykyaikaisen moottoripyörän moottori tuottaa tilavuutensa nähden huomattavan paljon tehoa, joka yhdistettynä suhteellisen kevyeen kokonaisuutensa aikaansaa erittäin hyvän teho/painosuhteen, johon harvan autonvalmistajan mallit kykenevät. Tämän teho/painosuhteen parantaminen onkin erittäin haastavaa perinteisin keinoin ilman suuria rahallisia panostuksia. Ahtaminen onkin oikeastaan ainoa keino parantaa moottorin kokonaishyötysuhdetta kohtalaisin kuluin.

1980-luvulla suurimmilla japanilaisilla moottoripyörävalmistajilla oli mallistoissaan myös turboahdettu malli [1, s.175-179]. Näiden mallien myynti jäi suhteellisen vähäiseksi, ainoastaan Yamaha ylsi kahden valmistusvuotensa aikana n. 8000 kappaleeseen [2]. Omistan tämän opinnäytetyön kohteen lisäksi myös 1983 rekisteröidyn Suzuki XN85 turbo -moottoripyörän, joka on varustettu tehtaasta toimesta polttoaineen suihkutuksella sekä turbolla. Tämä moottoripyörä on ollut osien vaikean saatavuuden takia jo useamman vuoden projektina. Kyseisen moottoripyörän turbo on sijoitettu sylinteriryhmän taakse eikä järjestelmään ole lisätty välijäähdytintä. Tehtaan tekemät päätökset sijoittaa turbo moottorin taakse ja ahtaa moottori ilman välijäähdytystä herättivät kysymyksen siitä, olisiko ahtimen sijoittaminen moottorin etupuolelle ja välijäähdytyksen käyttäminen moottoripyöräkäytössä kuinka hankalaa toteuttaa.

Koska tämän opinnäytetyön kohteena oleva moottoripyörä tullaan varustamaan välijäähdyttäjällä sekä alkuperäiset kateet aiotaan säilyttää, tarvittavien paineputkien sijoittelu muutenkin rajalliseen tilaan vaikutti mielenkiintoiselta projektilta toteuttaa. Pyörän suorituskyky mitataan ennen moottorin ahtamista sekä eri muutosten jälkeen, jotta työn edetessä voidaan seurata tehtyjen muutosten vaikutusta lähtöarvoihin sekä itse moottorin toimintaan. Jotta moottoripyörä voidaan myös myöhemmin muutos katsastaa tieliikenteeseen, tulee sen alittaa nykyisen lainsäädännön määrittämät pako-

kaasujen päästöarvot sekä tehorajoitukset. Tämän takia myös pakokaasujen päästöjen arvoja pyritään seuraamaan työn edetessä.

2 TYÖN KOHDE

Tämän työn kohteena on 1100cm³ Suzuki Gsxr vuodelta 1993. Kyseinen moottoripyörä on ns. ylivuotinen malli, eli tekniikaltaan tässä työssä käytetty pyörä on vuoden 1992 mallia. Käytännössä tämä tarkoittaa kyseisen mallin olevan viimeinen 1100 cm³ r-malli, jonka moottorin jäähdytyksessä on käytetty pelkästään ilma/öljylauhdutusta. Vuodesta 1993 eteenpäin kaikissa Suzukin R-malleissa on käytetty vesijäähdytystä, jonka lisänä 1100 cm³ -malleissa on myös pienempi moottorin öljynlauhdutin. Vaikka moottorin jäähdytyksen järjestäminen ilman nykyisten moottoreiden kaltaista vesi/glykoliseosta vaikuttaa vanhanaikaiselta, on moottoripyörissä pelkän öljyn ja ajo-
viiman avulla toteutettu jäähdytys ollut suosittu sen helpon ja halvan valmistuksen takia hyvin pitkään. Vasta viimeisten vuosien aikana tiukentuneet päästörajoitukset ovat pakottaneet moottoripyörien valmistajat siirtymään laajemmin nykyisen kaltaiseen nestejäähdytykseen sekä vaihtamaan perinteiset kaasuttimet polttoaineen suihkutukseen.

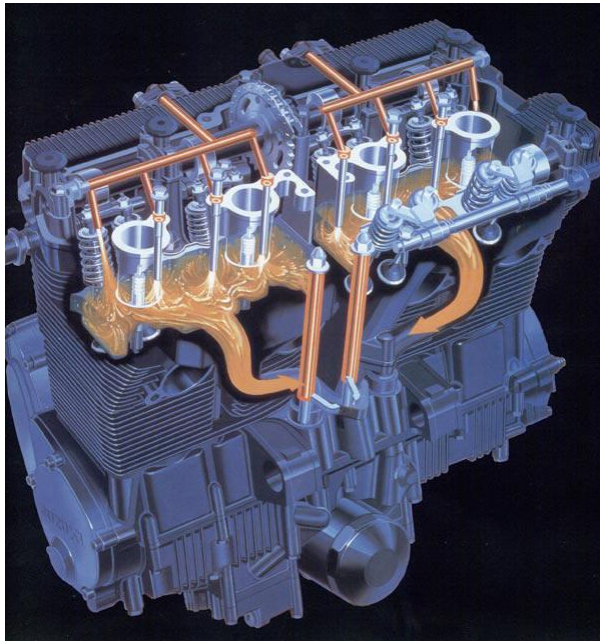
Gsxr-mallien historia kantaa aina vuoteen 1985 saakka, jolloin julkistettiin ensimmäinen Gsx-R750 (kuva 1) [3].



KUVA 1. Gsx-R750 [3]

Tässä työssä käytetty 1100 cc Suzukin gsxr-malli on ollut pitkään suosittu turboahtamisen kohde harrastajien keskuudessa. Ehkä tärkeimpänä syynä tähän on moottorin hyvä kestävyys kohtuullista ahtopainetta käytettäessä. Tämän lisäksi alkuperäisen moottorin puristussuhde on nykyisiin urheilumoottoripyöriin verrattuna hieman alhaisempi, joten moottorille ei tarvitse tehdä suuria muutoksia, jos ahtopainetta ei nosteta yli 0,8 barin.

Moottorin hyvän kestävyuden ehkä tärkeimpänä syynä on tehokas lämmönsiirto kannesta palotilan päältä ja männän laelta. Männän alle, sekä palotilan päälle, suihkutettu korkeapaineinen öljy jäähdyttää tehokkaasti palotapahtumasta siirtyvää lämpöä (kuva 2).



KUVA 2. Moottorin palotilan jäähdytys [4]

3 AHTAMISEN PERIAATE

Polttomoottorin toimintaa voi periaatteessa kuvata ilmapumpuksi, jossa venttiilien avulla ohjataan ilman virtausta imu- sekä pakupuolella. Erona ilmapumppuun polttomoottorissa imetty ilma, jonka seassa on myös polttoainetta, sytytetään kipinän avulla, jolloin palotapahtumasta saatava paineen kohoaminen ajaa mäntää tietyllä voimalla alaspäin. Tämä liike muutetaan kiertokangen ja kampiakselin avulla pyöriväksi liikkeeksi, joka ohjataan vaihteiston kautta vetävälle pyörälle. Mäntää työtahdilla alaspäin

ajavaa voimaa rajoittaa sylinteriin imutahdilla saatavan täytöksen määrä. Mitä enemmän sylinteriin saadaan täytöstä, sitä enemmän voi moottori tuottaa tehoa mekaanisen kestävyuden rajoissa.

Ahtamattomassa moottorissa imutahdilla sylinteriin saatavan täytöksen määrä vastaa harvoin sylinterin tilavuutta, koska imettävällä polttoaine-ilma seoksella on tietty massa ja sitä kautta myös hitaus. Moottorin matalammilla pyörintänopeuksilla venttiilin avautuessa seos alkaa nopeutuvasti virtaamaan sylinteriin vasta, kun mäntä on matkannut jo hetken alaspäin muodostaen sylinteriin alipainetta. Tämän kaltainen ilmassan hitauden aiheuttama virtaustapa toistuu myös kierrosten noustessa, mutta tällöin hitaudesta voi olla myös hyötyä sylinterin täytöksen kannalta. Matalammilla kierrosnopeuksilla männän ohittaessa alakuolokohdan ja sen jo osittain noustessa imuventtiilin läpi virtaavan seoksen nopeus hidastuu juuri ennen imuventtiilin sulkeutumisesta. Korkeammilla kierrosnopeuksilla virtaavan seoksen massa ei ehdi hidastua yhtä paljon, jolloin männän jo noustessa sylinteriin virtaavan seoksen kokonaismäärä voi jopa ylittää sylinterin tilavuuden. Pakoventtiilin aukioloajalla ja pakosarjan mitoituksella on myös suuri vaikutus sylinterin täytöksen muodostumisessa.

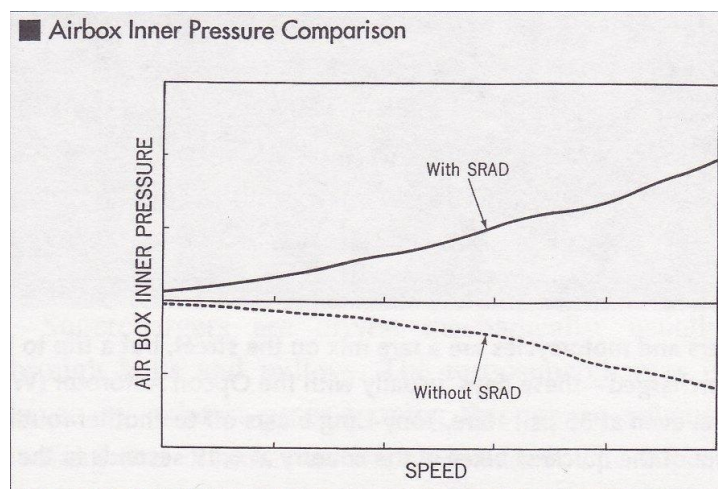
Miksi normaali polttomoottori pitäisi sitten ahtaa? Jotta edellä mainittua täytöstä voitaisiin kasvattaa, täytyy sylinteriin syötettävä seos pakottaa sylinteriin ahtimen avulla. Näin sylinteriin saadaan huomattavasti suurempi täytös ja siten myös sylinterin tuottama teho kasvaa. Eikö perinteinen virittäminen riittäisi parantamaan moottorin virtausominaisuuksia ja siten saavutettaisiin parantunut hyötysuhde ja kohonnut vääntö? Toisaalta kyllä, mutta koska esimerkiksi tässä työssä käytetty moottori on alkujaan jo suhteellisen tehokas (uutena on ollut n. 95 kW/litra), on tällaisen moottorin virittäminen kallista sekä sen hyötysuhteen parantaminen vaikeaa perinteisin menetelmin. Toinen keino tehon lisäämiseksi ilman ahdinta olisi polttoaineen vaihto energiatehokkaampaan, mutta tästä aiheutuisi ongelmia polttoaine- ja sytytysjärjestelmän päivittämisen sekä polttoaineen saannin kannalta, eikä tällä menetelmällä lopulta saataisi vaivaan nähden kovin suurta lisätehoa, joten ainoaksi tehonlisäysmenetelmäksi jää siten moottorin täytöksen lisääminen ahtamalla.

4 AHTAMISMENETELMÄT

Moottorin täytöksen lisääminen voidaan jakaa karkeasti neljään eri kategoriaan. Ajo-
viima eli ram-air -ahtaminen, kemiallinen ahtaminen, mekaaninen ahtaminen ja turbo-
ahtaminen.

4.1 Ram-air -ahtaminen

Ram-air -ahtaminen on ollut moottoripyörissä käytössä 1990-luvulta alkaen. Ka-
wasaki julkisti vuonna -90 ZX-11C -mallinsa, jossa ilmansuodattimen imuaukko oli
liitetty etukatteeseen, ajovalaisimen alapuolelle. Järjestelmän toiminta perustuu ajo-
viiman aiheuttamaan paineen nousuun moottoripyörän etuosassa. Lisäämällä ilman-
suodattimen ilmanottoaukko tälle alueelle voidaan ilmansuodatin kotelon sisäistä pai-
netta saada kasvatettua yli normaalin ilmanpaineen ajonopeuden kasvaessa (kuva 3).
[1, s.12 – 13.]



KUVA 3. Suzukin ram-air:in vaikutus suodatinkotelon paineeseen [1, s.23]

Kyseisellä järjestelmällä saatava tehohyöty on kuitenkin äärimmäisen pieni verrattuna
muihin ahtamistapoihin. Käytännössä tällä järjestelmällä saavutettu tehon lisäys on
vain noin 4 % luokkaa ja sen parhain vaikutusalue on käytettävissä vasta maksimi
ajonopeudella [1, s. 14].

4.2 Kemiallinen ahtaminen

Kemiallisella ahtamisella tarkoitetaan moottorin täytöksen happi/polttoaineseoksen palo-ominaisuuksien parantamista seokseen syötetyllä ulkoisella aineella. Ajoneuvo-käytössä tunnetuin tällainen aine on ilokaasu eli N_2O . Ilokaasua luullaan yleisesti räjähdysherkäksi kaasuksi, mikä ei pidä paikkansa. Pelkkä ilokaasu ei ole herkästi reagoiva aine, mutta reagoidessaan esimerkiksi palotapahtumaan syötettäessä kaasusta vapautuva lisähappi nopeuttaa polttoaineen palamista. Ilokaasu vaatii reaktion syntymiseen puristuspaineen sekä palotapahtuman, jotta typpeen sitoutunut happi voi vapautua. Ilokaasu syötetään useimmiten nestemäisessä muodossa imukanavaan, jossa se moottorin tuottaman lämmön seurauksena kaasuuntuu ja kaasuuntuessaan se samalla jäähdyttää kanavassa virtaavaa polttoaine-ilmaseosta. [1, s.107 – 108.] Jotta palotapahtumaan saatu lisähappi ei aiheuttaisi liian tehokasta palamista ja siten aiheuttaisi moottorivauriota, täytyy ilokaasua syötettäessä lisätä myös polttoaineen syöttöä. Suomessa ilokaasun käyttö tieliikenteessä on kiellettyä.

4.3 Mekaaninen ahtaminen

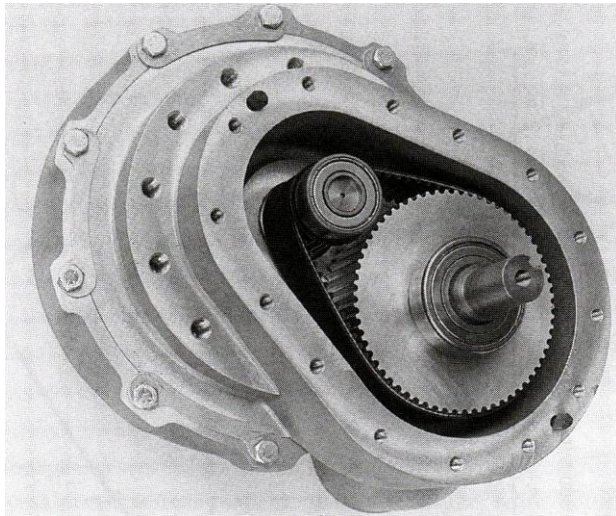
Mekaaniseksi ahtamiseksi voidaan luokitella kaikki sellaiset ahtamismenetelmät, joissa täytöksen ahtamiseen käytetty laite tarvitsee erillisen voimasiirron moottorin kampiakselilta. Tämän kaltaisia laitteita ovat erilaiset mäntä- siipi- keskipako- kierukka- ja ruuviahtimet. Näiden lisäksi on olemassa myös paineaalto- eli complex -ahdin, joka on kuitenkin ajoneuvokäytössä hyvin harvinainen.

Ajoneuvokäytössä olevat mäntäahtimet ovat yleensä kiertömäntä tyyppisiä ahtimia käytettävissä olevan rajallisen tilan takia [5, s.50]. Tämän kaltaiset ahtimet ovat suhteellinen harvinaisia ajoneuvokäytössä moniosaisen rakenteen ja siitä johtuvien kalliiden valmistuskustannusten takia [6, s.26].

Siipiahtimen toimintaperiaate on samankaltainen kuin perinteisellä moottorin öljypumpulla. Ahdinpesään epäkeskeisesti sijoitettuun roottoriin kiinnitetyt siivet pääsevät jousivoiman johdosta liukumaan portaattomasti, jonka seurauksena siipien väliin jäävän ilman tila muuttuu roottorin pyörinnän aikana aiheuttaen ilman kokoonpuristumi-

sen. Siipiahtimet ovat kiertomäntäahtimien tavoin harvinaisia ajoneuvokäytössä huonon hyötysuhteen ja liukupintojen vaatiman jatkuvan voitelun takia. [5, s.50.]

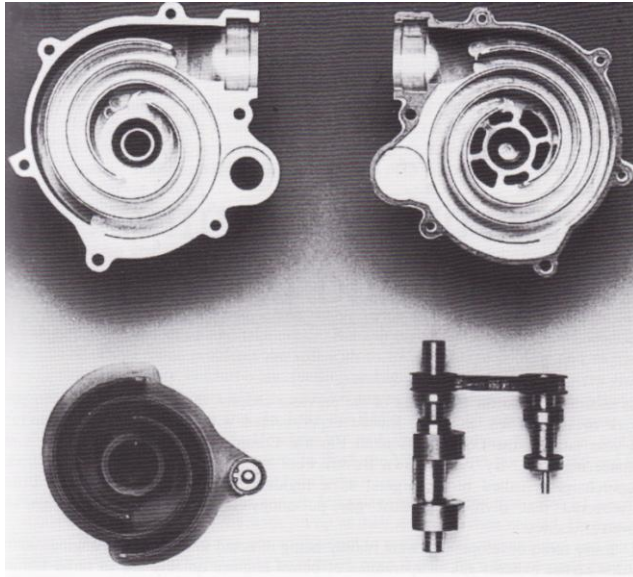
Keskipakoahdinten etuna muihin mekaanisiin ahtimiin on sen yksinkertaisuus ja pieni koko. Tämän lisäksi ahtimen hyötysuhde on muita mekaanisia ahtimia selvästi parempi [7, s.67]. Keskipakoahdin vastaa toimintaperiaatteeltaan turboahdinten kompressoria. Turboahdimesta poiketen kompressorin pyörittämiseen tarvittava voima on keskipakoahdinta otettu kuitenkin moottorin kampiakselilta yleisimmin hihnan välityksellä. Keskipakoahdin vaatii toimiakseen turboahdinten tavoin suuren pyörintänopeuden, joka voi olla parhaimmillaan yli 100 000 r/min. Pelkästään kampiakselilta saatavan voimansiirron välitys ei riitä nostamaan kompressorin pyörintänopeutta tällaisiin lukemiin. Keskipakoahdinta pyörintänopeus nostetaan erillisen vaihteiston avulla, jonka sisältämä voimansiirto on toteutettu joko rattaiden tai hihnan välityksellä. (kuva 4)



KUVA 4. Keskipakoahdinten vaihteisto [7, s.69]

Hihnavälityksellä varustettu vaihteisto soveltuu ainoastaan alhaisella ahtopaineella käytettäviin sovelluksiin hihnan rajallisen kestävyys takia [7, s.69]. Hihnavälityksellä toteutetun vaihteiston hyvänä puoleena on hiljainen käyntiäni eikä vaihteisto tarvitse minkäänlaista voitelua kestavoidellun laakeroinnin takia. Hammasyörävälityksellä varustetulla vaihteistolla voidaan ahtopaineen määrää kasvattaa, mutta kyseisen välityksen haittapuoleena on hammaskosketuksen aiheuttama ääni, jonka takia tämänkaltaiset keskipakoahdinta eivät ole olleet autonvalmistajien suosiossa.

Ranskalainen L. Creux patentoi vuonna 1905 ensimmäisenä, sittemmin Volkswagenin kehittämän kierukka-ahtimen periaatteen. Kierukka-ahdin koostuu kahdesta kiinteästi ahtimen kotelossa olevasta kierukasta sekä yhdestä erillisestä kierukasta ja tämän käyttöakselista. (Kuva 5.)



KUVA 5. Kierukka-ahtimen osat [8, s.27]

Tämä erillinen kierukka liikkuu kotelossa olevan kierukan sisällä, oman epäkeskeisen akselin ohjaamana. Akselin aiheuttaman liikkeen seurauksena kierukoiden välinen tilavuus muuttuu, jolloin väliin jäänyt ilma puristuu kokoon. Kierukka-ahdinta on pääasiassa käytetty ainoastaan Volkswagenin valmistamissa henkilöautoissa 1980- ja 1990-luvuilla, vaikka kyseisen ahtimen hyötysuhde on esimerkiksi perinteistä Roots-ahdinta selvästi parempi. [8, s.26 – 27.]

Kaikista mekaanisista ahtimista käytetyin ahdintyyppi on ehkä ruuviahdin. Ruuviahtimen, erityisesti roots -ahtimen, historia yltää jopa 1800-luvulle, jolloin Rootsin veljekset kehittivät ahtimen kaivosten ilmansyöttöpumpuksi [9, s.136]. Sittemmin Roots-ahdinta käytettiin laajalti General Motorsin valmistamissa kaksitahtidieselmootto-reissa. Roots-ahdinta on käytetty jo 1960-luvulta lähtien kiihdytysautoissa, vaikka sen aikaisten ahtimien hyötysuhde oli vain n. 50 %. [5, s. 47 – 48.] Nykyisten ruuviahtimien hyötysuhde on jopa 70 - 85 % [8, s.25]. Moni autonvalmistaja on myös varustanut urheilullisimman versionsa ruuviahtimella. (Kuva 6.)



KUVA 6. Ruuviahdin 2012 Ford Mustangissa [10]

Complex –ahtimen toiminta perustuu pakokanavasta purkautuvan paineaallon energiaan, jonka avulla moottoriin syötetyn ilman painetta saadaan kasvatettua. Kahden eri paineisen tilan yhdistäminen aikaansaa paine-eron tasoittumisen äänen nopeudella. Tämän seurauksena eri tiloissa oleva seos ei ehdi sekoittua keskenään, varsinkin jos paine tasataan kapeassa kanavassa tai kennostossa. Järjestelmä vaatii myös ulkoisen voimansiirron moottorin kampiakselilta, jonka avulla säädellään paineen tasauskanavien sijaintia kaasujen sisään- ja ulosvirtauskanaviin. Tämän tarkoituksena on estää kaasujen sekoittuminen paine-eron tasoittumisen jälkeen. Toistaiseksi järjestelmä ei ole saanut kovin suurta suosiota autonvalmistajien tai harrastajien keskuudessa muutamaa 1970- ja 1980-luvun tuotantomallia lukuun ottamatta. [6, s.35 – 39.]

5 TURBOAHDIN

5.1 Historia ja tämän päivän trendi

Polttomoottorin ahtaminen on lähes yhtä vanha idea kuin itse polttomoottorikin. Vuonna 1896 Rudolf Diesel yhdisti polttomoottoriin mekaanisen ahtimen, jonka avulla voitiin pakottaa sylinteriin normaalia enemmän ilmaa. Tästä vain noin kymmenen vuotta eteenpäin, ja ensimmäinen turboahdin oli kehitetty sveitsiläisen Alfred Büchin toimesta. [6, s.6.]

Vaikka erilaisten ahdinjärjestelmien kehittäminen tehostuikin ensimmäisen ja toisen maailmansodan aikoihin, turboahdin otettiin autopuolella laajemmin käyttöön vasta 1970-luvun lopulla, vuosikymmenen alussa ilmeneen öljykriisin ja tiukentuneiden päästörajoitusten takia [6, s.5, 21].

Ensimmäinen turbolla varustettu sarjavalmistainen henkilöauto tuli markkinoille kuitenkin jo vuonna 1962. Oldsmobilen valmistaman ja Garrettin turboahtimella varustetun Turbo Jetfiren valmistusmäärät jäivät kuitenkin kahden tuotantovuoden aikana vain noin 9 600 kappaleeseen pääasiassa moottorin huonon suunnittelun ja siitä aiheutuneiden käyntiongelmien takia. [5, s.21.]

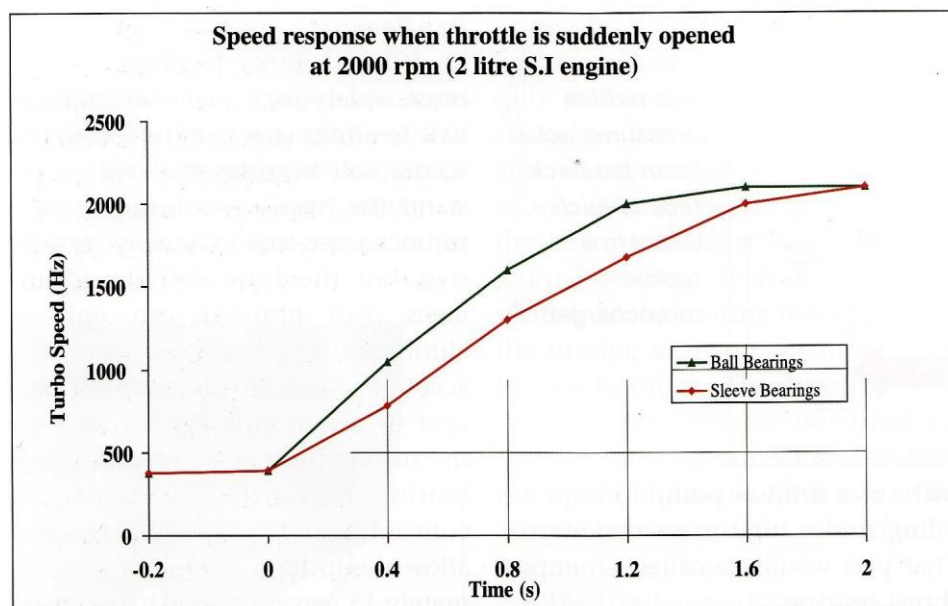
1980-luvun alussa lähes jokaisella autonvalmistajalla oli tuotannossaan vähintään yksi automalli, joka oli varustettu turboahtimella. 1989 Chrysler varusti valmistamansa 2.2 litran moottorin muuttuva pinta-alaisella turbiinikanavalla, VATN:lla (Variable area turbine nozzle). (Kuva 7.)



KUVA 7. VATN-ohjaimet turbiinipesässä [11]

Tämän järjestelmän avulla turbiiniin syötetyn pakokaasun virtausta suhteessa turbiinisiipiin voidaan säädellä tilanteen mukaan. Kyseisen järjestelmän etuna on ahtimen laajentunut optimaalinen toiminta-alue eikä säädettävällä kanavalla varustettu turbiinipesä tarvitse välttämättä erillistä hukkaporttia. Turbiinipesän maksimivirtauskyky voidaan mitoittaa moottorin yläkierrosalueelle ja moottorin alhaisemmillä pyörimisnopeuksilla voidaan pienentää pakokaasujen virtauskanavaa, jonka seurauksena turbiinipyörän pyörintänopeutta saadaan kasvatettua. Tällä tavoin ahdin tuottaa moottorin alhaisemmillakin pyörintänopeuksilla riittävästi ahtopainetta eikä moottorin kierrosten noustessa turbiinin pyörintänopeus kasva liian suureksi. [5, s.24 – 25.]

Turboahtimen kehitys jatkuu vielä tänäkin päivänä. Turbiinipuolen siipipyörän materiaalia on pyritty keventämään, jotta ahtimen käyttöakselin pyörintänopeus saataisiin kasvamaan aiempaa nopeammin turboviiveen minimoimiseksi. Samasta syystä myös akselin tuennassa käytetty perinteinen liukulaakeri on vähitellen väistymässä pienemmän kitkan omaavan kuulalaakerin tieltä (kuva 8).



KUVA 8. Laakeroinnin vaikutus turbon viiveeseen [12, s.32]

Viimeisimpänä kehityskohteena on ollut sähkömoottorin yhdistäminen turboahtimeen. Tällä ahdinvalmistaja Garrett pyrkii parantamaan moottorin hyötysuhdetta auttamalla ahtimen toimintaa, ennen kuin moottori tuottaa riittävästi pakokaasua ahtimen normaaliin pyörittämiseen. Valitettavasti kyseinen järjestelmä vaatii vähintään 24 voltin

jännitteen, jotta sähkömoottorin tarvitsema virta ei kasvaisi liian suureksi. [5, s.33 – 34.]

5.2 Ahtimen mitoittaminen

Jotta työn kohteena oleva moottori toimisi ahtamisen jälkeen halutulla tavalla, on tärkeää tietää, millä pyörintänopeus alueella kohdemoottorin halutaan tuottavan ahdettuna lisää vääntöä ja tehoa. Tämän tiedon avulla voidaan määrittää moottorin tarvitsema ilmamäärä, jota voidaan sitten verrata ahdin valmistajan ilmoittamaan kompressorin toimintakuvaajaan eli turbokarttaan.

Ahtimen mitoittaminen moottoria varten pohjaa periaatteessa sarjaan olettamuksia, joiden pitäisi olla mahdollisimman tarkkoja, jotta turboahdin soveltuisi mahdollisimman hyvin työn kohteena olevaan moottoriin. Moottorin imu- sekä pakosarjan virtausominaisuuksien sekä moottorin muuttuvan pyörintänopeuden takia ahtimen mitoituksessa täytyy käyttää hyvin likimääräistä arviota [12, s.38].

Ennen turboahdinten valintaa täytyy laskea ahtamattoman moottorin tarvitsema ilmamäärä. Tämän määrittämiseksi tulee tietää moottorin tilavuus, työtahtien määrä kierrosta kohden (4-tahtisessa 0,5), moottorin maksimikierronnopeus sekä kaasujenvaihdon hyötysuhde. Koska tässä työssä käytetyn moottorin sylinterin tarkasta kaasujenvaihdon hyötysuhteesta eli volymetrisestä hyötysuhteesta ei ole tarkkaa tietoa ja laskuissa tarkastellaan eri pyörintänopeuksia, jolloin myös hyötysuhteen arvo saattaa muuttua, käytetään laskennoissa kiinteänä arvona 0,85.

Dynamometrimittauksen (kuva 13) perusteella moottori tuottaa maksimiväännön 6000 r/min ja maksimitehon 9700 r/min kohdilla, jonka lisäksi sytytysyksikkö rajoittaa maksimikierrokset 10900 ± 100 r/min. Jotta ahdin voitaisiin mitoittaa mahdollisimman tarkasti kyseiseen moottoriin, täytyy ensin määrittää kyseisillä pyörintänopeuksilla moottorin vaatima ilmamäärä. Koska sytytyksen ohjausyksikkö rajoittaa maksimikierronnopeuden n.11000 r/min, on laskuissa käytetty hieman alhaisempaa maksimikierronnopeutta 10500 r/min.

Vapaasti hengittävän moottorin maksimi ilman tarve eri kierrosnopeuksilla.

$$0,001127 \text{ m}^3 \times 0,5 \times r/\text{min} \times 0,85 \quad (1)$$

Jossa	0,001127	moottorin tilavuus m ³
	0,5	työtahtien määrä 4-tahtimoottorissa
	0,85	moottorin volymetrinen hyötysuhde

Kaavan 1 mukaan voidaan laskea ilmalle edellä mainituilla pyörintänopeuksilla seuraavanlaiset virtausmäärät:

TAULUKKO 1. Moottorin virtaus eri pyörintänopeuksilla

Moottorin pyörintänopeus (r/min)	Ilman virtausmäärä (m ³ /s)
6000	0,0478
9700	0,0775
10500	0,0838

Seuraavaksi tulee tietää käytettävä painesuhde. Tämä määritetään ahtopaineen ja ympäröivän ilmanpaineen suhteesta seuraavasti:

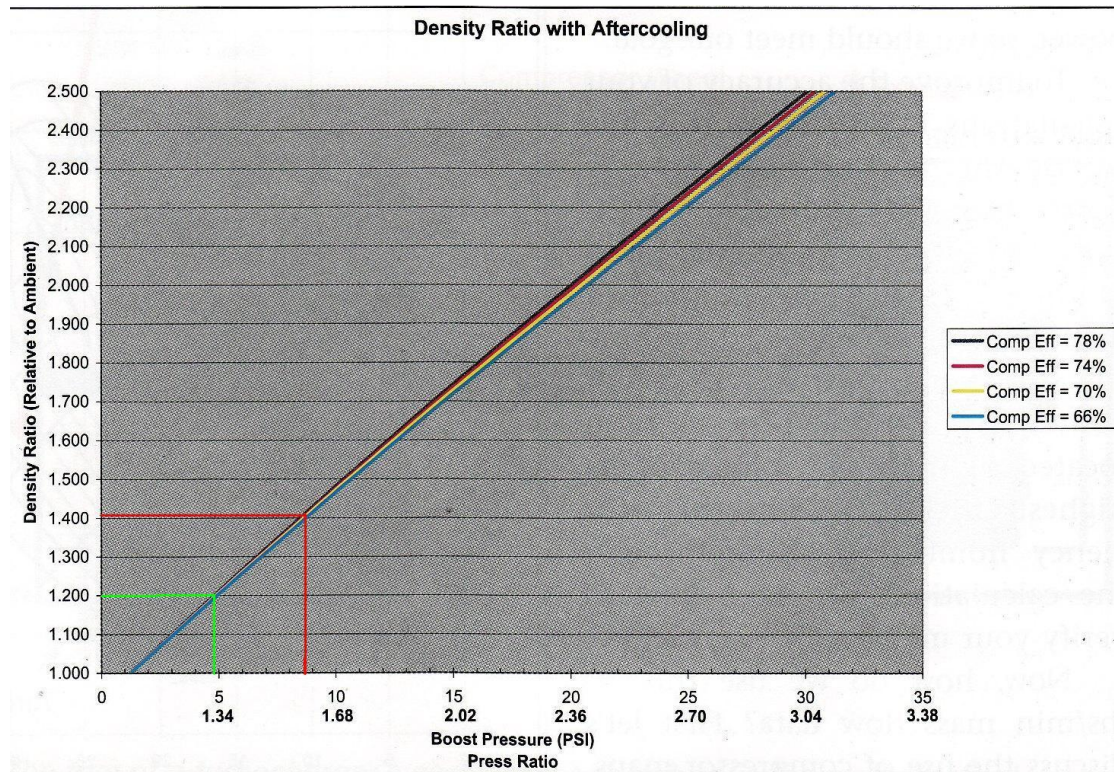
$$\frac{\text{ahtopaine} + \text{ilmanpaine}}{\text{ilmanpaine}} = \text{painesuhde} \quad (2)$$

Aiemmin tämänmallista moottoripyörää ahtaneiden harrastajien kokemusten mukaan kyseinen moottori kestää noin 0,8 bar ahtopainetta vakiokunnossaan. Tämän tiedon perusteella ahtopaineen maksimiarvoksi päätettiin valita 0,6 bar, joka moottorin pitäisi kestää rikkoutumatta ja tällä ahtopaineella väännön pitäisi kuitenkin lisääntyä huomattavasti. Tämän perusteella saamme painesuhteeksi kaavan 2 mukaan:

$$\frac{0,6 \text{ bar} + 1 \text{ bar}}{1 \text{ bar}} = 1,6$$

Käytettäessä yli 0,5 bar ahtopainetta on suositeltavaa käyttää järjestelmässä välijäähdytintä [12, s.39].

Kyseisellä painesuhteen arvolla voidaankin nyt tarkastella kuvasta 9 turbon aiheuttamaa vaikutusta moottoriin, välijäähdyttimen läpi, virtaavan ilman tiheyssuhteeseen.



This is a density ratio chart for aftercooled applications.

KUVA 9. Ilman tiheyssuhde käytettäessä välijäähdytystä [12, s. 39]

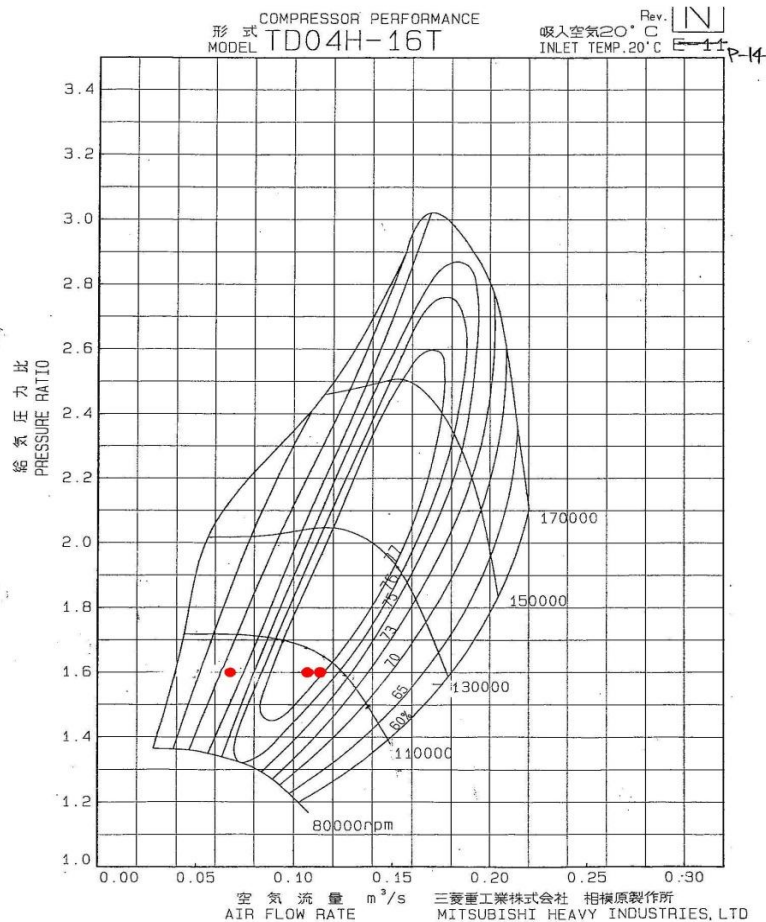
Kuvaajasta (kuva 9) nähdään (punainen viiva), kuinka 0,6 bar ahtopainetta käytettäessä ja ahtimen kompressorin toimiessa n. 74 % hyötysuhteella, ahdettuna virtaavan ilman tiheyssuhde ahtamattomaan on n. 1,4. Tämän tiedon avulla voidaankin nyt laskea ahdetun moottorin ilman virtausmäärät kyseisellä tiheyssuhteella seuraavasti:

$$\text{ahdamaton virtaus} \times \text{tiheyssuhde} = \text{ahdettu virtaus} \quad (3)$$

TAULUKKO 2. Ahdetun moottorin ilmanvirtaus

Moottorin pyörintänopeus (r/min)	Ilman virtausmäärä ahdettuna (m ³ /s)
6000	0,067
9700	0,109
10500	0,117

Turboahtimen valmistajan lähettämästä kompressorin toimintakuvaajasta (kuva 10) nähdään, kuinka edellä lasketut (taulukko 2) arvot sijoittuvat kompressorin toiminta-alueelle.



KUVA 10. Ahtimen virtauskartta [13]

Kartan perusteella ahdin soveltuu kyseiselle moottorille suhteellisen hyvin. Kuvasta (9) saadun, välijäähdytyksellä varustetun, ahdetun ilman tiheysuhteen arvon perus-

teella voidaan alustavasti laskea moottorista saatavan tehon määrän 0.6 barin ahtopaineella kaavan 4 avulla [10, s.29].

$$\frac{\textit{Tavoite teho}}{\textit{Alkuperäinen teho}} = \textit{Painesuhde} \quad (4)$$

Koska järjestelmässä käytetään välijäähdytintä, 0,6 barin ahtopaineella tiheysuhteen arvoksi tulee kuvasta 9 nähtävän kaavion perusteella 1,4. Dynamometrimittauksessa saadun tuloksen perusteella takarenkaalta saatava teho on ollut 95,98 kW ollen rekisteriotteeseen merkittyä 100 kW moottoritehoa n. 4 % alhaisempi. 1,4 tiheysuhteella laskettuna takarenkaalta pitäisi siten saada 0,6 bar ahtopaineella seuraavasti:

$$1,4 \times 95,98 \text{ kW} = 134,37 \text{ kW}$$

Voimassa olevan lainsäädännön mukaan moottorin teho ei saa kasvaa yli 20 % alkuperäisestä (LVM:n asetus 1078/2009 Luku 1 16§ kohta 4a). Jotta työn kohteena oleva moottoripyörä voidaan muutos katsastaa ilman erikoislupaa, moottorista mitattu teho ei saa ylittää 120 kW arvoa. Voimansiirto aiheuttaa normaalisti poikittain asennetun moottorin tuottamaan tehoon 5 - 9 % häviön [14, s.382]. Tämän perusteella takarenkaalta mitatun tehon tulisi olla 109 - 114 kW. Jotta moottorin teho ei ylittäisi lain sallimaa, täytyy tiheysuhteen arvo laskea uudestaan. Vaikka tehomittauksen perusteella takarenkaalta mitattu teho on ollut vain n. 4 % otteeseen merkittyä moottoritehoa alhaisempi, ei voimansiirron häviöksi voi olettaa tätä arvoa, koska moottorin hengitystä on paranneltu aiempien omistajien toimesta. Näiden muutosten voidaan olettaa nostaneen moottorista mitattavaa tehoa. Tämän takia käytetään tarkemman painesuhteen määrittämisessä rekisteriotteeseen merkittyä tehon määrää, josta on vähennetty 5 – 9 % voimansiirron häviöinä. Näiden tietojen perusteella voidaan painesuhde laskea kaavan 4 avulla.

$$\frac{114}{95} = 1,2$$

Koska voimansiirrolle ei tehdä muutoksia mittausten välissä, täytyy laskutoimituksen jaettavan ja jakajan arvona olla samalla häviön arvolla määritetty. Tämän perusteella saadaan lain sallimalla maksimitehonnisäyksellä maksimitiheysuhteen arvoksi 1,2.

On kuitenkin muistettava, että välijäähdyttimellä varustetussa järjestelmässä ahtimen painesuhteen tulee olla hieman korkeampi välijäähdyttimen ja putkiston aiheuttaman painehäviön takia. Tarkastelemalla kuvaa 9 (vihreä viiva) nähdään viivan risteävä n. 1,34 painesuhteen kohdalla, jolloin ahtimen tuottaman ahtopaineen arvo on n. 0,34 bar.

6 VERTAILUARVOJEN MITTAUS

Ennen muutostöiden aloittamista moottorin tuottama vääntö mittautettiin paikallisen moottoripyöräkerhon tehodynamometrin avulla. Tämän lisäksi pyörällä suoritettiin kiihtyvyyksmittauksia eri vaihteilla oppilaitoksen autolaboratorion V-boksin avulla. Saatuja mittaustuloksia pyritään vertaamaan muutosten jälkeen mitattaviin arvoihin. Tämän perusteella voidaan myöhemmin arvioida tehtyjen muutosten tuottama vaikutus lähtötilanteeseen.

Moottoripyörän moottorille suoritettiin normaali huolto sekä venttiilien säätöjen tarkastus ennen ensimmäisiä mittauksia, jotta moottorin toiminta vastaisi mahdollisimman lähelle alkuperäistä. Moottorin hengitystä oli jossain vaiheessa paranneltu vaihtamalla alkuperäinen ilmansuodatin sekä pakoputkisto vapaammin virtaaviin. Näiden lisäksi kaasuttimiin oli vaihdettu alkuperäistä suuremmat pääsuuttimet.

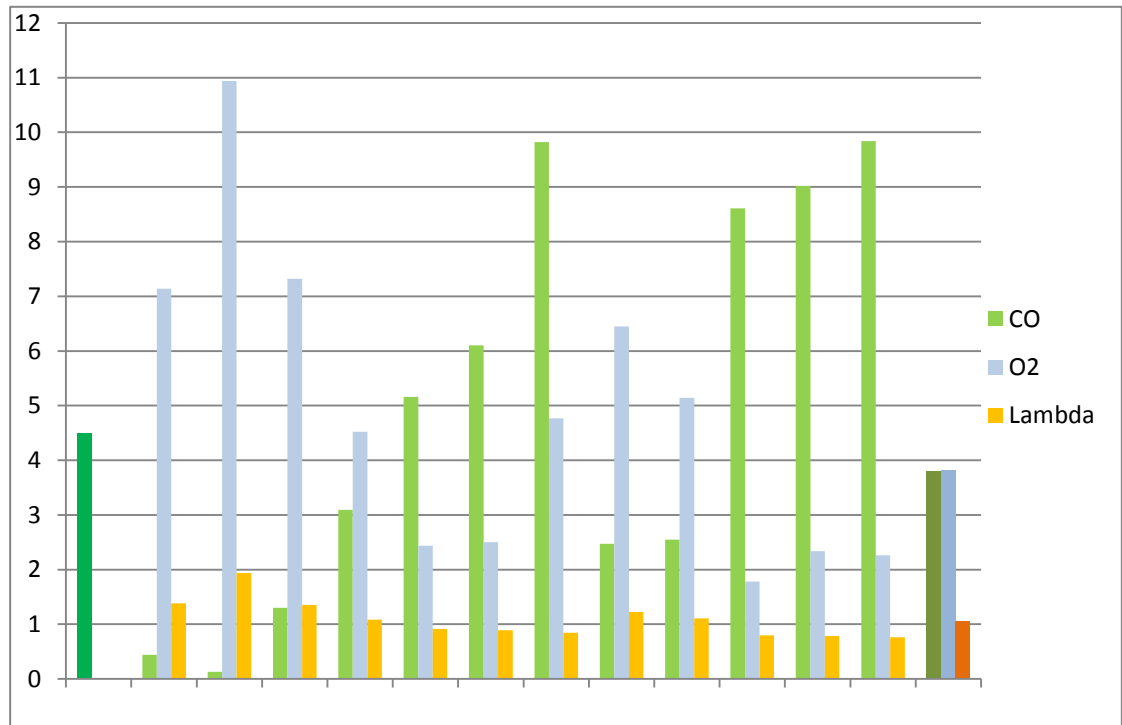
Voimassa olevan lainsäädännön (Ajoneuvolaki 1078/2009 16§ kohta 5a.) mukaan tämän työn kohteena olevan moottoripyörän päästöt eivät saa ylittää muutosten jälkeen seuraavia raja-arvoja:

CO 4,5%

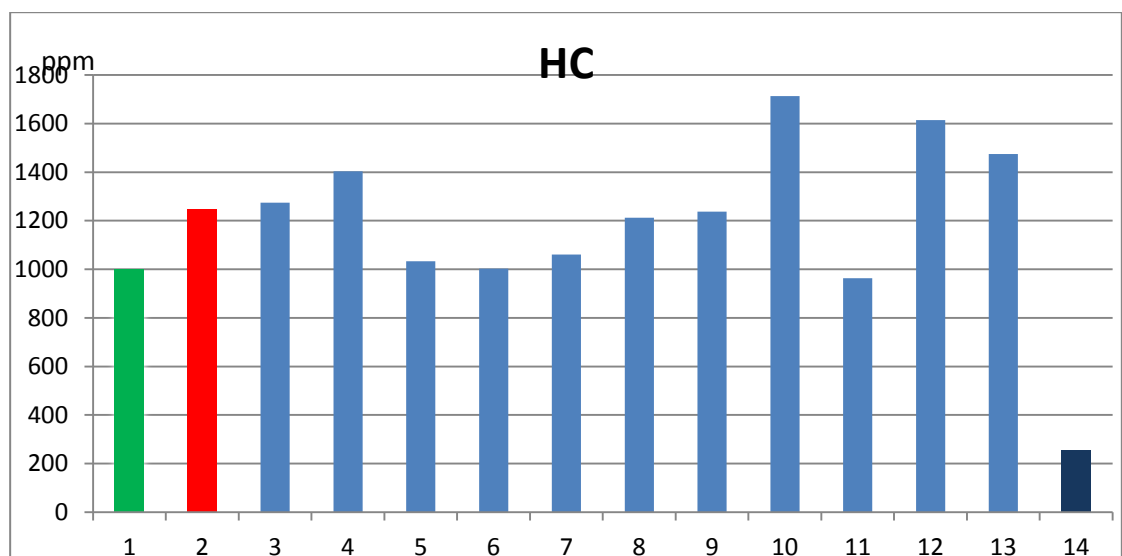
HC 1000 ppm

Päästömittaukset tulee suorittaa moottorin käydessä 1/3 suurimman mitatun tehon pyörintänopeus arvolla, eli tässä tapauksessa mittaukset tulee suorittaa n. 3250 r/min nopeudella.

Ennen turbon asennusta päätettiin mitata pakokaasupäästöt joutokäynnillä. Tämän mittauksen tulosta voisi verrata ahtimen asennuksen jälkeen mitattaviin tuloksiin. Nämä mittaukset on suoritettu joutokäynnillä, eli noin 1200 r/min (kuvat 11 ja 12).



KUVA 11. Pakokaasupäästömittausten tulokset Co, O₂ ja Lambda



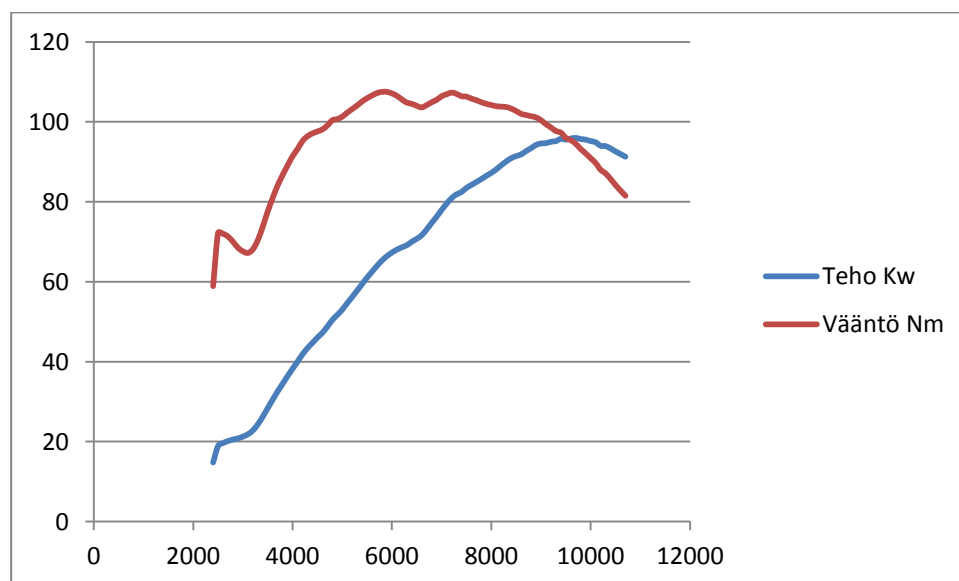
KUVA 12. Pakokaasupäästömittausten tulokset HC

Mittaustuloksissa ensimmäinen palkki esittää lain sallimaa maksimiarvoa. Seuraava palkki kuvaa ensimmäisen tehomittauksen säädössä olevan moottorin tuottamia pako-

kaasupäästöjä. Viimeinen palkki kuvaa ahtimella, välijäähdyttimellä ja viimeisen tehomittauksen kaasuttimen säädöillä olevan moottorin tuottamia pakokaasupäästöjä. Kuvista 11 ja 12 havaitaan ensimmäisillä mittauksilla jäännöshapen (O_2) sekä palamattomien hiilivetyjen (HC) arvojen olevan selkeästi koholla. Tätä tilannetta pyrittiin korjaamaan aluksi vaihtamalla kaasuttimien joutokäyntipiirin polttoainesuuttimien kokoa mutta saatujen tulosten sekä moottorin heikentyneen käynnin takia päätettiin alkuperäiset suuttimet asentaa takaisin.

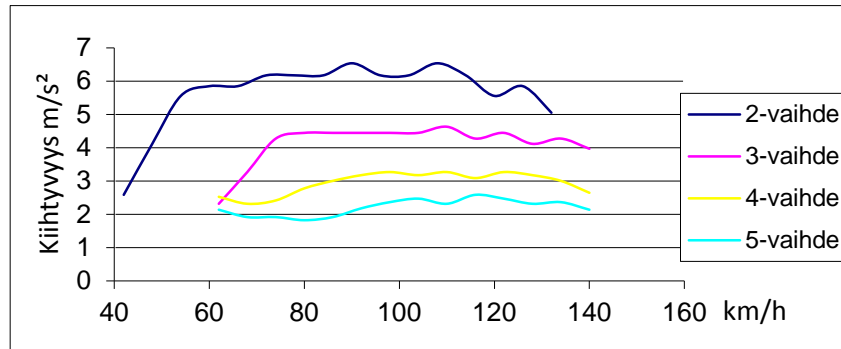
Moottorin tuottamien korkeiden HC ja O_2 arvojen arveltiin johtuvan alkuperäisistä ja mahdollisesti heikkotehoisista sytytyspuolista. Lisäksi lähes 80 000 km ajettu moottori saattoi olla jo niin kuluneessa kunnossa, etteivät öljyrenkaat sekä alimmat männänrenkaat kyenneet kaapimaan riittävän tehokkaasti voiteluöljyä sylinterin seinämiltä. Tämän seurauksena palotilaan jää mahdollisesti moottoriöljyä, joka heikentää palotapahtumaa ja aiheuttaa mahdollisesti ajoittaisia sytytyskatkoksia. Koska muutosten tekemisellä oli jo kiire, ei moottorille ehditty tässä vaiheessa tekemään mitään suurempia korjauksia.

Kaasuttimien säätöjen tarkistuksen ja koeajojen perusteella moottorin todettiin toimivan siinä määrin hyvin, että sen tuottama teho päätettiin mitata seuraavaksi. Dynamometrimittauksen (kuva 13) perusteella havaittiin moottorin toimivan tässä kunnossa suhteellisen hyvin huolimatta moottorin suuresta ajomäärästä.



KUVA 13. Dynamometrimittauksen tulokset

Seuraavaksi suoritettiin koulun autolaboratorion V-box-mittalaitteen avulla kiihtyvyyssmittauksia (kuva 14).



KUVA 14. Kiihtyvyyssmittaustuloksia

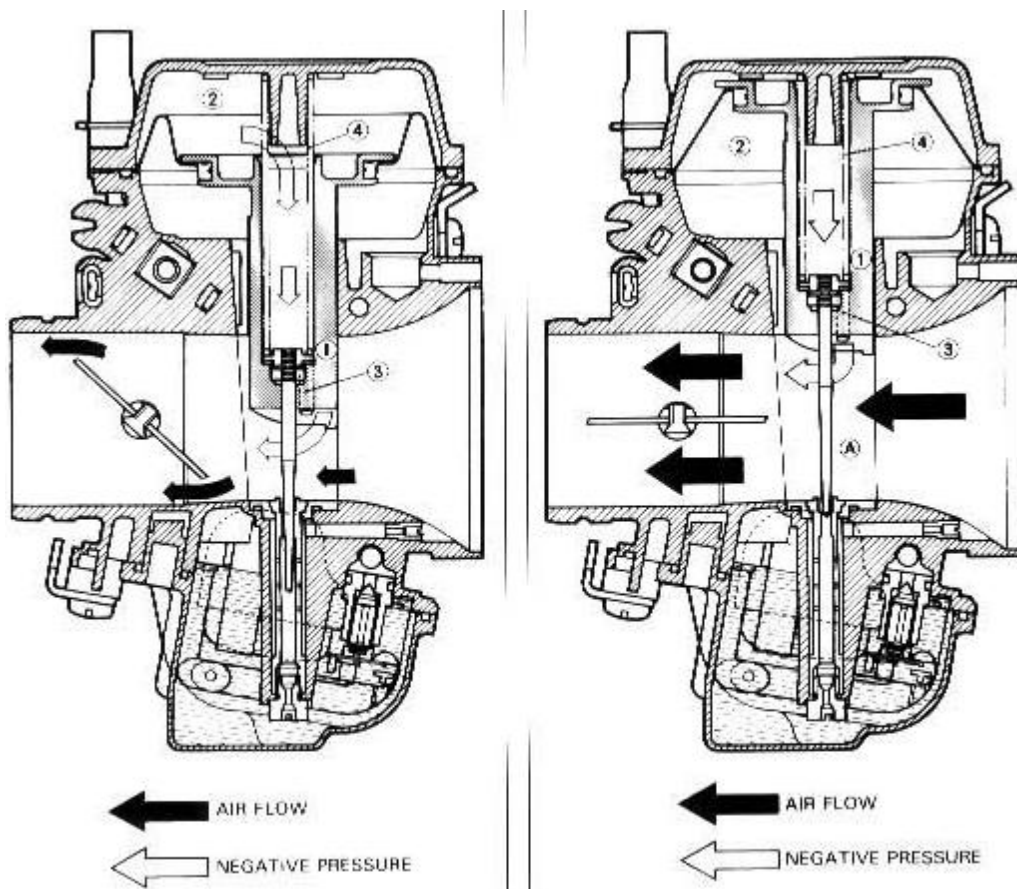
Nämä mittaukset jouduttiin suorittamaan yleisellä tiellä, joten mittaukset päätettiin suorittaa ainoastaan 2- vaihteen täyskiihdytyksenä 40 km / h nopeudesta sekä 3 – 5 vaihteilla, alkaen n. 60 km / h nopeudesta ja päättyen 140km/h nopeuteen. Tällä mittauksella pyrittiin simuloimaan ohituskiihdytystä eri vaihteilla. 1 – vaihteella suoritettua kiihtyvyyssmittausta ei nähty järkeväksi, saati turvallisesti suorittaa myöhemmin asennettavan turboahtimen tuoman lisäväännön takia.

7 MUUTOKSET

Työssä tehdyt muutokset tehtiin pakosarjaa lukuun ottamatta itse. Painekotelon sekä välijäädyttimen lyhennyksen yhteydessä vaaditut alumiinihitsaukset suoritettiin Metallityö Dufvan sekä Mikkelin ammattikorkean materiaalitekniikan laboratorion tiloissa. Henkilökohtaisesti en ollut aiemmin hitsannut alumiinia kuin yhden ainoan kerran opintojeni aikana, joten tästä projektista oli myös hyötyä tällä saralla.

7.1 Kaasuttimet

Kyseisessä moottoripyörässä käytettiin alkuperäisiä Mikunin BST40SS –kaasuttimia, joiden toiminta perustuu venturissa virtaavan ilman ja kaasuttimen luistiin kiinnitetyn kalvon päällä olevan tilan paine-erojen vaikutukseen. Tämä paine-ero nostaa luistia ylöspäin nostaa samalla suutinneulaa ja lisäten siten polttoaineen virtausta pääsuuttimen läpi (kuva 15 osat 1-4).



KUVA 15. Kaasuttimen toimintaperiaate [15, s. 109]

Kaasuttimissa on käytännössä kolme eri seoksen muodostuspiiriä, startti-, joutokäynti- ja pääseospiiri. joiden avulla moottorille voidaan tilanteesta riippuen muodostaa kulloinkin sopivin polttoaine-ilmaseos. Ahdettaessa moottoria ainoastaan pääseospiirin toimintaan tarvitsee tehdä muutoksia.

Kaasuttimien paineistuksessa voi käyttää tässä tapauksessa ainakin kahta eri tapaa. Koska kyseiset kaasuttimet on jo tehtaan toimesta tiivistetty huolellisesti eikä esimerkiksi kaasuläpän akselin tiiveyttä tarvitse parantaa, ainoana muutoksena kaasuttimissa on kohokammion tuuletuksen muuttaminen ahdetulle moottorille sopivaksi. Kaasuttimet on yhdistetty letkuilla pareiksi, joten polttoaine ja tuuletusletkuja on ainoastaan kaksi kappaletta. Yhtenä paineistuskeinona on yhdistää tuuletusletkut painekoteloon, johon myös järjestelmään lisättävän bensaapaineen säätimen liitäntä tulee kytkeä. Tässä työssä käytettiin kuitenkin erillistä pitot-metodilla toimivaa putkea, joka liitet-

tiin ahdinputkeen, lähelle painekoteloa. Tämän paineistusmetodin yhtenä ominaisuutena on kohokammioon tulevan paineen taipumus syöttää polttoainetta lievällä ylipaineella pääsuuttimen läpi. Tämä seikka tulee huomioida pääsuuttimia valittaessa. Kohokammion tuuletusletkujen liitokset kannattaa myös varmistaa liimaamalla, jotta ahtopaineen kasvaessa liitokset eivät pääse vuotamaan ja siten alentamaa kohokammiossa tarvittavaa painetta, jonka seurauksena polttoaine-ilmaseos saattaisi muuttua liian laihalle. Myös pitot-putken sisähalkaisija vaikuttaa polttoaine-ilmaseoksen laatuun.

Korkeammilla ahtopaineilla kaasuttimien päällä olevat muoviset kannet täytyy myös vaihtaa metallisiin. Tässä työssä edellä mainitut muutokset riittävät, koska ahtopainetta ei ole tarkoitusta nostaa yli 0.6 barin.

7.2 Ahdin

Tätä työtä varten hankittiin Mitsubishiin TD04HL-16T -ahdin lähinnä muiden kyseisen kaltaista moottoripyörää ahtaneiden kokemusten perusteella. Koska työn tarkoituksena oli myös tutkia muutosten aiheuttamia kuluja, jonka lisäksi hankittavien osien tuli olla uusia, ahdin päätettiin ostaa Biltemasta. Valitettavasti ahtimen hankinta hetkellä kyseisestä ahtimesta ei löydetty valmistajan ahdinkarttaa, joten ahtimen soveltuvuus jäi tässä vaiheessa avoimeksi (kuva 16).



KUVA 16. Työssä käytetty Mitsubishiin TD04HL-16T -ahdin

7.3 Ahtimen öljyliitännät

Ahtimen laakerointi tarvitsee myös liitännän moottorin voiteluöljykanavasta. Tässä työssä paineliitäntä kytkettiin moottorin sytytysyksikön signaaligeneraattorin alapuolella olleeseen moottoriöljynpaineen tarkistus pisteeseen (kuva 17).



KUVA 17. Turbon voiteluöljyliitäntä

Suzukin huolto-ohjeiden mukaan kanavassa virtaavan öljyn paineen tulee olla 3 – 6 baria. Tällainen paine on kuitenkin turbon laakeroinnille hieman liian suuri. Ahtimelle virtaavan öljyn paine ei saisi laskea alle 0,5 barin ja virtausmäärän tulisi olla vähintään 6,3 millilitraa sekunnissa. [16, s.41 - 42.] Koska moottorin öljykanavassa öljynpaine nousi kierroksia lisättäessä lähes 6 bariin, lisättiin paineletkun sisälle virtauskuristin jonka avulla ahtimelle virtaavassa letkussa paine saatiin alennettua n.1 – 3,5 bariin moottorin pyörintänopeudesta riippuen. Paineen tarkistuksen lisäksi letkussa virtaavan öljyn määrä tarkistettiin kolmella eri mittauksella moottorin käydessä joutokäyntiä ja tulosten perusteella ahtimelle virranneen öljyn määräkin oli riittävä. Ahtimen öljynpaluuletku liitettiin öljypohjaan porattuun reikään banjoliittimellä ja pultilla. Tämän letkun tulee olla riittävän suuri, ettei paluupuolella tapahdu liiallista virtausvastusta jonka seurauksena öljy pyrkisi poistumaan laakeroinnin tiivisteiden läpi joko kompressorin- tai turbiinipuolelle.

7.4 Painekotelo

Kaasuttimille soveltuva painekotelo päätettiin valmistaa 3 mm paksusta alumiinilevystä. Painekotelon yläkanteen lisättiin myöhemmin n. 10 mm paksuinen alumiinilevy, johon voitiin lisätä materiaalilaboratoriossa valmistettu suuntaventtiili (kuva 18).



KUVA 18. Lisäilmaventtiili painekotelon kannessa

Painekotelon pohjaan tehtiin ahtopaineputkelle liitäntä, joka suunnattiin suoraan eteenpäin. Normaalisti moottoripyöriä ahdettaessa ahtopaineputki on liitetty painekotelon toiseen päätyyn. Tässä työssä haluttiin kuitenkin testata moottorin toimintaa sekä välijäähdyttimellä että ilman sitä. Tällä liitännän sijoituksella ahtopaineputki voitiin tarvittaessa siirtää välijäähdyttimen lisäyksen yhteydessä moottorin puolelta toiselle. Painekotelo olisi voitu valmistaa myös siten, että se olisi ollut myös käännettävissä. Tällöin alipaineventtiilin liittäminen järjestelmään olisi saattanut olla kuitenkin hankalaa rajallisen tilan takia.

7.5 Välijäähdytin ja öljynlauhdutin

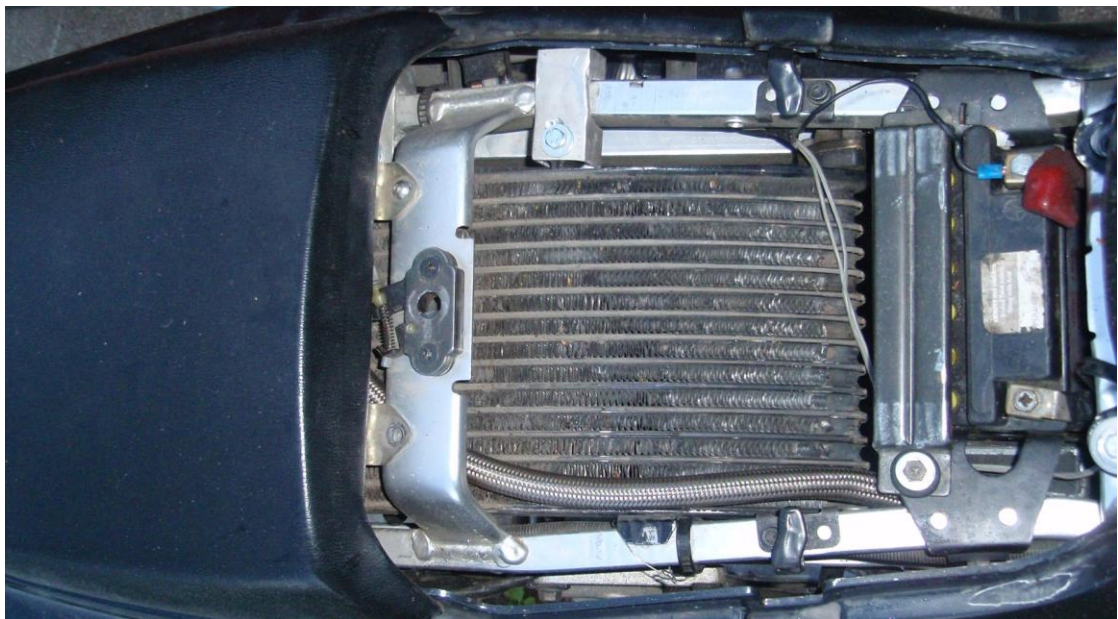
Koska tässä työssä välijäähdyttimelle soveltuvan paikan koko oli hyvin rajallinen, eikä paikkakunnalla ollut välijäähdyttimen muokkaamiseen erikoistunutta yritystä, päätettiin välijäähdytin valita siten, että sen muuttaminen olisi mahdollisimman helppoa. Tähän työhön parhaiten sopivimmaksi ja hinnaltaan halvimmaksi osoittautui Mo-

tonetissä myynissä ollut, kooltaan pienin, välijäähdytin. Kyseistä välijäähdytintä jouduttiin kuitenkin lyhentämään noin 16 senttimetriä, jotta moottoripyörän alkuperäisiä katteita voitaisiin käyttää myöhemmässä vaiheessa. Samalla välijäähdyttimen lähtöjen asentoa muutettiin ahdinputkien asennuksen helpottamiseksi (kuva 19).



KUVA 19. Muunneltu välijäähdytin

Välijäähdytin asennettiin alkuperäisen öljynlauhduttimen tilalle, joka puolestaan siirrettiin satulan alla olevaan tilaan (kuva 20).



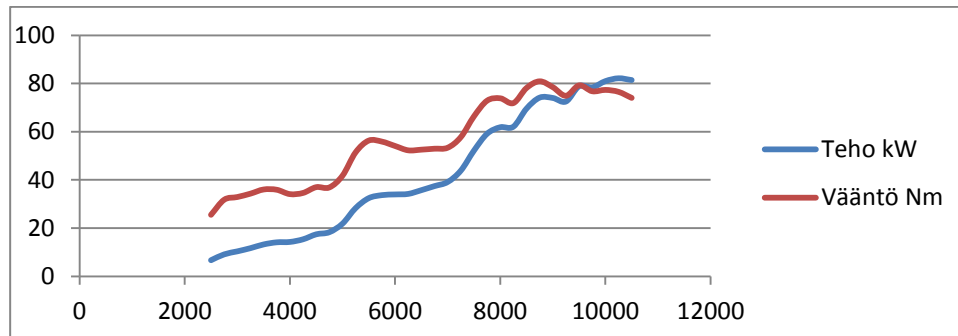
KUVA 20. Moottorin öljynlauhdutin uudelleen sijoitettuna

Öljynlauhduttimen siirron seurauksena lauhduttimen riittävän ilmanvirtauksen varmistamiseksi lauhduttimen alapuolelle jääneeseen tilaan täytyi lisätä kaksi, halkaisijaltaan n. 20 cm, sähkötuuletinta. Vaikka tuulettimien teho oli alhainen eikä niille ehditty

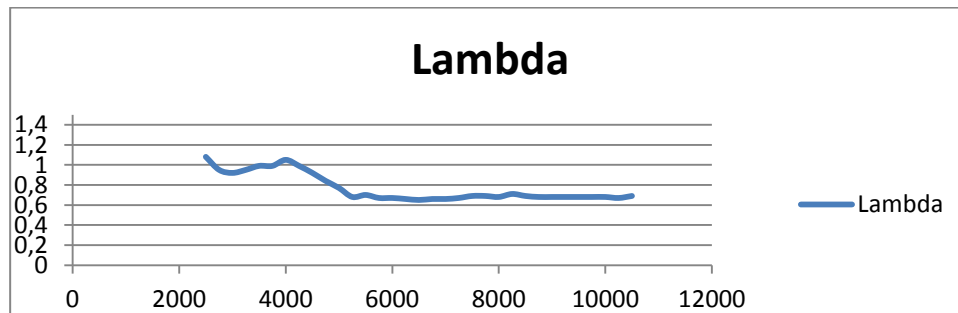
valmistaa tarvittavia ilmanohjaimia, ei moottoriöljyn lämpötila noussut normaalissa maantieajossa, yli 90 asteen.

8 TULOKSET

Turbon asennuksen jälkeen kaasuttimien pääsuuttimia jouduttiin pienentämään muutamalla numerolla, kunnes moottoripyörä toimi ensimmäisissä testiajoissa normaaliin tapaan. Tässä vaiheessa päätettiin suorittaa ensimmäinen tehomittaus ahdettuna (kuvat 21 ja 22).



KUVA 21. Ahdetun moottorin ensimmäinen tehomittaus

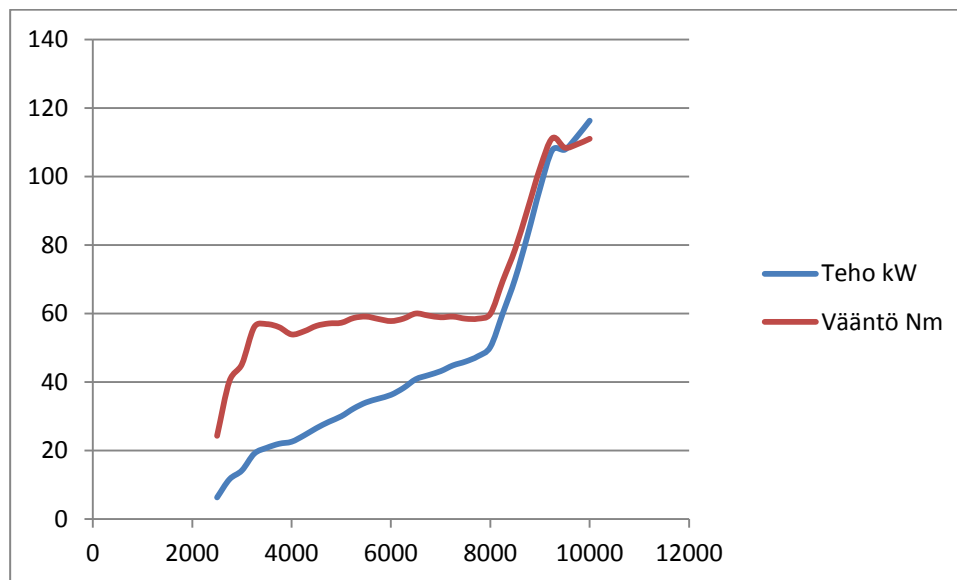


KUVA 22. Tehomittauksessa mitatut moottorin lambda-arvot

Kuvasta 22 havaitaan, kuinka moottorin käyntinopeuden noustessa yli 4 000 r/min, jolloin polttoaine-ilmaseos määräytyy pääsuuttimen koon mukaan, moottorin saama seos on selkeästi liian rikkaalla. Ahdetun moottorin toiminnan kannalta on usein suotavaa, varsinkin ilma-öljyjäähdytyksellä varustetuissa moottoripyörissä, että polttoaine-ilmaseos on moottoria rasitettaessa hieman optimaalista seosta rikkaammalla. Näin vältetään äkillisessä rasituksessa seoksen muuttuminen liian laihalle, joka voi puolestaan johtaa moottoririkkoon. Lisäksi hieman optimaalista seosta rikkaampi seos osaltaan alentaa palotapahtuman lämpötilaa. Kuvasta 21 havaitaan kuitenkin selvästi, ettei moottori kykene polttamaan läheskään täydellisesti kaikkea saamaansa polttoainetta, tämän seurauksena moottori tuottaa alkuperäistä mittausta selvästi vähemmän tehoa.

Kyseinen mittaus suoritettiin loppusyksyllä n.20-asteisessa korjaamohallissa. Ajotilanteessa saatujen kokemusten ja pyörään asennetun seosmittarin mukaan moottori tuntui toimivan normaalissa maantieajossa mittaustilannetta paremmin. Tämä saattoi johtua myös siitä, että maantiekokeilujen aikaan ulkoilman lämpötila oli n. 5 astetta ja ilma oli syksyiseen tapaan kostea. Tämän seurauksena tiellä ajetuissa testeissä moottorin saama ilma oli happirikkaampaa sekä ahtimelta painekotelolle johdettu putki jäähtyi ajettaessa paremmin.

Talven aikana pyörään lisättiin välijäähdytin sekä kaasuttimien pääsuuttimia pienennettiin. Näiden muutosten jälkeen pyörä käytettiin vielä viimeisissä tehomittauksissa (kuva 22).



KUVA 22. Viimeinen tehomittaus

Tämän mittauksen yhteydessä testipenkin lambda-mittariin tuli jokin häiriö eikä moottorin seossuhteesta saatu tallennettua dataa. Moottoripyörään lisätyn seosmittarin mukaan moottorin polttoaine-ilmaseos oli kuitenkin lähes koko mittauksen ajan 11 – 13,5 lukemissa, joka vastaa lambda-arvoina n. 0,75 – 0,92. Mittari näytti normaalissa ajotilanteessa myös vastaavia lukemia, tasaista matka-ajoa ajettaessa lukema oli ajoittain jopa hieman yli 14, mikä viittaisi seossuhteen olevan kaasuttimia käytettäessä riittävän lähellä optimaalista. Polttoaineen suihkutuksella voitaisiin seossuhdetta saada vielä

hieman tarkemmaksi, mutta tässä vaiheessa sen asentamiseen ei ollut aikaa saati rahaa.

Ennen viimeistä tehomittausta painekoteloon oli lisätty myös alipaineventtiili, jonka toivottiin vaikuttavan moottorin kierrosherkkyyteen positiivisesti ja nopeuttavan myös ahtopaineen muodostumista. Tällä ei kuitenkaan saatu toivottua tulosta, vaikka kyseinen venttiili hieman lisäksi moottorin vääntöä 4 000- 7 000 r/min alueella ja siten paransi myös ajomukavuutta.

Tässä vaiheessa suoritettiin myös uudet kiihtyvyydsmittaukset. Saatujen tulosten ja mittausohjelman lähes jatkuvan kaatumisen takia mittauksissa ei päästy vertailuarvojen tasolle. Tämä ihmetytti, koska muutaman onnistuneen mittauksen yhteydessä moottoripyörän eturengas tuntui nousevan ilmaan. Tätä ei vertailuarvoja mitattaessa tapahtunut kertaakaan. Lisäksi muutaman mittauskerran jälkeen täyskiihdytyksellä oli havaittavissa kytkimen luistamista, joka ilmeni moottorin kierrosten nopeana nousuna, vaikka moottoripyörän nopeus ei muuttunutkaan samassa suhteessa.

9 POHDINTA

Valitettavasti työssä käytetty ahdin ei ole alkuperäinen Mitsubishin valmistama, vaan ilmeisesti Kiinassa valmistettu kyseisen ahtimen kopio. Näin ollen ahtimen mukana ei toimitettu myöskään minkäänlaista turbokarttaa, vaan hankintahetkellä täytyi luottaa muiden harrastajien sekä turbosarjojen valmistajien suosimaan vaihtoehtoon. Myöhemmin ahtimeen tiedusteltiin oletetulta valmistajalta sähköpostin välityksellä ahdinkarttaa huonoin tuloksin. Mitsubishiltä kyseinen kartta lopulta saatiin, joten nyt voitiin tutkia ahtimen todellista soveltuvuutta tähän projektiin. Kyseinen ahdin on ilmeisesti alkuperäisestä TD04-16T -ahtimesta paranneltu, paremmin virtaava malli. Tämän seurauksena turbiinipuolen kokoa on kasvatettu, eikä työssä käytetty ahdin tuota ahtopainetta alhaisemmilla pyörintänopeuksilla.

Viimeisten koeajojen aikana havaittiin kiihdytettäessä, ahtopaineen muodostuessa, mielenkiintoinen ilmiö. Ahtopaineen noustessa ja samalla vähennettäessä hieman kaasua pyörän kiihtyvyys kasvoi. Tämä ilmiö johtuu mahdollisesti pitot-metodilla pai-

neistetuista kaasuttimista. Koska tämän raportin kirjoittamisella oli jo kiire, ei ilmiön aiheuttajaa ehditty tutkimaan tarkemmin.

Työn alkuperäisenä tavoitteena oli tutkia välijäähdyttimen vaikutusta moottoripyöräkäytössä. Tästä suunnitelmasta jouduttiin luopumaan aikataulun ja turbosarjan asennus- ja varsinkin säätötyön haasteellisuuden takia. Vaikka välijäähdyttimen hyötyä moottoripyöräkäytössä ei ehditty tutkimaan tämän opinnäytetyön puitteissa, tullaan tätä tutkimaan myöhemmin, jotta harrastajien piirissä käydylle keskustelulle välijäähdyttimen hyödystä moottoripyöräkäytössä saataisiin mitattua faktatietoa.

Tiukka aikataulu ja rajallinen budjetti haittasi tämän opinnäytetyön suorittamista. Lisäksi eduskunnan päätös supistaa ammattikorkeakoululle suunnattua rahoitusta ja tämän seurauksena Mikkelin ammattikorkeakoulun päätös lakkauttaa auto- ja kuljetustekniikan koulutusohjelma vaikutti negatiivisesti autolaboratorion henkilökunnan motivaatioon sekä kykyyn hankkia tarvittavia testauslaitteita. Jotta tämä opinnäytetyö olisi voitu suorittaa alkuperäisen idean mukaisesti, olisi koulun laboratoriosta täytynyt löytyä tehodynamometri, jonka avulla moottorin teho ja vääntökäyrä olisi voitu mitata vetävältä pyörältä.

Tämän työn aikana suoritettavat tehomittaukset jouduttiin suorittamaan paikallisen moottoripyöräkerhon tiloissa, joka hidasti työn suoritusta pahimmillaan jopa parilla viikolla /mittauskerta aikataulujen yhteensopimattomuuden takia. Lisäksi jos autolaboratoriossa olisi ollut mahdollisuudet mittauksiin, olisi muutoksia voitu kokeilla jo saman päivän aikana eikä pyörää olisi tarvinnut siirrellä eri paikkaan muutoksien teon ajaksi.

Kokonaisuutena työ oli mielestäni todella mielenkiintoinen ja haastava. Vastaavaa työtä suunnittelevalle antaisin ohjeeksi ennen muutostyöhön ryhtymistä varmistua moottorin hyvästä mekaanisesta kunnosta, kaasuttimien säätöjen alkuperäisyydestä sekä kaasuttimien kuluvien osien (neulat, neulaputket, jouset, mahdolliset kalvot yms.) kunnosta. Tähän työhön käytetystä ajasta suurin osa kului kaasuttimien vikojen tutkimiseen ja alkuperäisten säätöjen sekä osien hakemiseen.

Viimeisten teho- ja päästömittaustulosten perusteella pyörä olisi ollut myös muutoksastettavissa kyseisillä muutoksilla. Valitettavasti moottoriin tuli jälleen jokin

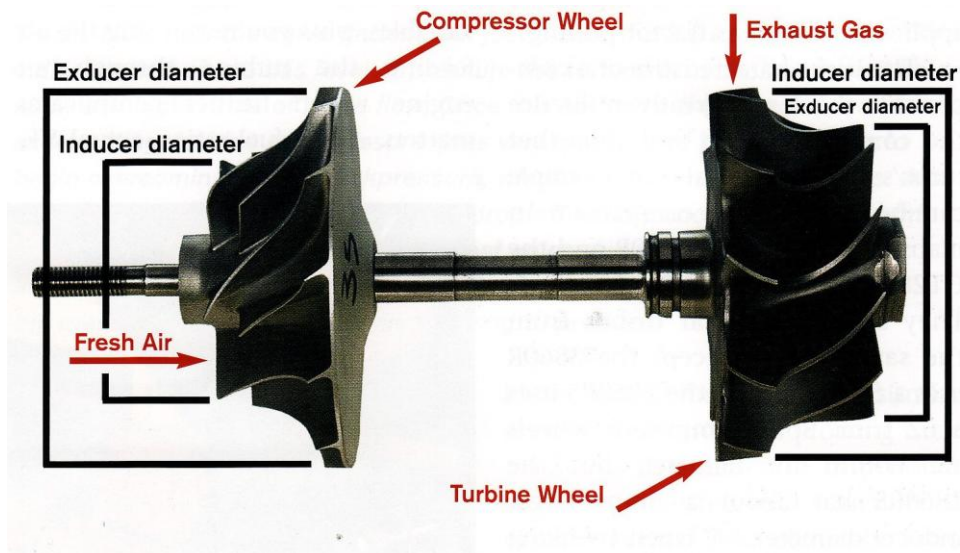
käyntihäiriö, jonka seurauksena moottori ei toiminut ennen muutoksastusta normaalisti. Tämän seurauksena moottoripyörä onkin nyt jouduttu poistamaan rekisteristä moottorin täydellisen kunnostuksen ajaksi, jotta vakuutusmaksuista ei aiheutuisi kunnostuksen aikana ylimääräisiä kuluja.

Tämän työn aikana välttyttiin suuremmilta moottorin mekaanisilta vaurioilta. Tämä kuvaa hyvin moottorin kestävyyttä. Edellisenä syksynä suoritettujen koeajojen aikana ahtopaine kohosi imusarjassa jopa 0.9 bariin, eikä kyseisestä ahtopaineen noususta havaittu olleen moottorin toiminnalle mitään haittaa. Vuonna 2012 suoritettavan kunnostuksen yhteydessä aiotaan turbon sijaintia muuttaa myös lähemmäs moottoripyörän keskilinjaa. Näin saadaan ahdinputkille ja ilmansuodattimelle lisää tilaa, ja alkuperäiset katteet voidaan myös asentaa pyörään.

Tulevina muutoksina voisin mainita myös kytkimen muuttamisen nykyisestä lautasjousella varustetusta perinteisempään ja vahvempaan, sylinterimäisillä jousilla varustettuun. Lisäksi nykyiset kaasuttimet aiotaan korvata sylinterikohtaisilla läppärungoilta ja polttoaineen suihkutuksella. Polttoaineen suihkutuksen ohjaukseen olen kaavailut megasquirtin ohjelmoitavaa ohjainyksikköä. Vaikka ahdetun moottorin polttoaineen syöttö on periaatteessa helppo toteuttaa alkuperäisilläkin kaasuttimilla, on kuluneiden kaasuttimien säätäminen työläs operaatio. Lisäksi alituisen kohoava polttoaineen hinta ja tällä hetkellä käytössä olevan moottoripyörän tekniikka pakottaa käyttämään kalleinta 98E5-laatua. Tämän seurauksena, tulevan polttoaineensyöttö muutosten yhteydessä tulenkin tutkimaan tarkemmin mahdollisuuksia muuttaa moottoripyörää toimimaan jatkossa myös RE85-polttoaineella.

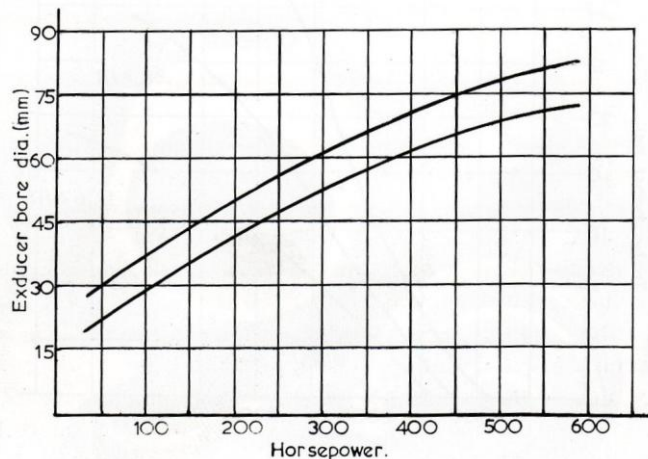
Tehomittauksissa ja maantietesteissä havaittu turbon toiminta-alue aiotaan myös muuttaa hieman alhaisemmalle pyörintänopeudelle. Maantiellä ajettaessa suurimmalla vaihteella moottorin pyörintänopeus on ollut n. 3500 – 4000 r/min alueella, joten ahtimen turbiinipesää ja varsinkin turbiinipyörää muutetaan tälle alueelle paremmin sopivaksi. Tällä hetkellä käytössä olevan turbon turbiinikotelon ja turbiinipyörän suuri koko aiheuttaa turbon myöhäisen ”heräämisen”. Näiden kokoa pienentämällä saataisiin turbiinin pyörintänopeus kasvamaan alhaisemmalla käyntinopeusalueella, jolloin ahtopainetta alkaisi muodostua nykyistä 8000 r/min aluetta aiemmin.

Pakokanavasta purkautuva pakovirtauksen paine pyrkii tasoittumaan ympäröivään ilmaan helpointa mahdollista reittiä. Jos turbiinipuolen ulostuloaukko, (kuva 23) exducer, on liian suuri suhteessa virtaavan pakokaasun määrään, pakokaasujen virtausenergiaa ei voida hyödyntää kokonaisuudessaan eikä turboahtimen kompressorin pyörintänopeus kasva riittävästi ahtopaineen tuottamiseksi.



KUVA 23. Turboahtimen siipipyörät [8, s. 41]

Nykyisen turbiinisiiven ulostuloaukon halkaisija on n. 46 mm, joka on moottorin tuottamaan tehoon nähden hieman liian suuri. Nykyisen turbiinipyörän pienentäminen halkaisijaltaan n. 40 mm (kuva 24) ulostuloaukolla varustettuun siipipyörään voisi tehostaa pakovirtauksesta saatavaa liike-energiaa, jolloin turboahtimen pyörintänopeus kasvaisi nykyistä alhaisemmalla moottorin pyörintänopeusalueella.



KUVA 24. Turbiinin ulostuloaukon koko moottorin eri tehoilla [8, s. 87]

Tällä hetkellä ahtimen tuoma hyöty havaitaan vasta ajettaessa 2-vaihteella n. 90km/h. Tästä nopeudesta kiihdyttämällä päästään ahtimen parhaimmalle toiminta-alueelle.

Tämän projektin kokonaiskulut jäivät n. 1500 €:oon, johon sisältyy kaikki työssä tarvittavat komponentit välijäähdytin mukaan lukien. Vastaavien valmissarjojen hinnat ovat n. 2000 – 3000 € eivätkä kyseiset sarjat sisällä välijäähdytintä.

LÄHTEET

1. Haile, Joe. Motorcycle turbocharging, supercharging & nitrous oxide. New Hampshire. Whitehorse press 2000.
2. Turbomotorcycles. Organisaation www-sivut.
<http://www.turbomotorcycles.org/TMIOA/Bikes.html> Päivitetty 10.6.2008. Viitattu 30.5.2012.
3. GlobalSuzuki. Organisaation www-sivut.
http://www.globalsuzuki.com/motorcycle/history/products/products_1980s.html#y1985_gsxr750. Päivitetty 11.5.2012. Viitattu 11.5.2012.
4. Gsxr-suzuki. Yrityksen www-sivut. <http://www.gsxr-suzuki.it/en/gsxr-1100-1986.html>. Päivitetty 19.4.2012. Viitattu 31.5.2012.
5. Hartman, Jeff. Turbocharging Performance Handbook. Kiina. MBI Publishing Company 2007.
6. Automotive Supercharging & Turbocharging Manual. JP17.
7. Bell, Corky. Supercharged! Design, testing and installation of supercharger systems. Massachusetts. Bentley Publishers 2001.
8. Bell, A. Graham. Forced induction performance tuning. California. Haynes Publishing 2002.
9. Lingenfelter, John. John Lingenfelter on modifying small-block chevy engines. New York. Berkley Publishing group 1996.
10. Motortrend. Yrityksen www-sivut. <http://wot.motortrend.com/more-venom-shelbys-new-supercharger-kit-adds-300-hp-to-2007-2012-gt500-203387.html/2012-ford-mustang-shelby-gt500-supercharged-5-4-liter-v-8-engine/#.T80zuVJrb2s>. Päivitetty 4.6.2012. Viitattu 4.6.2012.
11. Aerocharger. Yrityksen www-sivut. <http://aerocharger.com/technology.php> Päivitetty 27.5.2012. Viitattu 27.5.2012.
12. Miller, Jay K. Turbo real world high-performance turbocharger systems. Kiina. CarTech Inc 2008.

13. Mhi.co. Yrityksen www-sivut. <https://www.mhi.co.jp/cgi-bin/en/inquiry/index.cgi?code=10047&product=Specifications> Päivitetty 12.12.2011. Viitattu 12.12.2011

14. Autoteknillinen taskukirja 2003

15. Suzuki GSXR 1100 1989-92 huolto ja korjaus. Pdf-dokumentti. Saatavissa: <http://www.servicemanualsgsxr.com/category/suzuki-gsx-r-1100/>

16. Bell, Corky. Maximum boost. Massachusetts. Bentley Publishers 1997.