

Taneli Kerstinen

Turboahdetun moottoripyörän moottorin käyttö- alueen laajentaminen

LAB-ammattikorkeakoulu
Tekniikka Lappeenranta
Kone- ja tuotantotekniikka
Suunnittelu

Opinnäytetyö 2020

Tiivistelmä

Taneli Kerstinen

Turboahdetun moottoripyörän moottorin käyttöalueen laajentaminen, 45 sivua

LAB-ammattikorkeakoulu

Tekniikka Lappeenranta

Kone- ja tuotantotekniikka

Suunnittelu

Opinnäytetyö 2020

Ohjaaja: Laboratorioinsinööri Olli Orkamaa, Saimaan ammattikorkeakoulu

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli suunnitella ja valmistaa kaksoisahdinjärjestelmä käyttäen aihiona pakokaasuahdettua Suzuki Gsx-R 1100-moottoripyörää. Tavoitteena työn tuloksena oli tehokas, mutta lineaarisen tehokäyrän tuottava moottoripyörä.

Työssä käytiin läpi moottorin ahtamiseen liittyviä perusteita ja työn kohteeseen tarvittavat muutokset. Kaikkein olennaisimpien komponenttien mitoitusta ja muita muutoksia käytiin läpi tarkemmin. Tietoa haettiin alan kirjallisuudesta, minkä lisäksi omiin kokemuksiin perustuvia havaintoja käytettiin hyödyksi työtä suunniteltaessa ja tehdessä.

Työn tuloksena saatiin aikaan kahdella ahtimella varustettu moottoripyörä. Tavoitteeseen ei päästy, sillä moottorin tehoa ei opinnäytetyön puitteissa päästy mittaamaan. Työn kohteena olleen moottoripyörän testaus ja jalostus jatkuu opinnäytetyön ulkopuolella.

Asiasanat: moottoripyörä, ahdin, turbo

Abstract

Taneli Kerstinen

Expanding the efficiency of a turbocharged motorcycle's engine, 45 pages

LAB University of Applied Sciences

Engineering Lappeenranta

Bachelor's degree in mechanical and production engineering

Design

Bachelor's Thesis 2020

Instructors: Laboratory Engineer Mr. Olli Orkamaa

The subject of this thesis was to design and produce a twincharger system into a turbocharged Suzuki Gsx-R 1100-motorcycle. The goal was a powerful motorcycle with a linear power curve.

The thesis includes theory about forced induction and the modifications needed to be done to the object of work. The sizing and modifications of the most relevant components were gone through more specifically. The theory content for this thesis was gathered from various literatures and based on own experiences of building a turbocharged motorcycle.

As the result of this thesis a twincharged motorcycle was produced. The goal was not achieved as the power of the motor could not be tested within the thesis. The testing and designing of the object motorcycle continue outside this thesis.

Keywords: motorcycle, charger, turbo

Sisällys

1	Johdanto	5
2	Työn kohde	5
3	Pakokaasuahdin	7
4	Mekaaninen ahdin	8
5	Kaksoisahtamisen teoria.....	12
6	Tarvittavat muutokset ja lisättävät komponentit	14
6.1	Pakokaasuahtimen valinta	14
6.2	Mekaanisen ahtimen valinta	21
6.3	Pakosarja.....	27
6.4	Hukkaportti.....	28
6.5	Pakoputkisto	28
6.6	Välijäähdytin	28
6.7	Painekotelo	30
6.8	Kaasuttimet.....	31
6.9	Polttoainejärjestelmä.....	34
6.10	Männät	35
6.11	Kiertokanget	37
6.12	Puristussuhde.....	38
6.13	Sylinterikansi	40
6.14	Nokka-akselit	40
6.15	Pinnapultit.....	41
6.16	Kytkin.....	41
6.17	Huuhotus	42
7	Yhteenveto ja pohdinta	43
	Kuvat ja taulukot	45
	Lähteet.....	46

1 Johdanto

Lähtökohtana työlle on vuosimallia 1989 oleva Suzuki GSX-R- moottoripyörä, johon on jälkikäteen asennettu pakokaasuahdin ja muita ahtamiseen tarvittavia komponentteja huipputehon kasvattamiseksi. Moottoripyörään suunnitellaan ja asennetaan mekaaninen ahdinsarja kasvattamaan suurehkon pakokaasuahdimen aiheuttamaa kapeaa moottorin käyttöaluetta.

Opinnäytetyön laajuuden takia jokaista osa-aluetta ei tulla käsittelemään perusteellisesti. Työssä käytetyt ratkaisut perustuvat painetun kirjallisuuden lisäksi osittain myös omiin käytännön kokemuksiin ja havaintoihin. Haasteita suunnitteluun aiheuttavat rakentamisen säilyttäminen kustannustehokkaana, sekä moottoripyörän rakenteen aiheuttamat rajoitteet tilan suhteen. Työn lopussa moottorin teho on tarkoitus mitata jarrudynamometrissä molempien ahtimien kanssa, sekä mekaaninen ahdin irti kytkettynä, jotta mekaanisen ahtimen vaikutusta moottorin käyttöalueeseen voidaan verrata pelkällä pakokaasuahdimella varustettuun moottoriin.

Työssä käydään läpi polttomoottorin ahtamiseen liittyviä perusteita, sekä työn kohteena olevan moottoripyörän moottoriin tehtävät muutokset ja lisättävät komponentit.

2 Työn kohde

Tässä opinnäytetyössä työn kohteena toimii vuosimallia 1989 oleva alun perin 1127-kuutiosenttimetrillä moottorilla varustettu Suzuki GSX-R- moottoripyörä (Kuvat 1 ja 2). Kyseinen moottoripyörämalli on ollut ja on edelleenkin kohtalaisen suosittu lähtökohta ahdetun moottoripyörän rakentamiseksi harrastajien keskuudessa sen luotettavaksi havaitun ilma- ja öljyjäähdytteisen moottorin vuoksi. Työn lähtökohtana oleva moottoripyörä on jälkiahdettu pakokaasuahdimella huipputehon kasvattamiseksi. Moottoripyörä on havaittu käytännön testeillä suurimmilta osin toimivaksi ahtamisen jälkeen.



Kuva 1 Työn lähtökohta oikealta



Kuva 2 Työn lähtökohta vasemmalta

Pakokaasuahtimen, tai puhekielessä turboahtimen valinta on aina kompromissi. Pienikokoisempi ahdin alkaa tuottamaan paineistettua ilmaa moottorille alhaisemmillä kierrosluvuilla, mutta korkeammilla kierrosluvuilla ahdin menee niin sanotusti tukkoon, kun moottorin pakosarjassa vallitseva paine ylittää ahtimen tuottaman paineen. Isompikokoinen ahdin puolestaan ei mene niin helposti tukkoon ja mahdollistaa korkeamman huipputehon saavuttamisen suuremman ilmamäärän vuoksi, mutta ahdin ei niin sanotusti herää yhtä pienillä kierrosluvuilla kuin

pieni ahdin. Moottoripyörän iskutilavuuden ollessa pienempi kuin autoilla edellä mainitut ilmiöt korostuvat.

Työn kohteena olevassa moottoripyörässä oli päädytty käyttämään suhteellisen kookasta turboahdinta haitallisten pakopaineiden välttämiseksi. Tämän takia törmättiinkin edellä mainittuun ahtimen heräämisongelmaan.

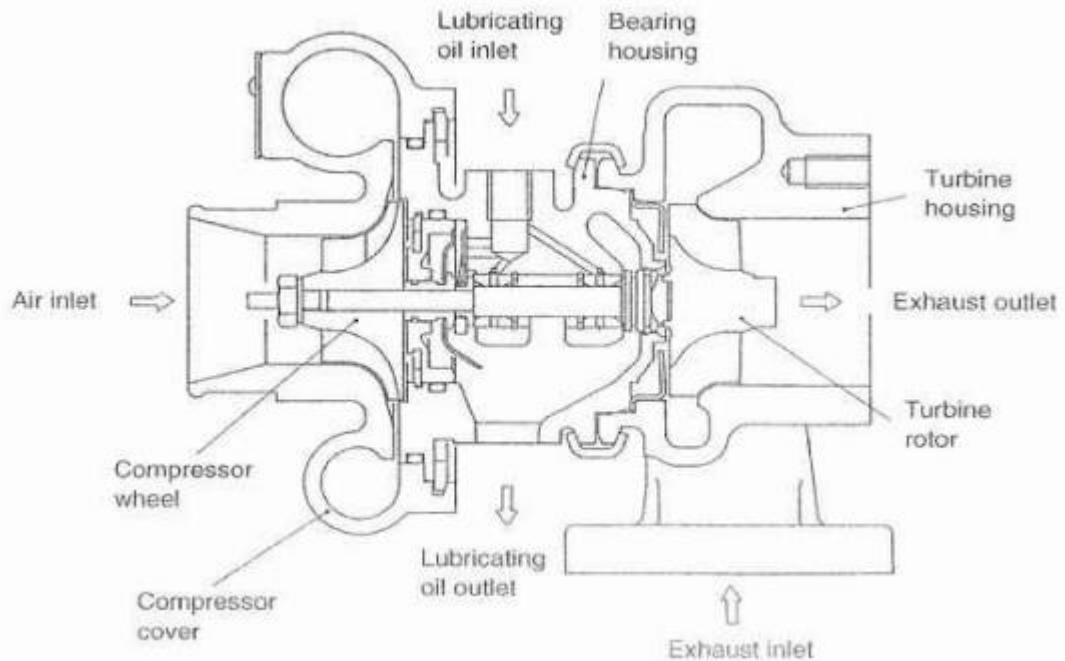
Yhtenä ratkaisuna olisi vaihtaa nykyinen ahdin samankokoiseen, mutta kuulalaa-keroituun malliin nykyisen liukulaakeroidun sijaan. Tällaiset kuulalaa-keroidut turboahtimet eivät kuitenkaan ole edullisia, joten sellainen ei tässä tapauksessa ole vaihtoehto, sillä kustannukset tulisi pitää alhaisina.

Mekaaniset ahtimet ovat käyttäytymiseltään yleensä päinvastaisia turboahtimiin verrattuna. Niillä saavutetaan tavoiteltu ahtopaine alhaisilla kierroksilla, mutta korkeilla kierrosluvuilla ja ahtopaineilla niiden hyötysuhde heikkenee huomattavasti turboahtimiin verrattuna.

3 Pakokaasuahdin

Pakokaasuahdin (myöhemmin turboahdin) on periaatteessa ilmapumppu, jonka tehtävä on paineistaa moottorille menevää ilmaa. Kun moottoriin ahdetaan enemmän ilmaa kuin se vapaasti hengittävänä imisi, tuottaa moottori enemmän voimaa. Tällöin myös polttoainetta tulee syöttää samassa suhteessa enemmän. Turboahtimen pyörittämisessä käytetään hyödyksi moottorista palamistapahtuman seurauksena poistuvaa pakokaasua. Tällöin moottorin hyötysuhde paranee, koska normaalisti pakokaasut ohjataan pakoputkistoa pitkin ulkoilmaan. (1.)

Turboahtimen rakenne ilmenee Kuvasta 3. Yksinkertaisimmillaan ahdin koostuu keskiöksi kutsuttavasta laakerointiyksiköstä, kompressori- ja turbiinipesistä, sekä akselista, johon on yhdistetty kompressori- ja turbiinipyörät. (1.)

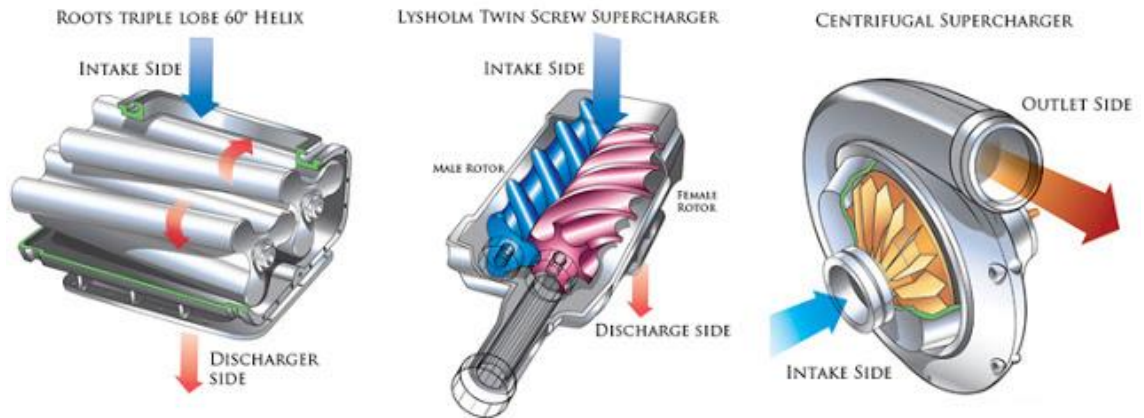


Kuva 3 Turboahtimen rakenne (1.)

Pakokaasut ohjataan turbiinipesään, tai puhekielessä pakopesään, jonka sisällä kaasut pyörittävät turbiinipyörää. Turbiinipyörä on kiinnitettyä ahtimen läpi menevään akseliin, jonka toisessa päässä on kompressoripesän, tai puhekielessä imupesän sisällä oleva kompressoripyörä. Pyörivä kompressoripyörä imee ilmaa kompressoripesän imuaukosta ja puristaa sen kasaan, jonka jälkeen ilma ohjataan kompressoripesän poistoaukosta edelleen kohti moottorin imusarjaa. (1.)

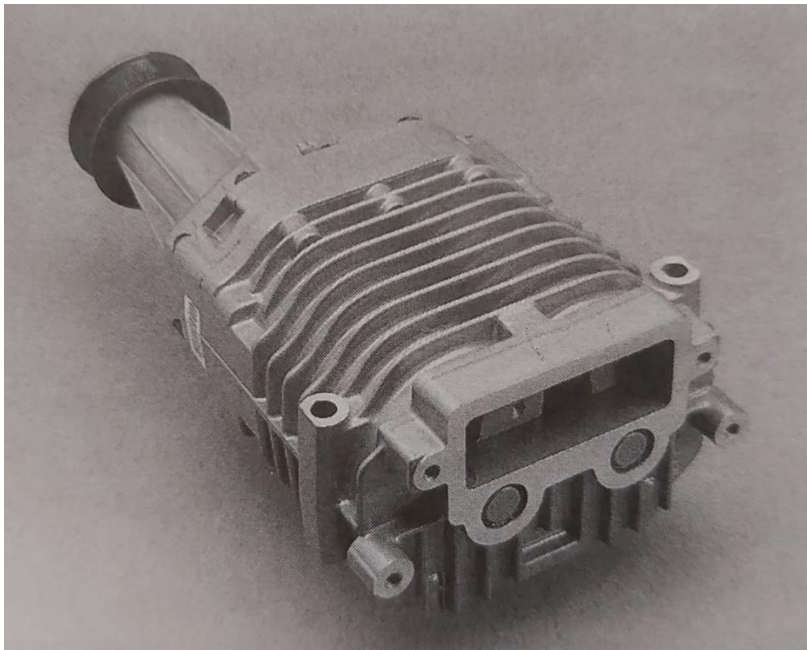
4 Mekaaninen ahdin

Mekaaniset ahtimet ottavat yleensä pyörimiseen tarvittavan energian moottorin kampiakselilla olevasta hihnapyörästä. Tämän vuoksi mekaanisia ahtimia kutsutaan puhekielessä remmiahtimiksi. Mekaanisten ahtimien etuihin pakokaasuahtimiin verrattuna lukeutuu niiden välitön ahtopaineen tuotto ilman viivettä jopa moottorin tyhjäkäynniltä asti. Huonona puolena mekaanisissa ahtimissa on se, että ne vievät pyöriessään jonkin verran moottorin tehoa. Yleisimmät remmiahdintyyppit ovat Roots-ahdin, ruuviahdin, sekä keskipakoahdin. (2.)



Kuva 4 Yleisimmät remmiahdintyytit (3.)

Roots-tyyppinen ahdin on vanhin remmiahtimista. Alun perin ilmansiirtopumpuksi kehitelty ahdin koostuu kahdesta roottorista, jotka pyörivät vastakkaisesti suuntiin ahtimen rungon sisällä. Roottorit ovat yleensä kaksi- tai kolmilapaisia ahtimen mallista ja koosta riippuen. Ahdin itsessään ei tuota painetta, vaan se siirtää moottorille enemmän ilmaa kuin moottori vapaasti hengittävänä imisi. (2.)

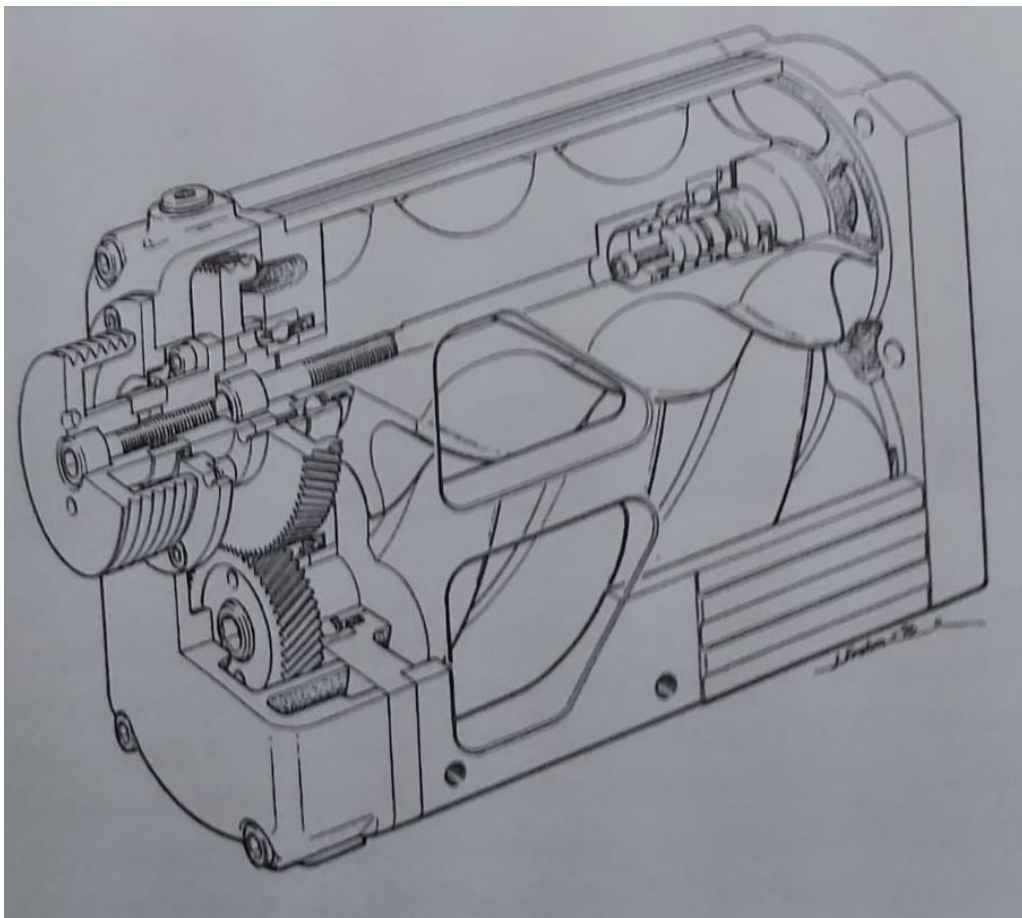


Kuva 5 Roots-tyyppinen mekaaninen ahdin (2.)

Roots-ahtimen hyviin puoliin lukeutuu sen kyky tuottaa ahtopainetta jo pienillä kierrosluvuilla. Suurehkoista välyksistä johtuvien sisäisten vuotojen vuoksi ha- luttu ahtopaine ei kuitenkaan ole heti tyhjäkäynnillä saatavilla. Ahtimen hyöty- suhde pienenee jonkin verran korkeilla kierroksilla, jolloin ahdin alkaa

enemmänkin kuumentamaan ilmaa kuin kehittämään painetta. Roots-ahdin onkin omiaan pienen tai pienehkön moottorin ahtimeksi, joiden ongelmana on väännön puute pienillä kierrosnopeuksilla. (2.)

Ruuviahdin muistuttaa rakenteeltaan hyvin paljon Roots-ahdinta. Suurin ero tulee roottorien muodosta: siinä missä Roots-ahdimessa on 2- tai 3-lapaiset roottorit, jotka ovat noin 60° kierteellä, on ruuviahtimen roottorit enemmän nimensä mukaisesti ruuvimaisia, toinen oikeankätisellä ja toinen vasenkätisellä kierteellä. Lisäksi ruuviahtimen roottorit muodostuvat uros- ja naarasroottorista, joissa on keskenään eri määrä lapoja. Lavat ovat myös keskenään eri muotoiset. (2.)



Kuva 6 Ruuviahtimen läpileikkauskuva (2.)

Ruuviahtimen toimintaperiaate eroaa Roots-ahdimesta jonkin verran. Ruuviahdin itsessään tuottaa painetta puristamalla ilmaa kokoon ruuvien välissä. Tällä on positiivinen vaikutus hyötysuhteeseen silloin, kun moottoria käytetään ahtopaineilla, mutta tyhjäkäynnillä ja niin sanotusti pintakaasulla ajaessa ruuviahdin sen

sijaan kuumentaa ahtoilmaa tarpeettomasti ja vie moottorilta enemmän tehoa.
(2.)

Ruuviahtimen roottorien välykset ovat paljon pienemmät kuin Roots-ahtimessa, mahdollistaen paremman hyötysuhteen. Roots-ahtimen tavoin ruuviahtimen hyviin puoliin lukeutuu ahtopaineen tuotto jo alhaisilta kierrosnopeuksilta. Huonoihin puoliin kuuluu valmistusmenetelmistä johtuva korkea hinta. (2.)

Keskipakoahdinta voisi kuvailla hihnavetoiseksi turboahtimeksi. Ahtimessa on samankaltainen kompressoripuoli kuin turboahtimessa, mutta turbiinipuolen tilalla on hihnapyörä. Hihnapyörän ja kompressoripuolen välissä on välitys, jolla kompressoripyörän kierrosnopeus saadaan kasvatettua riittävän suureksi. Välitys on useimmiten toteutettu rattain, mutta joissain keskipakoahdimissa ahtimen välitys on toteutettu hihnavedolla. Hihnavedon etuna on muun muassa hiljaisempi ääni, mutta toisaalta hihnaveto ei kestä yhtä suurta kuormitusta kuin hammasrattaat.



Kuva 7 Keskipakoahdin (4.)

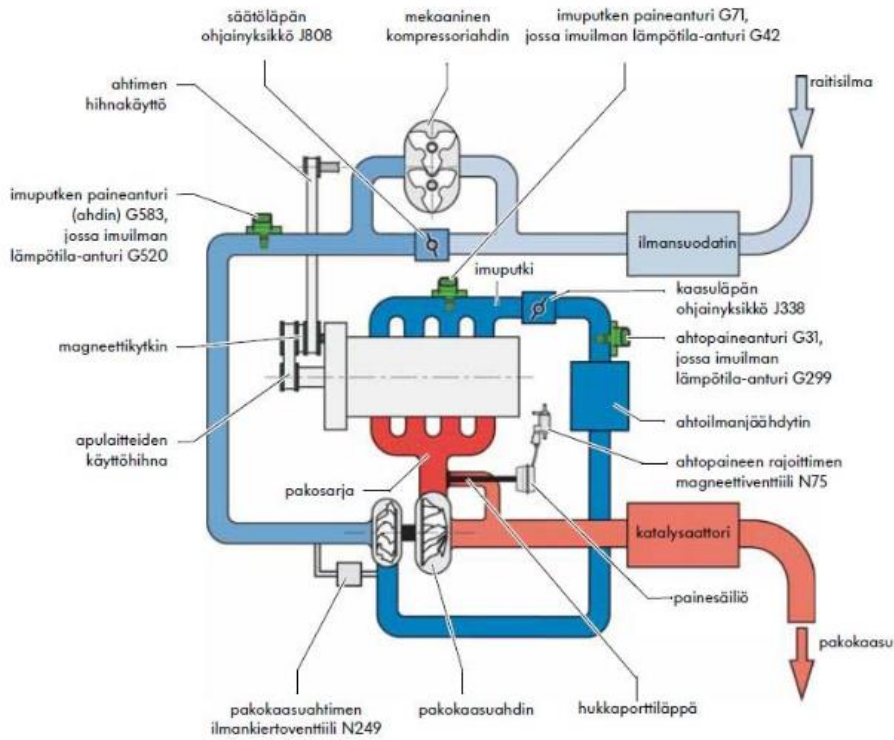
5 Kaksoisahtamisen teoria

Eräät autovalmistajat ovat valmistaneet moottoreita, jotka ovat varustettu sekä mekaanisella, että pakokaasuahtimella. Tällöin moottorin käyttöalueesta saadaan laajempi, kun moottoriin saadaan ahdetta ilmaa jo pienillä kierrosnopeuksilla. Ajoneuvoa on helpompi ja mukavampi käsitellä, kun moottori vääntää tasaisesti läpi kierrosalueen, eikä tehokäyrässä ole piikinomaista nousua.

Yleensä ahtimet ovat asennettuna sarjaan siten, että mekaaninen ahdin joko imee tai puhaltaa ilmaa turboahtimen läpi. Mekaaninen ahdin kytketään pois käytöstä esimerkiksi hihnapyörän magneettikytkimellä turboahtimen tuottaessa enemmän painetta kuin mekaaninen ahdin, koska siinä vaiheessa mekaanisesta ahtimesta on enemmän haittaa kuin hyötyä. Mikäli mekaaninen ahdin on ennen turboahdinta, alkaa se rajoittamaan turboahtimen tarvitsemaa ilmamäärää. Myös turboahtimen jälkeen sijoitettuna mekaaninen ahdin toimii pullonkaulana turboahtimen tuottaessa enemmän painetta.

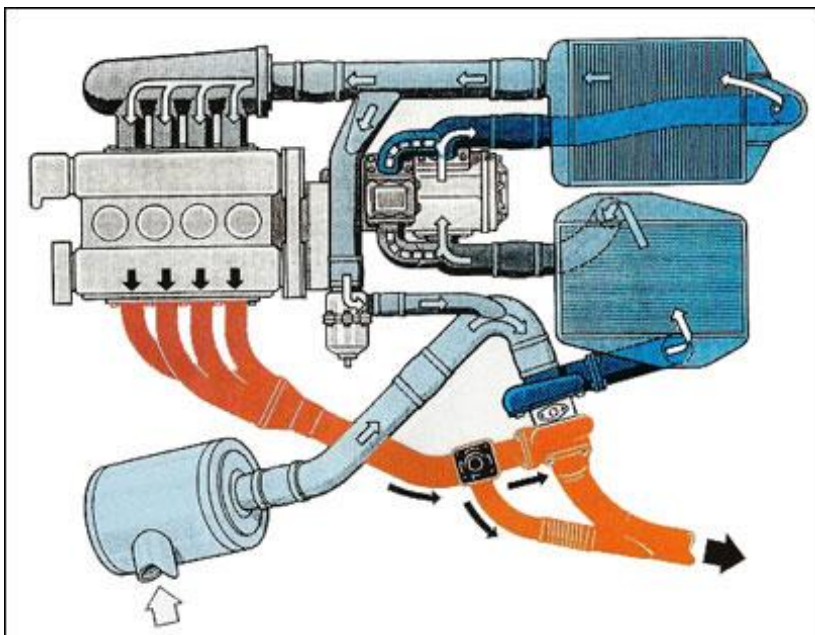
Hihnapyörän magneettiventtiilin lisäksi järjestelmässä usein on jonkinlainen ohitusventtiili, jolla mekaaninen ahdin saadaan tarpeen tullessa ohitettua. Mekaanisten ahtimien hyötysuhde on pääsääntöisesti heikompi kuin pakokaasuahtimien, koska mekaanista ahdinta pyöritetään kampiakselin päässä olevalla hihnapyörällä, kun taas pakokaasuahtimen pyörittämisessä käytetään hyödyksi moottorista poistuvaa pakokaasua. Ohitusventtiilin rakenne ja sijainti riippuvat ahtimien järjestyksestä. Ahtimien sijoittelusta riippumatta ahtoputkistossa yleensä on myös venttiili, joka päästää kaasuläpän sulkeutuessa ahdetun imuilman takaisin ahtimien imupuolelle. Tällä estetään turboahtimen pyörimisnopeuden hidastuminen, jotta kaasuläppää uudelleen avatessa moottorin käyttö saadaan pidettyä jouhevampana.

Kuvassa 8 on esitetty Volkswagenin kaksoisahdetun 1.4 TSI-moottorin ahtimien ja muiden komponenttien sijoittelu. Ahtimet ovat sarjassa siten, että raitis ilma kulkee tarpeen mukaan joko mekaanisen ahtimen tai ohitusventtiilin kautta turboahtimelle. Samaa periaatetta on käytetty esimerkiksi Volvon nelisynterisissä T6- ja T8-moottoreissa.



Kuva 8. VW 1.4 TSI-moottorin layout (5.)

Ahtimet voidaan sijoittaa myös toisin päin, eli mekaaninen ahdin imee ilman turboahtimen läpi. Ohitusventtiili aukeaa, kun turboahdin alkaa tuottamaan enemmän ahtopainetta kuin mekaaninen ahdin. Tätä periaatetta on käytetty esimerkiksi Lancia Delta S4:ssä (Kuva 9) ja Nissan Micra Super Turbossa.



Kuva 9. Lancia Delta S4-moottorin layout (6.)

Työn kohteena olevassa moottoripyörässä on tarkoituksena kytkeä ahtimet sarjaan siten, että turboahdin sijoitetaan moottorin etupuolelle ja mekaaninen ahdin moottorin yläpuolelle. Raitis ilma kulkee ensin mekaaniselle ahtimelle, josta se ohjataan turboahtimen imupuolelle. Tästä eteenpäin ilma menee välijäähdyttimen läpi kaasuttimille, aivan kuten tavanomaisessa turboahdetussa moottorissa. Ohitusventtiili sijoitetaan turboahtimen kompressoripesän yhteyteen.

6 Tarvittavat muutokset ja lisättävät komponentit

6.1 Pakokaasuahtimen valinta

Turboahdinta mitoittaessa tulee olla tietoinen monesta muuttujasta. Ennen ahtimen valintaa tulee olla jonkin näköinen ajatus siitä, millä moottorin kierrosalueella ahtimen halutaan toimivan parhaiten ja millä ahtopaineella, jotta voidaan laskea moottorin vaatima ilmamäärä, jota taas verrataan ahdinvalmistajan tekemään kompressorikarttaan. Kompressorikartasta ilmenee ahtimen hyötysuhde eri ilmamäärillä ja painesuhteilla. Laskettujen ilmamäärien ja painesuhteiden perusteella karttaan saadaan merkattua pisteitä, joiden välille vedettyjen viivojen tulisi olla mahdollisimman suuren hyötysuhteen kohdilla, jotta moottorin tehoa saadaan kasvatettua mahdollisimman paljon. Mikäli edellä mainitut viivat eivät osu ollenkaan kartan alueelle, ei ahdin toimi oikein. Nyrkkisääntöinä voidaan pitää, että mikäli pisteet ohittavat kompressorikartan oikealta puolelta, menee ahdin niin sanotusti tukkoon ja vasemmalta puolelta ohittaessaan ahdin on vaarassa sakata. Sakkauksella tarkoitetaan ilmiötä, jossa ahdin pyrkii muodostamaan liian suurta ahtopainetta liian pienellä ilmamäärällä. Tämän seurauksena ahtoilman paine vaihtelee voimakkaasti sykkien ahtoputkessa, joka aiheuttaa paineiskuja ahtimen kompressoripyörälle ja pahimmillaan voi rikkoa ahtimen. (1.)

Aluksi lasketaan moottorin painesuhde. Painesuhteen laskemiseen tarvitaan tavoiteltu ahtopaine. Työn kohteena olevan moottorin pullonkauloja ahtaessa tiedetään olevan sylinterikansi ja sytytysjärjestelmä, joiden tiedetään toimivan alkuperäisinä käytettäessä maksimissaan noin 1,5 bar ahtopainetta, joten ahtopaineeksi päätettiin 1,5 bar.

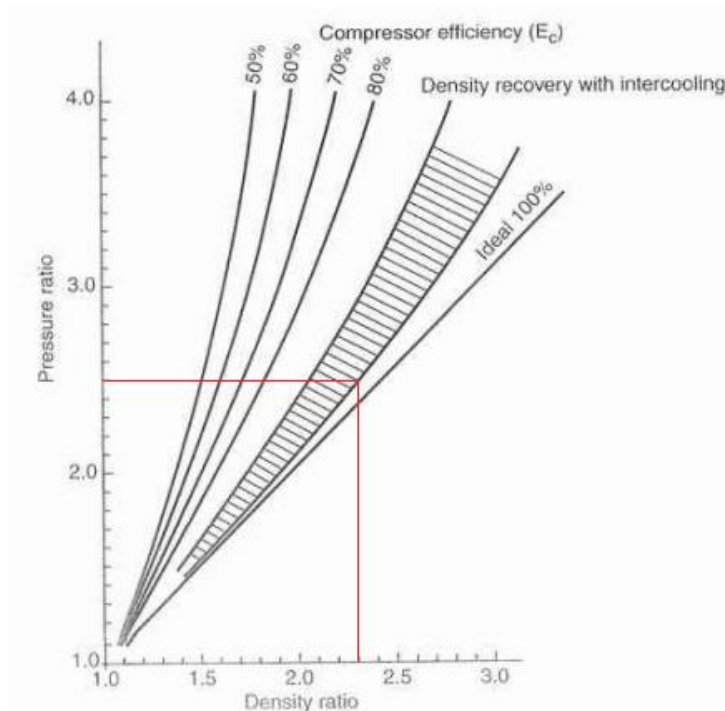
Painesuhde lasketaan Kaavalla 1: (1.)

$$Painesuhde = \frac{\text{Ilmakehän paine} + \text{ahtopaine}}{\text{Ilmakehän paine}} \quad (1)$$

Ilmakehän paine on 1 bar, jolloin Kaavaan 1 sijoittamalla painesuhteeksi saadaan:

$$Painesuhde = \frac{1 \text{ bar} + 1,5 \text{ bar}}{1 \text{ bar}} = 2,5$$

Seuraavaksi lasketaan tiheyssuhde. Ilma lämpenee, kun sitä puristetaan kasaan. Lämmitessään ilman tiheys vähenee, jolla on suora merkitys moottorista saatavaan tehoon. Kuvasta 10 ilmenee kompressorin hyötysuhteen vaikutus tiheyssuhteeseen painesuhteeseen verrattuna; tiheyssuhde on aina pienempi kuin painesuhde.



Kuva 10 Kompressorin hyötysuhteen vaikutus tiheyssuhteeseen (1.)

Kuten kuvasta ilmenee, saadaan tiheyssuhdetta parannettua ahtoilman välijäähdytyksellä. Välijäähdytys käsitellään myöhemmin työssä, mutta laskelmien takia olennaista on tietää jo tässä vaiheessa, että välijäähdytystä tullaan käyttämään. Tiheyssuhteeksi saadaan kuvasta päätellen 2,3.

Seuraavaksi lasketaan moottorin imemä ilmamäärä vapaasti hengittävänä. Tämän laskemiseksi tarvitaan moottorin tilavuus, maksimikiertoaika,

hyötysuhde, sekä työtahtien määrä yhtä moottorin kierrosta kohden. Moottorin tilavuus kasvaa uusien mäntien myötä 1127 kuutiosenttimetrinä 1216 kuutiosenttimetriin ja maksimikierronnopeus on rajoitettu 11000 kierrokseen minuutissa. Moottorin hyötysuhdetta on vaikea mitata, joten tässä tapauksessa käytetään yleisesti polttomoottoreissa käytettyä arvoa 0,85. Kyseessä on nelitahtimoottori, joten siinä on puoli työtahtia yhtä moottorin kierrosta kohden. Maksimi ilmamäärä lasketaan Kaavalla 2: (1.)

$$Ilmamäärä_{max} = 1216cm^3 * 11000rpm * 0,5 * 0,85 = 0,095m^3/s \quad (2)$$

Moottoria on tarkoitus käyttää muillakin kierrosnopeuksilla kuin pelkästään maksimikierronnopeudella, joten on tarpeen laskea alhaisempienkin kierrosnopeuksien ilmamäärät. Kohdemoottoripyörän valmistaja on ilmoittanut moottorin huippuväännön olevan 6000 rpm ja huipputehon 9500rpm kohdilla, joten näitä kierrosnopeuksia päädyttiin käyttämään ahdinta mitoittaessa. Kaavalla 2 laskettuna saatiin arvot, jotka sijoitettiin Taulukkoon 1:

Moottorin kierrosnopeus (rpm)	Ilmamäärä (m ³ /s)
6000	0,052
9500	0,082
11000	0,095

Taulukko 1 Vapaasti hengittävän moottorin ilmamäärät

Ahdetun moottorin ilmamäärät saadaan selville kertomalla Taulukon 1 ilmamäärät tiheysuhteella:

Moottorin kierrosnopeus (rpm)	Ilmamäärä (m ³ /s)
6000	0,112
9500	0,188
11000	0,218

Taulukko 2 Ahdetun moottorin ilmamäärät

Turboahtimeksi oli suunniteltu Holsetin mallistosta HX35 Super-mallia. Kyseinen ahdin on melko kookas, mutta sen tiedettiin olevan suosittu valinta, kun tehota-
voitteeksi asetetaan vähintään 300 hevosvoimaa. Ahtimen kapasiteetin tiedettiin
riittävän jopa 450 hevosvoimaan asti. Mielenkiintoa kasvatti myös edullinen han-
kintahinta ja hyvä varaosien saatavuus.

Seuraavaksi kyseisen ahtimen kompressorikarttaan sijoitetaan painesuhteen ja
ilmamäärän perusteella löydetyt pisteet, jolla voidaan tarkistaa ahtimen soveltu-
vuus käytettäväksi työn kohteena olevan moottorin kanssa. Kompressorikartassa
ilmamäärä on ilmoitettu yksikössä kg/s, joten Taulukon 2 lukemat tulee vielä
muuntaa samaan yksikköön ennen karttaan sijoittamista. Esimerkiksi 15°C läm-
pötilassa kuivan ilman tiheys on 1,225 kg/m³, jolloin:

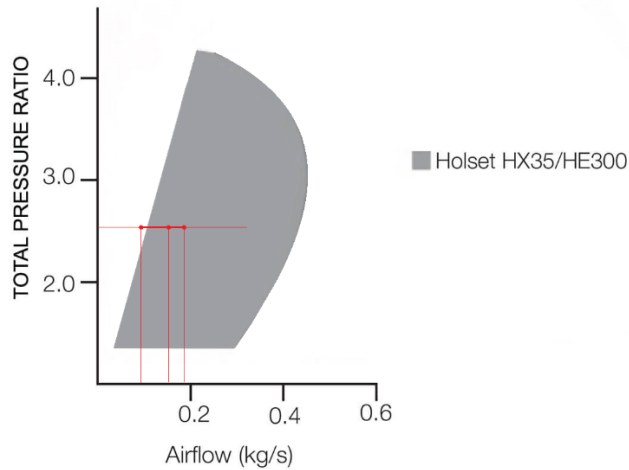
$$1\text{kg/s} = \frac{1}{\frac{1,225\text{kg}}{\text{m}^3}} = 0,8163\text{m}^3/\text{s} \quad (3)$$

Tällä kertoimella ilmamäärät saadaan muunnettua Taulukkoon 3 seuraavasti:

Moottorin kierrosnopeus (rpm)	Ilmamäärä (kg/s)
6000	0,091
9500	0,153
11000	0,178

Taulukko 3 Ilmamäärät yksikössä kg/s

Kun pisteet sijoitetaan ahtimen kompressorikarttaan (Kuva 11), voidaan havaita,
että suurimmilta osin pisteet osuvat niin sanotusti kartan alueelle, ainoastaan
maksimiväännön piste menee kartan ohi sakkausalueelle. Käytännön kokemus-
ten perusteella ahtimen uskotaan kuitenkin toimivan halutulla tavalla kohteena
olevassa moottorissa. Holsetin ahtimista on melko heikosti kunnollisia kompres-
sorikarttoja saatavilla, joten kyseisestä kartasta ei valitettavasti ilmene ahtimen
hyötysuhdetta.



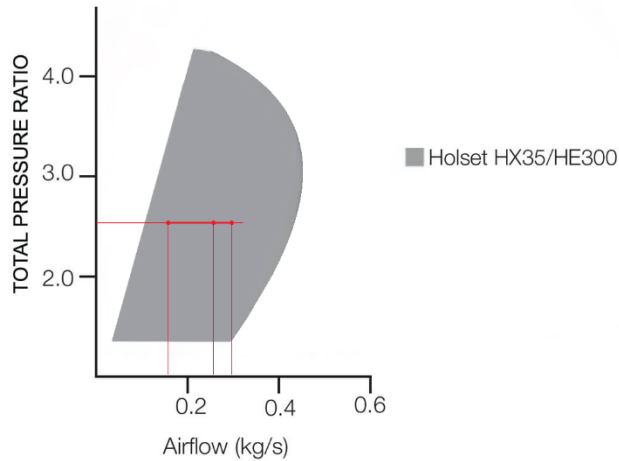
Kuva 11 Holset HX35 kompressorikartta pelkästään turboahdettuna (7.)

Edellä olevat laskelmat perustuvat ainoastaan turboahtimella varustetun moottorin ahtimen mitoittamiseen. Teoriassa turboahdinta pyörittävän pakokaasun määrä kasvaa mekaanisen ahtimen asentamisen myötä. Mekaanisen ahtimen maksimiahtopaineeksi kaavailtiin noin 0,7 bar. Laskelmien yksinkertaistamiseksi Taulukon 3 ilmamäärät kerrottiin mekaanisen ahtimen painesuhteella 1,7, jolloin saatiin seuraavanlainen taulukko:

Moottorin kierrosnopeus (rpm)	Ilmamäärä (kg/s)
6000	0,165
9500	0,261
11000	0,302

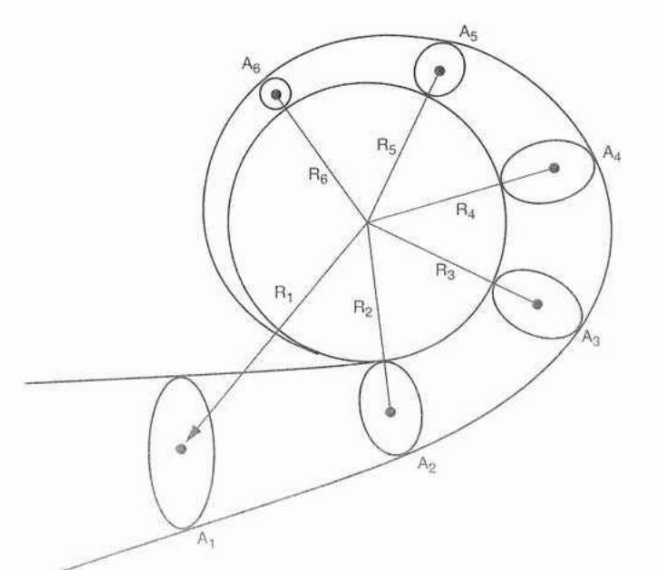
Taulukko 4 Ilmamäärät kaksoisahdettuna yksikössä kg/s

Uudet arvot sijoittamalla uudestaan kompressorikartalle (Kuva 12) havaitaan valitun ahtimen soveltuvan mainiosti tähän kokoonpanoon.



Kuva 12 Holset HX35 kompressorikartta kaksoisahdettuna (7.)

Turboahtimen turbiinipuolen mitoitus tapahtuu yleensä turbiinipesää vaihtamalla. Muilla ahdinvalmistajalla turbiinipesän koko on yleensä ilmoitettu AR-luvulla. Kyseessä on suhdeluku, jossa A =Area, eli turbiinipesän sisääntulonielun poikkileikkauksen pinta-ala ja R =Radius, jolla tarkoitetaan edellä mainitun poikkileikkauksen keskipisteen etäisyyttä ahtimen akseliin (Kuva 13). Isompi turbiinipesä mahdollistaa suuremmat tehot, mutta siirtää samalla moottorin tehoaluetta korkeammille kierrosnopeuksille. Vastaavasti pienemmällä turbiinipesällä ahdin saadaan niin sanotusti heräämään pienemmällä kierrosluvulla, mutta riskinä on, että turbiinipesä alkaa kuristamaan pakokaasujen virtausta ja näin ollen kasvattamaan haitallista pakopainetta. (1.)



Kuva 13 AR-suhteen määritelmä (1.)

Holset ilmoittaa turbiinipesän koot numeroin, esimerkiksi tähän työhön valitussa ahtimessa turbiinipesä on alun perin kooltaan #8. Tämä luku ilmaisee turbiinipesän sisääntulonielun poikkileikkauksen pinta-alan neliösenttimetreissä.

Laskelmilla varmistettiin, että turboahtimeksi voitiin valita suunniteltu Holset HX35 Super. Kokoonpanoa testataan ensin alkuperäisellä #8 turbiinipesällä, joka tarvittaessa vaihdetaan isompaan. Kyseinen turbiinipesä on yksinieluininen, kun taas suuremmat turbiinipesät ovat jaetulla nielulla. Jaetulla nielulla olevalla turbiinipesällä on positiivinen vaikutus ahtimen heräämiseen, mutta samalla se usein vaatii pakosarjan suunnittelemisen ja valmistamisen uudelleen.

Turboahtimeen tehtiin muutamia muutoksia, jotta kokoonpanosta saatiin halutunlainen (Kuva 14). Turbiinipesässä ei alun perin ollut hukkaporttia, joten pesään hitsattiin lähtö hukkaportille, tästä tarkemmin työn myöhemmässä vaiheessa. Pakoputki kiinnittyi alun perin turbiinipesään pulttikiinnitteisellä laipalla, mutta tämän tilalle turbiinipesään hitsattiin v-panta pakoputken asentamisen helpottamiseksi. Ahtimen kompressoripesään hitsattiin ulostulopuolelle 90 asteen käyrä ja sen päähän letkulähtö. Lisäksi kompressoripesän imupuolelle hitsattiin putki, johon tuli letkuyhde mekaaniselta ahtimelta tulevalle putkelle, sekä ohitusventtiili, jota ohjataan painekellolla.



Kuva 14 Turboahdin muutosten jälkeen

Turboahtimen laakerointi vaatii voitelun, joka tässä tapauksessa otettiin moottorin lohossa olevasta pääöljykanavasta. Kanavan päässä ollut tulppa poistettiin, ja sen tilalle asennettiin JIC-liitin, johon saatiin kiinnitettyä ahtimen öljyn menoliitäntään tuleva letku. Ahtimen suuri koko, sekä välijäähdyttimen sijainti asettivat rajoituksia ahtimen sijainnille. Ahdinta ei saanut asennettua riittävän ylös, jotta ahdin olisi moottorin öljypinnan yläpuolella. Tästä syystä ahtimelta palaavalle öljylle piti tehdä pieni välisäiliö, sekä asentaa öljypumppu. Öljypohjaan hitsattiin öljynpaluulle liitin, mistä pumppu pumppaa ahtimelta tulevan öljyn takaisin öljypohjaan.

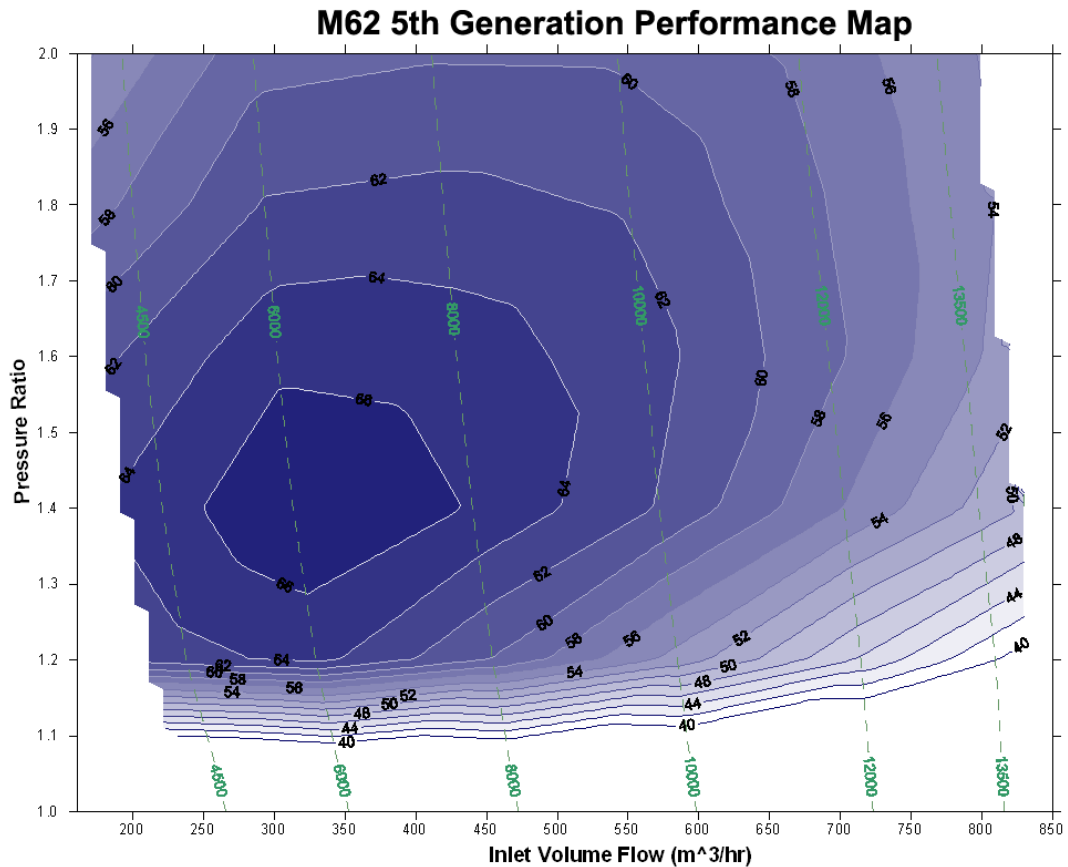
6.2 Mekaanisen ahtimen valinta

Mekaaniseksi ahtimeksi suunniteltiin Eatonin valmistamaa roots-tyyppistä ahdinta niiden edullisen hankintahinnan vuoksi. M45-malli on yleisemmin käytetty ahdin moottoripyöriä jälkiahtaessa ja ne ovat suuremman tarjonnan vuoksi hieman edullisempia. Pykälää suurempi M62 toimii kuitenkin hieman paremmalla hyötysuhteella ja siinä on sisäänrakennettu, alun perin alipainekellolla toimiva ohitusventtiili. Ahdin kiinnitetään rungon yläpuolelle alkuperäisen polttoainetankin kohdalle pultattavaan alumiinilevyyn, joka toimii samalla ahtimen painepuolen laippana (Kuva 15).



Kuva 15 Ahtimen kiinnikelevy ja painepuolen lähtö keskeneräisenä

Ahtimen soveltuvuus varmistettiin laskemalla. Eatonin tehokartassa (Kuva 16) x-akselilla on ahdetun moottorin vaatima ilmamäärä ja y-akselilla on painesuhde. Kartassa näkyy ahtimen hyötysuhteen lisäksi ahtimen kierrosluku, jonka maksimiarvoksi on ilmoitettu 13500 kierrosta minuutissa.



Kuva 16 Eaton M62 tehokartta (8.)

Tehokartassa ilmamäärä on yksikössä kuutiometriä tunnissa, joten Taulukon 1 arvot tulee muuttaa samaan yksikköön:

Moottorin kierrosnopeus (rpm)	Ilmamäärä (m³/h)
6000	187,2
9500	295,2
11000	342,0

Taulukko 5 Vapaasti hengittävän moottorin ilmamäärät yksikössä m³/h

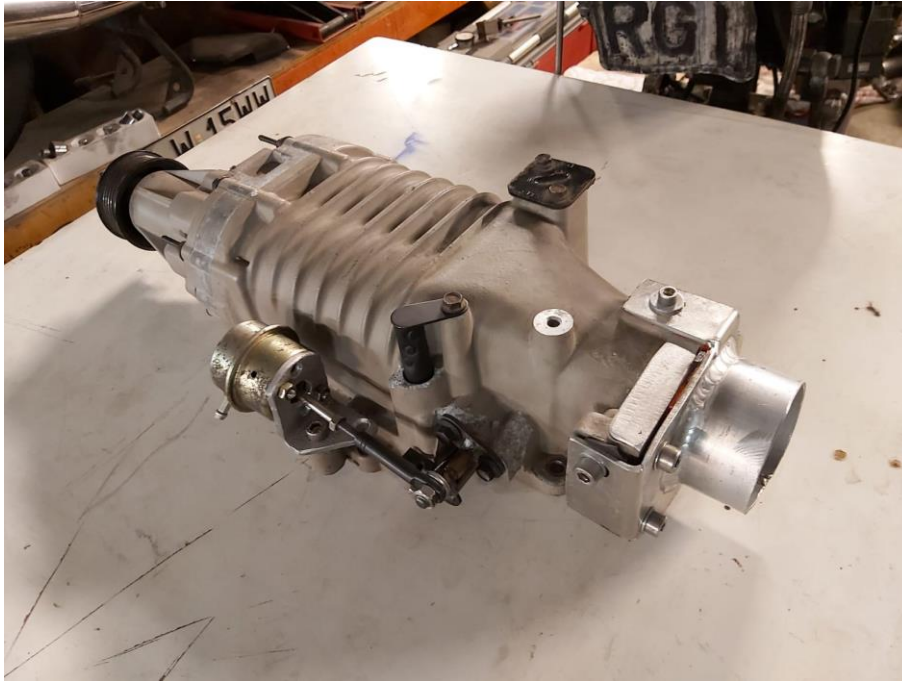
Tavoiteltu ahtopaine mekaanisella ahtimella on 0,7bar, jonka vaatimat ilmamäärät saadaan, kun Taulukon 5 ilmamäärät kerrotaan painesuhteella 1.7.

Moottorin kierrosnopeus (rpm)	Ilmamäärä (m³/h)
6000	318,2
9500	501,8
11000	581,4

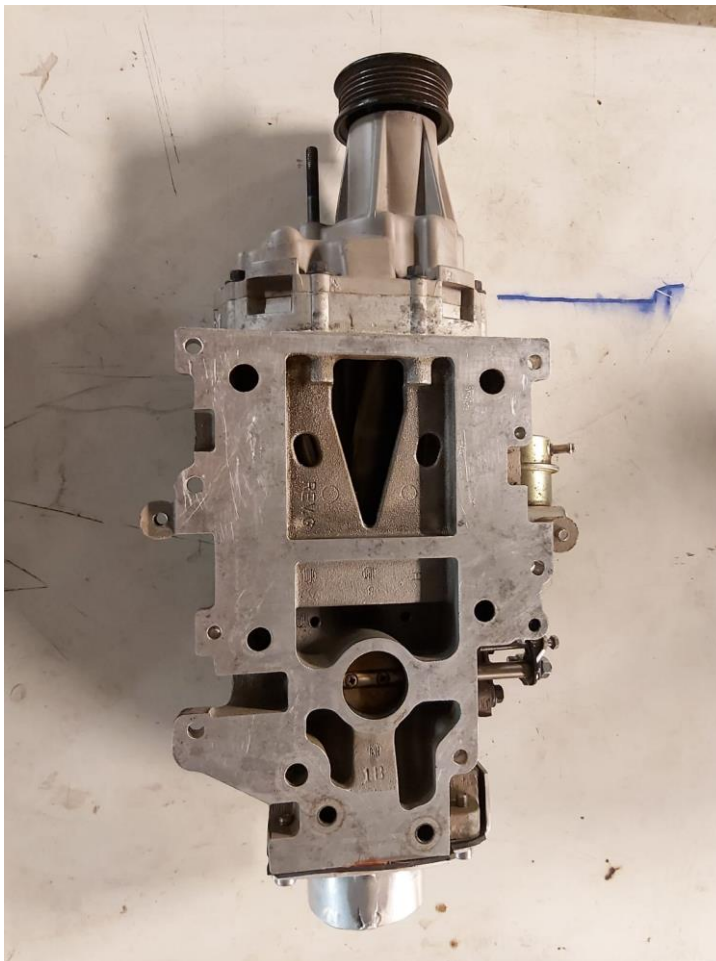
Taulukko 6 Mekaanisesti ahdetun moottorin ilmamäärät

Tehokartasta katsottuna tarvittava noin 580m³/h ilmamäärä ja tavoiteltu 1,7bar painesuhte saavutetaan, kun ahdin pyörii 10500 kierrosta minuutissa moottorin pyöriessä maksimikierrosluvulla. Moottorin ja ahtimen hihnapyörien välinen suhde tulee olla noin 0,95:1. Ahtimen hihnapyörän kiinnityksen ollessa monimutkaisempi, on helpompi valita kampiakselille sopiva hihnapyörä. Ahtimen hihnapyörän halkaisija on 70mm, joten laskennallisesti kampiakselin hihnapyörän tulisi olla halkaisijaltaan 66,8mm. Kampiakselille päädyttiin asentamaan 65mm halkaisijalla oleva hihnapyörä, sillä sellainen oli kaupallisesti saatavilla varsin edullisesti. Kyseisellä hihnapyörällä laskennalliseksi painesuhteeksi tuli noin 1,64. Laskelmien perusteella kyseinen ahdin todettiin sopivaksi valinnaksi.

Itse ahtimeen ei tarvinnut tehdä muutoksia. Kyseinen ahdin ostettiin käytettynä ja siitä puuttui aiemmin mainitun ohitusventtiilin alipainekello. Vastaavaa kelloa ei löytynyt kohtuullisessa ajassa tai riittävän edullisesti, joten kello päädyttiin korvaamaan ylipainetoimisella kellolla, sillä sellainen oli helpommin saatavilla. Ahtimen sisäänrakennettu ohitusventtiili aukeaa nyt 0,7 bar ahtopaineella, jolloin mekaanisen ahtimen pyörittämiseen pitäisi mennä vähemmän voimaa silloin, kun turboahtimen edessä oleva ohitusventtiili on auki. Alkuperäistä alipainetoimista ohitusventtiiliä korvaamaan lisättiin ahtimien väliseen ahtoputkeen yksi alipainetoiminen ohitusventtiili.



Kuva 17 Eaton M62-ahdin ja ohitusventtiilin painekello



Kuva 18 Eaton M62-ahdin

Mekaanisen ahtimen pyörittämiseen valmistettiin hihnaveto moottorin oikealle puolelle. Kampiakselin jatkeeksi koneistettiin akseli, jonka päähän kiinnitettiin hihnapyörä. Edellä mainittua akselia varten koneistettiin kokonaan uusi moottorin sivuposki, jossa on laakerointi akselia varten (Kuvat 19 ja 20).



Kuva 19 Moottorin sivuposki ja hihnapyörä



Kuva 20 Moottorin sivuposki sisäpuolelta kuvattuna

Lisäksi hihnalle tehtiin manuaalinen kiristin, joka kiinnitettiin sylinterikannen kylkeen (Kuva 21).



Kuva 21 Hihnankiristin

6.3 Pakosarja

Pakosarjan tehtävinä turboahdetussa moottorissa on pakokaasujen ohjaus ahtimen turbiinipesään siten, että pakokaasupulssit tulevat tasaisena virtana, sekä kannatella itse ahdinta. Lisäksi pakosarjan materiaalin valinnalla on vaikutus siihen, kuinka hyvin pakosarja estää pakokaasun lämmön johtumisen pakosarjan ulkopuolelle. (1.)

Pakosarjan voi valmistaa usealla tavalla, yleisimpinä vaihtoehtoina on joko valaminen teräksestä, tai teräsputken pätkistä hitsaamalla. Tämän kaltaisessa yksittäisessä projektissa jälkimmäinen vaihtoehto on paljon kustannustehokkaampi. (1.)

Idealisessa pakosarjassa pakosarjan putket olisivat yhtä pitkät sylinterikannelta ahtimen laipalle, jotta moottorista tulevat pakopulssit pyörittäisivät ahtimen turbiinipyörää tasaisesti. Tässä tapauksessa putkien teko yhdenmittaisiksi on käytännössä mahdotonta, mutta sen ei pitäisi vaikuttaa muuten kuin turboahhtimen heräämiseen hieman negatiivisesti.

Pakosarjan putken halkaisijan mitoittamisessa pätee lähes samat säännöt kuin turboahhtimen turbiinipesän mitoittamisessa. Yleinen nyrkkisääntö on, että pakosarjan sisähalkaisijan tulisi olla sama kuin sylinterikannen pakokanavan halkaisija. Pienempi putki auttaa ahdinta heräämään herkemmin ja tilan ahtauden vuoksi voi olla myös helpompi saada mahtumaan paikoilleen. Isompi halkaisija puolestaan aiheuttaa sen, että ahdin herää hieman myöhemmin, mutta haitallinen pakopaine ei tule ongelmaksi niin nopeasti.

Pakosarjan materiaaliksi valittiin P235-teräs ja kooksi 42,4mm 2,6mm seinämällä. Materiaalin valintaan vaikutti edullinen hinta, helppo muokattavuus ja hitsattavuus. Pakosarja hitsattiin TIG-hitsauskoneella ja päällystettiin lopuksi titaani-lämpökääreellä, jotta pakokaasut viilenisivät mahdollisimman vähän ja näin turboahhtimen pyörittämiseen menevää lämpöenergiaa ei menisi hukkaan.

6.4 Hukkaportti

Hukkaportin tehtävä on säätää ja pitää yllä haluttua ahtopainetta. Pakokaasut pyörittävät turboahtimen turbiinisiipeä ja ahdin alkaa kehittämään ahtopainetta. Liiallinen ahtopaine voi olla tuhoisaa moottorille, joten ahtopaine täytyy rajata. Hukkaportti päästää osan pakokaasuista turbiinisiiven ohi joko pakoputkeen tai suoraan ulkoilmaan, jolloin ahtimen tuottama ahtopaine pysyy halutussa arvossa. Hukkaportteja on kahta mallia, ahtimen turbiinipesään integroitua, tai kokonaan ulkoista. Ulkoisen hukkaportin voi sijoittaa joko osaksi pakosarjaa tai ahtimen turbiinipesään.

Hukkaportiksi valikoitui 38mm Tialin valmistama ulkoinen hukkaportti. Tilan puutteen vuoksi hukkaportin lähtö hitsattiin suoraan turboahtimen turbiinipesään, eikä pakosarjaan kuten yleensä on tapana. Optimaalinen sijainti turbiinipesään sijoitetulla ulkoisella hukkaportilla olisi mahdollisimman lähellä turbiinipesän sisäänmenolaippaa, etteivät pakokaasut pyöritä turbiinipyörää. Tässä tapauksessa se ei ollut mahdollista, joten hukkaportin lähtö tuli kaasujen virtausten kannalta hieman epäedullisempaan kohtaan.

6.5 Pakoputkisto

Virityskäyttöön tarkoitettussa turbomoottorissa nyrkkisääntönä pakoputkistolle voi sanoa, että mitä vähemmän, sen parempi. Tällä periaatteella pakopaineet saadaan pidettyä minimissä. Monesti erittäin kuumat pakokaasut on kuitenkin ohjattava turboahtimelta kauemmas pakoputkistolla. Lisäksi joissain moottoriurheilun lajeissa on noudatettava määrättyjä melurajoja, jolloin jonkinlainen pakoputkisto äänenvaimentimiseen on pakollinen.

Tässä tapauksessa pakoputkesta tehdään melko lyhyt. Sen tarkoituksena on ohjata kuumat pakokaasut riittävän sivulle ja alas, etteivät ne kuumenna moottoripyörän osia tai kuljettajan oikeaa jalkaterää tarpeettomasti.

6.6 Välijäähdytin

Moottorin imuilmaa kokoon puristaessa imuilman lämpötila kasvaa aina. Viileä imuilma on tiheämpää, joten viileän imuilman lisäksi moottorin palotiloihin mahtuu enemmän ilman ja polttoaineen seosta ja näin ollen moottorista saadaan

enemmän tehoa. Toisin sanoen, kuumempi imuilma vähentää moottorista saatavaa huipputehoa. Lisäksi kuumempi imuilma aiheuttaa herkemmin ilman ja polttoaineen seoksen ennen aikaista syttymistä eli niin sanottua nakutusta. Molempia ei toivottuja ominaisuuksia varten ehdottuihin moottoreihin lisätään yleensä myös jonkinlainen välijäähdytin. Välijäähdyttimiä on kolmea eri mallia: ilma-ilma-tyyppinen ja vesi-ilma-tyyppinen välijäähdytin, sekä vesi- tai vesi-metanoliruiskutus.

Tässä tapauksessa välijäähdyttimeksi valittiin ilma-ilma-tyyppinen kenno. Yksi vaikuttava tekijä oli varmatoimisuus. Vesi-ilma-tyyppinen välijäähdytin olisi hyötysuhteeltaan parempi, mutta moottoripyörän ollessa ilma- ja öljyjäähdytteinen ei siihen haluttu lisätä enempää vikaantuvia kohteita. Tämän vuoksi myös vesiruiskutus suljettiin pois, sillä sen vikaantuessa moottorin käydessä täydellä ahtopaineella on moottoririkko lähes varma.

Välijäähdyttimestä vaihdettiin alkuperäiset muoviset päädyt alumiinisiin, sillä niiden ei uskottu kestävän tulevia, suurempia ahtopaineita. Lisäksi välijäähdyttimen päädyt saatiin muotoiltua paremmin tähän tarkoitukseen soveltuviksi. Välijäähdytin jouduttiin sijoittamaan suoraan pakosarjan yläpuolelle. Tästä syystä välijäähdyttimen alaosa pinnoitettiin tarkoituksenmukaisella lämpöeristepinnoituksella, jonka tehtävä on heijastaa kuumista kohteista säteilevää lämpöä pois viileänä pidettävistä komponenteista. (Kuvat 22 ja 23).



Kuva 22 Välijäähdytin



Kuva 23 Välijäähdyttimen alapuoli

6.7 Paine Kotelo

Painekotelon tehtävä on jakaa ahtoilma tasaisesti kaikille neljälle kaasuttimelle. Painekotelo on rakennettu AMW:n valmistamasta alumiinisesta ahiosta, joka on vuosikymmenten ajan ollut harrastajien suosiossa. Kaksikammioisessa painekotelossa ahtoilma ohjataan koko painekotelon levyiseen kartioputkeen, jonka reunassa on loppuun päin mentäessä kapeneva railo. Tämän kartioputken ja railon tehtävänä on kuristaa ahtoilman virtausta, jolloin ahtoilman siirtyessä toiseen kammioon se jakautuu tasaisesti jokaiselle kaasuttimelle. Painekotelon sisällä, juuri ennen kaasuttimia on suppilot parantamassa ilman virtausta entisestään (Kuva 24).



Kuva 24 Paine-kotelo keskeneräisenä

Paine-kotelo tiivistyy kaasuttimien kurkkuihin O-rengastiivistyksellä. Lisäksi paine-kotelo on kiinnitetty säädettävien vanttiruuvein sylinterikanteen kiinnitettyihin levyihin.

6.8 Kaasuttimet

Alun perin kyseinen moottoripyörä on varustettu Mikuni BST36-kaasuttimilla. Nämä kaasuttimet ovat havaittu toimivaksi valinnaksi kyseistä moottoripyörämalleja jälkikäteen ahtaessa, mutta kuten aiemmin mainittiin, haluttiin paine-kotelo tiivistää kaasuttimiin O-renkain. Kyseisten kaasuttimien imupuoli ei ollut muodoltaan pyöreä, joten valmistusteknisistä syistä kaasuttimet päädyttiin vaihtamaan.

Suzukilla on useita samaan moottoriin perustuvia malleja, joissa on pieniä eroavaisuuksia esimerkiksi juuri kaasuttimissa. Suzuki Gsf 1200 Bandit Mk2 on varustettu samankokoisilla Mikuni BST36-kaasuttimilla joiden imupuolen kiinnitys on pyöreä. Tällaisia kaasuttimia etsittiin hetken ajan, kunnes vastaan tulivat hieman uudemman, vuosimallin 1991-1992 Suzuki Gsx-R 1100:n Mikuni BST40 kaasuttimet, joissa on myös pyöreät imupuolen kiinnitykset. Kyseiset kaasuttimet

vaativat sopiakseen paikoilleen myös oikean malliset kaasuttimien kumiset imu-
kaulat. Kaasuttimien halkaisijan muutoksella saattaa olla pieni vaikutus myös
moottorin huipputehoon.

Kaasuttimet tulee paineistaa, jotta ne toimivat oikein ahdetussa moottorissa. Ko-
hokammion ylivuotoletkujen tilalle asennettiin pneumatiikkaliittimet, joihin kytket-
tiin ahtoputkeen tehdystä pitot-putkesta tulevat letkut. Lisäksi polttoaineen pai-
neeseen tehtiin muutoksia, jotka käsitellään seuraavassa osiossa. (9.)

Kyseiset kaasuttimet ovat alipainetoimiset. Niissä on kaasuläpät, sekä kalvotoi-
miset luistit. Alun perin kaasuttimet toimivat siten, että kaasukahvaa kääntäessä
kaasuläpät aukeavat. Moottorin tuottama alipaine menee luisteissa olevista
rei'istä kaasuttimien kalvojen yläpuolelle, jolloin luistit nousevat ylös. Luisteissa
on kiinni neulat, jotka menevät pääsuuttimien sisään. Luistien noustessa kartion
malliset neulat tulevat ulos pääsuuttimista ja venturi-ilmiö imee polttoainetta pää-
suuttimen läpi kaasuttimen kurkkuun, missä se sekoittuu moottorin imemään il-
maan. (9.)

Ahdetussa moottorissa kalvojen yläpuolelle menee luistien rei'istä ahtopaine, jo-
ten myös kalvojen alapuolelle tulee saada ohjattua ahtopaine, jotta luistit toimisi-
vat normaalisti. 36-millisissä malleissa kaasuttimien ilmansuodattimien puolelta
menee kanavat kalvojen alapuolelle, mutta 40-millisissä kalvojen alapuolinen
ilma tulee alun perin kaasuttimien välissä olevista kanavista, joista lähtee letkut
ilmansuodattimen koteloon. Näiden kanavien ei ole havaittu toimivan yhtä hyvin
verrattuna ilmansuodattimien puolella oleviin kanaviin, joten kaasuttimia paineis-
tettaessa tulee alkuperäiset kanavat tukkia ja porata uudet kanavat kalvojen ala-
puolelle. (9.)

Alkuperäiset muoviset polttoaineliittimet korvattiin metallisilla. Kaasuttimien kan-
net ovat alun perin muovia ja niiden on havaittu halkeilleen suurempia ahtopai-
neita käytettäessä. Tässä työssä käytettyihin kaasuttimiin oli tarkoitus vaihtaa
alumiiniset kannet, mutta niiden saatavuudessa oli ongelmia eikä aikataulu anta-
nut myöten koneistaa niitä, joten kaasuttimiin päädyttiin jättämään toistaiseksi al-
kuperäiset kannet paikoilleen. Jokaisen kaasuttimen kannessa on letkunippa,
josta menee kanava kaasuläpän etupuolelle. Nämä nipat ovat tarkoitettu

kaasuttimien synkronointien säätöön, mutta ahdetussa moottorissa niitä käytetään eri komponenttien ohjaukseen, jotka tarvitsevat tiedon moottorissa vallitsevasta ahtopaineesta. Näihin nippoihin vaihdettiin pneumaattikalitimet niiden toimintavarmuuden ja helppokäyttöisyyden vuoksi. Lopuksi kaikki edellä mainittujen liittimien liitokset varmistettiin epoksiliimalla.



Kuva 25 Paineistetut kaasuttimet



Kuva 26 Kaasuttimien kansien liittimet

6.9 Polttoainejärjestelmä

Jotta kaasuttimien venturi-ilmiö säilyisi, tulee kohokammion polttoaineen paineen olla jatkuvasti hieman suurempi kuin käytössä oleva ahtopaine. Työn kohteena olevassa moottoripyörässä polttoaineen syöttö polttoainetankilta kaasuttimille hoituu alun perin gravitaation avulla, eli erillistä polttoainepumppua ei ole. (9.)

Moottoripyörään lisättiin korkeatehoinen polttoainepumppu, sekä polttoaineenpaineensäädin pitämään huolen oikeasta polttoaineen paineesta. Kaasuttimien kohokammioiden neulaventtiilien tehtävä on pitää kaasuttimien polttoaineen pinnat oikealla tasolla. Mikäli polttoaineen pinta on liian korkealla, alkavat kaasuttimet tulvia polttoainetta ja vastaavasti liian matalalla polttoaineen pinnalla moottorin polttoaineensaanti lakkaa. Kyseiset neulaventtiilit ovat erittäin hennot rakenteeltaan, joten niin sanottu polttoaineen peruspaine tulee olla melko alhainen, mutta kuitenkin riittävä. Yleisesti on havaittu 0,15bar polttoaineen paineen olevan sopiva. (9.)

Polttoainepumppu pumppaa polttoainesäiliöstä vapaasti valuvan polttoaineen polttoainesuodattimen läpi polttoaineenpaineensäätimelle. Polttoainepumpulle ja -suodattimelle ei ollut tilaa muualla, joten niille päädyttiin tekemään teline moottorin kylkeen (Kuva 26). Telineen värinänvaimennukseen piti kiinnittää erityistä huomiota, koska kyseisen polttoainepumppumallin moottorin johtimien juotosten on havaittu murtuvan liiallisesta tärinästä. Säätimeltä polttoaine ohjataan kaasuttimille, sekä paluulinjaa pitkin takaisin polttoainesäiliöön. Lisäksi säätimelle menee paineenohjausletku. Ahtopaineen kasvaessa polttoaineenpaine kasvaa saman verran, eli polttoaineen paine on aina 0,15bar yli ahtopaineen.



Kuva 27 Polttoainepumppu ja -suodatin

6.10 Männät

Mäntien kestävyys tulee usein ensimmäisenä vastaan jälkiahdettaessa moottoria. Suurimmat syyt mäntien pettämiselle ovat kasvanut imuilman lämpötila, sekä sen aiheuttama nakutus. Männän oikealla materiaalin valinnalla, muotoilulla, sekä lämmön poistamisella männät saadaan kestävämmän edellä mainittuja ongelmia. (1.)

Työn kohteena olevan moottoripyörän alkuperäiset männät ovat valmistettu valamalla ja niiden on havaittu hajoavan käytettäessä yli 0,8bar ahtopainetta. Yleinen ratkaisu tällä moottorityypillä on käyttää Suzuki Gsx 1300 R Hayabusan mäntiä, jotka ovat alumiinista taotut. Näin ollen ne kestävät paremmin ahtopainetta. Mäntien vaihdon vuoksi moottorin sylinteriryhmä joudutaan poraamaan uusille männille sopivaksi alkuperäisten mäntien halkaisijoiden ollessa 78mm ja uusien mäntien 81mm. Tällä muutoksella moottorin iskutilavuus kasvaa alkuperäisestä 1127 kuutiosenttimetrinä 1216 kuutiosenttimetriin.

Uudet männät poikkeavat alkuperäisten mäntien muotoilusta jonkin verran. Siinä missä alkuperäiset männät olivat niin sanotusti hieman pattipäiset, on uusissa männissä pieni allas keskellä. Tämä vaikuttaa moottorin puristussuhteeseen

laskevasti. Puristussuhdetta käsitellään myöhemmin tässä työssä. Ennen asennusta mäntien laelta poistetaan terävät kohdat nakutuksen välttämiseksi (Kuvat 28 ja 29).



Kuva 28 Vasemmalla pyöristelty mäntä



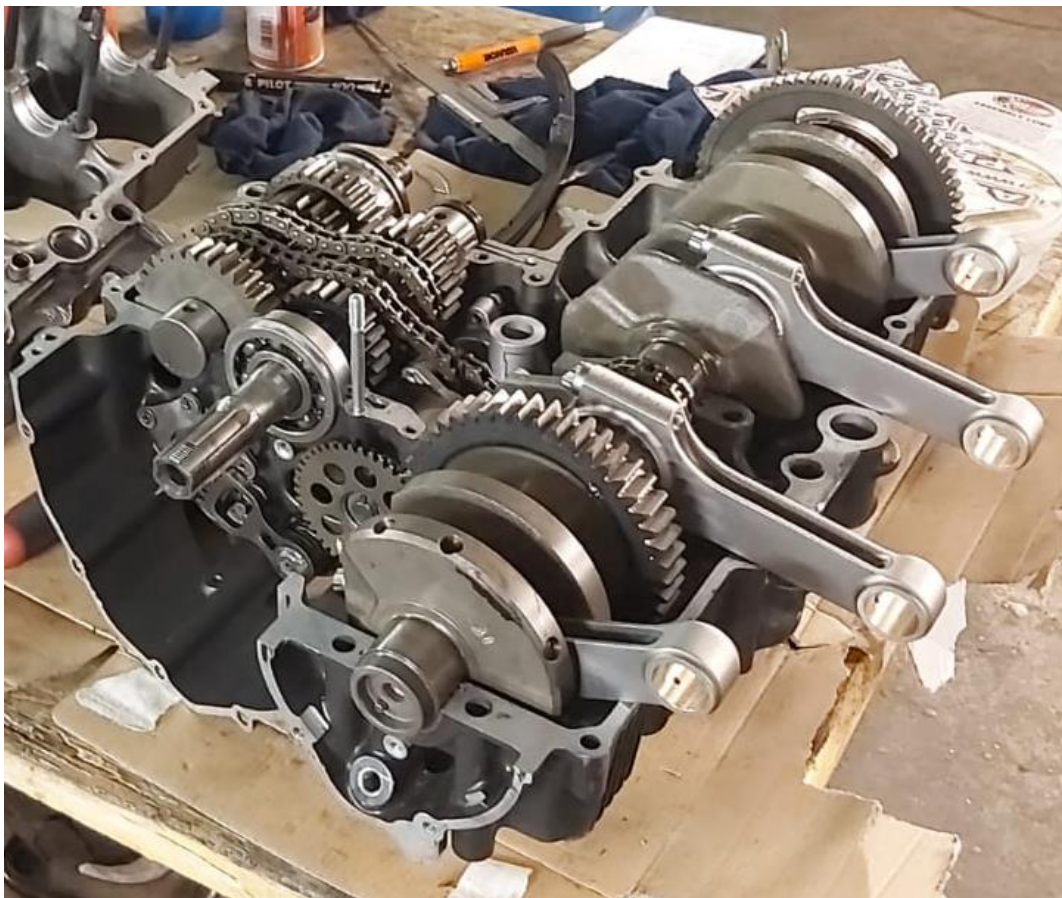
Kuva 29 Keskeneräinen mäntä

Kuvista 28 ja 29 ilmenee mäntien terävät kohdat, jotka vaativat hiomista. Kuvista poiketen kaikki venttiilien syvennyksien terävät reunat pyöristeltiin.

6.11 Kiertokanget

Käyttökokemusten perusteella moottorin alkuperäiset kiertokanget eivät välttämättä kestä kasvaneen huipputehon aiheuttamaa rasitusta. Tästä syystä kiertokanget päätettiin vaihtaa H-profiilin mallisiksi, joille on luvattu paljon suurempi tehonkesto alkuperäisiin verrattuna.

Kiertokanget ovat alun perin tarkoitettu samanlaiseen Hayabusa-moottoripyörään mistä moottorin männätkin ovat. Syynä tähän on sen mallisten kiertokankien reilusti suurempi kysyntä ja sitä myöten huomattavasti alhaisempi hankintahinta. Kiertokanget ovat muuten mitoiltaan alkuperäisiä vastaavat, mutta ne ovat 2,5mm pidemmät. Toisaalta pidemmällä kiertokangella on positiivinen vaikutus moottorin kestoon, sillä pidemmän kiertokangen kulma kampiakseliin nähden on loivempi männän ollessa iskun puolessa välissä. Tällöin mäntään ja sylinteriputken seinämään kohdistuu pienempi sivuttaisvoima. Männän keskinopeus pysyy samana, mutta kiihtyvyys hidastuu (Kuva 30).



Kuva 30 H-profiilikiertokanget

6.12 Puristussuhde

Moottoria rakentaessa tavoiteltu puristussuhde on ensimmäisiä asioita, joka tulee päättää. Puristussuhde vaikuttaa moneen suorituskäyttöön ja ajettavuuteen liittyvään asiaan, kuten kaasun vastaavuuteen, polttoainetaloudellisuuteen, huipputehoon ja moottorin käynnin pehmeeseen. Ahdetun moottorin puristussuhteen valintaan vaikuttavia tekijöitä ovat suurimmilta osin ahtopaine, sekä välijäähdytysmenetelmän hyötysuhde. Myös polttoaineen oktaaniluku on suuressa roolissa. Nyrkkisääntönä voidaan pitää, että matalammalla puristussuhteella voidaan käyttää korkeampaa ahtopainetta ilman nakutuksen vaaraa, mutta korkeammalla puristussuhteella voidaan saavuttaa parempi polttoainetaloudellisuus, sekä paremmin toimiva moottori kun ahdin ei vielä tuota ahtopainetta. (1.)

Alun perin moottorissa ollut 10,0:1 puristussuhde olisi 98-oktaanisella bensiinillä ja halutulla 1,5bar ahtopaineella todennäköisesti liian suuri. Puristussuhdetta voi muuttaa monella tapaa. Paras, muttei edullisin tapa on käyttää mäntiä, joilla saavutetaan haluttu puristussuhde, oli se sitten korkeampi tai matalampi kuin alkuperäinen puristussuhde. Edullisempia vaihtoehtoja puristussuhteen kasvattamiseen on esimerkiksi sylinterikannen tai sylinteriryhmän tiivistepinnan koneistaminen ja puristussuhteen madaltamiseen sylinteriryhmän alle asennettava korkelevy tai männän ja sylinterikannen palotilan kasvattaminen materiaalia poistamalla. Jälkimmäinen vaihtoehtoista ei ole niin suotavaa, sillä kyseisten osien kestävyys saattaa heikentyä materiaalin poiston vuoksi.

Kun moottorin osiin tehdään muutoksia tai niitä vaihdetaan, on puristussuhteen uudelleen laskeminen erityisen tärkeää. Lisäksi tulee varmistaa, että mäntien ja palotilojen, sekä venttiilien välillä on kaikissa tilanteissa riittävä välilyös. Mäntien ja venttiilien liian pieni välilyös saattaa aiheuttaa moottoririkon mäntien osuessa venttiileihin. Lisäksi mäntien ja sylinterikannen palotilojen reunoilla tulee olla niin saannottu paljealue, jonka välilyöksen nyrkkisääntönä on noin 0,1mm/1000rpm. Paljealueen tehtävä on ohjata ilma-polttoaineseos palotilan reunoilta palotilan keskelle palotapahtuman tehostamiseksi. Liian pieni paljevälilyös saattaa aiheuttaa liian suurta kuormitusta moottorin osille. Liian suuri paljevälilyös tai kokonaan poistettu paljealue taas voi aiheuttaa sen, että ilman ja polttoaineen seos saattaa

palaa hallitsemattomasti ja aiheuttaa moottorin herkempää nakutusta kuin liian korkea puristussuhde. (1.)

Sylinterikannen sekä mäntien palotilat mitattiin, jonka jälkeen moottori koekasattiin siten, että palotilaan oli asetettu muovailuvahaa ja juotostinaa. Sen jälkeen moottori purettiin ja muovailuvahasta sekä tinasta voitiin mitata tarvittavat välykset. Näiden perusteella osattiin valita oikean paksuinen (1,75mm) korokelevy sylinteriryhmän alle, jolla paljevälykseksi tuli tasan 1mm. Lopuksi laskettiin Kaavalla 4, että puristussuhde on tarkoitukseen sopiva.

$$\text{Puristussuhde} = \frac{\text{sylinterin iskutilavuus} + \text{palotilan tilavuus}}{\text{palotilan tilavuus}} \quad (4)$$

Sylinterin iskutilavuus saadaan, kun moottorin iskutilavuus 1216cm^3 jaetaan sylinterien lukumäärällä eli neljällä, jolloin sylinterin iskutilavuudeksi saadaan 304cm^3 . Palotilan tilavuudessa tulee huomioida kaikki palotilan kokoon vaikuttavat tekijät. Sylinterikannen palotilan tilavuudeksi mitattiin 28cm^3 ja männän palotilan tilavuudeksi 10cm^3 . Tämän lisäksi mitattiin kokoon puristetun sylinterikannentiivisteen paksuudeksi $0,8\text{mm}$ ja sylinterin kohdalla olevan reiän halkaisijaksi 82mm . Mäntä jäi yläkuolokohdassa $0,25\text{mm}$ sylinteriryhmän tiivistepinnan alapuolelle. Halkaisijana käytetään sylinterin porauksen halkaisijaa eli 81mm . Edellä mainittujen tilavuudet lasketaan lieriön tilavuuden laskukaavalla Kaavassa 5:

$$V = \pi * r^2 * h \quad (5)$$

missä V on tilavuus, r on säde ja h on korkeus. Sijoittamalla aiemmin mainitut arvot Kaavaan 5 saadaan sylinterikannentiivisteen reiän tilavuudeksi $4,2\text{cm}^3$ ja männän yläpuolelle jäävän alueen tilavuudeksi $1,3\text{cm}^3$. Kaikkien palotilojen tilavuuksien summaksi saadaan $43,5\text{cm}^3$, jonka jälkeen luvut sijoittamalla Kaavaan 4 voidaan lasketa moottorin puristussuhde:

$$\text{Puristussuhde} = \frac{304\text{cm}^3 + 43,5\text{cm}^3}{43,5\text{cm}^3} = 7,988:1$$

Pyöristettynä puristussuhteeksi tuli $8:1$, joka mahdollistaa suurien ahtopaineiden käytön olematta kuitenkaan liian alhainen, eli työn kohteeseen hyvin soveltuva.

6.13 Sylinterikansi

Sylinterikannen palotilojen terävät reunat tulee pyöristää niin sanottujen kuumien pisteiden välttämiseksi. Pienet, terävät kohdat lämpenevät muuta palotilaa kovemmin ja saattavat aiheuttaa aiemmin mainittua nakutusta. (1.)

Kannentiivisteiden vuotamisriskin minimoimiseksi sylinterikannen sekä sylinteriryhmän tiivistepinnat tulee koneistaa suoraksi.

Sylinterikannen kanavien muutoksilla kannen virtaavuutta ja sen myötä myös moottorin huipputehoa saataisiin lisättyä huomattavasti. Kyseisiin toimenpiteisiin ei kuitenkaan tässä kohtaa lähdetä aikataulullisista- ja kustannussyistä.

Sylinterikannessa olevat venttiilinjouset vaihdettiin jäykempiin, ettei venttiilit niin sanotusti pääse kellumaan ahtopaineen vaikutuksesta. Tämä tarkoittaa sitä, että männän lähestyessä yläkuolokohtaa ahtopaine pitää imuventtiiliä raollaan, vaikka venttiilin tulisi olla jo sulkeutunut. Tämän seurauksena venttiili saattaa osua mäntään ja tuloksena on todennäköisesti ainakin vääntynyt venttiili tai useita, pahimmassa tapauksessa hajonnut mäntä mikä saattaa johtaa moottorin täydelliseen tuhoon.

6.14 Nokka-akselit

Vapaasti hengittävän ja ahdetun moottorin nokka-akselit eroavat jonkun verran toisistaan. Vapaasti hengittävässä moottorissa venttiilien aukioloaika saattaa olla huomattavasti pidempi kuin ahdetussa moottorissa. Lisäksi vapaasti hengittävän moottorin nokka-akseleissa on usein niin sanottua overlapiä, jolloin imu-, sekä pakoventtiilit ovat samanaikaisesti auki. Ahdetussa moottorissa overlap pyritään pitämään pienenä, ettei palamatonta ilman ja polttoaineen seosta pääsisi pakosarjaan haitallista pakopainetta kasvattamaan.

Kokemukset ovat osoittaneet, että moottorin alkuperäiset nokka-akselit toimivat melko hyvin myös ahdetussa moottorissa. Aiemmin mainitun sylinterin korokelevyn vuoksi nokka-akseleiden ajoitus täytyy säätää uudelleen. Tätä varten moottoriin asennettiin säädettävät nokkapyörät, joilla saatiin nokka-akselit säädettyä haluttuihin arvoihin.

6.15 Pinnapultit

Sylinterikannen, sekä kampiakselin runkolaakeripukkien pinnapultit korvattiin vahvemmillä 12.9-lujuusluokan pinnapulteilla. Alkuperäiset sylinterikannen pultit ovat malliltaan venyvät, kun taas uudet pultit ovat kovat eivätkä niiden ole tarkoitukseen venyä, jolloin sylinterikannen tiivisteiden vuotoriski pienenee entisestään. Vahvemmillä runkolaakeripukkien pinnapulteilla pyritään vähentämään kyseisten pinnapulttien katkeaminen, joka saattaisi johtaa moottorin täydelliseen tuhoutumiseen.

Uusissa kansipulteissa on sama kierre, kuin alkuperäisissä. Materiaalin lisäksi eroavaisuuksia on pulttien varressa, mikä alkuperäisissä pulteissa on kevennetty, kun uudet pultit ovat tasapaksut koko matkalta. Tässä tulee vastaan ongelma, sillä osa sylinteriryhmässä olevista kansipulttien rei'istä toimii myös lohkoista kanteen menevinä öljykanavina. Sylinteriryhmän ja sylinterikannen välissä näiden öljykanavien kohdilla on erityiset, metallivahvisteiset O-renkaat, jotka asettuvat liian tiiviisti uusien kansipulttien ympärille. Harrastajat ovat ratkaisseet kyseisiä ongelmia erilaisin tavoin, tässä tapauksessa päädyttiin viilaamaan O-renkaiden sisäreunasta metallia riittävästi pois, jotta öljy pääsee taas menemään O-renkaiden läpi sylinterikanteen.

6.16 Kytkin

Alkuperäinen kytkin on mitoitettu kestäämään alkuperäisiä teho- ja vääntölukemia, eikä sellaisenaan toimi ahdetun moottorin kanssa. Yksi vaihtoehto on kasvattaa kytkimen jousivoimaa, mutta se tekee kytkimestä epämiellyttävän jäykän käyttä. Toinen vaihtoehto, mihin tässä tapauksessa päädyttiin, on lisätä kytkimeen niin sanottu lock-up-järjestelmä (Kuva 31). Kytkimen painelelyn alla oleva iso mutteri korvataan kiinnikkeellä, johon lock-up saadaan kiinnitettyä. Lock-upin toiminta perustuu siinä oleviin kynkkiin, jotka kytkimen pyöriessä pyrkivät tangenttikiihtyvyyden seurauksena pois päin kytkimen keskiöstä, samalla painaen kytkinlevypakettia sitä tiukemmin kasaan mitä enemmän moottorissa on kierroksia. Lock-upin toimintaa voi säätää muuttamalla kynkkien päissä olevien painojen määrää.



Kuva 31 Lock-up-järjestelmä

Jotta lock-up kytkin mahtuu paikoilleen, tulee kytkinkoppaan tehdä tilaa sille. Vaihtoehtoina olisi ostaa alumiinista koneistettu korokelevy kytkinkopan ja lohkon väliin tai valmiiksi muokattu koppa, jossa olisi avattava luukku kytkimen painojen säätämistä varten, mutta tässä tapauksessa päädyttiin edullisempaan ratkaisuun hitsaamaan alkuperäiseen kytkinkoppaan noin 40mm ulospäin tuleva korotus.

6.17 Huuhotus

Alun perin huuhotus on toteutettu siten, että venttiilikopasta menee letku ilman-suodatinkoteloon, josta moottori imee huuhotuskaasut sisään. Tässä tapauksessa huuhotuskaasuja ei kuitenkaan haluttu ohjata sotkemaan ahtoputkistoa ja karstoittamaan moottoria, vaan huuhotukselle tehtiin erillinen säiliö. Tähän säiliöön on kytketty alkuperäisen huuhotusletkun lisäksi kytkinkoppaan lisätyt 2 huuhotuslähtöä, sillä ahdetussa moottorissa on lähes poikkeuksetta hieman enemmän männänrenkaiden ohitse tapahtuvaa ohipuhallusta vapaasti hengittävään verrattuna.

7 Yhteenveto ja pohdinta

Tässä opinnäytetyössä tarkoituksena oli suunnitella ja jatkojalostaa jo kertaalleen turboahdetun moottoripyörän tekniikkaa siten, että suuren huipputehon lisäksi moottorin käyttöaluetta saataisiin laajennettua mahdollisimman paljon. Työssä käytiin läpi ahtimien teoriaa ja mitoitusta, sekä moottoriin ja sen ympärille tehtävät tarpeelliset muutokset toimivan lopputuloksen saamiseksi. Työn laajuudesta johtuen jokaista osa-aluetta ei voitu käsitellä syvällisemmin. Kuvissa 32 ja 33 näkyy valmis moottoripyörä.

Työn aihe oli mielenkiintoinen ja jo alkuun osattiin odottaa työn olevan haastava, mutta siitä huolimatta työ osasi yllättää tämän tästä vaikeusasteellaan. Työn edetessä pääsi soveltamaan opiskeltuja asioita ja kehittämään omaa osaamistaan yksinkertaisten suunnitelmien muuttuessa lennossa toinen toistaan monimutkaisemmaksi.

Opinnäytetyön tavoitteet saavutettiin vain osittain, sillä moottorin tehonmittausta ei päästy opinnäytetyön puitteissa tekemään Covid-19:n aiheuttamien rajoitteiden takia ja sen takia työhön ei saatu sisällytettyä mittaustuloksia. Moottorin käyttäytymisen testaaminen koeajamallakaan ei onnistunut työn valmistumisen ajankohdan vuoksi.

Lyhyen aikavälin suunnitelmissa on päästä mahdollisuuksien mukaan mittaamaan moottorin teho ja tehdä pieniä muutoksia moottoripyörään, kuten esimerkiksi vaihtaa kaasuttimen kannet alumiinisiksi. Tehonmittauksen jälkeen muutokset on tarkoitus muutoskatsastaa, joten maksimiteho ja äänet on tarkoitus saada tieliikennelain sallimiin rajoihin. Tämän jälkeen tarkoituksena olisi päästä nauttimaan ajamisesta edes jonkin aikaa ennen seuraavaa jatkojalostusta. Pidemmän tähtäimen suunnitelmina on ollut muun muassa vaihtaa kaasuttimien tilalle elektroninen polttoaineen ruiskutus ja polttoaineeksi E85.



Kuva 32 Valmis moottoripyörä oikealta



Kuva 33 Valmis moottoripyörä vasemmalta

Kuvat ja taulukot

- Kuva 1. Työn lähtökohta oikealta, s. 6
Kuva 2. Työn lähtökohta vasemmalta, s. 6
Kuva 3. Turboahtimen rakenne, (1.), s.8
Kuva 4. Yleisimmät remmiahdintyypit (3.), s. 9
Kuva 5. Roots-tyyppinen mekaaninen ahdin, (2.), s. 9
Kuva 6. Ruuviahtimen läpileikkauskuva (2.), s. 10
Kuva 7. Keskipakoahdin (4.), s. 11
Kuva 8. VW 1.4 TSI-moottorin layout, (5.), s. 13
Kuva 9. Lancia Delta S4-moottorin layout, (6.), s. 13
Kuva 10. Kompressorin hyötysuhteen vaikutus tiheysuhteeseen (1.), s. 15
Kuva 11. Holset HX35 kompressorikartta pelkästään turboahdettuna (7.), s. 18
Kuva 12. Holset HX35 kompressorikartta kaksoisahdettuna (7.), s. 19
Kuva 13. AR-suhteen määritelmä (1.), s. 19
Kuva 14. Turboahdin muutosten jälkeen, s. 20
Kuva 15. Ahtimen kiinnikelevy ja painepuolen lähtö keskeneräisenä, s. 21
Kuva 16. Eaton M62 tehokartta (8.), s. 22
Kuva 17. Eaton M62-ahdin ja ohitusventtiilin painekello, s. 24
Kuva 18. Eaton M62-ahdin, s. 24
Kuva 19. Moottorin sivuposki ja hihnapyörä, s. 25
Kuva 20. Moottorin sivuposki sisäpuolelta kuvattuna, s. 26
Kuva 21. Hihnankiristin, s. 26
Kuva 22. Välijäähdytin, s. 29
Kuva 23. Välijäähdyttimen alapuoli, s. 30
Kuva 24. Painekotelo keskeneräisenä, s. 31
Kuva 25. Paineistetut kaasuttimet, s. 33
Kuva 26. Kaasuttimien kansien liittimet, s. 33
Kuva 27. Polttoainepumppu ja -suodatin, s. 35
Kuva 28. Vasemmalla pyöristelty mäntä, s. 36
Kuva 29. Keskeneräinen mäntä, s. 36
Kuva 30. H-profiilikiertokanget, s. 37
Kuva 31. Lock-up-järjestelmä, s. 42
Kuva 32. Valmis moottoripyörä oikealta, s. 44
Kuva 33. Valmis moottoripyörä vasemmalta, s. 44
Taulukko 1. Vapaasti hengittävän moottorin ilmamäärät, s. 16
Taulukko 2. Ahdetun moottorin ilmamäärät, s. 16
Taulukko 3. Ilmamäärät yksikössä kg/s, s. 17
Taulukko 4. Ilmamäärät kaksoisahdettuna yksikössä kg/s, s. 18
Taulukko 5. Vapaasti hengittävän moottorin ilmamäärät yksikössä m³/h, s. 22
Taulukko 6. Mekaanisesti ahdetun moottorin ilmamäärät, s. 23

Lähteet

1. Bell, C. 1997. Maximum Boost: Designing, Testing and Installing Turbocharged Systems. Cambridge, USA: Bentley Publishers.
2. Bell, C. 2001. Supercharged!: Designing, Testing and Installation of Supercharger Systems. Cambridge, USA: Bentley Publishers
3. How Superchargers Work <https://auto.howstuffworks.com/supercharger.htm> Luettu kesällä 2020.
4. What Do Supercharger Capacity Ratings Actually Mean? <https://www.carthrottle.com/post/what-do-supercharger-capacity-ratings-actually-mean/> Luettu kesällä 2020.
5. Volkswagen Itseopiskelumateriaali SSP 423 Golf IV. Luettu kesällä 2020.
6. Every Twincharged Production Car Ever Made <https://www.carthrottle.com/post/nx822mo/> Luettu kesällä 2020.
7. Holset HX35 Turbocharger Specs <http://www.myholsetturbo.com/holsethx35.html> Luettu kesällä 2020.
8. Eaton Compressor Maps <https://www.superchargerforums.com/threads/eaton-compressor-maps.94/> Luettu kesällä 2020.
9. Setting up CV carbs for a turbo <https://oldskoolsuzuki.info/archives/396> Luettu kesällä 2020.