

**Valto Jääskeläinen**  
**DIESELMOOTTORIN SUORITUSKYVYN**  
**PARANTAMINEN**

**Opinnäytetyö**  
**Keski-Pohjanmaan ammattikorkeakoulu**  
**Kone- ja tuotantotekniikka**  
**Huhtikuu 2011**

<b>SISÄLLYS</b>	
<b>TIIVISTELMÄ</b>	
<b>ABSTRACT</b>	
<b>1 JOHDANTO</b>	<b>1</b>
<b>2 DIESELMOOTTORIN OMINAISUUDET</b>	<b>2</b>
<b>3 DIESELMOOTTORIEN OMINAISUUKSIEN PARANTAMINEN</b>	<b>5</b>
<b>3.1 Imusarja</b>	<b>5</b>
<b>3.2 Pakosarja</b>	<b>8</b>
<b>3.3 Syöttöpumppu</b>	<b>10</b>
<b>3.4 Pakokaasuahdin</b>	<b>14</b>
<b>4 PAKOSARJAN MITOITUS</b>	<b>17</b>
<b>5 PAKOSARJAN VALMISTUS</b>	<b>20</b>
<b>6 MITTAUKSET</b>	<b>25</b>
<b>7 YHTEENVETO JA POHDINTA</b>	<b>25</b>
<b>LÄHTEET</b>	<b>27</b>

## TIIVISTELMÄ

<b>Yksikkö</b> Keski-Pohjanmaan ammattikorkeakoulu	<b>Aika</b> Huhtikuu 2011	<b>Tekijä/tekijät</b> Valto Jääskeläinen
<b>Koulutusohjelma</b> Kone- ja Tuotantotekniikka		
<b>Työn nimi</b> Dieselmoottorin suorituskyvyn parantaminen		
<b>Työn ohjaaja</b> Tapio Malinen	<b>Sivumäärä</b> 27	
<b>Työelämäohjaaja</b>		
<p>Työ kertoo 80-luvun dieselmoottoriin tehtävistä muutoksista, joilla se tuodaan 2000-luvulle niin tehollisesti kuin kulutuksellisesti. Moottoriin valmistettiin virityspaketti, joka sisälsi pako-, imusarjan sekä turboahtimen ja välijäähdyttimen sekä päivitetyn syöttöpumpun.</p> <p>Työssä keskitytään pakosarjan mitoittamiseen ja muotoiluun sekä valmistamiseen, koska se on kuitenkin yksi tärkeimpiä komponentteja moottorissa ja sen huonolla suunnittelulla voidaan pilata hyvinkin moottori. Myöskin imusarjan mitoittaminen käsitellään tarkasti. Työssä käsitellään myös dieselmoottorin syöttöpumpun teoriaa ja siihen tehtäviä muutoksia, jotka parantavat pumpun suorituskykyä.</p> <p>Tavoitteeseen päästiin laskennallisella mitoittamisella sekä kokemuspohjaista tietoa hyödyntäen. Laskemat tehtiin yleisesti tunnetuilla kaavoilla. Työssä mitoitetiin laskemalla imu- ja pakosarja kyseiseen moottoriin. Sekä käsiteltiin moottorin muitakin ominaisuuksia, kuten pakokaasuahtimia ja perus moottori tekniikkaa.</p> <p>Varsinaisia tuloksia ei ole vielä saatu, koska paketin rakentaminen on edelleen kesken, koska projektia hidastaa huomattavasti kustannusten huomattavasti suurempi tarve kuin oli odotettavissa.</p>		

<b>Asiasanat</b> ahdin, diesel, imusarja, moottori, pakosarja, suorituskyky, viritys
---

## ABSTRACT

<b>CENTRAL OSTROBOTHNIA UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES</b>	<b>Date</b>  April 2011	<b>Author</b>  Valto Jääskeläinen
<b>Degree program</b> Mechanical engineering and production technology		
<b>Name of thesis</b> Improving the performance of a diesel engine		
<b>Instructor</b> Tapio Malinen		<b>Pages</b> 27
<b>Supervisor</b>		
<p>This diploma work focused on the modification of an 80s diesel in order to bring it to the 20<sup>th</sup> century in terms of its performance and fuel economy. A Performance package was designed and partly manufactured. The package included an exhaust manifold, an intake manifold, a Turbocharger, an intercooler and an upgraded fuel pump.</p> <p>The main focus in this work was on designing and manufacturing of the exhaust manifold because it is one of the most important components of a car engine and a poorly designed manifold can ruin a good engine. In addition, the intake manifold is another main component whose design was dealt with care. The theory of a Diesel fuel pump as well as pump modifications which are supposed to improve the engine performance were discussed.</p> <p>The goal was reached by calculating and by applying practical knowledge. The calculations were made with commonly known formulas. Exhaust and intake manifolds were calculated and designed for this engine. In addition, other engine specifications such as turbochargers and basic engine technology were dealt with.</p> <p>The final results have not been out yet because the engine project is still running. The project is proceeding slowly because the need of money proved to be bigger than expected.</p>		
<b>Key words</b> engine, exhaust manifold, diesel, intake manifold, performance, tuning, turbocharger		

## 1 JOHDANTO

Työn tavoitteena oli suunnitella 80-luvun dieselmoottoriin päivityspaketti. Paketilla moottori päivitetään 2010-luvulle tehollisesti ja kulutuksellisesti. Tavoitteeseen päästään suunnittelemalla moottoriin virityspaketti, joka sisältää imusarjan, pakosarjan, muuttuvageometrisen pakokaasuahtimen, välijäähdyttimen sekä muokatun syöttöpumpun. Näillä komponenteilla parannetaan moottorin hyötysuhdetta ja pienennetään sen pumppaushäviötä. Tarkoituksena on rakentaa mahdollisimman laajan käyttöalueen omaava moottori, joka soveltuu päivittäiseen ajamiseen sekä radalla ajamiseen. Moottorin käyttöalueen olisi tarkoitus olla 2000-5500 rpm välisellä alueella. Tavoitteista tarkemmin sen verran, että maksimi vääntömomentsi olisi n. 3400 rpm (340-390Nm) kohdalla ja maksimi tehon n. 5000 rpm kohdalla (170-190 hevosvoimaa).

Moottoriin suunniteltiin pakosarja, imusarja, joille tehtiin mitoituslaskelmat sekä kerrotaan pakosarjan valmistamisesta. Pakosarja ja imusarja mitoitetaan tavoiteltujen pisteiden yläpuolelle, koska moottoria tullaan jalostamaan hieman tehokkaammaksi ja kierrosherkemmäksi tulevaisuudessa. Työssä myös käsitellään syöttöpumpun teoriaa ja siihen tehtäviä muutoksia, joilla sen hyötysuhdetta ja toimintaa voidaan parantaa. Työssä käsitellään myös miten pakokaasuahdin voidaan mitoitaa dieselkoneeseen ja esitellään asiaan liittyviä kaavoja. Työssä ei käydä lävitse moottorin kanteen tehtäviä parannuksia eikä jäähdytys ratkaisuja, koska ne ovat vielä itse asianomaisella hahmottamatta.

## 2 DIESELMOOTTORIN OMINAISUUDET

Dieselmoottorissa polttoaineseos syttyy itsestään toisin kuin bensiinimoottoreissa. Puristus kuumentaa sylinterissä olevan ilman 700-900°C lämpötilaan, jolloin ruiskutettava polttoaine syttyy itsestään. Dieselmoottori vaatii siksi suuremman puristuksen (puristussuhde 20-24:1) ja siten lujemman rakenteen kuin bensiinimoottori. Dieselmoottorissa polttoaine ruiskutaan joko suoraan palotilaan (suorasuihkutusmoottori) tai erilliseen sekoituskammioon (esikammio). Esikammiossa polttoaine sekoittuu sinne tulevan ilman kanssa. Sekoittumisen tapahduttua siirtyy seos palotilaan, jossa se syttyy. Myöskin polttoainelaitteisto eroaa bensiini moottorista siinä, että polttoaineen ruiskuttamiseen käytettävä paine on huomattavasti suurempi kuin bensiinimoottoreissa, 120-180 bar esikammio ja 1300-1850 bar:ia suoraruiskutusmoottoreissa sekä paine tehdään itse pumpulla.

Nissanin valmistama alun perin vapaahengitteinen dieselmoottori, jossa polttoaineen ruiskutus on järjestetty VE4-jakajapumpulla. Polttoaine ruiskutetaan esikammioon, jossa se sekoittuu sinne tulevan ilman kanssa muodostaen palavan seoksen. Moottori on aluperin suunniteltu pienvenekäyttöön, joten se on perusrakenteeltaan hyvin vahva verrattaessa useisiin aikaisiinsa moottoreihin.

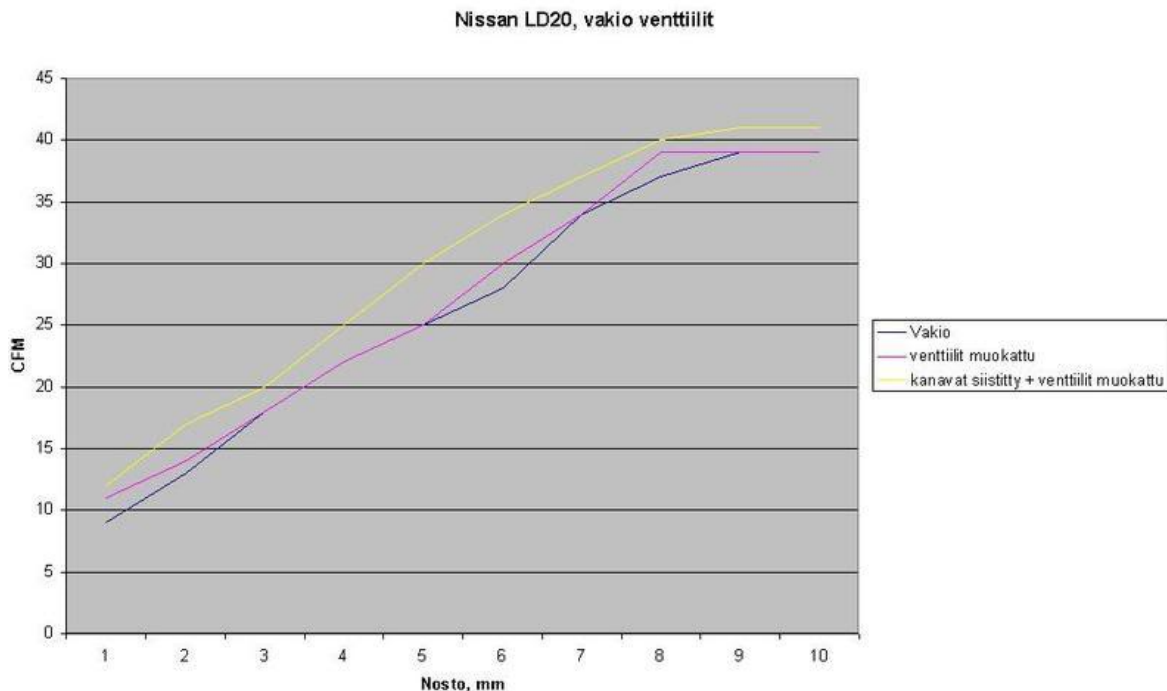
Moottorin lohkoissa sijaitsevat kampiakselit ja kiertokanget ovat huomattavasti vahvemmat kuin kilpailija WV- konsernin 1,6D moottorissa, joka on alun perin bensiinimoottori. Myöskin kampiakselista löytyy 8 vastapainoa tuoaikaisista moottoreista poiketen, joissa useimmiten oli 4 vastapainoa. Vastapainojen määrällä kumotaan dieselmoottorissa syntyviä värinöitä (Kuvio 1). Runkopukkien määräkin on osaan moottoreista verrattuna suurempi. Moottorista löytyy 5 runkolaakeria, kun sen sisarmoottorista SD23:sta löytyy vain 3 kappaletta.



Kuvio1 LD20-2 moottorin alakerta

Moottori on myös valmistettu kokonaan valuraudasta, mikä ennestään lisää sen kestävyttä varsinkin venttiilikannen osalta. Vaikka moottori on kestävä rakenteeltaan se on tehtaan jäljiltä huomattavan tehoton. Teho on noin 55 hevosvoimaa. Tämä johtuu varmastinkin siitä, että moottorin ollessa suunniteltu venekäyttöön on siinä haettu vain kestävyttä, eikä tehoa.

Moottorin venttiilikansi on myös valmistettu valuraudasta. Kannessa on 2 venttiiliä sylinteriä kohden, sekä yksi kannen yläpuolinen nokka-akseli. Kannessa olevat kanavat joista pakokaasut poistuvat ja ilma johtuu venttiileille on paranneltavaa, koska niissä on valuupurseita ja virtauksiin vaikuttavia taskuja, mutta näistä huolimatta kansi virtaa yllättävän hyvin ainakin imupuolelta. Alla olevasta kuvasta (kuvio2) nähdään hieman tietoa siitä minkälaisista virtauksista puhutaan. Kuvassa pystysarakkeessa on arvo joka kertoo virtauksen määrän CFM. Vaakarivillä on taas nokka-akselin profiilista johtuva nosto eli venttiilin aukeama.



Kuvio 2 LD20-2 kannen imupuolen virtaus

Pakupuoli aiheuttaa sitten mietiskelyn aiheita, koska siellä kanavat ovat neliskanttiset ja profiililtaan kysymysmerkin muotoiset, mikä ei todellakaan ole hyvä. Tämä pakupuolen muotoilu on avaintekijänä pumppaushäviön vähentämisessä. Kun moottori saadaan hengittämään itsensä tyhjäksi paremmin sen ei tarvitse tehdä työtä pakokaasujen poistoon. Tämä pakokaasujen poistoon tarvittava työ on kaikki menetettyä auton liikuttamiseen tarkoitettua tehoa.

### 3 MOOTTORIN OMINAISUUKSIEN PARANTAMINEN

#### 3.1 Imusarja

Imusarjan mitoitus on yksittäisistä komponenteista se, jolla on suurin vaikutus moottorin toimivuuteen. Sen mitoittamisessa on tutkiskeltava virtausnopeuksia putkien kauoilla, imuputkien pituutta ja halkaisijaa sekä kammion tilavuutta. Imusarjan suunnittelemiseen on olemassa joinkinlaisia yleisohjeita, jotka ovat syntyneet käytännön testaamisen avulla. Jos imusarjassa käytetään lyhyitä imuputkia ja isolla virtauspinta-alalla olevia imuaukkoja niin saadaan moottorin yläkierrosten ilman saantia parannettua ja jos taas käytetään pitkiä imuputkia ja pieniä imuaukkoja saadaan parannettua alakierrosten ilman saantia. Myöskin imusarjan kammion koolla voidaan vaikuttaa kokonaisuuteen. Moottorissa oleva imusarja on melko hyvin suunniteltu, kuten yleensäkin vapaahengitteisten moottorien imusarjat. Se huonosi kannen virtausta vain n.5-8% mittauksissa. Imusarjaa ei alunperin ollut tarkoitus tehdä uusiksi, mutta tiettyjen sattumusten takia sekin joudutaan valmistamaan. Tavoitteena on tehdä tulevasta imusarjasta mahdollisimman samanlaisella mitoituksella oleva, koska se on toiminut tämän asti moottorikonstruktiossa hyvin.

(Michael Delaney 2002; Ahonen V. 2008 )

Yleisesti vapaahengitteisessä moottorissa pidetään sopivana kammion tilavuutena noin 40-50% moottorin iskutilavuudesta, turbomoottoreissa taas käytetään yleisesti tilavuutena 120-170% moottorin iskutilavuudesta. Jos kammion tehdään liian pieni, sen mahdollisuus siirtää ilmaan yläkierroksilla loppuu ja jos kammio on taas liian iso niin ilman virtausnopeus laskee niin, että moottorin alakierrokset häiriintyvät. Kammion kokoa päättäessä joudutaan tekemään taas kompromissejä tehon ja toimivuuden välillä. Kammion muotoiluun on viimeaikoina näin ehdettujen diesel moottorien puolellakin ilmestynyt 2-kammion imusarja (kuviot 3 ja 4), jolla saadaan tasattua sylintereille meneviä ilmamääriä sen oikeanlaisella mitoituksella. Rakenne itsessään on yksinkertainen ja helppo. Imusarjan tehdään 2 osastoa, joiden välissä on railo, jonka pinta-ala vastaa imusarjan tuloaukon pinta-alaa. Kammio johon ilma tulee ensimmäisenä on kartion muotoinen, tällä pyritään pitämään virtausnopeudet samansuuruisina läpikoko imusarjan.

(Michael Delaney 2002; Ahonen V. 2008 )



Kuvio3 Kammiorailo  
(Mersuforum 2009)



Kuvio4 Tuplakammio imusarja  
(Mersuforum 2009)

Imusarjan mitoittamiseen on olemassa paljon erinlaisia kaavoja. Kaavoja löytyy imupukien, kammion ja putkien halkaisijoiden mitoittamiseen. Kaavoissa käytetään perustietona sitä, että paras vääntö halutaan jollekin tietylle kierrosluvulle. Imuputkien mitoittamiseen oleva yksinkertainen melkoisen toimiva kaava on Hemholtz värähtelyyn pohjautuva kaava, joka tunnetaan nimellä Englemannin kaava (1).

$$\text{Vääntöhuippu} = 642 * c * \left[ \sqrt{\left( \frac{s}{L+V} \right)} \right] * \left[ \sqrt{\frac{cr-1}{cr+1}} \right] \quad (1)$$

jossa,

c=äänennopeus ilmassa (340m/s)

S=imuputken pinta-ala tuumina

L=putken pituus tuumina

V= sylinterin tilavuus kuutiotuumina

CR= Moottorin staattinen puristussuhde

David wizard on kehitellyt tähän oikein kelvollisen yksinkertaisen laskutoimituksen ja lähtöarvot. Vääntöhuipun ollessa 10000 rpm:än kohdilla imuputken mitta on 17,8 cm:iä, kun halutaan laskea maksimi väännön pistettä niin, jokaista 1000 rpm:än laskua varten täytyy putken mittaan lisätä 4,3 senttimetriä. Imuputken halkaisijan mitoittamiseen löytyy myöskin David Wizardin kehittelemä kaava (2).

$$\text{Imuputken halkaisija} = \sqrt{\left[ \frac{(\text{vääntöhuippu} * \text{iskutilavuus} * VE)}{3330} \right]} \quad (2)$$

jossa,

VE= moottorin voluuminenhyötysuhde kierrosalueella

Imusarjan olisi tarkoitus resonoidan kierrosluvulla 5000rpm, tämän perusteella lähdetään mitoittamaan nyt imusarjaa. Vakio imusarjan hyvien tulosten perusteella, päädyin siihen tulokseen, että imuputkien halkaisijana käytetään vakiota, koska siinä on sama halkaisija(33mm) kuin itse virtauskanavassa. Pienempää putkea ei voi oikeastaan laittaa, koska se alkaa ahdistamaan suuremmilla ilmamäärillä ja virtausnopeus muuttuu aika radikaalisti kun siirrytään pienestä putkesta isompaan. Tilavuuden muutos aiheuttaa myöskin haitallista pyörteilyä kanavan suulla.

Imuputkien pituuden mitoituksessahan pitää muistaa myös se, että kannessa oleva kanava lasketaan mukaan mittaan. Imuputkien mitoitukseen löysin kohtuu näppärän laskimen internetistä. Laskuriin syötetään iskuutilavuus, vääntöhuipun kierrokset ja moottorin sylinterien määrä ja muita arvoja. Laskuri pohjautuu samoihin arvoihin kuin kaava 1. Tulokseksi tuli  $16,80'' = 427\text{mm}$ .

Pleniumin mitoituksessa mitattiin alkuperäisen pleniumin tilavuus, ja sen jälkeen mietittiin minkälaista käytöstä haetaan ja sen perusteella päätettiin haluttu pleniumin koko. Pleniumin kooksi tuli 3 litraa, eli käytimme kertoimena 1.5.

(Michael Delaney 2002; Ahonen V. 2008 )

### 3.2 Pakosarja

Tehdasvalmisteissa autoissa pakosarjat ovat yleensä valmistettu valuraudasta muottiin valamalla. Valamisen jäljiltä sisäpinnat ovat yleensä melko epätasaisia, mikä ei ole hyvä asia virtaamisen kannalta. Tehtaat valmistavat pakosarjoista yleensä niin sanottuja tukkimallin pakosarjoja. Toisaalta näissäkin on olemassa todella hyviä versioita ja todella huonoja versioita. Esimerkiksi Cummingsin dieselmoottoriin valmistettu tukki- pakosarja on riittävä jopa 1200 hevosvoimaan asti.

(Holy Smoke Diesel)



Kuvio 5 Cummins moottorin pakosarja

(ExtremeDiesel 2009)

Pakosarjoja on myöskin olemassa 4-2-1 mallisina ja 4-1 mallisina. 4-2-1 mallin pakosarjoissa jokaiselta sylinteriltä lähtee oma putki tietyn matkaa, jonka jälkeen ne liittyvät pareiksi niin, että sylinterien 1-4 putket yhtyvät sekä samoiten 2-3 sylinterien putket. Tämän jälkeen ne jatkavat matkaansa kollektorille, jossa yhdistyvät yhteen tilavuuteen. 4-2-1 mallin pakosarjan etuja ovat laajempi käyttöalue, vaikkakin huipputeho jää pienemmäksi kuin 4-1 mallisella pakosarjalla. 4-1 pakosarjassa jokaiselta sylinteriltä lähtee oma putki ja ne yhdistyvät vasta kollektorissa yhteiseen tilaan. Kollektoriin putket pitää laittaa sellaiseen järjestykseen, että ne kiertävät myötäpäivään 1-2-3-4, tällä saavutetaan imuefekti, joka vahvistaa pakokaasujen virtausta pois sylintereistä.

4-1 mallisella pakosarjalla saavutetaan suurempi huipputeho, mutta sen käyttöalueen laajuus on hieman kapeampi. Vapaahengitteisessä moottorissa pääpiirteisesti näin, ahdetuissa moottoreissa tilanne on jotakuinkin samanlainen, mutta ahtimen ominaisuuksilla voidaan muuttaa tilannetta.



Kuvio 6 4-1 pakosarja

4-2-1 pakosarjassa putket taas järjestetään niin, että sylinterien 1 ja 2 putket sekä sylinterien 3 ja 4 putket muodostavat parit (Kuvio7). Tämän jälkeen matka jatkuu 2 putkena jotka taas yhdistyvät tietyn matkan päästä kollektoriin. 4-2-1 pakosarjalla saadaan parempi ala- ja keskikierrosalueen toimivuus verrattuna 4-1 pakosarjaan, mutta saatu huipputeho on pienempi.

(Graham Bell 2007)



Kuvio7 4-2-1 pakosarja

(DSNF.org 2006)

Pakosarjojan mitoitus tehdään tehtaalla suunnitteluosastolla tietokoneavusteisesti nykypäivinä, joten uusien autojen pakosarjat ovat huomattavasti optimaalisemmin mitoitettuja kuin vanhojen autojen. Kuitenkin ne ovat edelleen kompromissijä halvan valmistamisen ja toimivuuden välillä. Nykyään internetistä on löydettävissä eräitä ohjelmia, joilla voidaan simuloida erinlaisia moottoreita erinlaisilla osakokonaisuuksilla, näissä ohjelmissa on vain sellainen vika, että niihen pitäisi löytää ja osata syöttää sellaisia arvoja, joita edes autojen maahantuojat eivät saa käsiinsä. Tällaiseen ohjelmaan tietoja syöttäessä helposti tulee suuriakin virhemarginaaleja, kun joudutaan arvioimaan tietoja. Onneksi näistä ohjelmista löytyy valmiita moottorikokoonpanoja joilla voidaan testata miten muutokset vaikuttavat kyseiseen moottoriin. Tämäkään ei kuitenkaan anna todellisuutta vastaavia tuloksia.

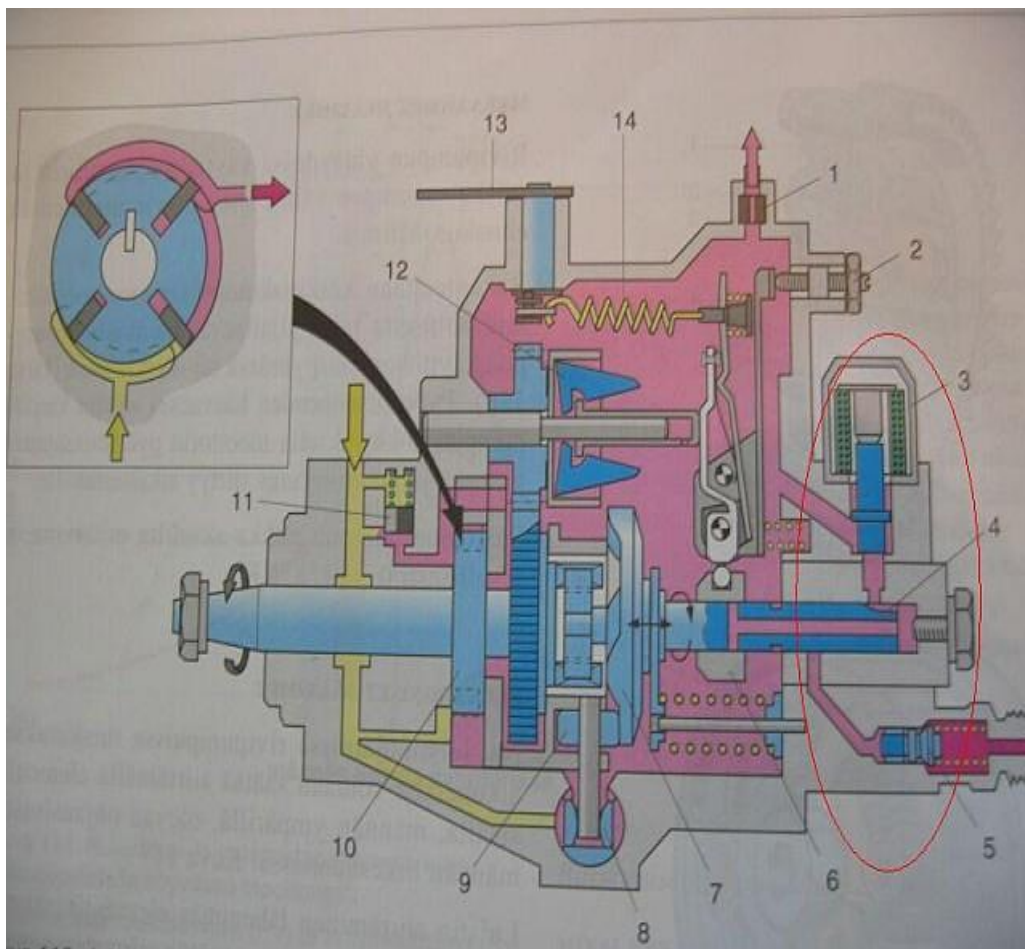
Pakosarjan mitoituksessakin lähdetään siitä mille kierrosalueella halutaan tehopiikki eli millä kierrosluvulla pakosarja resonoi ja vahvistaa virtausta. Varsinkin vapaahengitteisissä moottoreissa tämä ominaisuus on todella tärkeä kun valmistetaan hieman paranneltua moottoria. Sitten aloitetaan tutkimaan mitä moottorissa tapahtuu venttiilien avautuessa. Ahdetuissa moottoreissa ei ole aivan niin tarkkaa tuon optimaalisen mitoituksen kanssa tärkeintä on se, että pakosarja on mahdollisimman jouheva muotoilultaan. Myöskin se, että se aiheuttaa pakoventtiilien avautessa imuefektin, joka parantaa sylinterin huuhtelua ja edesauttaa palojäänteiden poistumista palotilasta.

(Graham Bell 2007)

### **3.3 Syöttöpumppu**

Syöttöpumppuja dieselmootoreissa on ajan saatossa ollut paljonkin erinlaisia. Vanhemmista dieselkoneista löytyy lähinnä jakaja- ja rivipumppuja ilman sähköistä ohjausta. Ensimmäinen suurempi parannus näihin mekaanisiin polttoainelaitteisiin tuli kun, niitä aloitettiin ohjamaan sähköisesti syöttämään oikea määrä polttoainetta moottoriin. Seuraava suurempi kehitysaskel oli se kun siirryttiin suurpaine pumppuihin jotka toimivat 1300-1800bar paineella ja ne tuottavat paineen polttoaineelle ja siirtävät sen suuttimille joita ohjataan sähköllä itse pumpun asemasta. Tällä kehityskaarella on päästy parempiin hyötysuhteisiin polttoaineen ruiskuttamisessa ja pienempiin päästöihin, koska nykyään ei ruiskuteta ylimääräistä polttoainetta sylinteriin vaan juuri oikea määrä oikealla hetkellä.

VE-jakajapumpussa on yksi pumppumäntä, joka syöttää polttoaineen edestakaisen ja pyörivän liikkeen avulla suuttimille. Pumpun käyttöakseli pyörittää nokkalevyä ja siihen liitettyä pumppumäntää. Nokkalevyn alapinnalla olevat nokat vierivät rullien päällä, tästä johtuen mäntä joutuu edestakaiseen liikkeeseen samalla pyörien (polttoaineen jako ja syöttö). Männän työisku eli syöttö kestää niin kauan kun männän poikkiporaus on säätöluistin peittämässä. Säätöluistin asema määrää näin ruiskutus määrän. Siis kun "syöttöruuvia" käännetään siirretään tällöin säätöluistia lähemmäs nestepäätä.



Kuvio8 VE- jakajapumpun rakenne kuva.

(Holy Smoke Diesel 2008)

Ahdettujen moottorien syöttöpumpuissa on ns. rikastuspiiri. Rikastuspiirillä kasvatetaan syötettävän polttoaineen määrää ahtopaineen kasvaessa moottorissa. Rikastuspiirin ohjainlaite on yksinkertainen jousi/kalvokuorimitteinen metallitanko, joka säätelee polttoaineen määrää. Polttoaineen määrää voidaan kasvattaa kääntämällä kara (kuvio9) tietty asentoon sekä muotoilemalla siihen syvempää loveusta.



Kuvio9 Syöttökaroja

(Holy Smoke Diesel 2008)

Jakajapumpussa voidaan ruiskutettavan polttoaineen määrään vaikuttaa, muuttamalla männänliikkeen muotoa eli vaihtamalla nokkalevy suurempi nostoiselle varustettuun malliin, tämä nopeuttaa syöttö liikettä ja lisää hieman polttoainemäärää, mutta laskee moottorin maksimi kierroksia, koska jyrkempi nostoprofiili aiheuttaa sen, että nestepää voi jäädä ”leijumaan” eli irtoaa nokkalevyn pinnasta ja törmää johonkin mihin sen ei kuuluisi törmätä. Suurempi vaikutus ruiskutusmäärään on itse nestepäällä. Nestepäitä löytyy markkinoilta 8mm-14mm kokoisina. Mitä suurempi nestepään mitta on milleissä sitä suurempi on sen kyky syöttää polttoainetta suuttimille, koska sen virtaus pinta-ala on sitä suurempi mitä suurempi halkaisija on.

(Holy Smoke Diesel)



Kuvio10 nestepää  
(Holy Smoke Diesel 2008)



Kuvio11 nokkalevyjä Internet-sivu:  
(Holy Smoke Diesel 2008)

Yleisesti syöttöpumppuun tehdään myös kierrostenrajoittimen nosto eli muokataan syöttöpumpussa olevaa säädintä joka rajoittaa kierrokset (kuvio12). Tähän kyseiseen säätimeen vaihdetaan jäykempiä jousia tai kiristeään paikallaan olevia jousia shimmi prikkujen avulla. Tällä kierrosten nostamisella mahdollistetaan se, että moottoria voidaan käyttää suuremilla kierroksilla eikä pumppu aloita rajoittamaan polttoaineen syöttöä liian aikaisin. Syöttöpumppuun tehtävä muutokset vaikuttavat siis sen kykyyn syöttää polttoainetta moottoriin, mutta ongelmana on yleensä se, että polttoaineen määrä jokaista sylinteriä kohden ei ole samansuuruinen jokaiselle sylinterille. Tämän syöttömäärään tasaaminen täytyy tehdä siihen tarkoitettuun pumppupenkissä.

(Holy Smoke Diesel)



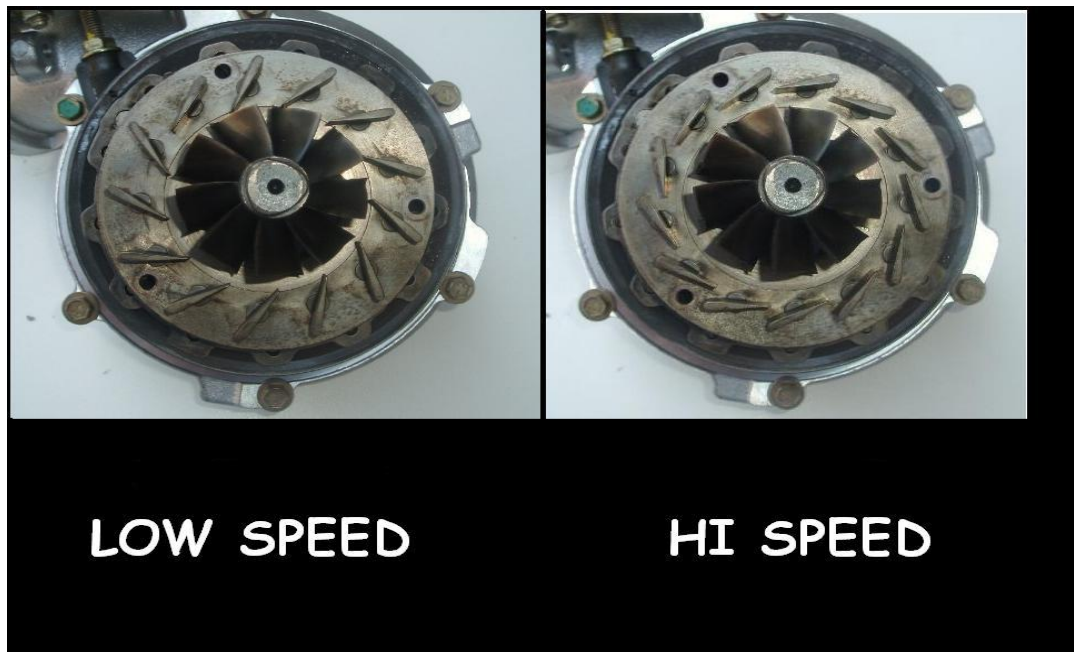
Kuvio12 Kierrostenrajoitin  
(Holy Smoke Diesel 2007)

### 3.4 Pakokaasuahdin

Autotehtailla pakokaasuahdit mitoitetaan sen mukaan, että autosta saadaan mahdollisimman hyväkäyttöksinen alemmilla kierrosluvuilla. Hyväkäyttöksellä tarkoitan tässä tapauksessa mahdollisimman hyvin vääntävää moottoria. Tällä haetaan pienempiä päästöjä ja kulutusta. Autoistahan löytyy monenlaisia erinlaisia ahdinkokoonpanoja.

Ennen dieselmoottoreissa käytettiin yhtä pienehköä ahdinta, jolla saavutettiin hyvä toiminta alakierroksilla, nykyään tehtaot ovat siirtyneet muuttuvageometrisiin ahtimiin, joiden avulla saadaan laajennuttua moottorin toiminta-alue ylemmillekin kierroksille, koska voidaan käyttää isompia ahtimia, jotka kuitenkin toimivat myöskin alakierroksilla. Yksinkertaisesti kerrottuna muuttuva geometrisessä ahtimessa tavallisen pakosiiven lisäksi on johdinsiivikko (Kuvio 13), joka muuttaa tilanteen mukaan siipikulmaa, jotta pakokaasut virtaisivat mahdollisimman optimaalisesti.

(Holysmokediesel)



Kuvio 13 VNT-ahtimen siivikko

Tehtaot käyttävät myöskin kaksoisahtamista parantaakseen moottorien käyttöaluetta. Yleensä ahtimet kytetään sarjaan, jolloin pienempi ahdin ahtaa isomalle ahtimelle ilmaa ja auttaa tämän heräämisessä. Alla olevasta kuvasta (Kuvio 14) näkee hyvin periaatteen.



Kuvio14 Cummins moottorin kaksoisahtamissysteemi  
(The Dieselpage)

Ahtimen mitoittamiseen löytyy todella hyvät kaavat erään ahtimia valmistavan yrityksen sivuilta. Mitoittaminen aloitetaan siitä, että hahmotetaan tarvittavat moottorin ominaisuudet ja tiedetään haluttu tehotavoite, koska tehotavoitteen perusteella lasketaan tarvittava ilmamäärä, joka ahtimen tulee pystyä siirtämään moottoriin eli lasketaan ahtimen imusiiven ilmansiirto kyky. Tähän laskentaan löytyy yksinkertainen kaava.

(Honeywell international 2009-2010)

$$W_a = \frac{HP * A}{F} * \frac{BSFC}{60}$$

jossa,

$W_a$ =ilmämäärä (lb/min)

$A/F$ = seossuhde, moottoriin menevän ilman ja polttoaineen suhde

HP= teho tavoite

$BSFC/60$ = polttoaineen tarve per. hevosvoima/60

Tällä kaavalla siis lasketaan tarvittava ilmanmäärä, sen jälkeen siirrytään määrittämään tarvittavan ahtopaineen suuruus, jotta saavutetaan tavoiteltu tehomäärä. Yksikkönä on lb/min.

$$MAP_{req} = \frac{W_a * R * (460 + T_m)}{VE * \frac{N}{2} * V_d}$$

jossa,

MAP= absoluuttinen paine imusarjassa

R= 639.6

VE=volunteerinen hyötysuhde

Tm= ilman lämpötila imusarjassa asteina

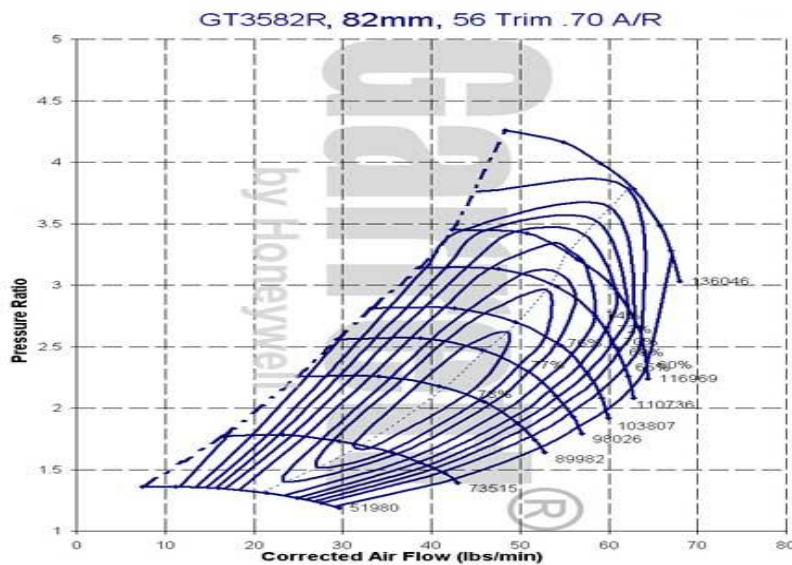
N= moottorin kierrosnopeus rpm

Vd= moottorin iskutilavuus kuutiotuumina

Tällä kaavalla saadaan laskettua absoluuttinen paine, joka tarvitaan tuotamaan kyseinen tehomäärä tästä luvusta pitää vähentää kuitenkin normaalipaine, jotta saadaan oikea tulos.

Kaava antaa tuloksen psi-yksiköissä, tämä ei haittaa, koska kartoissa yksiköt ovat edellä mainittuja. Ilmamäärän ja painesuhteen avulla luetaan valmistajan kartoista sopivalla imusiivellä oleva ahdin, jonka jälkeen siihen valitaan sopivan kokoinen pakopesä samanlaisesta kartasta.

(Honeywell international 2009-2010)



Kuvio15 Ahtimin imusiiven ilmansiirto kartta.

(Honeywell International Inc 2009-2010)

Ahtimen mitoittamiseen dieselmoottoriin löytyy myöskin jonkinasteisia perusääntöjä kuten se, että samanlainen ahdin, joka tuottaa bensiini moottorissa tietyn tehon tuottaa dieselmoottorissa noin 20-30% pienemmän tehon dieselmoottorissa. Ahtinen valinnassa täytyy dieselin kohdalla ottaa myöskin huomioon, että dieselmoottorissa syntyy huomattavasti suurempi määrä pakokaasua kuin bensiinimoottorissa, joten ahtimessa

täytyy olla hieman suurempi pakopesä kuin bensiinimoottoriin tulisi. Toinen mahdollinen hyväksi havaittu perussääntö ahtimen mitoittamiseen ilman suurempaa laskemista on se, että tutkitaan mistä iskuilavuudeltaan ja teholtaan sopivasta dieselmoottorista löytyy sopiva ahdin, omille tehotavoitteille.

(Holysmoke Diesel; Honeywell international 2009-2010)

#### 4 PAKOSARJAN MITOITUS

Tavoitteena oli mitoittaa 2 litran vaspaastihengittävään dieselmoottoriin pakosarja ja liittää siihen pakokaasuahdin. Pakosarjan suunnittelussa lähdettiin siitä liikkeelle, että tutkittiin millainen alkuperäinen pakosarja on ollut. Alkuperäinen pakosarja oli 4-2-1 metodilla valmistettu pakosarja, jossa primääriputket olivat mitoiltaan 34cm ja sekundääriputket olivat taas mitoiltaan n. 50 cm.

Seuraavaksi tutkittiin millä kierroksilla moottori antoi vakiona maksimi tehon ja väännön. Tulokset tähän haettiin valmistajan tekemästä omistajan käsikirjasta, joissa ilmoitetaan moottorin arvot. Sen jälkeen tutkittiin aikaisemmin tehtyjen pakosarjan antamia tuloksia ja mietittiin mistä niiden erot voisivat syntyä. Alla olevasta taulukosta (Taulukko1) käy ilmi millaisia aikaisempia tuloksia moottorista on saatu.

TAULUKKO1. Tehomittausten tuloksia

	Teho/ (hv/rpm)	Vääntö/(Nm/rpm)
vakio	66 hv/4600 rpm	127Nm/2400rpm
evo 1	91 hv/ 3000 rpm	173Nm/2500rpm
evo 2	116 hv/3800 rpm	226Nm/3600rpm

Evo 2 pakosarjan (Kuvio15) teossa oli hieman kiire, joten sen teossa ei juurikaan mietitty sen kummempin putkien pituuksia tai muotoilua, vaan tehtiä sellainen kuin sattui tulemaan.



Kuvio15 Pakosarja evo2

Tällä kertaa päätettiin tehdä asiat hieman toisin ja aloitettiin pakosarjan suunnittelu eikä aloitettu suoraan tekemisestä. Pitkän mietinnän jälkeen päädyttiin mitoituksessa käyttämään vapaahengitteisen moottorin pakosarjalle tarkoitettua mitoitusta. Mitoituksessa on oltava tarkkana ja väärin laskettuna voidaan aiheuttaa tehon alenemista. Kaasun virtausnopeuden vaikutus on huomioitava pakosarjan mitoituksessa. Tarpeettoman suuri kaasujen virtausnopeus kertoo liian ahtaasta pakopuolesta ja tällöin on nähtävissä huipputehon alenemista. Vastavuoroisesti liian hidas virtausnopeus heikentää ala- ja keskialueen tehoa. Suurempi putken virtauspinta-ala avittaa kuumien pakokaasujen laajenemista ja jäähtymisen, jolloin myös niiden nopeus laskee. Pakosysteemin suunnittelussa siis on tasapainoteltava näiden ilmiöiden ehdoilla. Vaikka primääriputkissa olisi onnistuttu, voidaan järjestelmän tehokkuus pilata huonosti mitoitetulla kollektorilla. Valmiilla laskentakaavoilla on mahdollisuus saada suuntaa-antavia tuloksia, mutta varsinainen valinta erilaisten vaihtoehtojen välillä on tehtävä käyttämällä dynamometrilla ja käytännön ajossa saatuja tuloksia.

(Graham Bell 2007; Ahonen V. 2008)

Käyttämällä kaavaa,

$$L = \left( \frac{850 * (180 + A)}{rpm} \right) - 3 \quad (3)$$

jossa,

A = Pakoventtiilin avautumis ennakko EAKK ennen alakuolokohtaa

RPM = käyntinopeus jolle pakosarja viritetään ( r/min)

L = Yhden ensiöputken pituus ( tuumaa)

V = yhden sylinterin iskutilavuus ( cc)

Vastaavasti primääriputkien halkaisija saadaan kaavasta,

$$d = \sqrt{\frac{4,4 * V}{25 * (L + 3)}} \quad (4)$$

Yllä maintittuihin kaavoihin (3 ja 4) sijoitetuilla arvoilla tuloksiksi saatiin primääriputkien pituuksiksi 720mm sekä putkien halkaisijaksi 42mm. Nämä mitat siis siinä tapauksessa kun moottorin huipputehoa haetaan 6500 rpm kohdalta. Putkien mitat vaikuttivat ihan järkeviltä. Ainoastaan tuo sisähalkaisija vaikutti turhan suurelta, koska tämän kokoinen putki on huomattavasti liian suuri suhteutettuna pakoventtiilin kokoon, joka on 34mm halkaisijaltaan sekä pakokanavan kokoon nähtynä. Tämä aiheuttanee sen, että moottorin alakierrosten toiminta häiriintyy ja menetetään moottorin käyttöaluetta. Mietinnän jälkeen päädyimme 36mm sisähalkaisijalla olevaan putkeen, koska siitä on aikaisempaakin käyttökokemusta.

(Graham Bell 2007; Ahonen V. 2008)

## 5 PAKOSARJAN VALMISTUS

Pakosarjan valmistamista varten ensimmäisenä mallinnettiin paperille kuvat tarvittavista laipoista, joita tässä tapauksessa on 3 kappaletta. Mallit piirrettiin tavalliselle A4 paperi arkille ja toimitettiin paikalliselle yritykselle, joka suoritti laippojen leikkauksen. Laipoille ei tehty tietokonehallinnusta, koska laippoissa oleviin kiinnitys reikien sijainti vaihtelee hieman, joten reikiä olisi jouduttu, joka tapauksessa muokkaamaan ja leikkauksesta vastaavassa yrityksessä ei ole laittoistoa kuvien lukemiseen. Laippoja odotellessa suoritettiin myös putkitarvikkeiden nouto läheisestä myymälästä. Myymälästä otettiin mukaan 2 metriä 42x3,2mm putkea ja 12 kappaletta samalla halkaisijalla olevia hitsattavia mutkia 1,5 kaarevuus säteellä.

Pakosarjan valmistaminen aloitettiin siitä, että sovitettiin pakosarjan kantta vasten tulevaa laippaa kanteen ja tutkittiin sen sopivuutta. Laipan sopivuus oli todella hyvä. Seuraavaksi porattiin laippaan tarvittavat reiät, 3 kappaletta. Reikien porauksessa kävi pieni virhe ja laippa ei sopinutkaan toisesta päästä pakokanavan kohdalle Tämä johtunee siitä, että laippaan porattiin reiät tiivisteen mukaan. Ratkaisimme asian leikkaamalla laipan 3 osaan, jolloin saimme kaikki reiät kohdistettua oikein kanaviin nähden (Kuvio 16).



Kuvio16 kansi ja laippa

Laippojen sovittamisen jälkeen aloitettiin pakosarjan primääriputkien suunnittelua. Putket pyrittiin muotoilemaan niin, että moottorin vakio imusarja mahtuisi omalle paikalleen. Ensiksi teimme jonkinlaiset lähdöt sylinterin 2 ja 3 putkille. Näiden sylinterien putket

olivat helpoimmat tehdä, koska niitä vedettäessä ei tarvinnut huomioida moottorinkorvakoita tai moottorin jäähdytysjärjestelmän komponentteja. Näiden jälkeen siirryimme suunnittelemaan putkea sylinterille 1. Tämän sylinterin putkea varten jouduttiin hieman mietiskelemään mistä kyseinen putki kulkee, mutta löytyihän sillekin reitti.



Kuvio17 Primääriputkien hahmottelua

Pienen korjauksen jälkeen putki saatiin saman suuntaiseksi kuin sylinterin 2 ja 3 putket. Viimeiseksi jäänyt sylinteri 4:n putki sovitettiin paikalleen vaihdelaatikon kiinnityslevyn ja sylinteri 3:n putken välistä. Putkien tavoitemitta oli tässä vaiheessa asetettu 620mm. Tämä tavoite täyttyi varsin mallikkaasti. Primääriputkien mitat tässä vaiheessa olivat seuraavat.(TAULUKKO 2.)

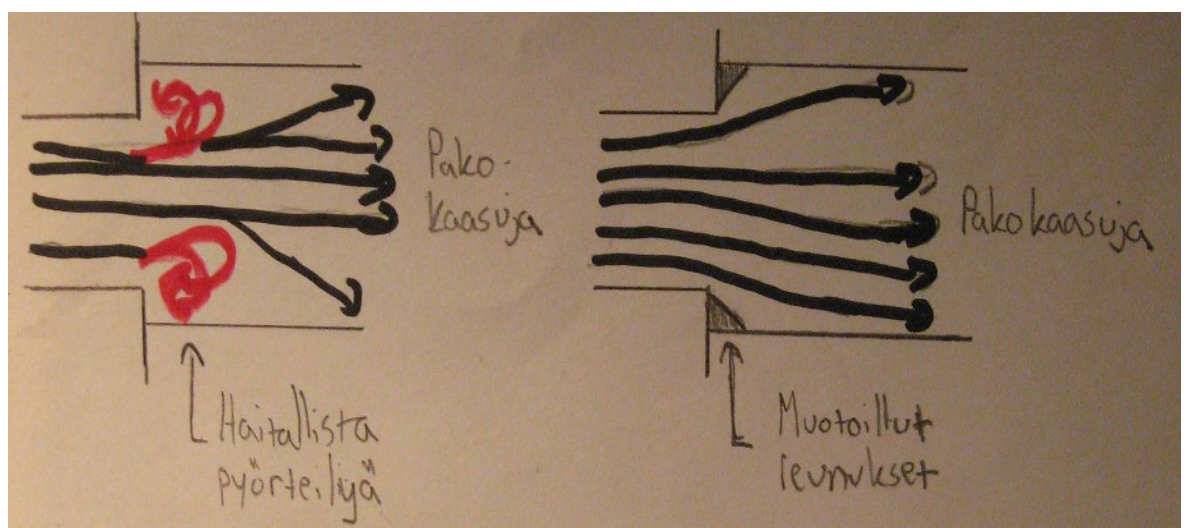
TAULUKKO 2. Primäärien pituus

Sylinteri	Putken pituus
1	610mm
2	620mm
3	640mm
4	600mm



Kuvio18 Pakosarjan primäärit hahmoteltu

Tämän jälkeen putket ja mutkat hitsattiin toisiinsa kiinni. Hitsaaminen suoritettiin ydintäytelanka hitsauskoneella. Hitsauksen jälkeen putkien alkupäätt muovattiin laipassa olevien reikien muotoiseksi ja hitsattiin kiinni laippoihin. Laipat olivat taas vourostaan kiinni jigissä, joka tässä tapuksessa oli irrallinen kansi. Laipat olivat kiinnitettyinä, koska tämä vähentää huomattavasti laipojen vääntyilyä ja helpottaa näin ollen tiivistepintojen tason suoristamista. Putkien muotoilulla oli tavoitteena estää haitalliset pyörrevirtaukset pakosarjan suulla, joita aiheutuu helposti siitä, kun putki on isompi kuin kanava johon se on kytketty. Alla kuva selvittämään tilannetta (Kuvio19).



Kuvio19 Muotoilun etuja

Muotoilulla saavutetaan se etu, että kanavien suulla ei aiheudu haitallisia pyörteilyjä, jotka voivat muuttua jopa takaisin virtaukseksi putken ja kanavan vaihtuessa. Seuraava vaihe pakosarjan valmistuksessa oli kokoajakartion valmistus (Kuvio20). Kokoajakartion valmistettiin putkesta ja 3 mm peltilevystä. Kollektoriin liitettiin myös hukkaportinlähtö. Ennen kollektorin valmistuksen aloittamista oikaistiin siihen tulevin putkien loppupää. Oikaiseminen tehtiin lyhimmän putken mukaan, joten kaikkein primääriputkien pituudeksi tuli 600mm.

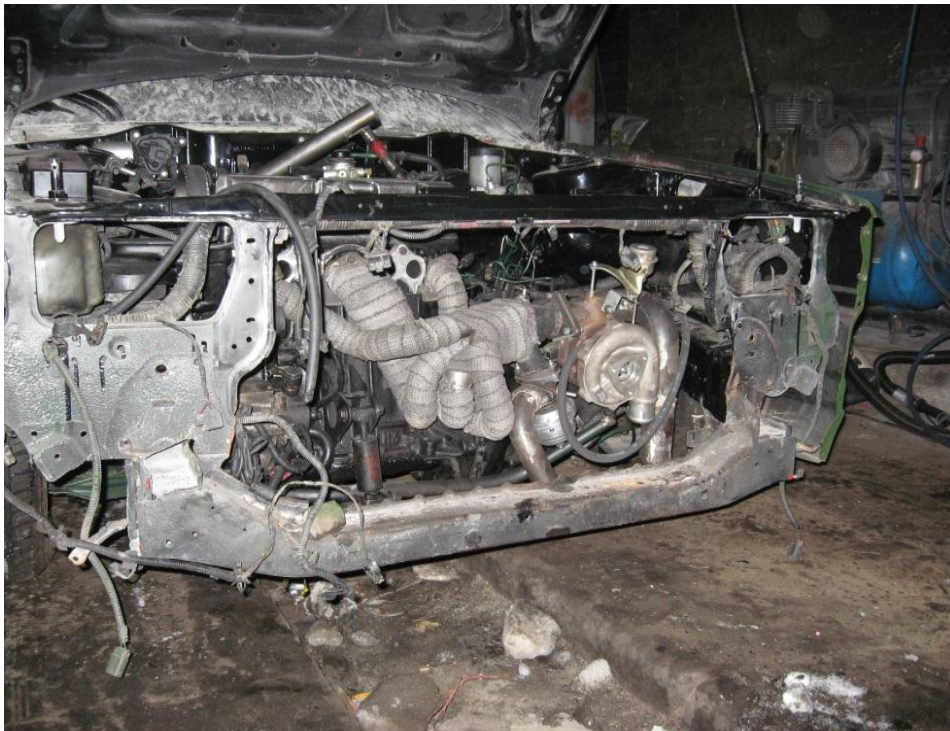


Kuvio20 Kollektori

Kollektorista muototui vapaahengitteiseen pakosarjaan soveltuva kollektori, eikä niinkään tyylipuhdas turboahdetun moottorin pakosarja, koska siinä putket yhdistyvät ennen pakokaasuadinta. Tämä ei kuitenkaan ole kovinkaan suuri ongelma, koska kolektorista saatiin kumminkin kohtuullisen hyvinmuotoiltu. Kollektorille kokonaispituudeksi muodostui 120mm, joten putkien mitoitus saatiin sopimaan haluttuun mittaan, joka oli 720mm. Kollektoriin tehtiin myös liitäntä hukkaportille, jolla säädetään ahtimen tekemä paine. Hukkaportti on hyvin yksinkertainen laite. Siinä on jousikuormitteinen lautasventtiili, joka avautuu kun paine ylittää jousen vastuksen. Hukkaportilla säädetään pakokaasuahtimelle menävää pakokaasun määrää virtauttamalla kaasua ahtimen ohitse ja näin estetään ahtimen kierrosten nousu ja paineentuotto kyky.

Seuraavaksi pakosarjan kollektoriin valmistettiin paikat pakokaasujen lämpötilan mittausta varten sekä pakopaineen mittausta varten. Tämän jälkeen pakosarjan sisäpinnat puhallettiin raekuulapuhalluksella. Puhalluksen tavoitteena on puhdistaa pakosarjan sisäpinnat hitsauspurseista ja mahdollisista muista irtajojäämistä. Pakosarjan viimeistelyyn sisältyi

pakosarjan laippojen tasojen oikaiseminen. Oikaiseminen suoritettiin nauhahiomakoneella. Pakosarjan kääriminen lämpösäteilyä vähentävään materiaaliin sisältyi myös pakosarjan viimeistelyyn. Tämän tarkoituksena on pitää konehuonetta viileämpänä ja vähentää pakokaasujen lämmön alenemista mahdollisimman paljon ennenkuin se saavuttaa pakokaasuahtimen, koska ahdin tarvitsee lämmintä kaasua toimiakseen oikein.



Kuvio21 Valmis pakosarja

Pakosarjan valmistuksen kustannukset eivät olleet kovinkaan suuret, johtuen siitä, että se valmistettiin kokolailla itse. Materiaalikustannukset olivat seuraavat (Taulukko 3)

Taulukko 3. Kustannukset

Artikkeli	Kappalemäärä	Hinta/kpl	Hinta
4,2x3,2x42mm hitsattava käyrä	12	2 €	24 €
42,3x42mm putki	2	5 €	10 €
Laipat	5	3 €	15 €
Pneumatiikkaliitin	1	5 €	5 €
Raekuulapuhallus	1	20 €	20 €
25x15000mm kääre	1	15 €	15 €
<b>Yhteensä</b>			<b>89 €</b>

## **6 MITTAUKSET**

Moottoriin tehtyjen muutoksien vaikutuksia voidaan mitata siihen tarkoitettulla laitteistolla, tehodynamometrissä. Tehodynamometrille syötetään moottorista tarvittavat perustiedot, kuten iskutilavuus, sylinterien lukumäärä ja polttoaine. Laitteistolle annetaan myös tietyt kompensointi arvot, kuten lämpötila ja ilmanpaine.

Dynamometrien perusrakenteet ovat hyvin pitkälle samat, mutta niiden mittaus ja rasiustavoissa on hienoisia eroja. Kaksi yleisintä autojen teho ja väännön mittaukseen käytettyä dynamometri mallia suomessa ovat inertia- ja jarrudynamometri. Inertia-dynamometrit perustuvat tietyn hitausmomentin eli inertianmomentin omaavaan rumpuun. Mekaniikan II peruslain mukaan kappaleen kiihdyttämiseen tarvittava voima on suoraan verrannollinen kappaleen massa.

Inertia-dynamometri perustuu pyörimisliikkeen perusyhtälöön. Inertia-dynamometri vaatii jatkuvaa kiihdyttämistä ja kiihtyvyyttä, jonka vuoksi kyseistä mittausmallia ei voida soveltaa tasakierroksisten moottoreiden testaamiseen. Inertia-dynamometrit ovat enemmän käytössä kilpa-ajoneuvojen testauksessa, joissa pyritään parhaaseen mahdolliseen kiihtyvyyteen. Jarrudynamometri perustuu kitkan välittämään voimaan akselilta tietyn matkan etäisyydellä oleviin punnuksiin tai kitkavoiman tukivoimaan, josta voidaan tuotettu momentti mitata.

## **7 YHTEENVETO JA POHDINTA**

Kaikki mitoituskalkelmat ovat suuntaa antavia, koska todellisten optimiarvojen ja tilavuuksien määrittämiseen olisi tarvittu tietokoneavusteisuutta ja virtaustutkimusta mutta, kun teemme päivitystä 70-luvulla suunniteltuun moottoriin pääsemme hyviin tuloksiin jo laskelmilla ja kokemuspohjaisen tiedon perusteella, joten en näe tarpeelliseksi tietokoneavusteisuutta. Asia olisi aivan toinen jos oltaisiin rakentamassa kilpamoottoria tai sarjatuotantomootoria.

Kysellessäni simulointiohjelmistoja ja sain vain sellaisia vastauksia, että kun rahaa löytyy niin saa ohjelmiston käyttöön. Internettiä selaillessa kumminkin löysin erään ohjelman (Engine analyzer), jolla voidaan simuloida moottorin toimintaa ja siitä oli saatavilla testi versio. Testattuani ohjelmaa se vaikutti aivan asialliselta, mutta ohjelmistoon olisi kyettävä syöttämään sellaisia arvoja joita itsellä ei ollut mahdollisuutta mitata, joten ohjelmiston antamat arvot olisivat olleet helposti hyvinkin harhaan johtavia, koska arvoja olisi pitänyt arvioida. Laskemat kumminkin perustuvat tunnettuihin arvoihin. Ohjelmisto ei myöskään kertonut osien muotoilusta vaan se kertoi ainoastaan mitat putkille.

Työtä tehdessäni jouduin perehtymään entistä tarkemmin erinlaisten moottori komponenttien mitoittamiseen ja moottorien ominaisuuksiin. Vaikkakin niistä olikin jo aikaisempaakin kokemusta, mutta nämä aikaisemmat mitoittamiset tehtiin puhtaasti kokempohjaisella tiedolla eikä niinkään laskemalla. Työn pohjalta sain mielestäni kohtuullisen hyvän kuvan minkäläistä on suunnitella osia moottoreihin sekä kohtuullisen perustiedon.

Työn vahvimpana osa-alueena pidän pakosarjan mitoittamista ja valmistamista, koska niiden tuloksetkin ovat realistisesti nähtävillä. Mitoittamisessa käytin mielestäni sopivassa suhteessa matematiikkaa sekä kokempohjaista pääteltyä tietoa. Harmittamaan jäi se, että tarkempia mitattustuloksia ei ole saatavilla, koska projekti on viivästynyt huomattavasti ajan ja rahan puutteellisuuden takia, mutta lähitulevaisuudessa päästää testaamaan suunnittelun tuloksia.

## LÄHTEET

Ahonen, V. 2008. Formula student moottorin kehitystyö. Helsingin ammattikorkeakoulu. Www-julkaisu. Saatavissa <http://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-200901021005> Luettu. 7.2.2011

Bell, Graham. V. 2007. Nelitahtimoottorin virittäminen. Alfamer.

HolySmoke 2007 Syöttöpumpun perusteet. www-dokumentti:

<http://holysmoke.fi/pages/artikkelit/syoettoepumpun-perusteet.php> Luettu 11.2.2011

Honeywell International 2009-2010 Turbo by Garrett diesel tech. www-dokumentti:

Saatavissa:[http://www.turbobygarrett.com/turbobygarrett/tech\\_center/diesel\\_tech.html](http://www.turbobygarrett.com/turbobygarrett/tech_center/diesel_tech.html).

Luettu 20.2.2011

Honeywell International 2009-2010 Turbo by Garrett catalog www-dokumentti:

Saatavissa:[http://www.turbobygarrett.com/turbobygarrett/catelog/Turbochargers/GT35/GT3582R\\_714568\\_3.htm](http://www.turbobygarrett.com/turbobygarrett/catelog/Turbochargers/GT35/GT3582R_714568_3.htm). Luettu 20.2.2011

Michael Delayney. 2002. Intake manifold tech. www-dokumentti. Saatavissa:

<http://www.team-integra.net/sections/articles/showarticle.asp?ArticleID=471>. Luettu

15.2.2011