

Antti Asikainen

# Mekaanisen ahtimen virtausmittaus

Opinnäytetyö  
Auto-ja kuljetustekniikka


Huhtikuu 2010




**MIKKELIN AMMATTIKORKEAKOULU**

Mikkeli University of Applied Sciences

## KUVAILULEHTI

 <p><b>MIKKELIN AMMATTIKORKEAKOULU</b> Mikkeli University of Applied Sciences</p>	<p><b>Opinnäytetyön päivämäärä</b></p> <p>12.4.2010</p>
<p><b>Tekijä(t)</b> Antti Asikainen</p>	<p><b>Koulutusohjelma ja suuntautuminen</b> <b>Auto- ja kuljetustekniikka</b></p>
<p><b>Nimeke</b></p> <p>Mekaanisen ahtimen virtausmittaus</p>	
<p><b>Tiivistelmä</b></p> <p>Mekaaninen ahdin on nykyään käytössä jo monessa uudessa autossa. Sillä haetaan yleensä moottoriin lisää vääntömomenttia alemmille moottorin pyörintänopeuksille. Monet näistä autojen valmistajista valmistaa itse ahtimensa tai tilaa ne omien tarpeidensa mukaan, joten näistä ahtimista ei löydy teknisiä tietoja. Tästä johtuen ahtimien soveltaminen muihin kohteisiin on vaikeaa. Tästä lähti työn idea.</p> <p>Työn aluksi tutustuin erilaisiin mekaanisiin ahtimiin sekä niiden historiaan, jotta ymmärtäisin niiden toimintaa paremmin. Työssä käytetyt ahtimet olivat minun omia ahtimiani. Molemmat olivat roots-ahtimia, sekä Toyotan tekemiä. Ennen itse mittauksia piti rakentaa sähkömoottorille ja ahtimelle pukki. Samaiseen pukkiin kiinnitettiin myös mittalaitteet. Pukkiin piti myös rakentaa välipyörä, jolla ahtimen ahtimelle menevän hihnan välitystä saatiin nostettua, jotta ahtimen kierrokset saatiin riittäviksi.</p> <p>Itse työ onnistui muuten hyvin, mutta ahtimien pyörytykseen käytetyt sähkömoottorit eivät riittäneet suunniteltuihin vastapaineisiin. Tämä tuli yllätyksenä, vaikka oli tiedossa, että ahtimet ottavat tehoa jonkin verran, mutta miten paljon, siitä ei ollut tietoa. Mittaukset olisin voinut mielellään pidentää, mutta resurssit loppuivat kesken.</p> <p>Tuloksista selvisi kyllä kaikki, mitä tarvittiin, tietysti ahtimen käyttäminen ylikierroksilla olisi ollut mielenkiintoista. Suuremman vastapaineen käyttäminen olisi ollut kiinnostavaa tuloksien kannalta. Tuloksista selvisi myös ahtimien erot, eli minkälaiseen moottoriin ne olivat suunniteltu.</p>	
<p><b>Asiasanat (avainsanat)</b></p> <p>Ahdinmoottorit, autotekniikka, kompressorit</p>	
<p><b>Sivumäärä</b></p> <p>25</p>	<p><b>Kieli</b></p> <p>Suomi</p>
<p><b>URN</b></p>	
<p><b>Huomautus (huomautukset liitteistä)</b></p>	
<p><b>Ohjaavan opettajan nimi</b></p> <p>Juhani Martikainen</p>	<p><b>Opinnäytetyön toimeksiantaja</b></p>

## DESCRIPTION

 <p><b>MIKKELIN AMMATTIKORKEAKOULU</b> Mikkeli University of Applied Sciences</p>		<b>Date of the bachelor's thesis</b>  12.4.2010
<b>Author(s)</b> Antti Asikainen	<b>Degree programme and option</b> Automotive and Transport Engineering/ Automotive and Electrics Engineering	
<b>Name of the bachelor's thesis</b>  Supercharger flow measurement		
<b>Abstract</b>  <p>The purpose of this work was to find how much air can flow thru superchargers, different back pressure, and different superchargers rotation speeds. In this work I try find out the difference of two different superchargers.</p> <p>Work begins by exploring different mechanical superchargers and their history in order to better understand their operation. Then I built testing buck. I put all test instruments in this buck too. I rotated superchargers whit electric motor.</p> <p>The results shoosed differences in efficiency. The results are only tentative because the do adequate speed was not reached.</p>		
<b>Subject headings, (keywords)</b>  Supercharger, air flow, roots-blower		
<b>Pages</b>  25	<b>Language</b>  Finnish	<b>URN</b>
<b>Remarks, notes on appendices</b>		
<b>Tutor</b> Juhani Martikainen	<b>Bachelor's thesis assigned by</b>	

# SISÄLTÖ

SYMPOLILUETTELO .....	1
1 JOHDANTO .....	2
2 MEKAANISEN AHTIMEN HISTORIAA .....	3
3 MEKAANISTEN AHTIMIEN ERI TYYPIT.....	5
3.1 Roots-ahdin.....	5
3.2 Keskipakoahdin .....	6
3.3 Kaksoisruuvi-ahdin.....	7
3.4 Kierukka-ahdin .....	8
4 TYÖN TOTEUTUS .....	9
4.1 Ahtimien kunnan tarkistus.....	9
4.2 Testauspukinteko .....	14
4.3 Mittauslaitteet ja niiden asennus.....	15
5 MITTAUKSET .....	18
6 TULOKSET .....	20
7 POHDINTA .....	24
LÄHTEET .....	25

**SYMPOLILUETTELO**

kW	Kilowatti, tehon yksikkö
Nm	Newtonmetri, momentin yksikkö
l/s	Litraa sekunnissa, tilavuusvirran yksikkö
l/min	Litraa minuutissa, tilavuusvirran yksikkö
bar	Baari, Paineen yksikkö
Hz	Hertsi, taajuuden yksikkö

## 1 JOHDANTO

Mekaanisella ahtimella siirretään ilmaa moottoriin ottamalla voima moottorin kamppiakselilta. Se miten paljon ilmaa saadaan siirrettyä suhteessa kamppiakselilta otettuun tehoon, riippuukin sitten ahtimesta. Eli mitä enemmän ilmaa vähemmällä teholla, sitä parempi on ahtimen hyötysuhde. Tietysti myös kuinka paljon ilmaa lämmitetään siirron aikana, vaikuttaa moottorista saatavaan tehoon

Työn idea lähti harrastuksestani. Muutama vuosi sitten asensin mekaanisen ahtimen omaan harrasteautoon ja totesin sen hyväksi ideaksi. Ahdin oli juuri Toyotan SC12, joka oli niin sanotusti alimitoitettu kyseiseen moottoriin. Mutta vaikka se oli alimitoitettu, muuttui moottorin luonne täysin. Moottorista tuli paljon paremmin vääntävä, myös alemmilla moottorin pyörintänopeuksilta. Roots-ahtimilla haetaan enemmänkin lisää vääntömomenttia eikä huipputehoa. Kyseisessä moottorissa huipputeho nousi noin 22 kilowattia, mutta vääntömomentti nousi taas noin 67 nm. Vääntö nousi yli 200 nm jo 2000 rpm lähtien, eli moottorista tuli huomattavasti käyttäjä ystävällisempi. Toisaalta ajatus tällaisista mittauksista lähti siitä, ettei valmistaja anna kyseisistä ahtimista minkäänlaisia virtauskaavioita. Olen nyt tekemässä toista harrasteautoa ja siihen tulee nyt tuo Toyotan SC14 - ahdin, eli pykälää isompi mitä edellisessä, oli vaikkakin moottori pysyy samanlaisena, vaikka on pidemmälle viritetty. Nyt haetaan väännön kaksinkertaistumista. Mittauksieni perusteella ahtimen pitäisi olla sopiva kyseiseen moottoriin. Tulevaisuudessa selviää, pitikö mittaukseni paikkansa kyseisen moottorin kohdalla.

Työn tarkoituksena on tutkia Toyotan mekaanisia roots-ahtimia. Työssä on tarkoitus selvittää, kuinka ahtimet soveltuisivat muihinkin moottoreihin, joihin ne ovat suunniteltu. Työssä tutkittiin kahden erikokoisen ahtimen hyötysuhdetta, ahtimessa tapahtuvaa lämpötilan nousua eri kierrosluvuilla ja vastapaineilla.

## 2 MEKAANISEN AHTIMEN HISTORIAA

Tämä historiikki osio perustuu Graham A. Bellin (2002, 14 -20) kirjaan Forced Induction Performance Tuning. Imuilman ahtaminen tuli ensimmäisenä lentokoneisiin Roots-tyypin ahtimena vuonna 1848, vaikka nämä vaihtuivat keskipakoahtimiin, paremman hyötysuhteen takia.

Ensimmäiset ahtimet, joita autoissa käytettiin, olivat juuri mekaanisia ahtimia. Nämä ahtimet olivat toimintaperiaatteeltaan keskipakoahtimiä. Ensimmäisenä esitteli Rudolf Diesel oman mekaanisen ahtimensa vuonna 1896. Tästä 10 vuoden päästä keksi tohtori Alfred Büchi pyörittää keskipakoahdinta pakokaasun voimalla. Tästä alkoi pakokaasuahtimen käyttö.

Keskipakoahtimiä alettiin käyttää kilpa-autoissa vuonna 1910. Näissä sitä pyöritettiin joko välityksen kautta kampiakselin etupäästä tai vauhtipyörältä hihnalla. Ahtimen kierrokset olivat viisi kertaa enemmän mitä moottorin kierrokset.

Vuonna 1921 Mercedes teki 1,5 litran tilavuisella, 4 sylinterisellä, roots-ahdetulla moottorilla varustetun urheiluauton Targa Florio -kilpailuun. Ahdin tuotti noin 0,5 bar painetta, ahdin oli myös varustettu kartiokytkimellä, joka kytki ahtimen käyttöön, kun kuljettaja painoi kaasun pohjaan.

Kuten Bell (2002,16) kirjassaan kertoo, ensimmäisen Grand Prix kilpa-auton mekaanisella ahtimella varustettuna teki Fiat vuonna 1923. Auto oli varustettuna siipiahtimella ja 2-litraisella moottorilla. Ahdin oli koko ajan pyörimässä, josta aiheutuikin voiteluongelmia. Näistä ongelmista viisastuneina Fiat vaihtoi myös Roots -ahtimeen, he myös keksivät uuden innovaation, ahtoilmanjäähdytys.

Yhdysvalloissa keksittiin 1924, että jos polttoaine syötettäisiin ennen ahdinta, se tiivistäisi Roots -ahtimen roottorien välisen välyksen sekä roottorien ja kotelon välisen välyksen. Polttoaineena käytettiin metanolia, jolla jäähdytettiin myös ahtoilmaa.

Imuilman ahtamisen hyödyistä kertoo myös se, että jo vuonna 1951 Grand Prix -auton 1500-kuutioisessa, V16 moottorissa, joka oli varustettu keskipakoahtimella ahtopaineen ollessa noin 5 bar, oli moottorissa tehoa enemmän kuin 4.5 -litraisessa vapaasti hengittävässä moottorissa.

Kiihdytysautoilijat taas keksivät samoihin aikoihin, että jos ottaa GM – kaksitahtidieselin moottorista, jonka sylinteritilavuus oli 71 kuutiotuumaa ja sylintereitä 3 kappaletta (tästä tulee ahtimien merkintä 3-71) huuhtelupumppuna toimivan roots –ahtimen ja laittaa sen 426 kuutiotuumaisen Chryslerin Hemi -moottorin päälle, niin moottorista saadaan tehoa 1500 kW.

Ongelmaksi muodostuivat ahtimen suuret välykset roottorien ja kotelon välissä sekä ahtimen ylikierrokset johtuen siitä, että dieselissä ahdin pyöri 5200rpm ja taas kiihdytys autossa 15000rpm. 1970-luvulla keksittiin muuttaa vakioahdinta tekemällä uudet roottorit sekä laakeroinnit, jolloin ahdin kesti paremmin isoja kierroksia sekä tuotti paremmin painetta (1.7 bar) pienemmistä välyksistä johtuen.

1960-luvulta lähtien koittivat Eldred Norman ja Shorrock parantaa 1920 vuonna Fiatin keksimää siipiahdinta, jota vaivasi lämpö- ja voiteluongelmat. Siviiliautopuolella ahtimien suunnittelu kääntyi kuitenkin roots -tyypin ahtimiin. Merkkejä, jotka kyseistä ahdinta käyttivät 1980-luvulla, olivat Fiat, Lancia, Ford, Buick, Olasmobile, Holden, Toyota, Mazda, Jaguar, Aston Martin ja Mercedes.

Kuten Bellin (2002, 20) kirjasta selvisi, pääasiallisesti kyseisille merkeille ahtimet teki Eaton, eniten Fordille Yhdysvaltoihin. Eatonin ahtimissa oli kolmisiipiset roottorit, jotka olivat myös kierretty ruuvin tavoin, 60 astetta. Roottorit olivat myös pinnoitettu, jolla saavutettiin pienemmät välykset noin 0.2 mm. Pienistä välyksistä johtuen olivat pumppaushäviöt pienentyneet, mikä taas nosti ahtimen hyötysuhdetta.

Myös hyvät materiaalit takasivat ahtimelle käytettäväksi isoja kierroksia normaalisti noin 12000 rpm, mutta esimerkiksi Eatonin M92 kesti 15600 rpm. Eatonin ahtimiin liitettiin myös kiinteä ohivuotoventtiili, jolla saatiin kaasuläpän sulkeutumisesta aiheutuva paineen nousu purettua ahtimen imupuolelle. Tällä pystyttiin mahdollistamaan magneettikytkimen käyttö ahtimissa, jolloin ahtimen ei tarvinnut pyöriä, kuin silloin kun sitä tarvittiin eli suurilla kuormituksilla, pienillä kuormituksilla sekä joutokäynnillä imuilma virtasi ahtimen ohi imusarjaan.

Vuonna 1995 kiihdytysautojen 500 kuutiotuumaisten moottorien tehot olivat nousseet 4500 kW, vaikka ahtimen tilavuus oli pysynyt samana, ahtopaine oli noussut noin 2.8 bar, vaikka ahtimen kierrokset olivat laskeneet 1000 rpm. Tämä johtuu siitä, että roottorit olivat pinnoitettu teflonilla, jolloin ohivuodot olivat pienentyneet.



### 3 MEKAANISTEN AHTIMIEN ERI TYYPIT

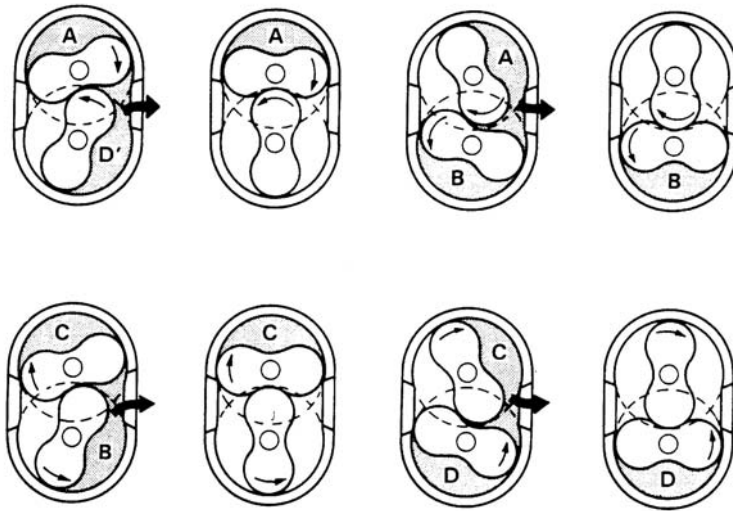
Mekaanisissa ahtimissahan kaikissa on tarkoituksena ottaa ahtimen pyörikykseen teho kampiakselilta. Eli perustoimintaperiaate on kaikissa sama, mutta tekninen toteutus erilainen. Kaikilla yritetään saada ilma virtaamaan moottoriin mahdollisimman pienillä virtaushäviöillä. Eli ilmaa yritetään saada siirrettyä mahdollisimman paljon mahdollisimman pienellä teholla.

#### 3.1 Roots-ahdin

Tässä työssä tarkasteltavana olevat ahtimet ovat juuri roots–ahtimia

Ahdin sisältää kaksi roottoria ja roottorit ovat yleensä kaksi tai kolmilapaisia, sekä lavat ovat kierrettyjä kuten ruuvi tai suoraa, mutta molemmat roottorit ovat samanlaisia. Lapojen kierto hiljentää ahtimen pitämää ääntä ja vähentää ilman pulssisuutta sekä parantaa ahtimen virtausta. Roottorit on tuettu laakerein kotelon päädyistä, ahtimen takapäädyssä on kaksi ratasta, molempien roottorien päädyissä. Tällöin ahtimelle tuleva teho voidaan tuoda vain toisen roottorin päähän, rattaat myös synkronoivat roottorit toisiinsa nähden. Rataspäädyssä on myös oma öljytilansa. Kotelo ja roottorit ovat yleensä alumiinia, roottorit pinnoitettuja joko teflonilla tai muulla vastaavalla pinnoitteella.

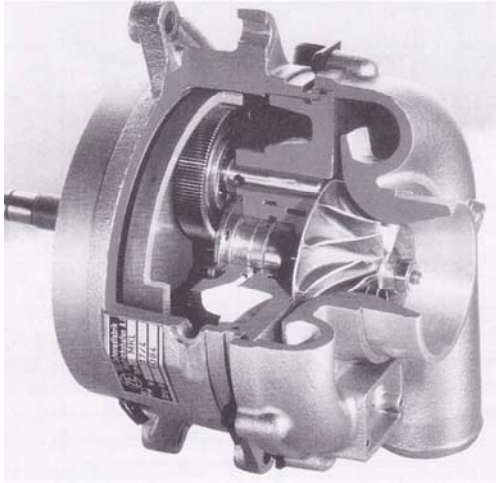
Mitä pienemmät ovat näiden ahtimien roottorien välykset koteloon ja roottorien välykset toisiinsa, sitä parempi on ahtimen hyötysuhde. Kuten kuvasta 1 selviää, ahtimen toiminta perustuu ilman kulkemiseen roottorien lapojen välissä kotelon seinämää pitkin, jossa sen nopeus kasvaa. Roots -ahdin ei siis purista ilmaa vaan siirtää sitä. Eatonin tekemissä versioissa on myös kiinteä ohivirtausventtiili, tämä mahdollistaa magneettikytkimen käytön ahtimen tehon syötössä, kuten aikaisemmin tuli ilmi. Toyota käytti myös magneettikytkintä, mutta siinä ohivirtaus oli toteutettu erillisellä venttiilillä. Näiden ahtimien hyötysuhde on noin 35 - 60 % riippuen vastapaineesta. (Turboahdit ja kompressorit – koulutusmateriaali 2007, 31.)



**KUVA 1. Roots-ahdin (Turboahditimet ja kompressorit – koulutusmateriaali 2007, 31)**

### 3.2 Keskipakoahdin

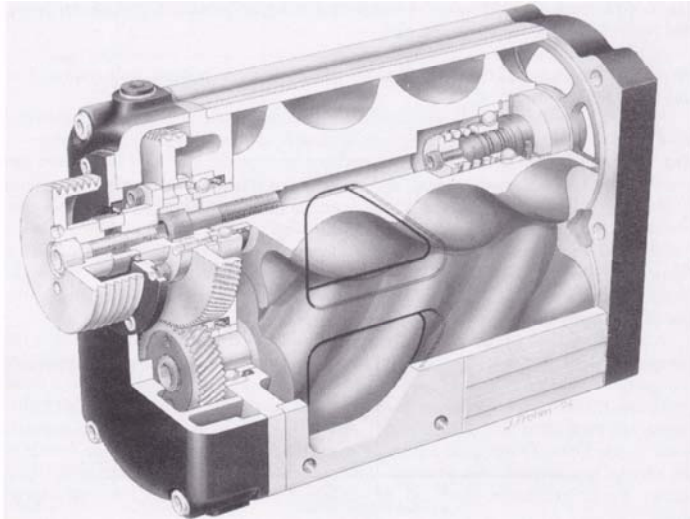
Keskipakoahdin on samanlainen kuin pakokaasuahtimen kompressoripuoli, jota pyöritetään moottorista otetulla teholla. Eli ilma tulee keskeltä kompressorin siiville, josta se pakotettiin siipien pyörimisen johdosta kompressoripesän laiduille, josta se poistuu erillistä lähtöä pitkin. Ongelmaksi muodostuu tietysti se, että pakokaasuahtimen kompressorin siipi pyörii parhaimmillaan noin 100000 rpm, kun taas moottori 7000 rpm. Tähän ratkaisuna on yksivaihteinen planeettavaihteisto (kuva 2), planeettavaihteistolla voidaan muuttaa välitystä jopa 15 -kertaiseksi. Hyvää tällaisessa ahtimessa on sen koko hyötysuhteeseen nähden, mutta huonoa taas planeettapyörästäön hinnasta johtuva kallis hinta sekä se, että ahtimen tuottama ilmamäärä ei ole sama kaikilla kieroksilla. Tästä johtuu viive tehon nousussa, joten tämä ahdin on sopivampi kilpakäyttöön kuin siviilikäyttöön. (Bell 2002, 22 – 23.)



**KUVA 2. KESKIPAKOHDIN (Bell 2002, 24)**

### **3.3 Kaksoisruuvi-ahdin**

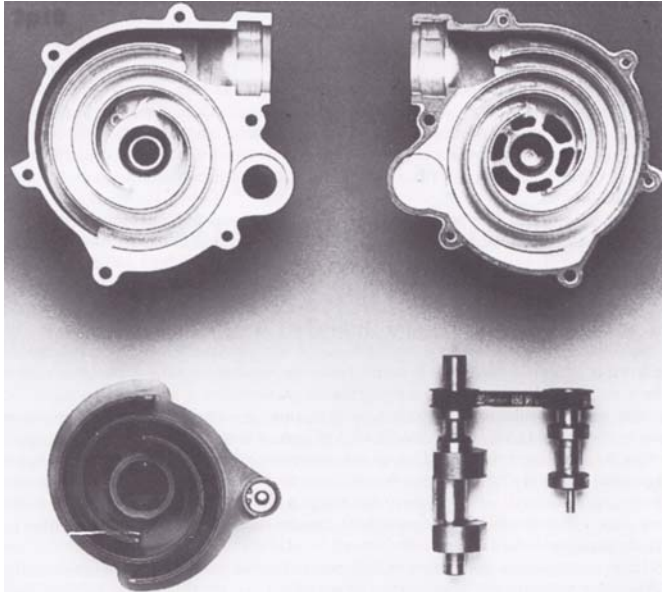
Kaksoisruuvi-ahdin on tyypiltään samanlainen kuin roots, mutta sen roottorit ovat erilaiset sekä enemmän kierrettyt. Ilma tulee ahtimen päädyistä toiseen sivuun koteloa, Toisessa roottorissa, naarasroottorissa on kuusi tai viisi, riippuen valmistajasta, ”ruuviin” tapaista harjaa. Toinen roottori taas on kolmiharjainen ja nämä harjat ovat pyöreämpiä. Tätä kutsutaan urosroottoriksi. Roottorien harjat menevät sisäkkäin mutta eivät kosketa. Roottorit eivät pyöri samaa nopeutta vaan urosroottori pyörähtää 1.66 kertaa siinä ajassa, missä naaras kerran. Kun ilma tulee ahtimen takapäältä, se kiertää roottorien harjojen mukana kotelon seinämää pitkin poistopuolelle samalla tavalla kuin roots -ahtimessa. Mutta ilma jää roottorien väliin poistopuolella, jolloin sitä puristetaan ja siirretään kohti poistoaukkoja. Puristettu ilma poistuu poistoaukoista (kuva 2) kolme kertaa per ahtimen pyörähdys. Välykset pitää olla myös pienemmät (0.002 mm) kuin roots – ahtimessa, jotta ohivirtausta ei ilmenisi puristusvaiheessa. Samaa ilman puristamistekniikkaa on käytetty teollisuudessa aikaisemmin, jolloin välykset poistettiin öljyllä. Tämän ahtimen tuottama ilman virtaus on tasaisempi kuin roots – ahtimen. Kaksoisruuviahtimen hyötysuhde on noin 70 - 85 %.



**KUVA 3. Kaksoisruuvi-ahdin (Bell 2002, 24)**

### **3.4 Kierukka-ahdin**

Kierukka-ahdinta käytti auton valmistajista ainoastaan Volkswagen, G40-ahdinta Pollossa sekä G60-ahdinta Golfissa, Gorradosa sekä Passatissa 90 ja 80-luvun taitteessa. Ahtimen peruseriaate keksittiin jo vuonna 1905. Ahtimen toiminta perustuu kahden sisäkkäiseen kierukkaan (kuva 4), joista toinen tekee oskilloivaa liikettä. Kierukat koskettavat toisiaan välillä, jolloin syntyy perättäisiä kammioita kierukoitten väliin, jotka pienenevät kiertymän mukaan. Toiminta vaatii pieniä välyksiä ja hyvää voitelua. Huollon laiminlyönneistä johtuen on moni tämän tyyppin ahdin hajonnut, ja tästä johtuen ahdin on saanut huonon maineen kestävydestään. Tämän tyyppin ahtimien hyötysuhde on 55 - 68 %, eli kohtalaisen hyvä mutta sen maine on mennyt huonon kestävyuden mukana.



**KUVA 4. Kierukka-ahdin (Bell 2002, 27)**

## **4 TYÖN TOTEUTUS**

Työn toteutuksen aloitin ahtimien kunnan tarkastuksella. Tarkastuksen jälkeen tein testaus pukin, jonka jälkeen oli itse työn teko.

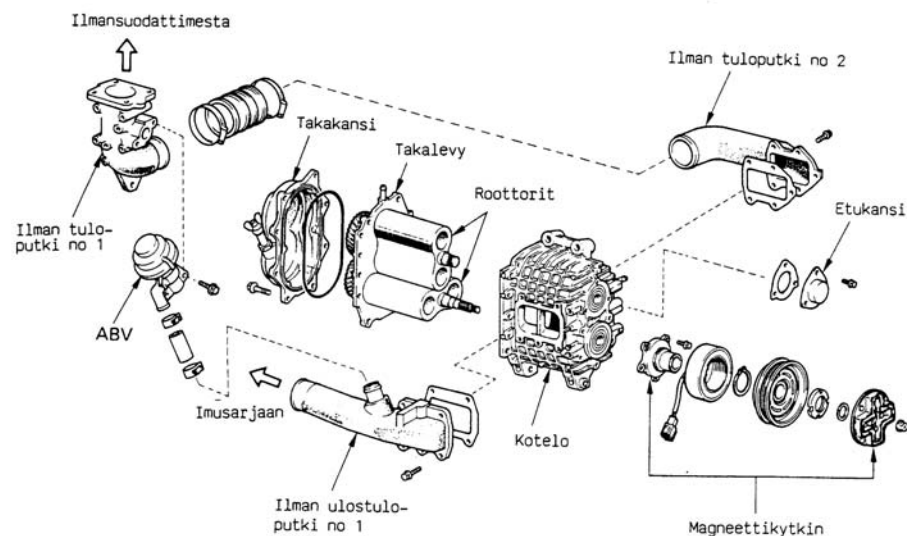
### **4.1 Ahtimien kunnan tarkistus**

Ahtimien löytäminen itsessään oli ongelmallista. SC12 löytyi tosin kohtalaisen helpolla, mutta suuremman löytäminen kesti noin puoli vuotta, koska moottorien maahantuojat eivät suostuneet myymään pelkkiä ahtimia. Etsimistä vaikeutti se, ettei kyseisellä moottorilla olevia autoja ole tuotu uutena Suomeen. Uusia ahtimia ei myöskään löytynyt oikein mistään. Tietysti jos on enemmän resursseja, niin löytyisihän niitä sitten Japanista esimerkiksi. Kun löysin isomman, niin siitä puuttui magneettikytkin, mutta onneksi pienemmästä se kävi myös isompaan. Nykyään kun olen enemmän etsinyt moottorien osia muualta maailmalta, niin olen huomannut, että näitä SC14 näyttäisi löytyvän kohtalaisen helpolla. Molemmat ahtimet olivat käytettyjä ja purettu Japanista tuoduista moottoreista, joille ilmoitetaan yleensä, että niillä olisi ajettu noin 60000 km. Tarkasta historiastahan ei ole tässä tapauksessa tietoa, joten kunnan tarkistus oli paikallaan. Samalla tutustuin ahtimien toimintaan sisäisesti.

Pienempää SC12-ahdinta, joka oli tilavuudeltaan 1,2 litraa/pyörähdys, on käytetty Toyota Corollan 1.6 -litraisessa 4A-GZE moottorissa. Kyseisessä moottorissa oli tyy-

pistä riippuen 108 - 120 kW. Kyseisessä moottorissa maksimikierto-  
luku oli 7500 rpm ja ahtimen välitys oli 1.25.( Matti`s Toyota Page Toyota Supercharger)  
Isompi SC14-ahdin oli tuotoltaan taas 1,42 litraa/pyörähdys. Tämä ahdin taasen oli  
purettu Toyota Previa tila-autosta, jossa se oli ollut 2.4 -litrainen 2TZ-FZE moottori.  
Moottorissa oli ollut tehoa 120 kW. Tästä moottorista en löytänyt tietoa, millainen  
välitys siinä on ahtimelle ja millaiset maksimikierrat siinä olisi.

Ahtimien kunnot tarkistin purkamalla ne osiin. Ennen purkamista tutustuin ahtimien  
räjäytyskuviin (kuva 5), jotka olin löytänyt Toyota Club Of Finlandin kotisivuilta.  
Kyseisille sivuille pääsee vain kerhon jäsenet. Kyseisiltä sivuilta löytyi myös ahtimien  
huolto ohjeet. Ohjeista selvisi, ettei ahtimien roottori pakettia pysty purkamaan eikä  
niihin saa varaosia, vaan ne ovat vaihdettava kerralla koko pakettina. Tämä johtuu,  
siitä, ettei roottorien tahdistus muuttuisi, jolloin syntyisi vakavia vaurioita itse ahti-  
meen. Tahdistus muuttuisi senkin takia, jos vaihdettaisiin päädyn rattaita ja toinen  
olisi kulunut jo jonkin verran jolloin, ahdin alkaisi jumittaa johtuen siitä, että roottorit  
ottaisivat toisiinsa kiinni.



**KUVA 5. SC12-ahdimen räjäytyskuva (Turboahditet ja kompressorit – koulu-  
tutkimateriaali 2007, 31)**

Purkaminen alkoi magneettikytkimen irroituksella. Kytkimen kytkinpintahan vastaa  
hihnapyörässä olevaan kitkapintaan, josta kiinnitarttuminen syntyy. Ensimmäisenä  
purkautui juurikin tämä kytkinpinta pois. Se oli kiinni uraliitoksella akselissa ja lukit-  
tu paikoilleen mutterilla. Kytkinpinnassa on myös kumivulkanointi, joka mahdollistaa  
kytkimen aksiaalisen liikkeen. Tämä mahdollistaa sen, että kun magneetti vetää kytkin  
pintaa hihnapyörän kitkapintaa kohti, se joustaa jolloin pinnat kohtaavat. Eli ahdin

kytkeytyy päälle. Magneettikytkimen hihnapyörä oli kiinni sellaisella erikoismutterilla, kun tämän irroitti, lähti hihnapyörä irti. Sehän on laakeroitu ahtimen rungosta tulevan putken päälle, jolloin se pyörii todella kevyesti ja on lukittu vain tuolla mutterilla. Tämän jälkeen olikin aika irroittaa itse magneetti, sehän oli lukkoprikalla putken päällä ja takapuolelta siinä oli sellainen reikä ja kotelossa tappi, joka esti sen pyörimisen. Sitten olikin putken irroituksen aika, minkä jälkeen magneettikytkin oli irroitettu.

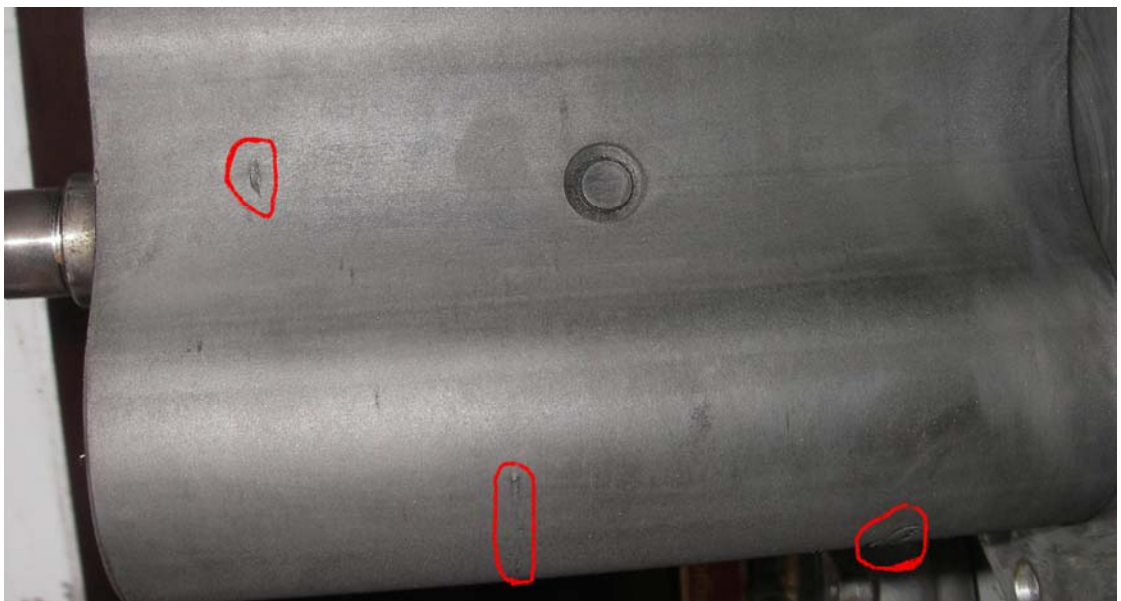
Magneettikytkimen irroituksen jälkeen päästään käsiksi itse roottoriakselien kiinnitysmuttereihin. Toisen roottorin mutteri sijaitsee kolmella pultilla kiinnitetyn suojapellin alla. Nämä roottorien mutterit irroitettua pitää purkaa toisessa päässä sijaitseva rattaitten kotelo auki. Kotelossa on öljyä, joka pitää valuttaa ennen purkua pois. Kopan purun jälkeen pääsee purkamaan päädyn irti. Pääty onkin vain kahdella pultilla kiinni, koska öljytilan kotelo pitää samoilla pulteilla myös päätyä kiinni. Kun pääty on irti (kuva 6), purkautuu ahdin varovasti koputtamalla roottorien akseleiden päihin. Pääty saattaa olla tiukassakin, jolloin ohjurin tappeihin lyöminen vaikka tuurnalla auttaa. Molemmissa päissä koteloa on laakerit, takapäissä ne ovat koko ajan öljyssä ja ne eivät ole vaihdettavissa, johtuen siitä, ettei roottorirataspakettia ole suunniteltu purettavaksi. Jos roottoreita pitää vaihtaa tai rattaat, laakerit ovat vaurioituneet, pitää vaihtaa koko pääty kaikkine roottoreineen ja laakereineen sekä rattaineen.

Ahtimessa on myös kolme letkulähtöä. Näiden tarkoituksena on tasata laakereissa oleva paine samaksi. Näillä siis estetään ahdinta imemästä tai painamasta laakereista joko rasvoja tai öljyä pois. Ilman paine näille letkuille ohjataan erillisellä sähköisellä venttiilillä. Enimmäkseen paine on lähellä normaalia ilmanpainetta. Itse annoin lähtöjen olla suoraan ilmanpaineessa testien aikana. Joskus kokeilin pitää lähdöt yhdessä letkulla, niin öljyn mittatikun aukosta tuli öljyt paineella ulos, kun käytettiin 0.3 bar vastapainetta.



**KUVA 6. Ahdin pääty avattuna**

Ahtimien sisältä ei löytynyt mitään vakavaa, vaikkakin molemmista oli kulkenut hiekkaa sekä jotakin suurempaa läpi (kuva 7). Tämä ilmeni pykälinä ja naarmuina roottorien pinnoitteessa. Kaikki tällaisethan tietysti vaikuttaa ahtimen hyötysuhteeseen. Eli mitä enemmän on vaurioita, sitä enemmän tapahtuu ohivuotoa. Vauriot aiheuttavat myös ahtimen virtauksen huononemista, koska epätasainen pinta huonontaa ilmanvirtausta.



**KUVA 7. Roottorin vaurioita**



Kuvassa 8 nähdään ahtimien kokoerot. Kokoero syntyy ainoastaan roottorin pituuden muutoksesta. Isommassa ahtimessa roottori on 23 mm pidempi. Vaikka kuvista voisi saada sellaisen kuvan, että isomman ahtimen roottori olisi suurempi halkaisijaltaan, se ei pidä paikkaansa. Roottori on ehkä ohuempi seinämäinen kuin pienemmässä ja valettu erilaisella muotilla. Ahtimien kiinnityksien erot selviävät myös kuvasta, jossa kotelot ovat rinnakkain. Tästä johtuen jouduin muuttamaan pukkeja ahdinta vaihdettaessa. Virittelijöille tiedoksi, että ahtimet eivät käy suoraan ristiin kiinnityksiensä suhteen. Kuvassa 8 isompi oikealla alemmissa kuvissa ja ylemmissä isompi vasemmalla



**KUVA 8. Ahtimien koko erot**

Kun kasasin ahtimia, laitoin molempiin uudet öljyt. Öljyt sinällään aiheuttivat ongelman, koska ahtimiin tarkoitettua öljyä ei Toyota enää myy. Öljyä olisi pitänyt etsiä muilta valmistajilta, joita olisi ollut esimerkiksi Jaguar. Tässä taas tuli hinta vastaan, eli muutama desilitra öljyä olisi maksanut 50 euroa ja se olisi pitänyt hakea merkin edustajalta. Aikani asioita tutkiessani, tulin siihen johtopäätökseen, etteivät ahtimet tarvitse mitään erikoisöljyä, koska ahtimessa öljyllä voidellaan kahta normaalia kuula-laakeria ja kahta vinohampaista ratasta. Loppujen lopuksi laitoin molempiin ahtimiin Mobilin Mobilube GX 80W-90 vaihteistoöljyä eikä ainakaan vielä ole ilmennyt mitään ongelmia.

## 4.2 Testauspukinteko

Jotta ahtimia päästiin testaamaan, täytyi tehdä pukki, johon ahdin, moottori, välipyörä saatiin kiinni tukevasti. Pukki olisi valmiina ilman mittauslaitteita kuvassa 9. Pukin pohjana oli 100 mm kulmarauta, joka oli 10 mm paksua, ensimmäiselle moottorille tein kiinnityslevyn, koska ensimmäinen moottori oli tarkoitettu kiinnitettäväksi hihnapyörän puoleisesta päädyistä. Levy tehtiin hitsaamalla kaksi 100 mm:n kulmarautaa yhteen, näin moottorin kiinnityksestä saatiin mahdollisimman kestävä.

Välipyörä tuli 50 mm kulmarauodoilla kiinni moottorin kiinnityslevyyn ja 100 mm pystyyn hitsattuun kulmarautaan. Itse ahtimen alakiinnitys kiinnittyi 5 mm teräslevyyn, joka oli hitsattu moottorin kiinnitysleppaan ja pystyyn hitsattujen lattarautojen päihin. Yläkiinnitys ensimmäiselle ahtimelle eli isommalle ahtimelle oli tehty hitsaamalla pystyyn kulmarauta, johon oli hitsattu vaakaan 50 x 50 mm putki ja toiseen päähän putkea toinen 50 x 50 mm putki, joka oli pystyssä hitsattuna ahtimen aluslevyyn.



**KUVA 9. Pukki valmiina**

Moottorissa ollut hihnapyörä oli halkaisijaltaan 200 mm. Välipyöränä (kuva 10) toimi akseli, johon oli sovitettu Toyota Camryn 3S-FE moottorista lainattu hihnapyörä. Tähän hihnapyörään oli sovitettu taas isompi 180mm hihnapyörä vakiopyörän päälle, ja tällä saatiin suurennettua välitystä. Hihnapyörät tarkistettiin sorvissa heittokellon avustuksella, ja kiinnitys toisiinsa neljällä M8 pultilla. Moottorilta tuleville hihnoille oli pieni hihnapyörä 60 mm halkaisijaltaan ja se sovitettiin akseliin toiseen päähän. Akselin molemmissa päissä oli teollisuuskäyttöön tarkoitettut laakeripukit.

Hihnoina oli moottorilta välipyörälle ensiksi yksi kiilahihna, mutta luistosta johtuen lisättiin sen rinnalle toinen hihna. Välipyörältä ahtimelle taas oli 5 -urainen moniura-hihna. Hihnoinhin lisättiin myös teollisuuskäyttöön tarkoitettua kitkan lisääjää. Testien jälkeen hihnat olivat kyllä aivan loppu, moniura hihnastakin oli osa liimautunut hihnapyöriin kiinni. Hihnoille tein myös suojapellin 1mm:n pellistä, koska jos esimerkiksi hihna olisi katkennut, olisi hihnan palaset voineet osua mittaaajiin tai mittalaitteisiin vahingoittaen niitä.



**KUVA 10. Välipyörä**

Hihnan kiristys toteutettiin tekemällä välipyörän kiinnitykseen lovet, joissa sitä saatiin siirrettyä. Ahtimelle menevälle hihnalle tein jakopään hihnapyörästä ohjurin, jolla sain enemmän hihnan pinta-alaa hihnapyörälle.

### **4.3 Mittauslaitteet ja niiden asennus**

Ahtimeen menevän ilman määrän mittaamiseen käytin Accu Balance – ilmamäärämittaria (kuva 11). Kyseessä oli ilmastoinnin mittaukseen tarkoitettu laite, jonka mittaus menetelmä perustuu kuumalankamittaukseen. Mittarin mittaus alue oli 15 – 1000 l/s, eli mittaus kapasiteetti oli todellakin riittävä näihin mittauksiin. Kyseistä mittaria käytin myös siksi, että se oli helpoin liittää ahtimeen meneviin putkiin. Minun tarvitsi tehdä vain sovite mittalaitteen hupun mukaan. Huppua käytin, koska se tasasi ilman virtausta ennen ahdinta, jolloin mittaustulokset pysyivät oikeina. Sovitteena toimi pelti joka oli 600x600 mm, pellin keskellä oli 90 mm reikä, jossa supistin ahtimen imuputken joka oli halkaisijaltaan 60 mm.



**KUVA 11. Pukki mittausvalmiina**

Ahtimelle menevän ilman lämpötilaa mittasin tavallisella digitaalisella lämpömittarilla, mutta ahtimelta tulevan ilman lämpöä taas mittasin Fluken 76–yleismittarilla, jossa oli k-termopari. Ahtopuolen lämmön mittasin noin 200 mm:n päästä ahtimesta putken sisästä (kuva 12).



**KUVA 12. Painepuolen mittareitten asennus paikat**

Paineen mittaukseen käytin nestevaimennettua teollisuusmittaria. Kuvassa 12 näkyy myös akkulaturi, joka piti ahtimen magneettikytkintä kytkettynä.

Ensimmäisenä moottorina toimi GMS:n valmistama, 5.5 kW pitkärunkoinen sähkömoottori. Kyseinen moottorihan on tarkoitettu juuri taajuusmuuntajalla ajettavaksi. Jotta voitiin mitata ilman määrää myös eri kierrosluvuilla, tarvittiin siihen taajuusmuuntajaa. Ensimmäisellä moottorilla oli käytössä Vacon-merkkinen taajuusmuuntaja. Kyseinen laite löytyi Mikkelin amk:n sähkölaboratiosta. Kyseisestä taajuusmuuntajasta näki myös moottorin käyttämän tehon määrän prosentteina sekä moottorin kierrosluvun. Taajuusmuuntaja tarvitsi vain moottorin tyyppikilvestä tiedot moottorista, minkä jälkeen se osasi näyttää oikeastaan kaikki, mitä moottorissa tapahtui lämpötila mukaan lukien.

Taajuusmuuntajat aiheuttivat minulle ongelmia, koska ajattelin, että saan arvot laitetta suoraan kannettavalle tietokoneelle samalla kun teen mittauksia. Mutta taajuusmuuntaja aiheuttaa ulkoisia sähkökentän muutoksia, ja nämä näköjään sekoittaa tietokoneen, joten mittauksissa siirryttiin perinteiseen kynään ja paperiin.

Toisena moottorina toimi Strömbergin tekemä vanhempi moottori. Tehoa kyseisessä moottorissa oli 10 kW. Tätä moottoria ei taasen ole tarkoitettu ajettavaksi taajuusmuuntajalla, ja tästä aiheutui ongelmia moottorin kierroksien pitämisessä tiettyinä. Moottori aiheutti myös pukin muutoksia. Pukkiin lisättiin levy (kuva 13), johon moottori saatiin kiinni. Tähän tehtiin myös pieni säätö, jolla saatiin hihnaa kiristettyä.



**KUVA 13. Testauspukki varustettuna isommalla moottorilla**

Tämän kanssa käytetystä ABB Sami taajuusmuuntajasta ei löytynyt suoraan moottorin kierroslukua, joten se jouduttiin mittaamaan erillisellä kierrosluku mittarilla. Mittari perustui valoon eli hihnapyörään tehtiin valkoinen merkki josta mittari mittasi kierrosluvun. Tässä ilmeni kyllä ongelmia, koska mittaria oli vaikea saada pysymään paikoilleen ja jos se täräisi, emme saaneet kierroksia mitattua. Itse ahtimestahan ei mitattu kierroksia vaan ne ovat laskennalliset, yritin kyllä mitata kyseisellä mittarilla ahtimen hihnapyörästäkin mutta en siinä onnistunut. Vikana olivat varmaankin mittarin liikkuminen ja hihnapyörän suuret kierrokset.

## 5 MITTAUKSET

Ensimmäisellä mittauskerralla huomasin ongelmaksi moottorilta välipyörälle kulkevan kiilahihnan luistamisen. Ongelmahan oli korjattu sillä, että lisäsin toisen hihnan ja laitoin kitkan lisääjää hihnoihin. Ongelmaksi muodostui myös se, ettei itse pystynyt samaan aikaan muuttamaan moottorin taajuutta ja samalla sulkemaan hanoja vastapainetta varten, joten pyysin kaverini avuksi pitämään paineen tasaisena.

Myös ensimmäisillä mittauksilla selvisi ahtimen pitämä ääni, joka oli päätä huumaava.

Pelkät kuulosuojaimet eivät riittäneet vaan alle piti laittaa vielä korvatulpat.

Ahtimethan ajettiin tuhannen kierroksen välein (jos pystyttiin) 1000 rpm aina 10000 rpm, joka on ahtimien maksimikäyttökierrokset, jotka ne jatkuvasti kestää. Kyllähän ne varmasti kestäisi ylikin tuon, mutta sähkömoottorien maksimi kierrokset oli jo ylitetty aikaisemmin enkä välitystä halunnut enää suurentaa.

Isommille vastapaineille mentäessä ilmeni ongelmia moottorin tehossa. Tässä vaiheessa tehtiin muutokset pukkiin 10 kW:n moottoria varten. Samalla siirrettiin koko testaus toiseen talliin, josta saatiin paremmin virtaa. Tämä johtuu siitä, että ensimmäiset mittaukset tehtiin tuolla uudessa tallissa ja siellä on vikavirtasuojat, jotka eivät taajuusmuuntajista oikein tykkää, vaan kytkee itsensä aina pois päältä. Ja toisaalta tuohon vanhaan talliin tulevaan voimavirtapistorasiaan tulee isommilla sulakkeilla virtaa. Ja tässä isommassa moottorissa oli käynnistämistä helpottava tähtikolmiokytkentä, jolloin ei kaikkia vaiheita kytketä kerralla moottoria käynnistettäessä.

Seuraavaksi tuli selväksi, ettei isomman ahtimen ajamisesta yli 0.5 bar paineilla tullut mitään johtuen isomman moottorin ominaisuuksista. Eli moottori oli suunniteltu toimimaan 50 Hz taajuudella. Jos mentiin yli tai alle, putosi moottorin vääntö pahasti. Tästä johtuen mittauksia ei jatkettu isommalla ahtimella. Pienempi ahdin vaati pieniä muutoksia yläpuolen kiinnityksen suhteen. Tietysti ahtimien laipat olivat erilaiset, joten ahdinta vaihtaessa menivät myös putket uusiksi. Muuten pienemmän ahtimen ajaminen onnistui hyvin, vaikka moottorin ominaisuudet tulivat vastaan tämänkin kanssa. Maksimipaineet, joilla pystyimme ajamaan, olivat 0.7 bar. Vaikkakin kyseisten paineiden saamiseksi jouduttiin tekemään monta yritystä, että saatiin edes muutama arvo. Ongelmaksi mitatessa muodostui se, että kierroksia piti pitää jonkin aikaa tiettyinä, jotta lämpötila tasaantui, ja tähän ei oikein onnistunut millään suuremmilla paineilla.

Lopuksi oli vain todettava, ettei moottorin teho vieläkään riittänyt. Kyselin vielä sähkölaboratoriosta mahdollisuutta isompaan moottoriin, koska itseltäni ei sellaista enää löytynyt. Ei sitä myöskään sieltä löytynyt, tai löytyi 40 kW:n moottori, mutta se oli niin iso, että sen siirtäminen olisi ollut liian työlästä, eikä minulla olisi ollut virran suhteen kapasiteettiä sille.

Itse sähkölaboratoriossa ei mittauksia voinut suorittaa äänen takia eikä siksi että moottori sijaitsi pienessä huoneessa, joten mittaustulokset olisivat vääristyneet huoneen il-

man lämmitessä. Tässä vaiheessa totesin, että mittaustulokset saavat riittää, vaikkakin mielellään olisin vielä jatkanut mittauksia.

## 6 TULOKSET

Ahtimistahan mitattiin ahtimeen tulevan ilman lämpöä, ahtimesta lähtevän ilman lämpöä, ahtimeen menevän ilman määrää, ahtimen ottamaa tehoa sekä ahtopainetta.

Ensimmäisenä tulee tietysti kysymykseen, paljonko ilmaa nyt meni ahtimista läpi.

Teoreettisesti maksimit olisivat olleet 14000 l/m ja pienemmällä 12000 l/min 10000 rpm. Suurimmat litra määrät olivat, isommasta ahtimesta ilman vastapainetta 9780 l/min 10000 rpm. Pienemmässä taas vastaavat lukemat olivat 8340 l/min 10000 rpm.

Seuraavaksi olikin sitten tilavuushyötysuhteen laskenta. Se vaatikin suurta kirjallisuuden perehtymistä, ennen kuin kaava löytyi. Kaava itsessään on Oiva E Eerolan (1978, 157) kirjasta Polttomoottorit 2. Kaavaa jouduttiin jonkin verta muuttamaan, jotta saatiin kaavasta tilavuushyötysuhteen kaava. Kaava oli tarkoitettu ahtimen tuottaman ilma määrän laskemiseen. Tässä olisi lopullinen laskuissa käytetty kaava:

$$\eta_v = \frac{V_L * 2 * 60}{\pi * (1 - a^2) * D^3 * L * n}$$

Jossa:

$\eta_v$  = Tilavuushyötysuhde

$V_L$  = Ilmamäärä l/s

$a$  = Roottorin siiven poikkipinnan suhde pyörähdys sylinterin poikkipintaan, noin 0,475

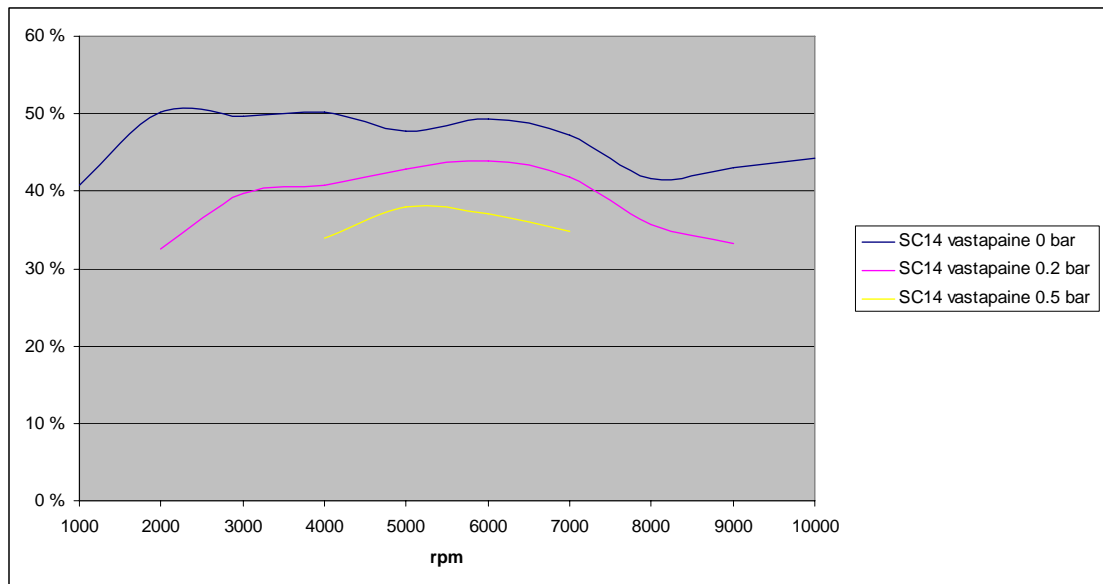
$L$  = Roottorin siiven pituus (dm). Isommassa 1,45 dm ja pienemmässä 1,22 dm.

$D$  = Pyörähdys sylinterin halkaisija(dm). Molemmissa sama 1,12 dm.

$n$  = Ahtimen kierrosluku

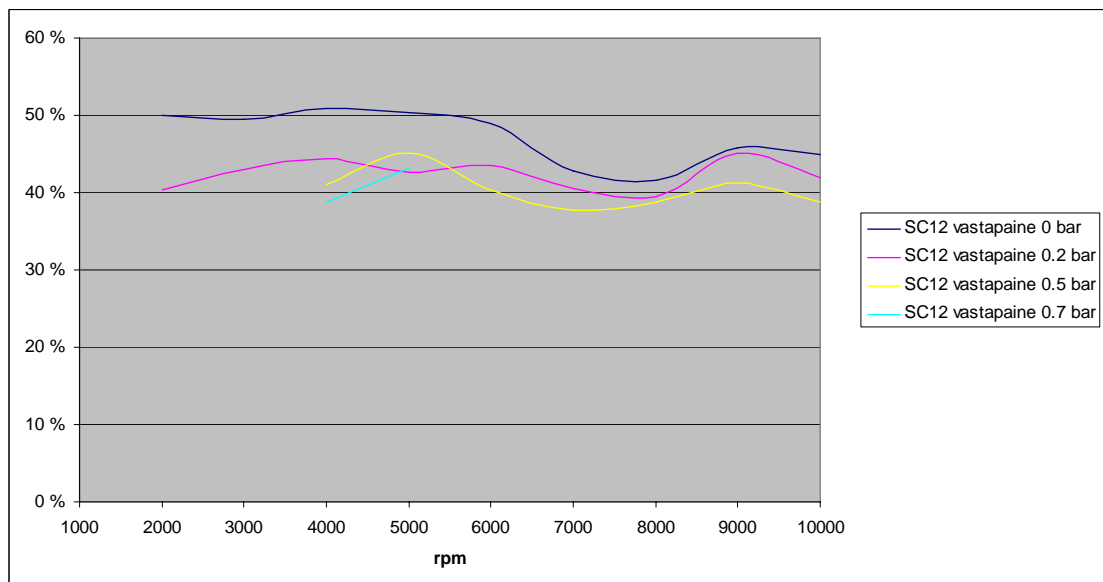
Suurin tilavuushyötysuhdeprosentti löytyy isommalla ahtimella 6000 rpm ja se olisi noin 50 prosenttia nolla vastapaineella (kuva 14). Tällä alueella uskoisin olevan ahtimen suunniteltu toiminta alue, myös vastapaineella.





**KUVA 14. SC14 tilavuushyötysuhde vs kierrokset**

Pienemmällä taasen paras tilavuushyötysuhde olisi noin 50 prosenttia vastapaineella 0 bar ja 4000 rpm (kuva15). Mutta toisaalta näyttäisi että pienempi ahdin olisi suunniteltu isommille kierroksille, koska tilavuushyötysuhdeprosentti näyttäisi nousevan 9000 rpm kohdalla. Kierroksethan sattuisivat juurikin kyseiselle ahtimelle tarkoitetun moottorin maksimikierroksille 1.25 ahtimen välityksellä.



**KUVA 15. SC12 tilavuushyötysuhde vs kierrokset**

Toisaalta kun verrataan isompaa ahdinta pienempään ahtimeen, tilavuushyötysuhdeprosentin ja kierrosten suhteen huomataan, että molemmissa ilmenee tilavuushyötysuhteen nousemista ja laskemista. Pienemmässä ahtimessa tämä näyttäisi olevan suurempaa, mutta paras käyttöalue näyttäisi olevan 8500 - 9500 rpm kohdalla

myös vastapaineella. Ehkä jos saisi vielä lievillä ylikierroksilla ahdinta pyöritettyä, voisi siitä saada enemmän irti hyötyä.

Suurimmilla vastapaineilla, jotka olivat 0.7 bar, on vain lyhyt pätkä tuloksia johtuen sähkömoottorin ominaisuuksista. Eli moottori ei jaksanut pitää kierroksia yllä kuin 50 Hz taajuudella, ei yli eikä alle sen, vaan väännöt tipahtivat heti. Vaikka hetkellisesti olisikin saatu kierrokset pysymään tiettyinä, ei se riittänyt vaan lämpötilan piti antaa tasoittua hetki, jotta saatiin oikeat arvot. Tässä pienemmässä ahtimessa on myös selvä monttu tuossa 8000 rpm kohdilla, joka näyttäisi olevan aivan ominaisuus ahtimessa. Tietysti tässäkin vaiheessa kannattaa ottaa huomioon se, etteivät ahtimet olleet uusia, eli niiden ominaisuudet ovat varmasti muuttuneet. Isommassa taasen näyttäisi vaihtelun olevan tasaisempaa, paras käyttöalue näyttäisi olevan noin 4000 – 6000 rpm kohdilla. Tämän jälkeen alkaa tilavuushyötysuhde laskea, mutta erillistä suurempaa monttua ei tuloksissa ole. Tietysti jos resurssit olisivat riittäneet, olisi tässäkin voitu saada parempia tuloksia.

Lämpötilan muutos ahtimessa oli suurimmillaan pienemmässä 72 astetta 0.7 bar paineilla ja 5000 rpm, isommilla kierroksilla olisi ollut varmasti enemmän eli varmasti yli 100 astetta pitkälti. Laskin myös ilmantiheydenmuutoksen, jotta saataisiin tietoon kuinka paljon teoriassa ahdin voisi nostaa moottorin tehoa. Tähän tehon nousuun vaikuttaa kyllä moni muukin, asia kuten moottorin hengitys, polttoaineen oktaanit, yms. Tämän laskemiseksi oli olemassa oma kaavansa eli:

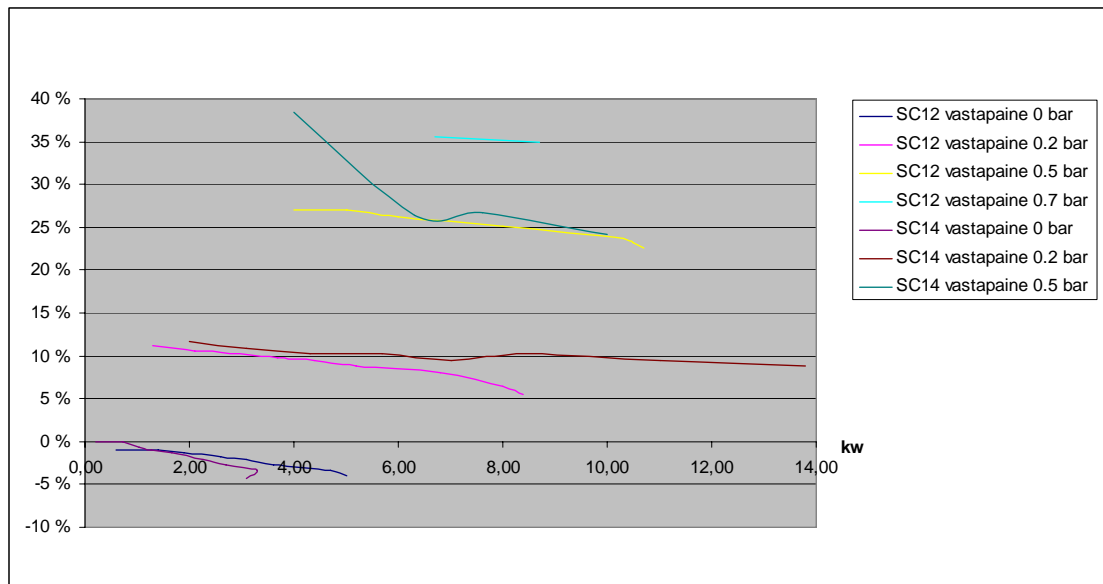
$D_r$  = Prosentuaalinen tehon nousu

$A_t$  = Tulevan ilman lämpö asteina (tähän lisätään 273 joka on suhde lukuna kaavassa)

$D_t$  = Poistuvan ilman lämpötila (tähänkin lisätään 273 joka toimii suhde lukuna)

$P_r$  = Paine suhde eli ahtimen paine + ilman paine / ahtimen paineena

$$D_r = \frac{(A_t + 273) * P_r}{(D_t + 273)}$$



**KUVA 16. Prosentuaalinen tehon nousu vs ottoteho molemmat ahtimet**

Kuvassa 16 nähdään, kuinka paljon teoreettisesti ahdin nosti moottorin tehoa prosentuaalisesti, ja ahtimen ottama teho kilowatteina. Ahtimelle menevä tehohan ei ollut sama kuin moottorista lähtevä, koska hihna välityksestä muodostuu noin 4-7 prosentin tehohäviö. Häviö on vähennetty jo valmiiksi ahtimen ottamasta tehosta. Johtuen pienistä vastapaineista, niin tämä näyttää siltä, etteivät ahtimet paljoa tehoa nostaisi.

Koska painehan nostaa ilman tiheyttä ja tässä sähkömoottoreiden tehot eivät riittäneet niin pitkälle, että olisi saatu parempia tuloksia. Kyllähän tietysti pienemmän ahtimen 0.7 bar paineen tehon nosto olisi jo 35 prosenttia ja tehohäviöt noin 8 kilowattia, olisi kohtalaisesti. Jos laskettaisiin, että moottorissa olisi tehoa 100 kW ja siihen lisättäisiin pienempi näistä ahtimista, ahtopaineena olisi 0.7 bar ja kaikki muu olisi kohdillaan, niin teoriassa saataisiin lisättyä tehoa 35 prosenttia. Tästä pitäisi tietysti vähentää teho häviö 8 kW eli moottorin lopputehoksi jäisi  $135\text{kW} - 8\text{kW} = 127\text{kW}$ .

## 7 POHDINTA

Työhän oli ajatus ensimmäisenä toteuttaa käyttämällä 2 -litraista auton moottoria tehon lähteenä. Moottoria olisi käytetty moottoripenkissä. Penkissä olisi nähty ahtimien moottorista ottamat tehot. Olisimme myös voineet testata teoriaa käytäntöön, eli olisimme voineet kokeilla, paljonko ahdin olisi oikeasti nostanut moottorin tehoa. Myös ahtimen ottama teho ei olisi ollut ongelma, eivätkä myöskään kierrokset olisi ollut ongelma. Tietysti tämä olisi vaatinut reilusti enemmän työtä, mutta oli ollut antoisampi ja mielenkiintoisempaa. Tämähän ei onnistunut koska Mikkelin ammattikorkeakoulu myi moottoripenkkinsä pois.

Muuten työ onnistui olosuhteisiin nähden hyvin. Sähkömoottoreiden teho olisi pitänyt olla suurempi, ja välitys olisi saanut olla suurempi. Näillä olisi saatu suurempi mittausalue käyttöön ja olisi nähty ahtimien toimivuus suuremmilla paineilla ja ylikierroksilla. Moottoreita olisi löytynyt varmasti lisää, mutta luultavammin niistä olisi joutunut jo maksamaan. Toisaalta itselläni ei olisi riittänyt pitemmälle enää resurssit sähkön suhteenkaan, eli sulakkeet eivät olisi riittäneet enää suuremmille virroille. Eli jatko olisi vaatinut toisia mittaustiloja, mutta ahtimien tuottamasta äänestä johtuen uusien tilojen löytäminen olisi ollut vaikeaa.

Työtähän olisi voinut jatkaa ruiskuttamalla ahtimiin vettä, jolla olisi poistettu ahtimien roottorien ja kotelon välyksiä. Tämähän olisi pitänyt näkyä hyötysuhteen paranemisena, sekä luultavammin lämmön laskuna. Olisihan se tuonut lisää tutkittavaa, esimerkiksi kuinka paljon vettä olisi pitänyt lisätä ilman sekaan, jotta välykset olisivat tiivistyneet, mutta ettei se olisi haitannut seos suhdetta moottorissa suuresti. Kuinka vesi olisi vaikuttanut itse ahtimiin, olisi ollut mielenkiintoista tutkia. Teknisesti ahtimet sen olisi ehkä kestänyt, mutta miten sitten ne olisivat kestäneet pidempää käyttöä.

## LÄHTEET

Bell, A. Graham 2002. Forced Induction Performance Tuning. Somerset. Sparkford. Haynes Publishing.

Eerola E Oiva. 1978. Polttomoottorit 2. Jyväskylä: Gummerus Oy.

Bosch, Robert 2003. Autoteknillinen taskukirja 6. painos. Jyväskylä: Gummerus Oy.

Kenne Bell 2006. Supercharger Efficiency and Sizes Explained. WWW-dokumentti. [http://www.kennebell.net/techinfo/general-info/SC\\_efficiency.pdf](http://www.kennebell.net/techinfo/general-info/SC_efficiency.pdf). Päivitetty 1.12.2006. Luettu 10.3.2010.

Turboahdit ja kompressorit - koulutusmateriaali. 2007 Toyota. WWW-dokumentti. [http://www.fintoys.net/index.php?option=com\\_content&task=view&id=206&Itemid=28](http://www.fintoys.net/index.php?option=com_content&task=view&id=206&Itemid=28). Tiedostojen avaaminen vaatii kerhoon liittymisen. Päivitetty 31.1.2007. Luettu 10.3.2010

Matti Kalalahti 2009. Matti`s Toyota Page Toyota Supercharger. WWW-dokumentti. <http://www.kalalahti.com/dataBySubject/Superchargers.html>. Päivitetty 7.9.2009. Luettu 11.3.2010.