

Janne Hakulinen

# POLTTOMOOTTORIN KAASUNVAIHDON TEHOSTAMINEN

Imu- ja pakosarjan muutos

Fin R2WD -luokan ralliautoon

Opinnäytetyö

Auto- ja kuljetustekniikan koulutusohjelma


Huhtikuu 2014




MAMK

University of Applied Sciences

## KUVAILULEHTI

	<b>Opinnäytetyön päivämäärä</b>	
<b>Tekijä(t)</b> Janne Hakulinen	<b>Koulutusohjelma ja suuntautuminen</b> <b>Auto- ja kuljetustekniikka</b>	
<b>Nimeke</b>  Polttomoottorin kaasunvaihdon tehostaminen, Imu- ja pakosarjan muutos Fin R2WD -luokan ralliautoon		
<b>Tiivistelmä</b>  Tämän opinnäytetyön aiheena oli tehostaa valmiiksi viritetyn polttomoottorin kaasunvaihtoa. Kohdeautona käytin omistamaani Renault Clio 2.0 Sport -kilpa-autoa. Opinnäytetyöni tarkoitus oli mitoittaa rallikäyttöön parhaiten soveltuvat imu- ja pakosarja.  Aluksi kartoitin käytössä havaitut ongelmat, ja näiden tietojen pohjalta aloin suunnitella uusia komponentteja moottoriin. Moottorin kaasunvaihtoa tehostin vaihtamalla moottoriin suunnitellut imu- ja pakosarjat. Muita moottorin toimintaan vaikuttavia mekaanisia osia ei muutettu.  Kohdeautoon parhaiten soveltuvaa imusarjan sekundääriputken mittaa kokeiltiin dynamometrimittauksin. Käytännön kokeilla saavutetut lopputulokset vaativat useita muutoksia imusarjaan, mutta kaikki työ osoittautui lopulta vaivan arvoiseksi. Lopputuloksena saavutettiin koko kierrosalueella noin 15Nm väännön nousu ja ongelmallinen alavääntö kasvoi lähes 30 Nm.		
<b>Asiasanat (avainsanat)</b>  imusarja, kilpa-auto, polttomoottorin kaasunvaihto		
<b>Sivumäärä</b> 16	<b>Kieli</b> suomi	<b>URN</b>
<b>Huomautus (huomautukset liitteistä)</b>		
<b>Ohjaavan opettajan nimi</b>  Janne Varis	<b>Opinnäytetyön toimeksiantaja</b>	

## DESCRIPTION

 <div style="display: inline-block; vertical-align: middle;"> <h1 style="margin: 0;">MAMK</h1> <p style="margin: 0;">University of Applied Sciences</p> </div>	<b>Date of the bachelor's thesis</b>	
<b>Author(s)</b> Janne Hakulinen	<b>Degree programme and option</b> Automotive and Transport Engineering	
<b>Name of the bachelor's thesis</b>  Gas exchange efficiency of internal combustion engine		
<b>Abstract</b>  <p>This work's main idea was to intensify gas exchange of tuned internal combustion engine. The purpose of tuning this engine was to calculate new dimensions for intake and exhaust manifolds. The engine was from Renault Clio 2.0 Sport rally car.</p> <p>First I found out the problems which were found in usage and then I planned the new components for the engine. I changed new intake and exhaust manifolds which boost gas exchange. I didn't change other mechanical parts which would affect the performance of the engine.</p> <p>I tested best of secondary intake pipe dimensions with dynamometer test. Practise test of the outcomes required many modifications but finally the results were excellent. The best result was achieved the shortest intake secondary pipe length and new exhaust manifold. These changes brought about 15 Nm of torque increased throughout the rev range and under 5000 rpm torque increased nearly 30Nm.</p>		
<b>Subject headings, (keywords)</b>  intake manifold, racing-car, gas exchange of internal combustion engine		
<b>Pages</b> 16	<b>Language</b> Finnish	<b>URN</b>
<b>Remarks, notes on appendices</b>		
<b>Tutor</b>  Janne Varis	<b>Bachelor's thesis assigned by</b>	

## SISÄLTÖ

1	JOHDANTO .....	1
2	KOHDEAUTON ESITTELY .....	1
3	IMUSARJA.....	3
3.1	Suunnittelun lähtökohdat .....	4
3.2	Ilman liikkeet imusarjassa .....	4
3.3	Primääriputkien mitoitus .....	4
3.4	Plenum kotelo .....	6
4	IMUSARJAN VALMISTUS .....	7
4.1	Primääriputkien valmistus .....	8
5	MITTAUKSET ERIMITTAISILLA SEKUDÄÄRI PUTKILLA.....	9
5.1	Vakio imusarjalla tehty tehonmittaus .....	9
5.2	Uusi imusarja .....	10
5.3	Uusi imusarja, 250mm pitkä sekundääri .....	11
5.4	Lopputulokset .....	12
6	PAKOSARJA.....	13
7	POHDINTA .....	15
	LÄHTEET .....	17

### LIITTEET

- 1 Imusarjan/läppäkotelon kiinnityslaipan cad-kuva
- 2 Nokka-akselin tiedot
- 3 Erityismääräykset ryhmälle FIN R 2WD

## 1 JOHDANTO

Opinnäytetyöni käsittelee Renault Clio Sport -kilpa-auton moottorin kaasunvaihdon parantamista. Auto on rakennettu Autourheilun kansallisen keskusliiton AKK:n laatimien Fin R2WD -luokan sääntöjen mukaisesti. Autolla on ajettu kilpaa muutaman kuljettajan toimesta ja havaittu, että moottori voisi reagoida kaasupolkimen liikkeisiin nopeammin. Lisäksi moottorista puuttuu kilpa-auton moottorille tavanomainen ”herkkyys”. Ennen muutoksia suoritettu tehonmittaus paljasti, että moottorin tuottamassa vääntökäyrässä on hetkellinen pudotus vääntölukemissa 3500–5000 kierrosta/min välillä. Vääntökäyrässä näkyvä vääntömomentin aleneminen huonontaa auton suorituskykyä varsinkin risteysajossa ja tilanteissa, joissa kierrokset pääsevät yllättäen laskemaan alle 5000 kierroksen.

Tarkoitukseni on mitoittaa moottorin käyttötarkoitukseen paremmin soveltuva imusarja tutkia samalla imusarjan tilavuuden ja kaasuläppäkotelon sijainnin vaikutusta moottorin tuottamaan vääntölukemaan. Tämän työn tarkoitus ei ole rakentaa parasta mahdollista huipputehoa tuottavaa moottoria, vaan lajisäännöt täyttävä ja kuljettajan ajomieltymyksiä tyydyttävä kokonaisuus.

## 2 KOHDEAUTON ESITTELY

Opinnäytetyön kohdeautona toimi Renault Clio 2.0 Sport. Auto on rakennettu vuonna 2004/2005 tehtaan toimittamasta raaka-korista ja osapaketista n-ryhmän kilpa-autoksi. Kaksivetoisten n-ryhmän auto perustuu vakiotuotantoautoon, johon saa tehdä pieniä muutoksia luokkasääntöjen sekä kansainvälisten luokitusten puitteissa. Autoon saa mm. muuttaa vaihteiston ja iskunvaimennuksen, lisätä turvavarusteet ja muuttaa moottorinohjauksen keskusyksikön ohjelmoitavaksi. Kyseisessä autossa on vakiona 172 hv ja n-ryhmän muutoksilla teho on saatu nostettua lähelle 200 hv. Kyseisellä autolla on voitettu Nuorten Rallin Suomen mestaruus vuonna 2005 n-ryhmässä alle 2000 cm<sup>3</sup> luokassa.

Kilpailukaluston kehittyessä Clion suorituskyky ei enää riittänyt vastaamaan uudempien kansainvälisten R-luokitusten mukaisten autojen suorituskykyä. Vuonna 2009 Clio muutettiin kansallisen Fin R2WD -luokituksen mukaiseksi. Luokkasäännöt ra-

joittavat moottorin virittämistä, joten parhaan moottorikokonaisuuden hakeminen on todellista hienosäätöä. Säännöt rajoittavat mm. puristussuhteen 11,5:1, imu- ja pakoventtiilin enimmäisnousu on 11,5 mm ja alkuperäisen läppäkotelon (-kotelot) saa vaihtaa suurimmillaan 64 mm läpän halkaisijalla olevaan läppäkoteloon. Kohdeautoon on vaihdettu sääntöjen puitteissa suurin mahdollinen kaasuläppäkotelo, nokka-akselit ja pakosarja. /1./

Fin R -päivityksessä vaihdettuja osia ei ole erityisesti optimoitu kyseiseen kokoonpanoon, vaan on valittu osia, jotka täyttävät vain lajisäännöt. Esimerkiksi valittua pakosarjaa ei ole mitoitettu kyseiseen kokoonpanoon, vaan tilattu mittatietoja tuntematta uudemman R3-luokituksen mukaisen Clion pakosarja. Myös nokka-akselit oli valittu ainoastaan maksiminoston perusteella, ja männät oli valittu ainoastaan puristussuhteen perusteella. Näin ollen oli aiheellista lähteä tutkimaan kokoonpanoa ja miettimään, millaisin keinoin moottorin kaasunvaihtoa pystytään parantamaan ilman, että vaihdetaan kalliita mekaanisia osia.

#### TAULUKKO 1. Kohdeauton tekniset tiedot

Moottorityyppi	4-sylinterinen rivimoottori, 4-tahtinen, 16 venttiilinen DOCH	
Poraus (mm)	82,7	(3.3 in)
Iskupituus (mm)	93	(3.7 in)
Iskutilavuus (cm <sup>3</sup> )	1998	(121.9 cu in)
Max teho vakio moottorissa (hv)/6250 rpm	172	
Max vääntö (Nm)/ 5400 rpm	200	

Taulukossa näkyvät vakioauton moottorin lähtötiedot. Osa tiedoista on muutettu myös tuumiksi sekä kuutiotuumiksi, koska useat internetistä löytyvät laskurit vaativat lähtötiedot tuumamitoissa. Taulukon tietoja tulen myöhemmin käyttämään myös imusarjan mitoitusta käsittelevissä kaavoissa.

### 3 IMUSARJA

Kohdeauton moottori on nelisylinterinen ottomoottori, jonka sylinteritilavuus 1998 cm<sup>3</sup>. Moottorin alkuperäinen imusarja varustettu melko pitkillä ja ahtailla primääriputkilla, jotka kulkevat sylinterikannen etupuolelta moottorin päälle. Moottorin päällä primääriputket yhdistyvät yhteiseen kammioon, jota kutsutaan yleisesti plenumiksi. Alkuperäisen plenum kammion tilavuus on noin 1 litra (kuva 1). Koska moottori on suunniteltu normaaliin tieliikennekäyttöön, on imusarja mitoitukseltaan monen osaluheen kompromissi. Normaalisissa tieliikennekäytössä moottorin täytyy täyttää asetetut päästö- ja meluvaatimukset, joiden ehdolla myös imusarja valmistuu. Lisäksi tieliikennekäyttö sisältää niin hidasta taajama-ajoa kuin myös nopeita moottoritienopeuksia.



**KUVA 1. Moottori ennen muutoksia**

Imusarjan muutoksen lähtökohdaksi oli saada moottoriin kaivattua kierrosherkkyyttä ja samalla oikaista moottorin tuottaman vääntökuvaajan notkahdusta. Parannusta vaatia kohteita oli kaksi ja lisäksi haluttiin säilyttää vähintäänkin lähtötason huipputeho ja vääntömomenti myös matalilla moottorin kierrosnopeuksilla.

### 3.1 Suunnittelun lähtökohdat

Suunnittelun lähtökohdaksi pidettiin yleisten kaasunvirtaukseen vaikuttavien tekijöiden huomioiminen sekä tilojen ja sääntöjen tuomat rajoitteet. Imusarjan muoto tulisi myös olla sellainen, että koko imusarja rakenne mahtuisi moottorin ja konepeiton lukkopeltilin väliseen tilaan. Tilaa rajoittaa myös edessä sijaitseva jäähdyn ja moottorin etupäässä sijaitsevat laturi ja ohjaustehostimen pumppu. Alkuperäisen mukaista moottorin päälle kaartuvaa imusarjaa ei haluttu toteuttaa, koska käytännössä on havaittu, kuinka paljon ylimääräistä työtä esimerkiksi sytytystulppien vaihto aiheuttaa. Lisäksi on huomattu, että imusarja kuumenee voimakkaasti moottorin päällä, vaikka imuilma otetaan ohjaimen avulla konepellin välistä suoraan ulkoilmasta. Imusarjassa haluttiin myös välttää turhia mutkia, jotka aiheuttavat painehäviötä. Kaksiosainen imusarja olisi myös monimutkaisempi toteuttaa kuin suora kokoojakammion kanssa valmistettu toteutus. Kahdesta osasta koostuva primääriputkisto vaatisi myös tarkan kohdistuksen liitoskohdassa, että virtausaaltoihin ei syntyisi epäjatkuvuus kohtia.

### 3.2 Ilman liikkeet imusarjassa

Imusarjassa tapahtuvaa ilman liikettä voidaan verrata ääniaaltojen akustiseen liikkeeseen ilmassa. Imuputkistossa ja imusarjassa edestakaisin liikkuva ilmamäärä aiheuttaa pulsseja, joiden taajuus voidaan laskea. Pulssin taajuutta voidaan käyttää hyödyksi siirtämään energiaa haluttuna ajanjaksona. Pulsseittain liikkuvan ilmamassan liikkeen suuntaa ohjailaan imuventtiilillä ja plenum kotelon seinämällä. Imuventtiilin sulkeutuessa paineaalto muuttaa suuntaa ja samalla menettää hiukan liike-energiaansa. Imuventtiilistä suuntansa muuttanut paineaalto törmää seuraavaksi plenum-kotelon seinään, josta se saa toisen kerta aallon takaisin imuventtiiliä kohden. Paineaallon liike-energia pienenee jokaisella kertaluvulla.

### 3.3 Primääriputkien mitoitus

Tutkittuani imusarjan mitoitusta käsitteleviä teoksia huomasin, että primääriputken mitoitukseen on olemassa useita erilaisia kaavoja. Kaikki kaavat sisältävät lähes poikkeuksetta arvioihin perustuvia oletuksia. Kaavat ovat siis karkea pohja joko kokeilemalla haetulle lopputulokselle tai tietokonesimulaatiolle. Tällä kertaa päätettiin läh-



teä hakemaan optimaalista mitoitus laskukaavojen kautta ja hakea lopullinen mitoitus käytettävissä olevan tilan perusteella.

Primääriputken halkaisija määräytyi sylinterikannessa olevan imukanavan koon perusteella. Säännöt määräävät, että imukanavien aukkojen mitat imusarjan liitostasossa on säilytettävä alkuperäisinä. Halusin pitää primääriputken halkaisijan samankokoisena kokomatalla, että putkeen ei synny mittojen vaikutuksesta tapahtuvia virtauspoikkeamia. Sylinterikannen imukanavan ympärysmitaksi mittasin 144,5 mm. Imukanava on sylinterikannen liitoskohdassa lähes ovaalin muotoinen, joten suoraan vastaavan muotoista profiilia ei löytynyt mistään. Valmistin primääriputket 46 mm alumiiniputkesta, joka kasaan puristettuna oli juuri oikean kokoinen imukanavaan.

Kokeilin ensin laskea internetistä löytyvillä laskureilla sopivaa pituutta primääriputkille, mutta kaikki laskurit antoivat hyvin erilaisia tuloksia. Kaikki laskureilla saadut mitat vaihtelivat 0,3 metristä aina 1,5 metriin riippuen, kuinka mones kerta-aalto haluttiin käyttää hyödyksi. Konehuoneessa suoritettujen mittausten jälkeen selvisi, että jo 300 mm pitkien primäärien mahduttaminen moottorin etupuolelle on mahdotonta, ilman että tehdään suuria korimuutoksia.

Päätin kuitenkin hakea oikeaa mittaa vielä käsin laskien, jotta tiedän, mitkä lähtöarvot vaikuttavat nettilaskureissakin käytetyissä kaavoissa. Tutkittuani alan kirjallisuutta tulin siihen johtopäätökseen, että plenum-kotelon kanssa varustetun imusarjan primääriputkien mitoitukseen tarkimmat tulokset saadaan käyttämällä Helmholtz-kaavaa./3./

$$l_p = \frac{\theta \cdot a}{12N \cdot k} - l_i \quad (1)$$

$l_p$ = primääriputken pituus [m]
$\theta$ = kampiakselin asteet
$l_i$ = kannen imukanavan pituus [m]
$k$ = painepulssin kertaluku
$N$ = moottorin kierrosluku [1/min]
$a$ = äänen nopeus imukanavassa [340 m/s]

Primääriputken halkaisija oli päätetty pitää samankokoisena, kuin sylinterikannen imukanava, joten päätin käyttää Helmholtz kaavasta johdettua versiota: /5/

$$l_p = \frac{15^2 \cdot a^2 \cdot F_p}{n^2 \cdot \pi^2 \cdot V_c} - l_i \quad (2)$$

$n$ = virityskierrosnopeus (1/s)
$F_p$ = Primääriputken poikkipinta-ala (m <sup>2</sup> )
$l_p$ = Primääriputken pituus (m)
$l_i$ = Imusarjan kanavan pituus (m)
$V_c$ = Sylinterin keskimääräinen tilavuus (m <sup>3</sup> )

Kaavalla 2 laskien saadaan virityсноpeudella 4500 1/min primääriputken pituudeksi 1,4 metriä. Virityсноpeudella 8000 1/min saadaan primääriputken pituudeksi 0,4 metriä. Tämän pidemmälle en alkanut käyttämään mitoituksessa laskukaavoja, koska käytävissä oleva tila on liian pieni laskien saaduille primääriputkille. Oli myös oletettavaa, että ilman ahtopainetta primääriputken mitoituksella ei saavuteta kuin muutaman Nm väännön nousu hyvin kapealla kierrosluvulla. Kyseinen moottori on kuitenkin rallikäytössä, jossa moottorilta vaaditaan laaja kierrosten käyttöalue.

### 3.4 Plenum-kotelo

Plenum-kotelon tarkoitus on koota moottorin tarvitsema ilmamäärä ja jakaa se tasaisesti kaikkien sylinterien kesken. Oikein suunniteltu plenum-kotelo edes auttaa sylinterien tasaista täyttöastetta. Tasainen täyttöaste helpottaa optimaalisen ilma-polttoaine-seoksen määrittämistä ja moottorista saadaan paras mahdollinen hyötysuhde.

Plenumin tilavuuden määrittämiseen on hankala löytää yksinkertaista laskukaavaa. Tutkin kirjallisuutta ja löysin muutaman opinnäytetyönkin, joissa asiaa käsiteltiin, mutta lähes kaikissa teoksissa mitoitus perustui moottorin kuutiotilavuuden ja oletuksena olevan kertoimen avulla saatuun tilavuusmittaan.

Plenum-kotelon tilavuutta käsittelevät teokset liittyvät yleisesti ehdettujen moottorien imusarjan mitoitukseen. Ahdetuille moottoreille pidetään yleisesti ohjesääntönä plenum-kotelon tilavuudelle kerrointa 1,8, jolla kerrotaan moottorin sylinteritilavuus.

Vapaastihengittäviin moottoreihin suositellaan jopa tilavuuskerrointa 0.5, mutta halusin kokeilla muutosta suurempaan plenum-koteloon. Alkuperäisen plenum-kotelon tilavuus on noin 1 litra, uuteen imusarjaan mitoitin plenum-kotelon ehdettujen moottorien ohjeella. Tilavuudeksi tulee näin laskien  $1.998 \text{ l} \times 1.8 = 3,6$  litraa. Plenum kotelon muotojen täytyy olla pyöreät, että sylintereille saadaan mahdollisimman tasainen ilmanvirtaus. Päädyin hankkimaan AMW dyno service Ay:n valmistaman alumiinisen plenum-kotelon. Plenum-kotelon ulkomitat ovat (90x120x440)mm. Pyöristettyjen päätyjen vuoksi pelkän kotelon tilavuudeksi tulee noin 3,2 litraa (kuva 2).



**KUVA 2. Plenum-kotelo**

#### **4 IMUSARJAN VALMISTUS**

Laskelmien jälkeen aloitin imusarjan komponenttien etsimisen. Aluksi oli tarkoitus valmistaa imusarjan kiinnityslaippa ja primääriputket alumiinista ja kokooja plenumhiilikuidusta. Hiilikuituinen plenum-kotelo olisi vaatinut hyvän muotin ja alipainetekniikan valmistukseen, joten päädyin lopulta valmistamaan koko imusarjan alumiinista.

Imusarjan kiinnityslaippaa ja kaasuläppäkotelon kiinnityslaippaa varten piirsin CAD-ohjelmalla piirustukset (liite 1) imusarjan tiivistettä apuna käyttäen. Kuvieni perusteella varkautelainen metallialan yritys leikkasi laipat (kuva 3) 20 mm alumiinista vesileikkurilla.



**KUVA 3. Imusarjan ja kaasuläppäkotelon kiinnityslaipat**

Ennen imusarjamuutosta suoritettu tehonmittaus paljasti, että polttoainesuuttimissa on lähes 100 % aukioloaika käytössä, joten uuteen imusarjaan mitoitettiin myös tuotetaan suuremmat suuttimet. Polttoainesuuttimet on alkuperäisessä imusarjassa sijoitettu primääriputken alapuolelle, aivan sylinterikannen ja imusarjan liitokseen. Uuteen imusarjaan ei loivemman lähtökulman vuoksi voitu toteuttaa alkuperäisen kaltaisia ”pitkäkärkisiä” suuttimia imusarjan alapuolella. Alkuperäisten suuttimien tilalle tilasin normaalit Boschin valmistamat suuttimet, joille valmistettiin alumiinista koneistamalla kiinnitysholkit. Holkit (kuva 4) katkaistiin oikeaan kulmaan, jotta suuttimen suihku sekoittuisi ilmaan ennen imukanavaa.



**KUVA 4. Suuttimien kiinnitysholkit**

#### **4.1 Primääriputkien valmistus**

Oikeaan mittaan katkaistut primääriputket puristin sylinterikannen puoleisesta päästä ovaalin muotoiseksi. Putkiin jäi aluksi noin 30 mm ylimääräistä kiihdytysuppilon muotoa varten ja oikean astekulman katkaisuvara. Primääriputkien plenum-kotelon puoleiseen päähän tein hydraulisen puristimen ja vastimen avulla pyöristykset. Pyöristyksen tarkoitus on kiihdyttää ja yhdensuuntaistaa primääriputkeen tapahtuvaa ilmapvirtausta. Ilman kiihdytysuppilon pyöristystä primääriputken päähän voi muodostua turbulenssia, joka aiheuttaa epätasaista sylinterien täytöstä.

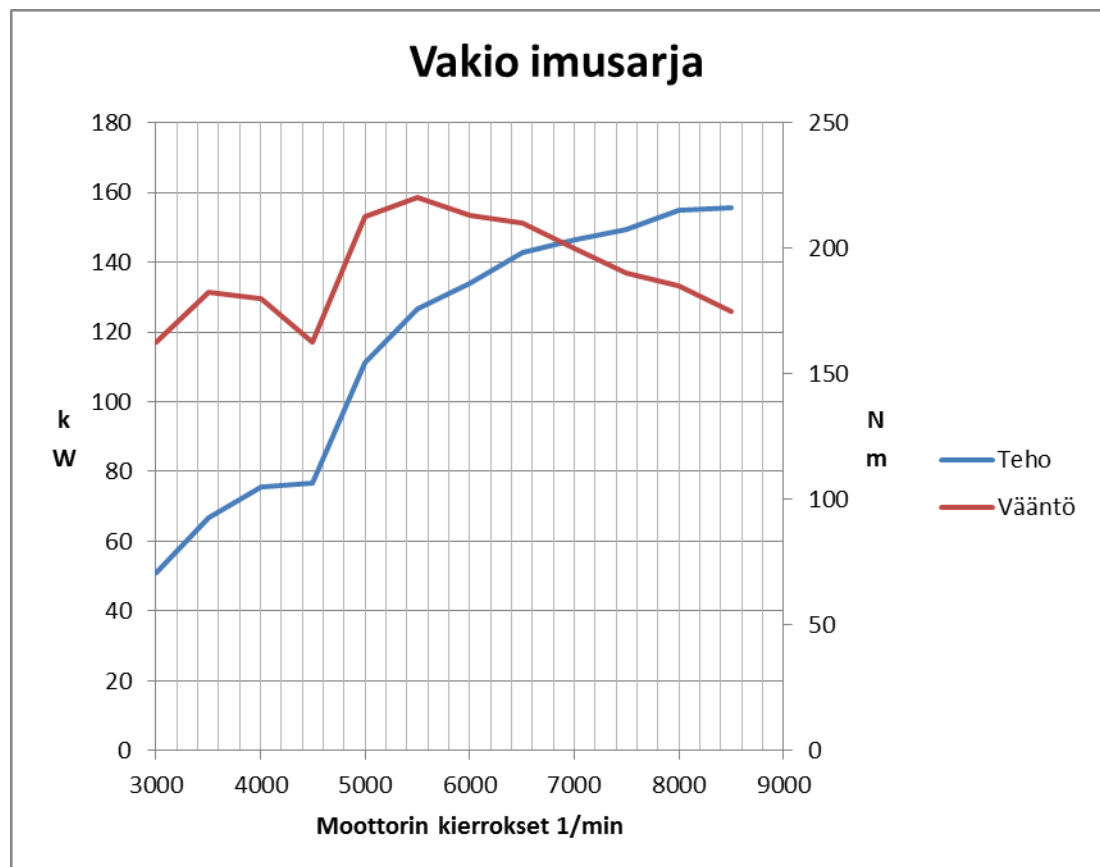
Lopuksi primääriputket, imusarjanlaippa, suutinhokit, plenum-kotelo ja sekundääriputki liitettiin toisiinsa tig-hitsauksella. Hitsaukset suoritti Otavan Teräsmies. Hitsaus-työ suoritettiin vaiheittain, että kaikki hitsausaumat päästiin tarkistamaan myös sisäpuolelta ja tarpeen vaatiessa myös hionta oli mahdollista.

## 5 MITTAUKSET ERIMITTAISILLA SEKUDÄÄRIPUTKILLA

### 5.1 Vakioimusarjalla tehty tehonmittaus

Vakio imusarjalla suoritettu tehonmittaus havainnollistaa 3500 - 5000 kierroksen välissä olevan vääntölukemien nopean laskun (taulukko 2).

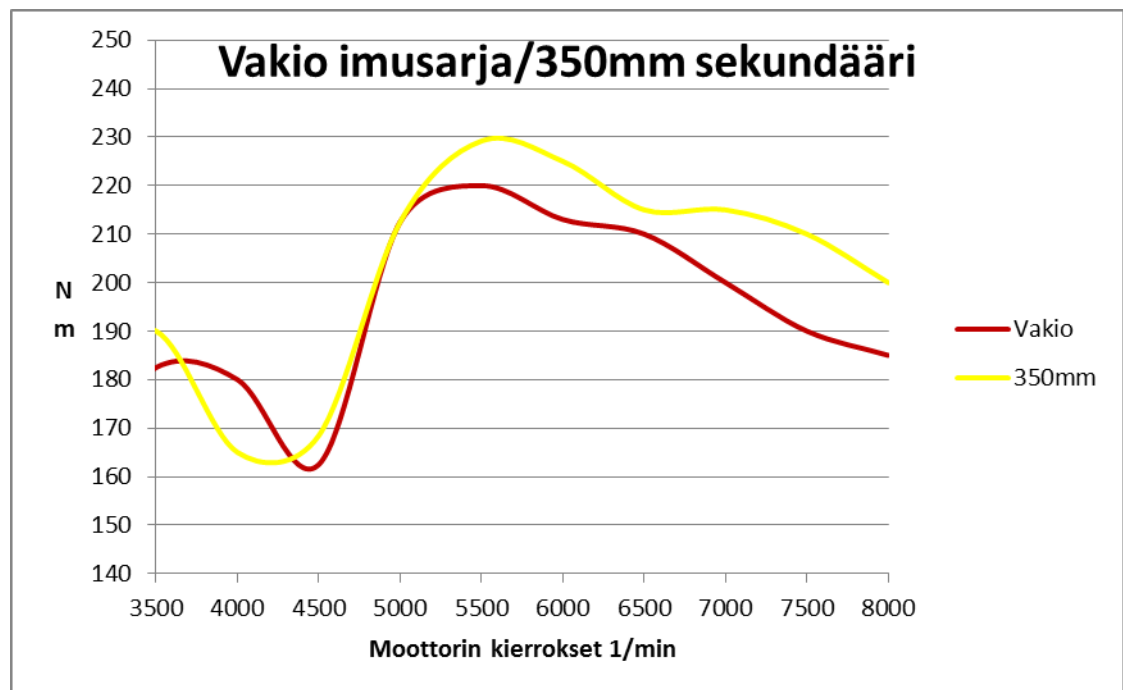
**TAULUKKO 2. Teho/vääntökuvaaja vakio imusarjalla**



## 5.2 Uusi imusarja

Aloitin uudella imusarjalla mittaukset niin pitkällä sekundääriputkella, mitä moottoritalan mitat mahdollistivat suoralla putkella. Koska uuden imusarjan myötä tuli monta muuttujaa, aikaa kului reilusti toimilaitteiden tietojen vaihtoon moottorinohjausyksikölle. Monen muutoksen jälkeen myös säätöjen hakeminen vei aikaa. Moottoriohjainyksikön säätämisen jälkeen suoritettiin tehonmittaus kolme kertaa, mittausten keskiarvo kuvaajassa ylempänä (taulukko 3).

**TAULUKKO 3. Vääntökuvaaja 350 mm sekundääri**



Muutosta vakio imusarjaan oli havaittavissa huippuväännön kierrosten 5200 1/min nousu 5650 1/min. Vääntökuvaajan muoto pyöristyi huippuväännön molemmin puolin. Vakioimusarjan pienin vääntölukema 161 (Nm) mitattiin kierroksilla 4600 1/min, uudella imusarjalla pienin vääntölukema mitattiin vähän pienemmillä kierroksilla, mutta vääntö oli kasvanut kuitenkin noin 5 (Nm).

Sekundääriputken tilavuus:

$$V = \pi r^2 h \quad (3)$$

$$V = \pi * 3,5^2 * 35$$

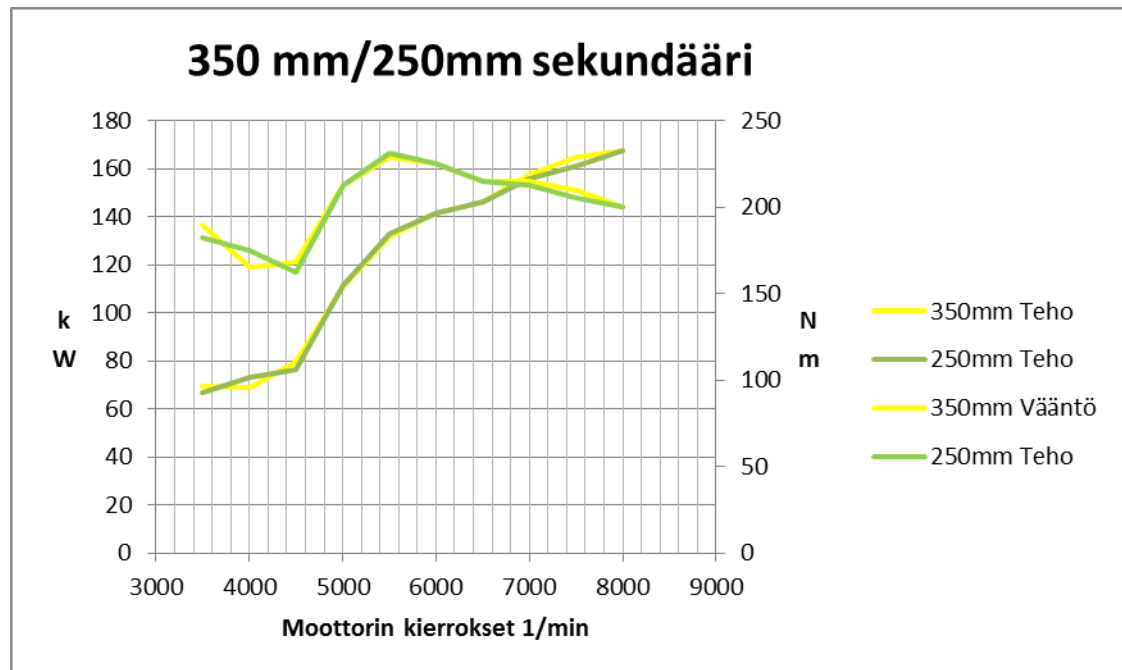
$$= 1346,96 \text{ cm}^3 \rightarrow 1,35 \text{ litraa}$$

Plenumin ja sekundääriputken tilavuus yhteensä 4,55 litraa

### 5.3 Uusi imusarja, 250mm pitkä sekundääri

Sekundääriputken lyhennys palautti vääntökäyrän muotoa alle 5000 1/min lähelle alkuperäisen imusarjan muotoa. Suurin vääntömometti mitattiin samalla kierrosluvulla kuin pidemmälläkin variaatiolla, mutta huippuvääntö kasvoi noin 5 Nm. Kuvaajien (Taulukko 4) muodon pysyessä muilta osin hyvin samankaltaisina päätettiin kokeilla vielä lyhyempää sekundääriputkea.

**TAULUKKO 4. Vääntökuvaaja 250mm sekundääri**



Sekundaariputken tilavuus:

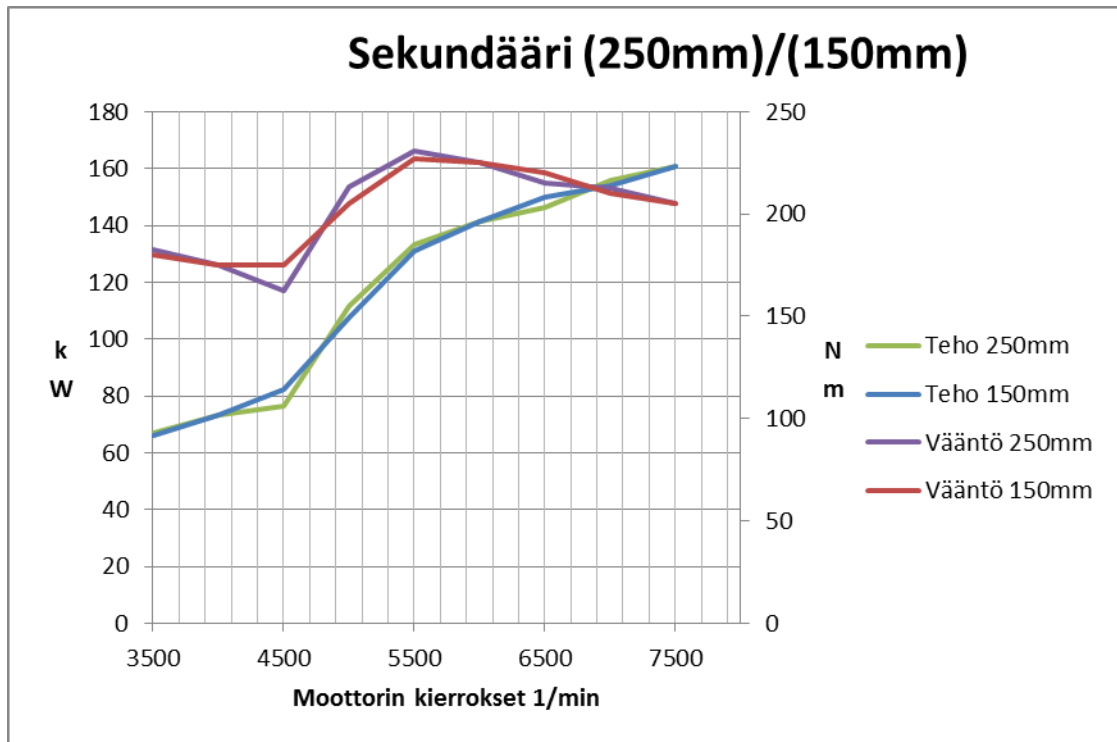
$$V = \pi r^2 h$$

$$V = \pi * 3,5^2 * 25$$

$$= 962,112 \text{ cm}^3 \rightarrow 0,96 \text{ litraa}$$

Plenumin ja sekundääriputken tilavuus yhteensä 4,16 litraa

**TAULUKKO 5. Vääntökuvaaja 150mm sekundääri**



Lyhyimmillään sekundääriputkelle saatiin mittaa plenum-kotelon päädyssä ilmanpuhdistajan kiinnityskaulukseen mitattuna 150 mm. Lyhyimmällä sekundääriputkella vääntökuvaaja (Taulukko 5) oli kaikista suoritetuista mittauksista tasaisimman muotoinen, lineaarisesti kasvava, aina suurimman vääntömomentin mittausta kierroksilla asti. Vääntömomentti pieneni hiukan 4900-5700 1/min välillä, ja suureni 5700-6700 1/min välillä. Toivottu muutos kuitenkin toteutui ja pienin mitattu vääntömomentin arvo kasvoi lähes 10Nm.

Sekundaariputken tilavuus:

$$V = \pi r^2 h$$

$$V = \pi * 3,5^2 * 15$$

$$= 577,27 \text{ cm}^3 \rightarrow 0,58 \text{ litraa}$$

Plenumin ja sekundääriputken tilavuus yhteensä 3,78 litraa

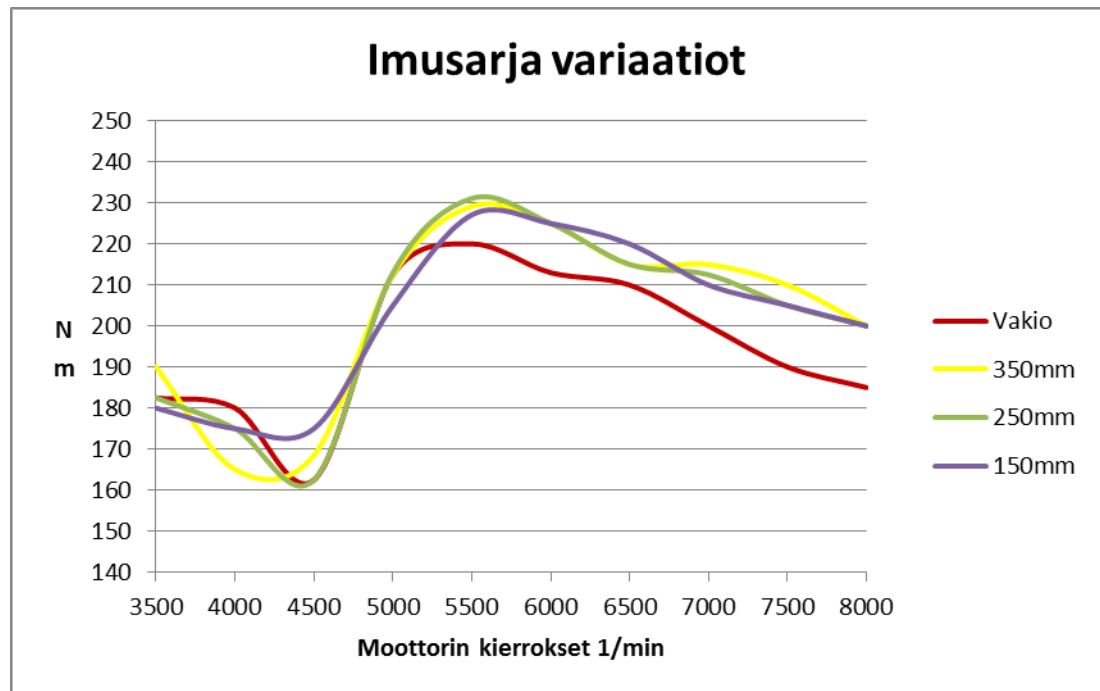
## 5.4 Lopputulos

Sekundääriputkea lyhentämällä sain kasvatettua alavääntöä, eikä vääntökuvaaja alkanut pudota korkeammillakaan kierroksilla alle vaatimustason. Päätin tehdä lopullisen version imusarjasta niin, että kaasuläppäkotelon kiinnityslaippa oli käytännössä hitsat-



tu suoraan kiinni plenum koteloon. Taulukossa 6 näkyvät kaikki imusarjaversiot. Taulukosta 6 voi havainnoida kuinka imusarja on aina jonkun osa-alueen kompromissi. Alaväännön 10Nm kasvu pienensi huippuvääntöä noin 5 Nm. Lyhyellä primääriputkella saatiin kaikkein tasaisin vääntökuvaajan muoto ja lähes kokokierrosalueen lisättyä vääntöä keskimäärin 10Nm verrattuna vakioimusarjaan

**TAULUKKO 6. Imusarja variaatiot**



## 6 PAKOSARJA

Imusarjamuutoksen jälkeen aloin epäillä pakosarjan soveltuvuutta kyseiseen kokoonpanoon. R3-pakosarjan primääriputket ovat noin 600 mm pitkät ja halkaisija on 48 mm päältä mitattuna. Työn tarkoituksena on saada paras vääntömomenti noin 5000 [1/min] kohdalle, joten käytin pakosarjan mitoituskaavoissa /2/ kyseistä kierrosnopeutta.

Primääriputken pituuden määrittäminen

$$P = \frac{850 * ED}{n} - 3$$

P = ensiöputken pituus["]
ED = 180°+pakiventtiilin avautuminen asteina EAKK
n = virityskierrosnopeus[1/min]

Moottorin tiedoilla laskien

$$\frac{850 * (180 + 40)}{5000} - 3 = 34,4 \text{ tuumaa}$$

$$34,4'' \times 25,45 = 873,76\text{mm}$$

$$ID = \sqrt{\frac{4,4 * V}{(P + 3) * 25}}$$

ID = ensiöputken halkaisija["]
V = yhden sylinterin iskutilavuus[cm <sup>3</sup> ],
P = ensiöputken pituus["].

Kaavaa käyttäen laskettuna

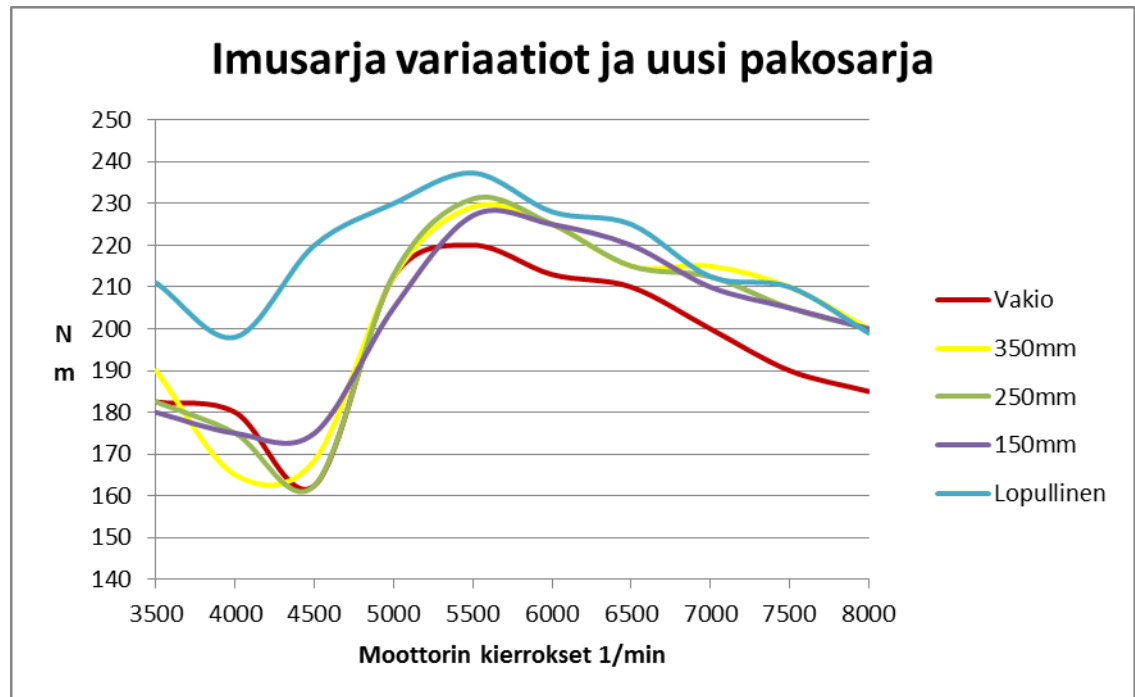
$$\sqrt{\frac{4,4 * 499,5}{37,4 * 25}} = 1,53 \text{ tuumaa}$$

$$1,53'' \times 25,45 \text{ mm} = 39 \text{ mm}$$

Auton korin mittojen tuomien rajoitteiden vuoksi suunniteltu 4-1 -pakosarja jouduttiin muuttamaan 4-2-1 -tyyppiseksi pakosarjaksi. Apurungon ja auton pohjan välinen alue oli niin kapea, että olisi ollut mahdottomuus saada mahtumaan neljä 39 mm putkea tästä välistä. Näin ollen pakosarjan mitta muutettiin kokonaisuudessaan hiukan pidemmäksi. Ensiöputkien pituudeksi valittiin lähelle laskukaavalla saatua mittaava noin 800 mm ja toisioputken mitaksi valittiin noin 130 mm, koska yhdyskollektori täytyi saada tuotua pois apurungon kohdalta. Näin saimme valmistettua pakosarjan,

jonka ominaisuudet vastaavat mahdollisimman lähelle 4-1 -sarjaa ja mitoitus on kuitenkin alavääntöä kasvattava.

**TAULUKKO 7. Imu- ja pakosarja versioiden vääntökuvaajat**



Taulukossa 7 on kuvattu kaikki imusarjaversiot ja lopullinen versio, jossa imusarjan sekundääriputki lyhyimmillään ja uusi pakosarja kiinnitettynä.

## 7 POHDINTA

Opinnäytetyö oli mielenkiintoinen kokonaisuus valmiiksi viritetyn moottorin kehitystyön parissa. Moottorin toiminnan muutokselle oli selkeä tarve, koska ennen muutosta saadut käyttökokemukset ja suoritettu tehonmittaus tukivat toisiaan. Oli siis olemassa selkeä tutkimusongelma, jota aloin ratkaisemaan.

Työhön liittyvät mittaukset jäivät haluttua vähäisimmäksi useasta eri syystä. Työssä tehdyt muutokset ja mittaukset olisivat voineet olla huomattavasti laajempia, jos käytössä olisi ollut tehonmittaukseen tarkoitettu moottorintestauspenkki. Nyt muutokset tehtiin autossa kiinni olevaan moottoriin ja mittaukset suoritettiin pyöristä tehodynamometrissä. Mittaukset suoritettiin Uudessakaupungissa Moottorityö Ari Saarisen

toimesta. Arille suuri kiitos, että hän suoritti kaikki mittaukset todella opiskelijahintaan ja jakoi ammattitaitoaan projektin eri vaiheissa.

Imusarjan valmistukseen ja mitoittamiseen liittyviä lähdeaineita oli vaikea löytää suomen kielellä. Englanninkielisissä ja varsinkin internetistä löytyvissä lähdeaineissa oli ongelmana teorian tiedon vähäisyys ja yleistyksien, joita ei edes perusteltu. Itse imusarjan mitoittamiseen löytyvät kaavat ja ”nettilaskurit” antoivat kohdeautoon toteuttamiskelvottomia ratkaisuja. Lopulta oikeaa mittaa lähdettiin hakemaan dynamometrimittauksia apuna käyttäen.

Työn tuloksiin olen tyytyväinen, koska alkuperäistä vääntökuvaajan ongelmakohtaa saatiin pienennettyä ja lisäksi moottorin tuottamaa vääntömomenttia saatiin kasvatettua läpi koko kierrosalueen. Lisäksi käytettävää kierrosaluetta saatiin kasvatettua niin alaväännön kuin myös huippukierrosten osalta.

Lisätutkimuksia olisi mielenkiintoinen kokeilla erikokoisilla plenum-kammioilla ja primääriputkien pituutta muuttamalla. Kaasunvaihtoon vaikuttavia osa-alueita on niin paljon, että pelkästään imusarjan muutoksista voisi tehdä parityön. Ensin toinen voisi kartoittaa ongelmakohdat ja tehdä tietokonesimulaatioita. Seuraava voisi rakentaa simulaatioiden pohjalta erilaisia variaatioita ja tutkia niiden vaikutusta käytännössä.

## LÄHTEET

/1/ AKK- motorsport sääntökirja. WWW-dokumentti.

<http://www.autourheilu.fi/attachements/2013-11-12T15-00-13175.pdf>. Päivitetty 12.11.2013. Luettu 16.3.2014

/2/ Esko Mauno, Virittäjän käsikirja 1. Nelitahtimoottorit, Alfamer 2002

/3/ Winterbone, Desmond E & Pearson, Richard J 1999. Design Tecnicuess for Engine Manifolds. London & Bury St Edmunds: Professional engineering Publishing

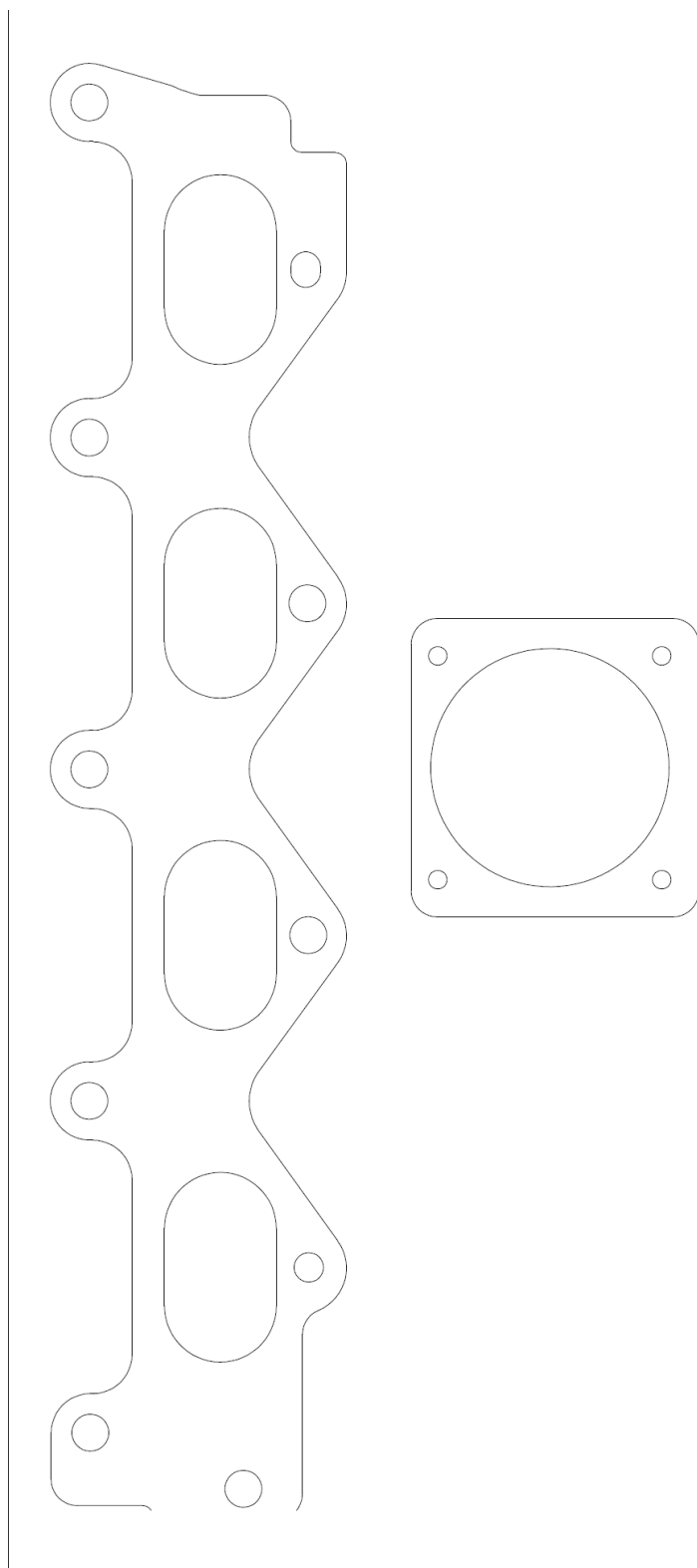
/4/ Internal Combustion Engine Induction Tuning WWW-dokumentti

[http://www.not2fast.com/gasflow/Lecture08/Lecture08\\_files/v3\\_document.htm](http://www.not2fast.com/gasflow/Lecture08/Lecture08_files/v3_document.htm). Päivitetty 8.3.2007. Luettu 30.4.2014

/5/ Team Integra. Intake Manifold Tech: Runner Size Calculations. Www-dokumentti.

<http://www.team-integra.net/forum/blogs/michaeldelaney/130-intake-manifold-tech-runner-size-calculations.html>. Päivitetty 16.3.2014. Luettu 16.3.2014.

Imusarjan/läppäkotelon kiinnityslaipan cad-kuva



Nokka-akselin tiedot

5502420

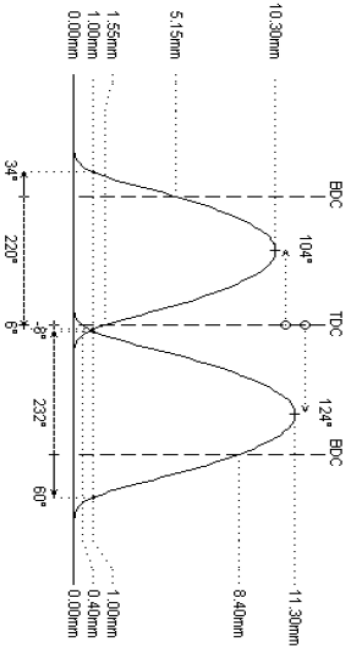
F1A.

Renault FAR 790 Clilo II (VVT in, 172/180hp)  
 140v 2.0L 16v DOHC (PRRH/PRRH)



	intake	exhaust
<b>camshaft data:</b>		
last ramp	: hydro	hydro
duration @ 0.1mm	: 271°	258°
duration @ 1.0mm	: 232°	220°
valve lift	: 11.30mm	10.30mm
cam lift	: 11.30mm	10.30mm
lobe angle	: 124°	104°
timing @ 1.0mm	: -8° / 60°	34° / 6°
valve lift @ TDC	: 0.40mm	1.55mm
<b>parts setup:</b>		
cam wheels :	...	...
follower	: OEM.	: OEM.
valve lash	: OEM.	: OEM.
valve	: OEM.	: OEM.
valve locks	: OEM.	: OEM.
upper retainer	: OEM.	: OEM.
lower retainer	: OEM.	: OEM.
exterior spring	: OEM.	: OEM.
interior spring	: OEM.	: OEM.
filled load / length	: 20kg @ 34.5mm	: 20kg @ 34.5mm
max load / lift	: 68kg @ 11.3mm	: 68kg @ 11.3mm

REMARKS :



REMARKS :

# camshafts for use with VVT on intake (like original)

**LIITE2**

**Nokka-akselin tiedot**



## X Erityismääräykset ryhmälle FIN R 2WD

### 1. Määritelmä

Vain ryhmään A luokiteltua tai AKK:n kansallisesti luokittelemaa autoa saa käyttää. Auton vuosimallin tulee olla 2000 tai uudempi, mikäli auton KV-luokitus on ollut voimassa vuonna 2000, voidaan autoa käyttää vuosimallista riippumatta luokitusten ja lisäluokitusten mukaisena. Automallin tulee olla alun perin kaksivetoinen ja moottoriltaan ahtamaton enintään 2000 cm<sup>3</sup>. Kaikki mitä nämä säännöt eivät erikseen salli on kielletty, eikä sallittu muutos saa johtaa kiellettyyn muutokseen.

Art 251–253 ovat voimassa.

### 2. Vähimmäispainot

Auton minimipaino kilpailukunnossa:

tilavuus enintään	paino
1400 cm <sup>3</sup>	920 kg
1600 cm <sup>3</sup>	1000 kg
2000 cm <sup>3</sup>	1080 kg

Mikäli lisäpainoja joudutaan asentamaan, on ne kiinnitettävä ohjaamon lattiaan ja niissä on oltava sinetöintimahdollisuus.

### 3. Sallitut muutokset ja lisäykset

Kaikenlainen aineen ja osien lisääminen on kielletty, ellei sitä ole erikseen näissä säännöissä sallittu.

Alkuperäisen kanssa identtisten osien (ns. tarvikkeiden) käyttö on sallittu. Alkuperäinen tarkoittaa FIA perusluokiteltua tai automallin ensiasennusosaa. VK-lisäluokituksia voidaan käyttää. Lisäluokituksia voidaan käyttää myös yksittäin vaikka luokitusodistus vaatii useamman lisäluokituksen yhdistämisen.

#### 3.1. Moottori

**3.1.1** Moottorin maksimitilavuus on enintään 2000 cm<sup>3</sup>.

Moottorin tiivisteet ovat vapaat.

Sylinterilohkon tasojen koneistus on sallittu.

**3.1.2** Moottorin alkuperäistä sylinteritilavuutta saa muuttaa putkittamalla, uudelleen putkittamalla tai poraamalla.

Alkuperäinen kuutiolavuus saa kuitenkin kasvaa enintään 25 %.

**3.1.3** Moottorin kiinnityspisteitä koriin saa lisätä. Alkuperäisiä kiinnityksiä saa vahvistaa, mutta niitä ei saa poistaa.

**3.1.4** Männät, männänrenkaat ja männäntapit ovat vapaat.

Männänrenkaiden lukumäärä on oltava vähintään kolme.

Männän tapin kiinnitys mäntään ja kiertokankeen on vapaa.

Moottorin puristussuhde saa olla enintään 11,5:1.

**3.1.5** Kiertokangens materiaali ja muoto on vapaa. Alkuperäinen kiertokangens pituus on säilytettävä (mittattuna männäntapin reiän keskeltä kampiakselin laakerikaulan keskelle). Kiertokangens paino saa muuttua alkuperäisestä +/- 15 %.

**3.1.6** Alkuperäinen kampiakseli on säilytettävä.

Kampiakselin laakereiden tyyppi ja lukumäärä on säilytettävä, muuten ne ovat vapaat.

Kampiakselin pinnoitus ja kaulojen hionta on sallittu, mutta alkuperäinen iskun pituus ei saa muuttua.

**3.1.7** Sylinterikannen tason koneistus on vapaa.

Sylinterikannen tiiviste on vapaa.

Venttiililautasen ja varren halkaisija on säilytettävä alkuperäisenä, muuten venttiilit ovat vapaat. Seetit, seetirenkaat ja venttiilin ohjaimet ovat vapaat.

Kannen koneistus on sallittu, mutta imu- ja pakokanavien aukkojen mitat sarjojen liitostasossa on säilytettävä alkuperäisinä. Nostimien reikien holkittaminen on sallittu.

**3.1.8** Imujärjestelmä on vapaa samoin imusarja. Polttoaineen syöttö on vapaa. Suorasuihkutus on oltava alkuperäinen.

**3.1.9** Kaasupolkimen ja kuristinlähän välisen yhteyden tulee olla alkuperäinen tai voidaan muuttaa mekaaniseksi. Mekaaniseen yhteyteen vivustot ja vaijerit saadaan valmistaa vapaasti.

Kaasupolkimen saa vaihtaa kohdan 3.5.4 mukaisesti.

Alkuperäisen läppäkotelon (-kotelot) saa vaihtaa max. 64 mm läpän halkaisijalla olevaan läppäkoteloon.

**3.1.10** Pakosarja on vapaa.

Pakoputkiston tulee olla ajoneuvojen varustusta ja tarvikkeita koskevien asetusten ja art 252.3.6. mukainen.

Toimiva katalysaattori on pakollinen.

**3.1.11** Voitelujärjestelmä on vapaa, mutta öljyn kierron periaate on säilytettävä.

Moottorilohkon sisään saadaan asentaa öljyä ruiskuttavia putkia.

Öljynjäähdyttimen saa lisätä. Öljynjäähdytintä ei saa asentaa ohjaamoon, mutta sen on muuten sijaittava korirakenteen sisäpuolella.

**3.1.12** Nokka-akseli(t) ja venttiilikoneisto ovat vapaat seuraavin rajoituksin:

- Imu- ja pakoventtiilin enimmäisnousu on 11,0 mm.
- Muuttuva-ajoituksista nokka-akselia saa käyttää vain, jos kyseinen toimintatapa on moottorissa alkuperäisenä.
- Ainoastaan alkuperäisiä muuttuvanostoisia keinuviipuja ja nostimia saa käyttää.
- Venttiilijousien tyyppi ja toimintatapa on säilytettävä. Venttiilijouset, myös lukumäärä, jousilautaset ja venttiililautasen lukitus ovat vapaat. Venttiilinjousia saa säätää säätölevyllä.
- Hydrauliset venttiilinvälit tasaimet saa vaihtaa kiinteisiin.
- Keinuvipusuhde on säilytettävä alkuperäisenä.

**3.1.13** Nokka-akselin (-akselien) käyttöpyörä (t) on vapaa.

**3.1.14** Moottorin jäähdytys: tuulettimet, vesipumppu ja jäähdytin ovat vapaat. Jäähdyttimen tulee sijaita alkuperäisellä paikalla, mutta sen kiinnikkeet saa muuttaa. Korimuutokset eivät ole sallittuja.

**3.1.15** Vauhtipyörä on vapaa, mutta sen tulee olla metallia ja magneettinen.

## Erityismääräykset ryhmälle FIN R 2WD

Vauhtipyörän minimipaino starttikehineen ja kiinnityspultteineen on 5,0 kg.

Lisäluokitellun vauhtipyörän käyttäminen on sallittu.

**3.1.16** Polttoainepumppujen lukumäärä, sijainti ja tyyppi ovat vapaat.

Polttoainesuodattimet ovat vapaat.

Polttoainejärjestelmään saadaan asentaa max yhden litran keräilysäiliö.

**3.1.17** Ruiskujärjestelmä.

Alkuperäinen ruiskujärjestelmä voidaan vapaasti vaihtaa toiseen. Ruiskutuslaitteiden tyyppi ja paikka ovat vapaat. Ruiskutusjärjestelmää varten voidaan moottoriin asentaa tarvittavat anturit. Käytettäessä suoraruiskutusta on sen oltava alkuperäinen.

**3.1.18** Sytytysjärjestelmä

Sytytysjärjestelmä voidaan vapaasti vaihtaa toiseen järjestelmään. Järjestelmän vaatimien antureiden asentaminen on sallittu.

### 3.2 Voimansiirto

**3.2.1** Voimansiirron tiedonkeruun asentaminen on sallittu. Tiedonkeruun antureita saa olla vain yhdessä vetävässä pyörässä.

**3.2.2** Kytkinlevy ja paineasetelma ovat vapaat, mutta kytkinlevyjen lukumäärän tulee säilyä alkuperäisenä. Lisäluokiteltua kytkintä voidaan käyttää.

Kytkimen toiminnan ohjaus tulee olla alkuperäinen.

Kytkinpolkimen voi vaihtaa kohdan 3.5.4 mukaisesti.

- 3.2.3** Vaihdelaatikko on vapaa seuraavien rajoituksin:
- Vaihdelaatikon kuoret tulee olla alkuperäiset.
  - Lisäkiinnityksiä saa asentaa ja alkuperäisiä vahvistaa, mutta ei poistaa.
  - Kuorien vahvistaminen ainetta lisäämällä on sallittu ja niitä saa koneistaa, mutta kuorien alkuperä on oltava tunnistettavissa.
  - Vain mekaaninen vaihteisto, jota kuljettaja ohjaa mekaanisesti on sallittu.
  - Vaihdekaavio on vapaa.
  - Vaihteensiirtovivusto ja vaihdekeppi ja niiden sijainnit ovat vapaat.
  - Vaihteistossa saa olla enintään 6 vaihdetta eteenpäin.
  - Toimiva peruutusvaihte on pakollinen.
  - Lisäluokitellut vaihteistot ovat sallittuja, mikäli eteenpäin olevien vaihteiden lukumäärä ei ylitä 6 ja vaihteistoa ohjataan kuljettajan toimesta mekaanisesti.

**3.2.4** Voimansiirron akselit ja nivelet ovat vapaat.

**3.2.5** Vetopyörästä on vapaa. Mekaanisen tasauspyörästä luvon saa asentaa, mutta 100 % lukko on kielletty.

**3.2.5** Luistonestojärjestelmät eivät ole sallittuja. Myös alkuperäinen luistonestojärjestelmä tulee poistaa.

### 3.3 Pyöränripustus

**3.3.1** Tukivarsien on oltava alkuperäisiä. Alkuperäistä tukivartta saa vahvistaa ainetta lisäämällä ja vahvistuksen ei tarvitse seurata alkuperäistä muotoa, mutta tukivarren alkuperä on aina oltava tunnistettavissa. Nivelpisteiden joustavan materiaalin saa korvata toisel-

lä materiaalilla tai nivelellä, jonka materiaalin ei tarvitse olla joustava.

**3.3.2** Pyöränripustuksen osien kiinnityspisteet korissa saa vahvistaa, mutta lisäävän materiaalin tulee seurata alkuperäistä muotoa. Pyöränripustuksen kiinnityspisteiden kiertymisakselin paikka saa muuttua enintään 20 mm.

**3.3.3** Taka-akselin vahvistaminen ainetta lisäämällä on sallittu, mutta kiinnityspisteiden määrä ja paikka eivät saa muuttua.

**3.3.4** Iskunvaimentimet ja jouset ovat vapaat, mutta tyyppi, lukumäärä ja paikka on säilytettävä. Jousi/iskunvaimennin yhdistelmät ryhmän N sääntökohdan 254.6.3. mukaisesti on sallittu.

**3.3.5** Kallistuksenvaimentimen saa asentaa. Myös alkuperäisen muuttaminen tai poistaminen on sallittua, vaikka se olisikin pyöränripustuksen osa.

**3.3.7** Ohjauksen välityssuhde on vapaa, mutta ohjausvälityksen kotelo on säilytettävä alkuperäisenä. Tehostimen voi poistaa tai lisätä mallisarjan osia käyttäen (m.l kotelo). Mikäli tehostettua ohjausta ei ole malliin saata- valla, saadaan sähköinen sellainen asentaa. Mikäli tällöin joudutaan vaihtamaan koko ohjauspylväs, tulee sen olla toisesta E-hyväksytystä autosta kokonaisuudessaan.

Tehostajan öljysäiliö on vapaa.

**3.3.8** Vanteet

Suurin sallittu vanteen halkaisija on:

- Talvella 16"
- Kesällä 15"

Renkaan ja vanteen välissä saa olla vain ilmaa.

Magnesiumvanteet ovat kielletty. Muuten vanteet ovat vapaat.

**3.3.9** Pyörännavat tulee olla alkuperäisiä, reikäpiirin pyöränkiinnityksessä tulee myös olla alkuperäinen.

Käytettäessä vanteen ja pyörän navan välissä levikepalloja, tulee niiden olla kiinnitetty pyörän napaan, eikä alkuperäinen vanteen keskitystapa saa muuttua. Suurin sallittu levikepalan paksuus on 25,4 mm.

Pulttikiinnityksen saa vaihtaa pinnapulttikiinnitykseen.

### 3.4 Kori

**3.4.1** Korirakenteen on oltava terästä. Vahvistaminen on sallittu, mutta lisäävän aineen on seurattava korin alkuperäistä muotoa. Myös ryhmän N sääntökohdan 254.6.7.4. mukaiset vahvistukset ovat sallittuja.

**3.4.2** Mikäli ei käytetä alkuperäisiä ovi- tai takasivuverhoiluja, on ne korvattava joko vähintään 1 mm paksuisella alumiinilla tai hiilikuidulla tai 2 mm paksuisella palamattomasta ja kiinteästä materiaalista tehdyllä levyllä.

Myös ryhmän N sääntökohdan 254.6.7.2.3. mukaiset muutokset ovat sallittuja. Kaiken muun verhoilun ja eristemateriaalin saa poistaa tai muuttaa. Hansikaslokeron saa poistaa.

**3.4.3** Toisenlaista mittaristoa ja sähkökatkaisimia varten voidaan kojelautaan tehdä vastaavat muutokset.

**3.4.4** Alkuperäiset vakaajasiivekkeet saa poistaa. Auton takaosaan saa asentaa alkuperäisestä poikkeavan vakaajasiivekkeen seuraavien ehtojen:

## Erityismääräykset ryhmälle FIN R 2WD

- ylhäältä ja edestä katsottuna se ei saa ylittää auton ääriiviivoja.
- siivekkeen tulee kiinnikkeineen mahtua sivulta katsottuna 15cmx15cm neliöön.

**3.4.5** Puskurin pintamateriaalin voi vaihtaa, mutta ulkonäkö ja muu rakenne tulee säilyttää.

**3.4.6** Alkuperäiset muovihelmat saa poistaa

**3.4.7** Ulkopuoliset koristelivat voidaan poistaa. Koristeliksi katsotaan lista, joka seuraa auton ulkomuotoa ja on enintään 55 mm korkea.

**3.4.8** Varapyöräkoteloon saadaan asentaa polttoainesäiliö.

### 3.5 Jarrut

Jarrujärjestelmässä saadaan käyttää ainoastaan jarrujärjestelmiä valmistavan tehtaan toimittamia osia. Autossa on oltava toimiva käsijarru.

**3.5.1** Lukkiutumattomat jarrujärjestelmät tulee poistaa.

**3.5.2** Vähintään 2-piiriset jarrut pakolliset.

**3.5.3** Jarrut ovat vapaat seuraavin rajoituksin:

- Jarrusylinterien mäntien lukumäärä pyörää kohden saa olla enintään 4 tai luokiteltu.
- Jarrulevyn enimmäishalkaisija saa olla enintään 310 mm
- Jarrulevyn materiaalin tulee olla rautaa ja magneettista.
- Lisäluokitellut jarrut ovat sallittuja.

Taka-akselin rumpujarrut saa vaihtaa levyjarruiksi. Tällöin tulee käyttää osia, jotka ovat keskenään vaihdettavia vain pulittaamalla erilaiset osat yhteen.

**3.5.4** Poljinasetelma voidaan korvata käyttämällä tehdastekoista erityisesti kilpailukäyttöön tarkoitettua poljinasetelmaa. Poljinasetelman toimintaperiaate tulee säilyttää (tallattava/roikkuva). Mikäli autossa on alkuperäisenä molempia poljintyyppisiä, saadaan toimintaperiaate valita vapaasti kummasta tahansa.

### 3.6 Muut varusteet

**3.6.1** Johtimien ja putkien järjestelyä, sijoitusta ja materiaalia saa muuttaa (tämä koskee ilma, vesi, polttoneste ym. nesteputkia sekä jousitusjärjestelmää ja sähköjohtimia). Nesteputket saavat kulkea ohjaamon läpi, mutta niissä ei saa olla ohjaamon osalla liitoksia. Kuumien nesteputkien johtaminen ohjaamon läpi ei ole sallittu, ellei tätä ole toteutettu sarjavalmistuksessa, jolloin niiden tulee olla tehokkaasti suojattu. Art 253.3. on voimassa.

**3.6.2** Polttoainesäiliö voidaan vaihtaa joko FT3 tai SFI28.1 standardin mukaiseen turvasäiliöön. Polttoainesäiliön paikkaa voidaan muuttaa mutta sitä ei saa

sijoittaa ohjaamoon.

**3.6.3** Polttoainesäiliön täyttöaukon on sijaittava auton ulkopuolella, ellei käytetä kohdan 3.6.2 mukaista turvasäiliötä. 2-tila autoissa tulee turvallisuussäiliökin kattaa kokonaisuudessaan paloseinällä tai kotelolla (koskee myös täyttöaukkoa ja -putkea). Yhden litran keräilyssäiliön saa asentaa polttoainejärjestelmään.

**3.6.4** Sähköjärjestelmä.

- Moottorin ohjainyksikkö saadaan vaihtaa.
- Laturi, sen paikka ja kiinnikkeet ovat vapaat.
- Johtosarjat, kytkimet, sulakkeet ja releet ovat vapaat.
- Mittareiden lisääminen tai korvaaminen toisella on sallittu. Syntyneet aukot on peitettävä.
- Akun paikka ja lukumäärä on vapaa. Mikäli akku sijaitsee muualla kuin alkuperäisellä paikalla, tulee se kiinnittää ryhmän A säännön 5.8.3 mukaan.
- Nimellisjännite on säilytettävä alkuperäisenä.
- Toimiva lasinpesujärjestelmä on säilytettävä. Takalasin pyyhin ja pesin voidaan poistaa.

**3.6.5** Sytytysjärjestelmä on vapaa, sytytystulppien alkuperäinen tyyppi (kierre, paikka ja toiminta) säilytettävä.

**3.6.6** Kaikki apulaitteiden käyttöpyörät ja hihnat ovat vapaat.

**3.6.7** Varapyöriä saa olla autossa mukana enintään 2 kpl. Varapyörän saa sijoittaa matkustajille varattuun tilaan.

### 3.7 Erityisiä määräyksiä

**3.7.1** Auton aerodynamiikka ei saa olla ajon aikana säätyvä.

**3.7.2** Keraamisia mekaanisia osia saa käyttää vain, mikäli ne ovat alkuperäisiä.

**3.7.3** Pohjapanssareiden käyttö ja niiden materiaali on vapaa. Pohjapanssari saa suojata vain moottoritilaa ja voimansiirtoa. Alustaa suojaavia läppiä saa asentaa.

**3.7.4** Moottorin ja voimansiirron tiivisteet ovat vapaat.

**3.7.5** Moottoritilasta saadaan poistaa kaikki moottoria suojaavat osat.

**3.7.6** Lokasuojien sisältä saadaan poistaa kaikki irrotettavat suojat.

**3.7.7** Art. 251 – 253 kohdissa mainitut vapautukset ja rajoitukset A-ryhmää koskien ovat voimassa.