

TAMPEREEN AMMATTIKORKEAKOULU
Auto- ja kuljetustekniikan koulutusohjelma
Auto- ja työkonetekniikka

Tutkintotyö

Joni Joenniemi

SFR-PROJEKTI

Moottori

Työn ohjaaja
Työn teettäjä
Tampere 2007

Tekn. lis. Tauno Kulojärvi
Team SFR ry

TAMPEREEN AMMATTIKORKEAKOULU

Auto- ja kuljetustekniikka

Auto- ja työkonetekniikka

Joenniemi, Joni

SFR-projekti, Moottori

Tutkintotyö

58 sivua + 5 liitesivua

Työn ohjaaja

Tekn. lis. Tauno Kulojärvi

Työn teettäjä

Team SFR ry

Huhtikuu 2007

Hakusanat

pakosarjan suunnittelu ja valmistus, jäähdytysjärjestelmän mitoitus, moottorinohjausjärjestelmä

TIIVISTELMÄ

SFR (Small Fast Racer) -projekti eli pienen nopean kilpa-auton tuotekehitysprojekti on opinnäytetyö viidelle Tampereen ammattikorkeakoulun auto- ja kuljetustekniikan opiskelijalle. Projektin tavoitteena on ollut suunnitella ja rakentaa ratakäyttöön tarkoitettu formulatyypinen yhden hengen rata-ajoneuvo, tavoittelematta kuitenkaan kilpaluokitusta ajoneuville. Projekti jaettiin viiteen eri osa-alueeseen ja tämä raportti käsittelee moottoripyörän moottorin installointia SFR-auton voimälähteeksi. Pääpaino on moottoriin liittyvien osa-alueiden suunnittelussa ja rakentamisessa.

Työn tavoitteena on ollut saada moottorista tehokas ja luotettavasti toimiva, ottaen huomioon moottorin alkuperäisestä poikkeava käyttötarkoitus. Työssä on esitelty moottorille ja siihen liittyville osakokonaisuuksille tehtyjä toimenpiteitä näiden kriteerien saavuttamiseksi.

Työn sisältö on pääkohdittain; moottorin ominaisuudet ja sille tehdyt tarkastus ja kunnostustoimenpiteet, pakosarjan mitoitus ja valmistus sekä jäähdytysjärjestelmän mitoitus. Raportissa on lisäksi kerrottu moottorinohjausjärjestelmän valinnasta, kerrottu valitun järjestelmän ominaisuudet ja toiminta sekä käsitelty järjestelmään liittyvät anturoinnit ja sähköasennukset.

Auto on tarkoitus saada valmiiksi kesän 2007 aikana. Kun auto on valmis, sillä osallistutaan erilaisiin harrastetapahtumiin, ja autolla ajetaan radalla mahdollisuuksien mukaan. Yhdistyksen jäsenet jatkavat auton kehitystä myös tulevaisuudessa.

TAMPERE POLYTECHNIC

Automobile and Transport Engineering

Automobile and Off Road Vehicle Engineering

Joenniemi, Joni

SFR-project, Engine

Engineering Thesis

58 pages, 5 appendices

Thesis Supervisor

Tech. lis Tauno Kulojärvi

Commissioning Company

Team SFR ry

April 2007

Keywords

exhaust manifold, cooling system, engine management system

ABSTRACT

The Small Fast Racer (SFR) project is a research and development engineering thesis for five students studying at Tampere Polytechnic. The aim of the thesis was to design and manufacture a formula type racetrack vehicle for one person. The project has been divided up into five parts and this report deals with using a motorcycle engine as a power source for the SFR car. The main point of this thesis has been engineering and constructing. The aim of the thesis was to make the engine work efficiently and reliably as the engine won't be used for its original purpose. This thesis explains what kinds of steps were taken to achieve these criteria. The main steps which are introduced in this thesis are: introducing of the engine and the measurements that have been made for it, dimension and manufacture exhaust manifold and dimension cooling system. This thesis also has information on how to choose the engine management system. The thesis also describes the sensors and electrical mountings of the engine and system. The purpose is that the car will be ready in summer 2007. When the car is finished, it will take part in different kinds of car events as well as being driven on race tracks when it is possible. The development of the car will continue in future.

ALKUSANAT

Tämä työ on tehty tutkintotyönä Team SFR ry:lle.

SFR-auto suunniteltiin ja rakennettiin tuotekehitysprojektiluonteisena kevään 2006 ja kevään 2007 välisenä aikana. Ajatus auton rakentamisesta syntyi, kun mietittiin eri tutkintotyö aiheita. Aiheen kiinnostavuutta lisäsi, että Tampereen ammattikorkeakoululla ei ole aikaisemmin toteutettu vastaavanlaista projektia. Projektin moottorista vastaavana henkilönä sain tutustua tarkemmin moottoriin liittyvien osien suunnitteluun ja rakentamiseen. Rakennusvaiheet suoritin Tampereen ammattikorkeakoulun tiloissa. Työ oli mielekästä ja työn ohessa opituista uusista asioista on varmasti hyötyä tulevaisuudessa myös ammatillisessa mielessä.

Työn toteutumisen mahdollisti Oy Brandt Ab, jolta saimme lahjoituksena moottorin autoomme. Moto-Osat oli myös tukemassa projektiamme. Erityiskiitokset tahdon esittää Softatech Oy:n Marko Reposelle työn onnistumisesta ja vaimolleni Elinalle kärsivällisyydestä. Tahdon kiittää myös työn valvojaa, tekn. lis. Tauno Kulojärveä työni ohjauksesta, sekä Tampereen ammattikorkeakoulun laboratorioinsinööri Jari Seppälää tilojen järjestämisestä.

Tampereella 1.5.2007



Joni Joenniemi

SISÄLLYSLUETTELO

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

ALKUSANAT

SISÄLLYSLUETTELO	5
1. JOHDANTO	6
2. PROJEKTIN TOTEUTUS	7
3. MOOTTORI	11
3.1 Moottorivaihtoehtojen vertailu	11
3.2 Moottorin hankinta	13
3.3 Moottorin esittely	14
4. MOOTTORIN TARKASTUS JA KUNNOSTUS	16
4.1 Moottorivaurion selvittäminen	17
4.2 Halkeaman korjaus	18
5. PAKOSARJA	21
5.1 Pakosarjan mitoitus	23
5.2 Pakosarjan valmistus	26
6. JÄÄHDYTYSJÄRJESTELMÄ	33
6.1 Moottorin jäähdytysjärjestelmä	34
6.2 Jäähdytysjärjestelmän mitoitus	35
6.2.1 Mitoitus joutokäyntitilanteessa	37
6.2.2 Mitoitus täydellä moottorin kuormituksella	40
7. MOOTTORINOHJAUSJÄRJESTELMÄ JA SÄHKÖASENNUKSET	45
7.1 Järjestelmän valinta	45
7.2 Järjestelmän ominaisuudet ja toiminta	46
7.3 Moottorin anturointi	49
7.4 Moottoriin liittyvät sähköasennukset	52
8. YHTEENVETO	55
LÄHTEET	58
LIITTEET	

1. Projektikuvaus
2. Leikkautettujen osien piirustukset
3. TATECH-moottorinohjausjärjestelmän kytkentäkaavio

1. JOHDANTO

SFR (Small Fast Racer) -projektin tavoitteena on suunnitella ja rakentaa ratakäyttöön tarkoitettu ajoneuvo. Projekti toteutetaan tuotekehitysprojektina. Projekti jaetaan viiteen eri osaan. Tämän työn tavoitteena on tutkia, mitä toimenpiteitä moottoripyörän moottorille joudutaan tekemään, jotta se sopii SFR-auton voimanlähteeksi. Kaikki moottoriin liittyvät rakennusvaiheet suoritetaan Tampereen ammattikorkeakoulun tiloissa kevään 2006 ja kevään 2007 välisenä aikana.

Käsite moottori on monelle itsestäänselvyys ja kaikilla on varmasti jonkin asteinen kuva siitä, mitä sanalla tarkoitetaan. Harvalla on kuitenkaan tietoa siitä, mitä kaikkea moottori tarvitsee toimiakseen tehokkaasti ja luotettavasti. Moottorin käyttösellaisessa käyttötarkoituksessa, johon sitä ei ole alun perin suunniteltu, lisää huomioon otettavien seikkojen määrää tehokkaan- ja luotettavan toiminnan takaamiseksi.

Työn tavoitteena on saada moottorista tehokas ja luotettavasti toimiva. Työssä selvitetään moottorin ominaisuudet ja sille tehtävät tarkastus ja kunnostustoimenpiteet, pakosarjan mitoitus ja valmistus sekä jäähdytysjärjestelmän mitoitus. Lisäksi valitaan moottorinohjausjärjestelmä, sekä esitellään se. Lisäksi käsitellään järjestelmään liittyvät sähköasennukset. Moottorin säätö rajataan pois asian laajuuden vuoksi.

2. PROJEKTIN TOTEUTUS

SFR-projekti on käytännössä ensimmäinen Tampereen ammattikorkeakoulun auto- ja kuljetustekniikan opiskelijoiden voimin toteutettava tämän tyyppinen ja näin laaja-alainen projekti. Tästä syystä oli alusta asti selvää, että jouduttaisiin tekemään paljon töitä pelkästään erilaisten projektin rahoitukseen ja yleiseen läpivientiin liittyvien asioiden kanssa. Projektia ovat olleet oppilaitoksen puolesta alusta asti tukemassa auto- ja kuljetustekniikan koulutuspäällikkö Tauno Kulojärvi, yliopettaja Erkki Nuutio sekä autolaboratorion laboratorioinsinööri Jari Seppälä. Tässä luvussa käsitellään projektin toteutusta yleisellä tasolla, ja tämä osio on kaikissa projektista valmistuneissa tutkintotöissä samanlainen.

Projekti aloitettiin aloituskokouksella helmikuussa 2006. Kokouksen päätarkoituksena oli jakaa projekti osa-alueisiin ja nimetä jokaiselle osa-alueelle vastuuhenkilö. Päädyttiin seuraavanlaiseen tehtäväjakoon:

- | | |
|--------------------------------------|---------------------|
| - Moottori ja voimansiirto: | Joni Joenniemi |
| - Runko: | Vesa-Matti Salminen |
| - Alusta ja ohjaus: | Jukka Kallio |
| - Kate, ohjaamo ja hallintalaitteet: | Pasi Kuusisto |

Projektin päätavoitteiksi asetettiin erityisen huomion kiinnittäminen turvallisuuteen, suorituskyykyyn, sekä ulkonäköön. Myös luotettavaa toimintakykyä pidettiin tärkeänä. Nämä seikat pyrittiin pitämään mielessä koko projektin ajan. Moottorin todettiin olevan kriittisin komponentti projektin alkuun saattamisen kannalta ja sen hankkiminen päätettiin tehdä mahdollisimman nopeasti. Eri moottorivaihtoehtojen vertailemisen jälkeen päädyttiin käyttämään moottoripyörän moottoria.

Aloituskokouksessa pohdittiin myös projektin rahoituksen järjestämistä. Päätettiin laatia projektin esittelemisen sekä rahoituksen hakemisen helpottamiseksi projektikuvaus, jonka uusin versio on tämän raportin liitteenä (liite 1). Tämä kuvaus toimi myös eräänlaisena projektin mainoksena. Projektikuvauksen luomista ajatellen luonnosteltiin auton mahdollista ulkonäköä ja eri komponenttien sijaintia sekä käsin että tietokoneella. Tässä vaiheessa tehtiin myös ensimmäisiä karkeita

3D-malleja auton rakenteesta ja komponenttien sijoittelusta. Samalla haettiin myös mittasuhteita autolle.

Aloituskokouksessa laadittiin myös alustava, hyvin karkea aikataulu. Projekti jaettiin kolmeen vaiheeseen: rahoitus ja alkuselvytys, suunnittelu sekä rakentaminen. Päädettiin sellaiseen aikatauluun, että rahoitus ja tarvittavat selvitykset projektin alkuun saattamiseksi suoritettaisiin mahdollisimman nopeasti, suunnitteluvaihe kestäisi toukokuun 2006 loppuun asti, minkä jälkeen alkaisi syyskuuhun 2006 asti kestävä rakennusvaihe. Koeajopäiväksi merkittiin tässä vaiheessa 1.9.2006. Myöhemmin kävi selväksi, että tämä laadittu aikataulu oli huomattavasti liian optimistinen.

Koettiin, että moottorin hankkiminen täysin omalla kustannuksella olisi ollut projektin budjetin kannalta äärimmäisen vaikeaa, joten päätettiin tiedustella moottoripyörien maahantuojiilta, olisiko heillä halukkuutta yhteistyöhön. Otettaessa yhteyttä, usea maahantuoja ilmaisi kiinnostuksensa yhteistyötä kohtaan. Lopulta Oy Brandt Ab myöntyi lahjoittamaan käyttöömmme vuosimallin 2003 Honda-moottoripyörän moottorin. Moottorin iskutilavuus on 954 cm^3 . Moottorilla oli ajettu alle viisituhatta kilometriä ja se oli käytännössä uuden veroinen, lukuun ottamatta sylinterilohkossa vesikanavan kyljessä ollutta pientä halkeamaa.

Loppupalvella 2006 projekti pääsi kunnolla vauhtiin ja huomattiin, että projektia hoitamaan tarvittiin jonkinlainen organisaatio. Tästä syystä perustettiin 13.2.2006 Team SFR ry -niminen rekisteröity yhdistys. Nimi on lyhenne englannin kielen sanoista Small Fast Racer, eli Pieni Nopea Kilpa-ajoneuvo. Yhdistyksen vastuuhenkilöt valittiin seuraavasti:

- | | |
|----------------------|---------------------|
| - Puheenjohtaja: | Vesa-Matti Salminen |
| - Varapuheenjohtaja: | Jukka Kallio |
| - Sihteeri: | Pasi Kuusisto |
| - Rahastonhoitaja: | Joni Joenniemi |

Käytännössä yhdistyksen perustamisen myötä projektin henkilöiden vastualueet tarkentuivat myös projektissa. Yhdistykselle päätettiin perustaa tili Tampereen Seudun Osuuspankkiin. Näin projektin varat olivat selkeästi erillään projektissa mukana olevien henkilöiden omista varoista.

Melko aikaisessa vaiheessa otettiin yhteyttä Helsingin ammattikorkeakoulun Formula Student -projektiryhmään. He kutsuivatkin meidät tutustumaan projektiinsa paikan päälle. He esittelivät avuliaasti projektia ja käynti koettiin erittäin hyödylliseksi monella tapaa. Vierailu auttoi mm. ymmärtämään huomattavasti paremmin, mitä tulisi ottaa huomioon ja miten projektissa kannattaisi edetä. Lisäksi saatiin hyvä lista mahdollisista jälleenmyyjistä sekä tietolähteistä, joita saatettaisiin tarvita.

Kevään aikana haettiin käyttöoikeudet Tieteen tietotekniikan keskuksen CSC (Computer Sciences Corporation) -ohjelmistopankkiin. Ohjelmistopankki on tarkoitettu lähinnä oppilaitoksille, erilaisten projektien läpiviennin helpottamiseksi. Tätä kautta olisi käyttömahdollisuus ollut useisiin ohjelmistoihin, joiden hyödyntäminen suunnittelutyössä olisi auttanut parempaan lopputulokseen. Ohjelmistopankissa on useita erilaisia ohjelmia lujus- ja virtauslaskentaan sekä geometrian tutkimiseen tarkoitettuja ohjelmia. Käyttöoikeudet saatiin kuitenkin niin myöhäisessä vaiheessa suunnittelutyötä, ettei niitä pystytty hyödyntämään projektissa lainkaan ohjelmien käytön opetteluun kuluvan ajan ja resurssien puuttumisen vuoksi.

Koska moottorin vaatima työmäärä osoittautui arvioitua suuremmaksi, päätettiin ottaa projektiin mukaan viides henkilö, vastualueenaan voimansiirto. Janne Lipasti hyväksyttiin Team SFR ry:n jäseneksi ja samalla SFR-projektin jäseneksi 11.4.2006. Loppukeväällä 2006 valittiin voimansiirtoratkaisuksi Stadian Formula Student -projektissa kehitetty, SSF-Pyörä Oy:n valmistama vetopyörästä. Kyseessä oli ylivoimaisesti paras vaihtoehto tämäntyppiseen ajoneuvoon, lähinnä pienen kokonsa ja keveytensä takia.

Komponenttien hankinta vei paljon aikaa. Huomattiin, että joidenkin komponenttien kohdalla saatavuus ei ollut toivotunlainen tai hinnat olivat yllättävän korkeita. Näin ei voitu aina hyödyntää ensimmäistä hyväksi koettua ratkaisua. Projektin

kannalta parhaimmiksi komponenttien hankintapaikoiksi osoittautuivat Racer's Place (www.racersplace.fi), Autoracing (www.autoracing.fi) sekä pientarvikkeissa Ruuvilinja (www.ruuvi.net).

Auton rakentaminen saatiin käyntiin kesäkuussa. Rakennusvaihe eteni kohtuullisen vakaasti koko ajan vuodenvaihteeseen 2007 asti. Alkuvuoden 2007 aikana autoon rakennettiin lasikuituinen kate. Myös alustarakennetta vietiin eteenpäin useimpien projektin jäsenten toimesta ja keväällä auto saatiin ensimmäistä kertaa pyörilleen. Tämä koettiin erityisen motivoivana hetkenä projektissa, ja projektin valmistuminen tuntui varmemmalta.

Rahoitus koettiin alusta asti suureksi huolenaiheeksi, mutta lopulta se järjestyi yllättävänkin helposti. Rahoituksen hankkimista silmälläpitäen laadittiin projektille budjetti, jossa määriteltiin melko tarkasti, millaisia summia kuhunkin osaluokkaan ja tiettyihin komponentteihin pitäisi varata. Projektin alkuun saattamisessa oli huomattava apu, kun Tampereen ammattikorkeakoulun stipendirahasto myönsi hakemamme apurahat, yhteensä neljätuhatta euroa. Lisäksi haettiin 7950 euron apuraha Henry Fordin Säätiöltä. Hakemus hyväksyttiin täysimääräisenä, jolloin projektin rahoitus selvisi suurelta osin. Lisäksi sponsoriksi saatiin Tampereelta paikallinen moottoripyöräliike Moto-Osa, joka lahjoitti projektiin useita pienempiä osia. Saimme myös 250 € apurahan Tampereen Autotekniseltä Yhdistykseltä sekä 100 € apurahan Tampereen ammattikorkeakoulun opiskelijayhdistykseltä. Lisäksi Tampereen Autovaraosa lahjoitti niveliä ohjausakseliin. Lisärahoituksena päätettiin hakea 20 000 € apuraha Tekesin Masina-ohjelmasta. Apuraha ei kuitenkaan saatu. Perusteena eväämiselle oli, että vaikka projekti on erittäin mielenkiintoinen ja hyvä, sen tulokset ovat vaikeasti hyödynnettävissä yleisemmin. Vuoden 2006 joulukuussa projektin jäsenet saivat K.F. ja Maria Dunderbergin Testamenttisäätiöltä kahdentuhannen euron henkilökohtaiset stipendit.

Rahoituksen hankkimisen vaatima ajankäyttö ylitti odotukset. Paperitöiden vaatien huomattavan paljon aikaa koko projektiryhmältä huomattiin, että projektia vetämässä olisi pitänyt ehdottomasti olla erillinen projektipäällikkö, jolla ei olisi ollut muita vastuualueita. Projektiryhmän koko olisi myös saanut olla jonkin verran suu-

rempi. Moni osa-alue jäi projektin aikana liian vähälle huomiolle, koska aikataulu ei sallinut käytettävissä olevien resurssien puitteissa jokaisen yksityiskohdan hio- mista parhaaksi mahdolliseksi.

Kaiken kaikkiaan projekti koettiin erittäin mielenkiintoiseksi ja opettavaiseksi ko- kemukseksi. Auto tullaan rakentamaan valmiiksi kesän 2007 aikana, jonka jälkeen sillä osallistutaan erilaisiin autoharrastetapahtumiin ja autolla ajetaan radalla mah- dollisuuksien mukaan.

3. MOOTTORI

Projektin aloituskokouksessa suunnittelimme rakennettavan auton suuntaviivoja. Päätimme, että autosta tulee kevyt, putkirunkoinen, yksipaikkainen auto, jonka suo- rituskykyyn ja ajettavuuteen tullaan kiinnittämään erityistä huomiota. Päätettiin, et- tä autoa aletaan rakentaa moottorin ympärille, joten ensimmäinen päätettävä asia oli, minkälaista moottoria tultaisiin autossa käyttämään. Vaihtoehtoina pidettiin jo- ko henkilöauton, moottorikelkan tai moottoripyörän moottoria.

3.1 Moottorivaihtoehtojen vertailu

Urheiluautosta puhuttaessa auton suorituskyky on tärkeä. Moottori vaikuttaa siihen olennaisesti. Tästä syystä suorituskykyyn vaikuttaviin ominaisuuksiin, eri mootto- rivaihtoehtoja vertailtaessa, kiinnitettiin erityistä huomiota. Vertailua helpottamaan laadittiin lista eri moottorivaihtoehtojen ominaisuuksista. Kriteereinä olivat moot- torin ulkoiset mitat, moottorin paino, sekä moottorin teho ja vääntömomentti. Li- säksi otettiin huomioon, kuinka voimansiirto voidaan toteuttaa valitulla moottori- tyypillä.

Moottorivaihtoehtojen ominaisuudet:

henkilöauton moottori

- + moottorin viritettävyys
- + varaosien saanti
- koko
- paino
- teho
- tarvitsee erillisen vaihteiston (lisäpaino, tilantarve)

moottorikelkan moottori

- + koko
- + paino
- + teho
- variaattori, ei vaihteistoa
- tarvitsee erillisen vaihteiston (lisäpaino, tilantarve)

moottoripyörän moottori

- + koko
- + paino
- + teho
- + vaihteisto integroituna moottorin yhteyteen

Koska tavoitteena oli rakentaa mahdollisimman kevytrakenteinen ja ulkomitoiltaan melko pienikokoinen auto, henkilöauton moottorin käyttö voimanlähteenä ei tuntunut kovin varteenotettavalta vaihtoehdolta. Auton moottorit ovat painavia ja isokokoisia, ja automoottoreiden viritysaste on myös usein matala. Voimansiirron toteuttaminen olisi autonmoottoria käytettäessä myös hankalaa vaihdelaatikon vievän tilan ja vaihdelaatikon tuoman lisäpainon vuoksi. Etuna olisi kuitenkin auton

moottoria käytettäessä, että varaosien saanti on auton moottoreihin hyvä ja moottoria on melko helppo virittää tarvittaessa.

Moottorikelkkojen moottorit ovat melko pienikokoisia ja kevyitä, sekä suhteellisen tehokkaita. Moottorikelkassa moottorin kehittämä voima välitetään telamatolle variaattorin kautta, ja siinä ei ole varsinaista vaihteistoa tai vaihteisto sijaitsee joka tapauksessa ennen variaattoria. Variaattorin käyttö urheilullisessa autossa ei mielestämme olisi ollut hyvä ratkaisu, ja siksi erillinen vaihteisto olisi tarvittu myös moottorikelkan moottoria käytettäessä.

Kolmas vaihtoehto oli käyttää moottoripyörän moottoria, johon myös päädyttiin. Moottoripyörän moottorissa on suurin osa halutuista ominaisuuksista. Moottori on pienikokoinen ja kevyt, sekä moottorin v erityssuhde on jo alun perin korkea. Moottoripyörän moottoriin on integroitu kiinteästi myös vaihdelaatikko, jossa on yleensä viisi tai kuusi vaihdetta. Näin ollen erillistä vaihdelaatikkoa ei tarvita. Voiman siirron toteuttaminen vetäville pyörille on myös melko yksinkertaista.

3.2 Moottorin hankinta

Kun käytettävä moottorityyppi saatiin päätettyä, oli seuraavana työvaiheena moottorin hankinta. Moottoria tiedusteltiin maahantuojiilta ja parhaat vaihtoehdot olivat mielestämme; Suzuki International Europe (Suzuki-moottoripyörät), Konekesko Oy (Yamaha-moottoripyörät), Sumeko Oy (Kawasaki-moottoripyörät) sekä Oy Brandt Ab (Honda-moottoripyörät).

Maahantuojiin otettiin yhteyttä puhelimitse ja projekti esiteltiin lyhyesti heille. Samalla tiedusteltiin heidän yhteistyöhalukkuutta ja luvattiin toimittaa heille lisätietoja projektista heidän niin halutessaan. Jokaisella maahantuojalla asiaan suhtauduttiin mielenkiinnolla ja positiivisesti. Ainoastaan Suzukilla todettiin heti, että he eivät pysty toimittamaan tarpeisiimme sopivaa moottoria ko. vuodenaikaan. Yamahalla kerrottiin, että uutta moottoria he eivät pystyisi lahjoittamaan, mutta sopivan käytetyn moottorin tullessa vastaan voisivat he harkita lahjoitusta. Kawasakilla ja

Hondalla maahantuoja pyysi lähettämään lisätietoja projektistamme. Hondalla kehoitettiin ottamaan yhteyttä myös Hondan henkilöautomaahantuojaan.

Vaikka heti ei saatukaan myöntävää vastausta miltään maahantuojalta, oltiin kuitenkin toiveikkaita moottorin saamiseksi. Toisena vaihtoehtona oli ostaa moottoripyörän moottori tai koko moottoripyörä, jos mikään maahantuoja ei lähtisi kanssamme yhteistyöhön.

Muutaman viikon kuluttua ensimmäisestä kontaktista otettiin uudestaan yhteyttä maahantuojiin. Yamahalla ei vielä ollut tarjota sopivaa moottoria. Samalla kuitenkin todettiin, että kyseisenä vuodenaikana eli alkukevällä, käytettyjä moottoreita ei esimerkiksi kolaroiduista moottoripyöristä tule. Kawasaki ilmoitti, että he eivät pysty lähtemään yhteistyöhön kanssamme.

Hondan maahantuoja ilmoitti, että he voisivat lahjoittaa moottorin projektiimme. Kyseessä oli Honda CBR Firebladen pienivikainen moottori ilman apulaitteita. Kävi myös ilmi, että vika oli pieni halkeama sylinterilohkossa. Sinnikäs ja määrätietoinen yhteydenpito tuotti näin tulosta.

Vielä kerran kysyimme Yamahan mahdollisuutta olla mukana projektissa. Kun sopivaa moottoria ei vielääkään ollut heillä tarjota, otettiin yhteyttä Hondan maahantuojaan ja sovittiin, että moottori otetaan mielellään vastaan ja moottori haetaan seuraavalla viikolla Vantaalta Oy Brandt Ab:ltä.

3.3 Moottorin esittely

Moottori, jonka saimme lahjoituksena Oy Brandt Ab:ltä, on vuosimallin 2003 Honda CBR Fireblade RR:n moottori (kuva 1). Moottori on alumiinirakenteinen, nestejäähdytteinen, nelitahtinen, nelisylinterinen rivimoottori. Sylinterien iskutilavuus on 954 cm³. Tarkempia teknisiä tietoja moottorista on taulukossa (taulukko 1).

/9/



Kuva 1 Honda CBR Fireblade RR:n moottori

Taulukko 1 Honda CBR Fireblade RR:n moottorin tekniset tiedot /9/

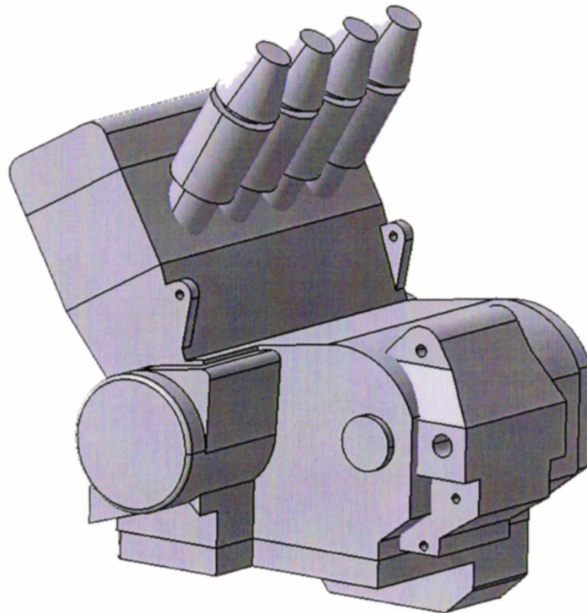
Moottori	nestejäähdytteinen 4-tahtinen rivimoottori 16-venttiiliä DOCH, sylinteriryhmä kallistettu 30°
Sylinterin halkaisija ja iskunpituus	(75 x 54) mm
Iskutilavuus	954 cm ³
Puristussuhde	11,5: 1
Polttoainejärjestelmä	elektronisesti ohjattu polttoaineenruiskutus
Sytytysjärjestelmä	elektronisesti ohjattu sytytysjärjestelmä
Sytytysjärjestys	1-2-4-3
Moottorin kuivapaino	61,2 kg
Max teho	111 kW / 151 HP / 11 250 (r/min)
Max vääntömomentti	105 Nm / 9500 (r/min)

Maahantuojalta saimme tiedon, että moottori on vaihdettu uuteen, pienen vesikana-
vassa olevan vaurion vuoksi. Maahantuoja arvioi, että kyseisellä moottorilla on
ajettu korkeintaan viisituhatta kilometriä. Näin ollen moottori on lähes uutta vas-
taava.

Moottorissa ei ollut mukana apulaitteita, koska ne oli vaihdettu vanhasta moottoris-
ta uuteen moottorivaihdon yhteydessä. Näin ollen jouduttiin erikseen hankkimaan
tarvittavat osat ja osakokonaisuudet moottorin käyntikuntoon saamiseksi.

4. MOOTTORIN TARKASTUS JA KUNNOSTUS

Varsinainen käytännön rakennustyö projektissa alkoi, kun moottori oli saatu. Ensimmäiseksi moottori pestiin, jotta sitä oli mukavampi käsitellä ja tarkastella. Moottori punnittiin. Punnitustulos 61,0 kilogrammaa ei eronnut paljoa valmistajan ilmoittamasta 61,2 kg:sta /7/. Ennen mitään purkutoimenpiteitä otimme moottorista mitat, joiden mukaan moottori voitiin mallintaa tarpeeksi tarkasti kolmiulotteiseksi, ns. 3D-malliksi (kuva 2).



Kuva 2. Moottorin 3D-malli

Erityistä huomiota kiinnitettiin siihen, että moottorin kiinnityskohdat tulivat oikeille etäisyyksille toisistaan, niin pituus-, leveys- kuin korkeussuunnissa. Näin moottorin mallia voitiin käyttää apuna auton runkoa suunnitellessa, ja mallin avulla pystyttiin suunnittelemaan myös kiinnitykset, joilla moottori kiinnitetään auton runkoon.

4.1 Moottorivaurion selvittäminen

Tiedossa oli, että moottorivauriossa oli kysymys pienestä halkeamasta. Tiedettiin myös suurin piirtein, missä kohtaa sylinterilohkoa halkeama oli. Halkeama erottui lohkokosta pienenä viivana, joka oli noin 20 mm pitkä. Halkeama sijaitsee ensimmäisen ja toisen sylinterin välissä. Halkeaman paikka sylinterilohkossa on osoitettu punaisena ympyrällä kuvassa (kuva 3).



Kuva 3 Halkeaman paikka sylinterilohkossa

Tässä vaiheessa päätettiin irrottaa moottorista sylinterikansi, koska arveltiin osittain halkeaman kohdalla olevan sylinterikannen ruuvien ja kaikkien kannenruuvien aiheuttavan halkeaman ympärillä olevaan materiaaliin vetojännitystä. Sylinterikannen irrotuksen jälkeen pystyttiin toteamaan myös, että halkeama ulottui sylinteriputkea ympäröivästä vesikanavasta lohkon ulkopintaan. Tarkastelujen jälkeen pystyttiin tekemään parempi korjaussuunnitelma. Seuraavaksi hiottiin paineilmaporakoneella ja metalliviilalla materiaalia pois halkeaman kohdalta ja hieman sen ympäriltä. Hionnan jälkeen halkeama erottui sylinterilohkosta jo huomattavasti paremmin. Sylinterilohkon halkeama näkyy kuvassa (kuva 4) tummana viivana.



Kuva 4 Sylinterilohkon halkeama

Halkeaman auki hiomisen jälkeen halkeaman todettiin olevan huomattavasti pidempi (50 mm) kuin miltä ensisilmäykseltä näytti.

4.2 Halkeaman korjaus

Päätettiin, että halkeama yritetään korjata hitsaamalla. Koululta löytyi tarvittava hitsauslaitteisto, joten ammattimies Jarmo Lehtosta pyydettiin suorittamaan hitsaus.

Hitsaus suoritettiin Mig-hitsauslaitteistolla, käyttäen lisäaineena CuSi-lankaa. Käytetyssä Mig-laitteistossa oli pulssitoiminto, jossa laitteiston virtalähdettä pulssitetaan nopeasti. Pulssitoiminnolla saavutettavia hyötyjä ovat lisäaineen hallittu siirtyminen hitsattavaan aineeseen, lähes roiskeeton hitsausprosessi ja pienempi lämmöntuonti hitsattavaan kappaleeseen. /6/

Ennen hitsauksen aloitusta hitsattava kohta puhdistettiin huolellisesti liasta, ensin mekaanisesti ja tämän jälkeen hyvin rasvaa irrottavalla puhdistusaineella. Mekaanisessa puhdistuksessa käytettiin paineilmahiomakonetta ja metalliviilaa sekä hiomapaperia. Hitsauslaitteiston säädöt vaikuttavat hitsauksen onnistumiseen, joten säädöt kannattaa tehdä huolella. Hitsauslaitteisto säädettiin hitsaamalla ensin suurin piirtein samanvahvuista alumiinilevyä. Kun hitsaussauman laatu oli mielestämme hyvä, päätettiin kokeilla sylinterilohkon halkeaman hitsausta. Hitsauksen onnistu-

minen arvelutti hieman etukäteen, koska sylinterilohkon valun tarkkaa seosta ei pystytty määrittelemään. Materiaalin tarkat tiedot auttaisivat hitsausmenetelmän valitsemisessa. Jos niitä ei ole saatavilla, täytyy hitsausta vain kokeilla ja tehdä tarvittavat muutokset hitsausmenetelmään tai laitteistoon, hitsaustuloksen perusteella.

Palamisprosessi vaikutti itsessään melko hyvältä. Palaminen kuulosti tasaiselta, ja pahoja roiskeitakaan ei tullut. Täysin ongelmattomasti hitsaus ei kuitenkaan onnistunut, koska hitsaussaumasta pyrki tulemaan huokoinen. Tämä viittaisi liikaan hitsattavassa materiaalissa tai siihen, että käytettävä lisäaine tai hitsausmenetelmä ei soveltuisi hitsattavalle materiaalille. Saumaa hiottiin niin, että kaikki huokokset saatiin auki. Hitsauslaitteistoa säädettiin hieman ja hitsausta yritettiin uudelleen. Toisella kertaa säätöjen jälkeen hitsaus onnistui hieman paremmin, mutta huokoisuutta esiintyi kuitenkin hieman. Huokokset hiottiin jälleen auki, minkä jälkeen halkeamaa hitsattiin uudelleen. Kolmannen hitsauksen jälkeen hitsaussauma näytti tiiviiltä ja todettiin, ettei parempaa lopputulosta saavuteta tällä korjausmenetelmällä tai -laitteistolla.

Moottorin ensimmäisessä koekäytössä selvisi, että korjaus ei lopulta onnistunutkaan. Halkeamasta ei vuotanut jäähdytysnestettä niinkään ulospäin, mutta sen sijaan se pääsi nyt jostain öljyn sekaan. Ensimmäinen koekäyttö päättyi siten ikävällä tavalla. Edessä oli moottorin uudelleen purkamisen ja uudelleen korjaaminen. Ensin oli kuitenkin selvitettävä, miten öljy ja jäähdytysneste pääsevät sekoittumaan toisiinsa. Moottorista oli irrotettava öljypohja, jotta nähtiin mahdollinen vuotokohta ja pystyttiin määrittämään sen sijainti.

Vuotokohtaa alettiin etsiä valmistelemalla moottori niin, että jäähdytysjärjestelmä voitiin paineistaa. Moottorista poistettiin termostaatti, jotta jäähdytysjärjestelmään saataisiin tasainen paine joka puolelle. Kaikki ylimääräiset jäähdytysjärjestelmän letkuyhteet tulpattiin ja termostaattikotelon letkulähtöön liitettiin letkun avulla paineilmapistooli. Jäähdytysjärjestelmään jätettiin hieman jäähdytysnestettä, jotta vuotokohdan voisi selvästi nähdä paineilman työntäessä jäähdytysnestettä vuotokohdasta. Kun jäähdytysjärjestelmään lisättiin painetta, huomattiin heti, että kammioista alkoi tippua jäähdytysnestettä. Tarkemman tutkiskelun jälkeen kävi sel-

väksi, että vuoto sijaisi moottoriöljyn paluukanavassa. Sylinterilohkon halkeama ulottui syvemmällä lohkon materiaalissa öljynpaluukanavaan. Tätä ei huomattu halkeaman ensimmäisen korjausyrityksen yhteydessä. Kun vuodon paikka oli saatu paikallistettua, moottorista purettiin sylinterikansi uudelleen pois.

Halkeama oli edennyt käytännössä niin, että se ympäröi öljykanavan. Halkeaman hitsaamiseksi olisi halkeamaa jouduttu hiomaan auki niin paljon, päästäksemme käsiksi myös öljykanavan toisella puolella olevaan säröön, että öljykanava olisi puhjennut. Lohko olisi tarvinnut tämän jälkeen hitsata käytännössä niin, että öljykanava olisi hitsautunut umpeen ja öljyn paluukanavan reikä olisi täytynyt porata uudelleen. Korjaus hitsaamalla olisi ollut erittäin haastava vaihtoehto, ja koska varmuutta sen onnistumisesta ei ollut, tästä ajatuksesta luovuttiin.

Muita korjausvaihtoehtoja vertailtiin ja päädyttiin öljynpaluukanavan korjaamiseen holkittamalla kanava. Ensimmäiseksi tehtiin öljyn paluukanavan reikään M12-kierre. Kierrettä varten jouduttiin poraamaan kanavan reikää hieman isommaksi. Seuraavaksi hankittiin halkaisijaltaan 12 mm olevaa tankoa. Tangon materiaaliksi valittiin alumiini, jotta sylinterilohkon ja holkin lämpölaajeneminen olisi mahdollisimman lähellä toisiaan. Tankoon tehtiin kierteet sorvissa ja samalla siihen porattiin myös öljyreikä. Paluukanavan kierteytetty reikä puhdistettiin huolellisesti liuottimella öljy- ja muiden likajäämien pois saamiseksi. Holkin kierteisiin laitettiin kierrelukitetta ja holkki kierrettiin öljykanavaan. Lohkon ulkopinnasta hiottiin huokoinen hitsaus melkein kokonaan pois, minkä jälkeen halkeamaan laitettiin kemiallista metallia tukkimaan nestevuoto sylinterilohkosta ulospäin.

Holkituksen jälkeen kierrelukitteen ja kemiallisen metallin annettiin kuivua muutama päivä rauhassa, minkä jälkeen moottori koottiin. Jäähdytysjärjestelmän paineistus suoritettiin uudelleen, jotta saatiin varmuus korjauksen onnistumisesta. Kun vuotoa ei enää paineistamalla esiintynyt, moottoriin kiinnitettiin kaikki apulaitteet ja moottori käynnistettiin uudelleen. Moottoria on käytetty halkeaman uudelleen korjaamisen jälkeen lukuisia kertoja käyntilämpötilaiseksi, ja mitään jäähdytysnesteen vuotamiseen liittyviä ongelmia ei ole enää ilmennyt. Näin voidaan siis todeta, että korjaus onnistui, ja voidaan myös olettaa, että korjaus kestää.

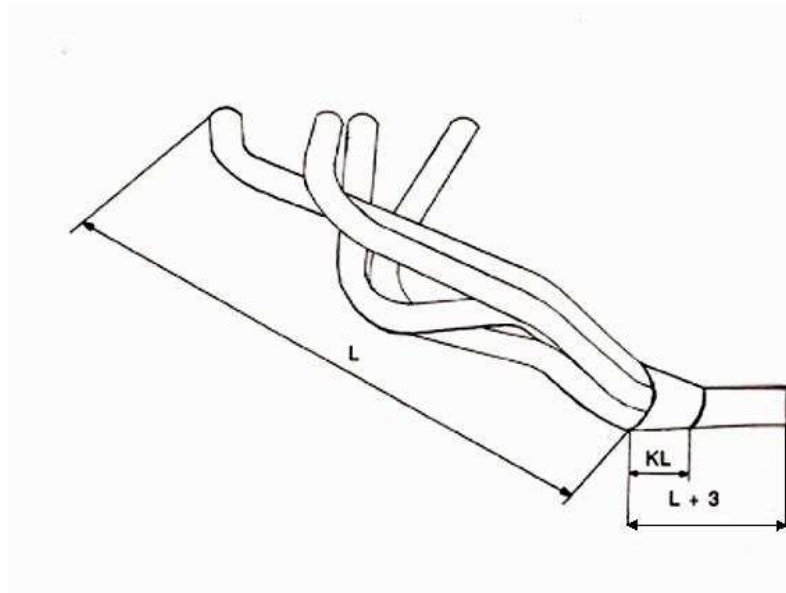
5. PAKOSARJA

Autoa suunnitellessamme päätimme, että moottori sijoitetaan mahdollisimman alas rungossa, koska moottori on painavin komponentti autossa. Tällä pyrittiin saamaan auton painopiste mahdollisimman alas. Moottoripyörässä kulkee pakoputkisto yleensä moottorin alta kohti moottoripyörän takaosaa, näin myös moottoripyörässä, josta moottorimme on peräisin. Käytettävissä ei ollut moottorin alkuperäistä pakosarjaa joten pakosarja päätettiin valmistaa itse. Moottorin alkuperäisen pakosarjan käyttäminen olisi ollut joka tapauksessa hankalaa, tarvittavan tilan puutteen vuoksi ja pakosarjaan olisi pitänyt tehdä isoja muutoksia, jos sellaista olisi haluttu käyttää.

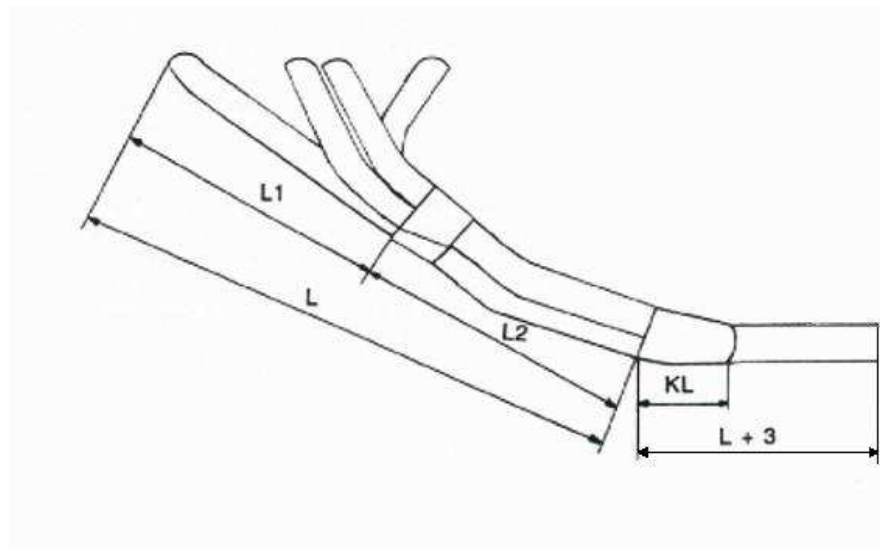
Suunnittelematta ei pakosarjaa alettu valmistaa. Ensin etsittiin kirjallisuudesta tietoja pakosarjan mitoituksesta ja valmistuksesta. Käytettävä pakoputkisto ja pakosarja vaikuttavat moottorin suorituskykyyn ja ominaisuuksin sitä enemmän, mitä korkeampi on moottorin viritysstaste. Tällöin myös käytettävän putkiston koko ja muoto korostuvat. Pakosarjan tehtävä moottorissa on johtaa moottorista poistuva pakokaasu pakoputkistoon niin, että sylinteri saadaan mahdollisimman tarkasti tyhjennettyä edellisen työtahdin pakokaasuista. Samalla tehdään sylinteriin tilaa uudelle polttoaine-/ilmaseokselle. Mitä vähemmän pakokaasua sylinteriin jää sitä enemmän uutta seosta sylinteriin mahtuu. Pakosarjan tulee olla siis sellainen, että se mahdollistaa sylinterin mahdollisimman hyvän tyhjentymisen. Tällöin minkään sylinterin pakokaasun paine ei saa vaikeuttaa toisen poistotahdissa olevan sylinterin tyhjentymistä. Jos nelisylinterisen moottorin pakokanavat yhdistettäisiin toisiinsa heti pakosarjan alussa, sylintereistä poistuvat pakokaasut häiritisivät toisiaan ja sylinterien tyhjentymisen pakokaasuista olisi epätäydellistä. /2/

Pakosarjojen päätyypit ovat joko 4-1 -tyyppinen pakosarja, jossa pakokaasut yhtyvät heti yhteen, tai 4-2-1 -tyyppinen pakosarja, jossa sylinterien pakokaasut yhdistyvät ensin pareittain siten, että ensin yhdistyvät 1. ja 4. sylinterin ja vastaavasti 2. ja 3. sylinterin pakokaasut. Vasta tämän jälkeen nämä kanavat yhdistyvät. 4-1 -tyyppisellä pakosarjalla saavutetaan parempi huipputeho ja 4-2-1 -tyyppisellä pakosarjalla parempi keskialueen vääntömomentti. Kuvissa (kuva 5 ja kuva 6) ovat kuvattuna pakosarjatyypit. Kuviin on myös merkitty mitoitettavat pakosarjan osat;

L1 = ensiöputki, L2 = toisioputki, KL = kollektori eli kokoomaputki ja L+3 = kartion etupään ja ensimmäisen äänenvaimentimen välinen etäisyys. /2/



Kuva 5 4-1 -tyyppinen pakosarja /2/



Kuva 6 4-2-1 -tyyppinen pakosarja /2/

5.1 Pakosarjan mitoitus /2/

Virittäjän käsikirjasarjan ensimmäisestä osasta, joka käsittelee nelitahtimoottoreiden viritystä, löytyivät likimääräiset laskukaavat moottorin pakosarjan mitoittamiseksi niin, että se toimii parhaiten halutulla kierrosnopeudella. Moottoriin päätettiin rakentaa 4-1 -tyyppinen pakosarja, koska tällä saavutetaan parempi huipputeho kuin 4-2-1 -tyyppisellä pakosarjalla. Myös käytettävissä oleva tila puolsi tämän tyyppisen pakosarjan valmistamista.

Ensimmäiseksi määritetään pakosarjan ensiöputkien pituudet. On tärkeätä, että kaikista putkista saadaan samanpituiset, jotta pakokaasun virtausnopeudet ovat samantyyppiset jokaisessa putkessa. Ensiöputken pituus voidaan laskea yhtälöllä (1).

$$L = \frac{850 \times (180 + A)}{RPM} - 3 \quad (1)$$

jossa L = ensiöputken pituus ["] (tuumaa)

A = pakoventtiilin avautumisennakko asteina ennen alakuoloa (°EAKK)

RPM = käyntinopeus jolle pakosarja viritetään [r/min]

Moottorin paras vääntömomentti saavutetaan valmistajan tietojen mukaan 9500 kierroksella minuutissa, pakosarja kannattaa mitoittaa tälle kierrosalueelle. Pakoventtiilin avautumisennakko moottorissa on 41° /9/. Ensiöputken pituudeksi saadaan yhtälön (1) mukaisesti

$$\begin{aligned} L &= \frac{850 \times (180 + 41^\circ)}{9500} - 3 \\ &= 16,77'' \\ &\approx 426\text{mm} \end{aligned} \quad (1)$$

Seuraavaksi määritetään ensiöputken sisähalkaisija. Ensiöputken sisähalkaisija saadaan yhtälöstä (2).

$$D = \sqrt{\frac{4,4 \times V_1}{25 \times (L + 3)}} \quad (2)$$

jossa D = ensiöputken sisähalkaisija ["]
 V_1 = yhden sylinterin iskutilavuus [cm³]
 L = ensiöputken pituus ["]

Koska kaikkien sylinterien yhteenlaskettu iskutilavuus nelisynterisessä moottorissa on 954 cm³, niin yhden sylinterin iskutilavuus on siten 238,5 cm³.

Ensiöputken sisähalkaisijaksi saadaan yhtälöä (2) käyttämällä

$$\begin{aligned} D &= \sqrt{\frac{4,4 \times 238,5}{25 \times (16,77 + 3)}} \\ &= 1,457'' \\ &\approx 37\text{mm} \end{aligned} \quad (2)$$

Ensiöputkeksi valittiin 1,5" sisähalkaisijaltaan oleva putki ja ensiöputken pituus on 16,77" eli 426 mm.

Seuraavana vaiheena on putkien liitoskartion mitoittaminen. Kartiokulman suuruudesta kirjassa sanotaan seuraavasti. ”Parhaan kartiokulman on käytännössä havaittu olevan noin 8° - 9° (kokonaiskulma 16° - 18°)” /2/. Näin ollen ainoaksi laskettavaksi arvoksi jää kartion pituuden määrittäminen. Kartion pituuteen vaikuttavat valittu kartiokulma, kartion etupään halkaisija ja kartion takapään halkaisija. Kartion takapään halkaisijaan vaikuttaa putkikoko, jota käytetään kartiolta ensimmäiselle äänen- vaimentimelle.

Pakoputken sisähalkaisija saadaan laskettua yhtälöllä (3).

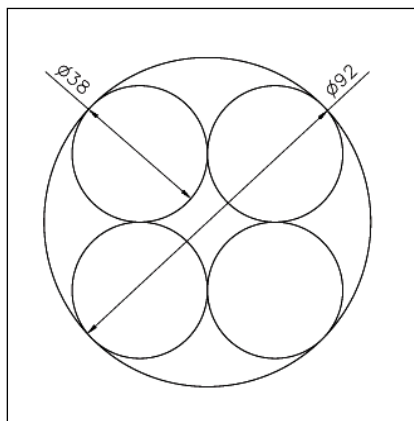
$$D = \sqrt{\frac{8 \times V_1}{25 \times (L + 3)}} \quad (3)$$

jossa D = pakoputken sisähalkaisija ["]
 V_1 = yhden sylinterin iskutilavuus [cm³]
 L = ensiöputken pituus ["]

Kartion ja ensimmäisen äänenvaimentimen välisen putken sisähalkaisijaksi saadaan yhtälön (3) mukaisesti

$$\begin{aligned} D &= \sqrt{\frac{8 \times 238,5}{25 \times (16,77 + 3)}} \\ &= 1,964" \\ &\approx 49,9\text{mm} \end{aligned} \quad (3)$$

Putkikooksi valitaan 2", joka on hyvin lähellä oikeata, kun vertaa tulosta esimerkiksi moottorin alkuperäisen pakoputkiston putkikokoon. Näin ollen myös kartion toisen pään halkaisijan tulee olla 2" eli $D_2 = 2"$. Kartion pituus voidaan määrittää, kun selvitetään kartion ensimmäisen pään halkaisija. Kartion sisään tulee neljä putkea, joiden kunkin halkaisijat ovat 1,5", eli noin 38 mm. Täten kartion ensimmäisen pään halkaisijan tulee olla yli 92 mm, jotta putket mahtuvat kollektorin sisään (kuva 7).



Kuva7 Kollektorikartion etupään halkaisija

Käytännössä ensiöputkien täytyy mennä kollektorin sisään hieman, jotta ne pystytään hitsaamaan kunnolla. Kartion etupään halkaisijaksi valittiin 106 mm, eli n. 4,2", tällöin ensiöputket menevät noin 5...10 mm kartion sisälle. Kun kartion etu- ja takapään halkaisijat on saatu määritettyä, voidaan kartion pituus laskea yhtälöllä (4).

$$KL = \frac{D_1 - D_2}{2 \times \tan \alpha} \quad (4)$$

jossa KL = kollektorikartion pituus ["]
 D_1 = kartion etupään halkaisija ["]
 D_2 = kartion toisen pään halkaisija ["]
 $\tan \alpha$ = käytetty kartiokulma

Kartion pituudeksi saadaan yhtälöstä (4), kartiokulmalla 9°:

$$\begin{aligned} KL &= \frac{4,2 - 2,0}{2 \times \tan 9^\circ} \\ &= 6,95" \\ &\approx 175mm \end{aligned} \quad (4)$$

5.2 Pakosarjan valmistus

Pakosarjan valmistaminen aloitettiin ottamalla moottorista tarvittavat mitat. Ensiksi mitattiin sylinterikannesta pakosarjan kiinnitysruuvien etäisyydet toisistaan ja ruuvien halkaisijat. Jokaiselle pakosarjan putkella on oma kiinnityslaippansa. Kiinnityslaipat suunniteltiin ja mallinnettiin mittojen mukaan IDEAS 3D -ohjelmistolla. Samalla tehtiin 3D-malli myös pakoputken kiinnityslaipasta, jolla pakoputki kiinnitetään pakosarjaan. Laippojen malleista tehtiin piirustukset, joiden avulla ne pystyttäisiin valmistamaan. Piirustukset on esitetty liitteessä (liite 2). Siistin ja mittatarkan lopputuloksen saamiseksi laipat laserleikkautettiin. Jotta leikkausta suorittavan yrityksen ei tarvitsisi mallintaa osia uudestaan, mallitiedostot käännettiin .dxf -muotoon. Mallitiedostot lähetettiin leikkausyritykseen sähköpostilla ja laipat olivat käytössämme vajaan viikossa.

Sillä aikaa kun laipat olivat leikattavana, hankittiin pakosarjan valmistamiseen tarvittavat putket. Sopivan kokoista putkea oli kuitenkin yllättävän vaikea löytää, koska kaikki tarvikkeena saatavat pakoputkimateriaalit ovat henkilöauton yleisen pakoputkikoon kasvamisen myötä myös isontuneet. Puolentoista tuuman sisähalkaisijalla olevaa putkea, jota tarvittiin ensiöputkiksi, ei mikään yleinen varaosaliike myynyt. Viimein paikalliselta romurautaa kierrättävältä yritykseltä, Rauta Soinilta, löytyi ns. kakkoslaadun pakoputkia, joista kahta eri kokoa hyödyntämällä saatiin sopivat putket pakosarjan valmistamiseksi. Kahden tuuman sisähalkaisijalla olevaa putkea löytyi sen sijaan helposti, ja putki hankittiin Motonetista.

Pakosarjan valmistus aloitettiin tekemällä kollektorikartio 1 mm vahvuisesta teräslevystä. Auki taivutetun kartion ääriviivat mitoitettiin teräslevylle, minkä jälkeen levystä leikattiin aihio ja taivutettiin se kartion muotoon pientä pajavasaraa ja sopivan kokoista putkea vastimena käyttäen. Kun kartio saatiin taivutettua pyöreäksi, yhteen taivutetut vaipanpäät hitsattiin kiinni toisiinsa pistehitsillä. Leikkautettu pakoputken laippa hitsattiin kollektorin loppupäähän.

Seuraavana työvaiheena ensiöputkien alkupäihin sorvattiin holkit, jotka putkien päiden kanssa muodostavat tiivistyspinnan sylinterikannen ja putkenpäiden välillä. Holkit hitsattiin kiinni ensiöputkien alkupäihin (kuva 8). Tämän jälkeen hitsattiin leikkautetut kiinnityslaipat ensiöputkiin 30 mm päähän putkien päistä. Kun pakosarjan alkuputket olivat valmiit, ne kiinnitettiin moottorin sylinterikanteen alkuperäisillä kiinnitysruuveilla. Moottori oli tässä vaiheessa kiinnitettynä auton runkoon. Näin varmistettiin, että kaikki käytettävissä oleva tila saadaan tarvittaessa käytettyä ja pakosarja sopii paikalleen mahdollisimman hyvin.



Kuva 8 Sorvattu holkki ensiöputken alkupäähän hitsattuna

Ensiöputkien hahmotteleminen aloitettiin ensimmäisen sylinterin putkesta, koska se sijaitsee kauimpana kollektorista katsottuna. Pakoputki sijoitetaan moottorin oikealle puolelle, koska tällä puolella on enemmän tilaa.

Kohdassa 5.1, Pakosarjan mitoitus, tehtyjen laskelmien mukaan oikea ensiöputken pituus on 426 mm, johon pyrittiin sopivia mutkia ja suoraa putkea käyttämällä. Työssä edettiin niin, että ensimmäinen mutka hitsattiin aloitusputkeen muutamalla pisteellä. Tämän jälkeen määritettiin seuraavaan putken suunta ja päätettiin, käytetäänkö suoraa putkea vai mutkaa. Kun putki oli saatu katkaistua oikean pituiseksi ja sopivaan kulmaan, hitsattiin putki muutamalla pisteellä kiinni. Putkien katkaisuun käytettiin sekä konesahaa että kulmahiomakonetta. Kulmat viimeisteltiin sopiviksi pöytähiomakonetta käyttämällä. Ensimmäisen sylinterin ensiöputken hahmotelma on esitetty kuvassa (kuva 9).



Kuva 9 Ensimmäisen sylinterin ensiöputken hahmotelma, putket hitsattuina toisiinsa pisteillä

Kun ensiöputken kokonaispituus alkoi olla lähellä haluttua, mitattiin jokaisen mutkan ja suoran pituus mahdollisimman tarkasti putken keskilinjaa pitkin. Pituudet merkittiin muistiin ja lopuksi mittaustulokset laskettiin yhteen. Ensimmäisen sylinterin ensiöputki onnistui hyvin ja pituus saatiin sopivaksi putken pituutta hieman kasvattamalla. Seuraavaksi tehtiin toisen sylinterin ensiöputki. Ensimmäisen ja toisen sylinterin ensiöputket ovat kuvassa (kuva 10). Lopuksi mitattiin putken pituus ja tehtiin tarvittavat muutokset, jotta putkesta saatiin oikean pituinen. Tämäkin putki onnistui hyvin.



Kuva 10 Ensimmäisen ja toisen sylinterin ensiöputki

Seuraavaksi tehtiin kolmannen sylinterin ensiöputki. Tämä putki valmistettiin samalla tavalla kuin 1. ja 2. ensiöputki, mutta putken kanssa kului enemmän aikaa, ennen kuin putken pituus oli oikea ja se saatiin sovitetuksi muiden putkien viereen oikealle koh-

dalle. Neljännen sylinterin ensiöputken kanssa tuli ongelmaksi tilan ahtaus. Putkelle ei löytynyt sellaista reittiä, jolla putken pituudesta olisi tullut oikea. Muutamaa eri reittiä kokeiltiin onnistumatta, minkä jälkeen päätettiin purkaa kolmas ensiöputki pois ja tehdä neljäs ensin. Nyt mitan sai oikeaksi melko helposti, kun kolmas putki ei ollut tiellä. Samalla kun neljättä putkea tehtiin, suunniteltiin kolmannelle reitti ja otettiin se huomioon neljännen reitissä. Kolmannen putken teko onnistui tämän jälkeen hyvin, kun sille jäi tarpeeksi tilaa.

Lopulta jouduttiin kuitenkin pidentämään kaikkia putkia 14 mm, koska kollektori olisi ottanut muuten kiinni moottorin öljypohjaan. Ensiöputkien pituudeksi muodostui siten 440 mm. Kaikkien ensiöputkien ollessa valmiina, kollektori hitsattiin hieman kiinni jokaiseen ensiöputkeen (kuva 11). Kuvassa näkyy myös, miten neljännen sylinterin ensiöputki mahdollistaa ulos kaartuessaan kolmannen sylinterin ensiöputken vapaan reitin.

Pakosarjan valmistuksessa moni asia vaikuttaa toiseen, varsinkin putkireittejä suunniteltaessa. Jos suunnittelussa ei käytetä apuna mitään 3D-ohjelmistoa, niin ainut tapa valmistaa pakosarja on mitata ja kokeilla, kuten edellä on kerrottu. Jos 3D-ohjelmistoa voidaan hyödyntää, niin itse pakosarjan valmistus on mahdollisesti nopeampaa ja helpompaa, kun putkiin käytettävistä osista on piirustukset, joiden mukaan osat voidaan valmistaa.



Kuva 11 Kollektori hitsattuna ensiöputkiin

Kun pakosarja sopi hyvin paikalleen, se irrotettiin moottorista ja kiinnitettiin kiinnityslaiipoistaan vahvaan kulmarautaan, johon porattiin kiinnitysreiät. Tällä toimenpiteellä pyrittiin ehkäisemään hitsauksessa syntyvän lämmön aiheuttama vetely materiaalissa, jonka seurauksena pakosarjan kiinnitys sylinterikanteen olisi vaikeaa tai mahdotonta hitsauksen jälkeen. Seuraavaksi hitsattiin kaikki saumat kiinni Mig-hitsauslaitteistolla, jonka jälkeen hitsaussaumot viimeisteltiin kulmahiomakoneella ja paineilmahiomakoneella käyttäen. Kuvassa (kuva 12) on pakosarja kiinnitettynä jigisiin, ja lopullinen hitsaus on tehty.



Kuva 12 Hitsattu pakosarja kiinnitettynä jigisiin

Jigistä huolimatta pakosarja vääntyi hitsatessa siten, että pakosarjan paikalleen laittaminen sylinterikanteen oli vaikeaa. Jigin olisi pitänyt olla vielä vahvempi, ja pakosarjan kiinnitysreikien tarkemmin mitoitettua, jotta ongelmalta olisi välttytty. Kun kaikki kiinnitysruuvit saatiin kiristettyä, pakosarjaa lämmitettiin kaasuliekillä jännitysten poistamiseksi. Lämmityksen toistamisen jälkeen pakosarja suoristui niin, että sen uudelleen asentaminen onnistui taas hankaluuksitta.

Lopuksi pakosarja lasikuulapuhallutettiin, minkä jälkeen pakosarjan putkien ympärille kiedottiin Thermo Tec -lämpönauhaa. Nauha on suunniteltu erityisesti pakosarjoille, ja sen tehtävä on estää peltipakosarjoille tyypillistä lämpösäteilyä, joka toisinaan voi olla hyvinkin suurta riippuen moottorin tehosta ja kuormituksesta. Lämpösäteily

lämmittää tarpeettomasti moottoritilaa ja yleensä näin myös moottorin imuilmaa, jolloin moottorin huipputeho ja vääntömomentti laskevat. Lämpönauhalla saavutetaan myös se etu, että pakosarja pysyy koko matkaltaan hyvin kuumana. Tällöin pakokaasun virtausnopeus kasvaa pienentyneen pakokaasun tiheyden vuoksi ja auttaa näin sylinterin tyhjentymistä pakokaasuista. Valmis pakosarja lämpönauhalla eristettynä on kuvassa (kuva 13).



Kuva 13 Valmis pakosarja eristettynä Thermo Tec -lämpönauhalla

Pakosarja oli tarkoitus mitoittaa moottorin kehittämän suurimman vääntömomentin kierrosalueelle, joka on 9500 (r/min). Lopulta putkien mittaa jouduttiin hieman kasvattamaan alun perin suunnitellusta. Pakosarja on nyt siis viritetty kierrosluvulle 9250 (r/min), kohdassa 5.1, pakosarjan mitoitus, esitettyjen yhtälöiden mukaan. Korkeilla moottorin kierrosnopeuksilla kaasun virtausnopeudet ovat hyvin suuria, ja pienetkin virheet esimerkiksi putkien sisäpintojen pinnankarheudessa voivat muuttaa pakokaasun käyttäytymistä. Kierrosnopeus, jolla pakosarja toimii parhaiten, voi näin ollen poiketa lasketusta arviolta ainakin 200 (r/min) suuntaan tai toiseen. Suurilla kierrosnopeuksilla virheen mahdollisuus kasvaa vielä huomattavasti. Paras vaihtoehto olisi, että kaikki pakosarjan putket olisivat taivutettu yhtämittäisestä putkesta. Näin

putkien sisäpinnat olisivat huomattavasti sileämmät, kuin osista hitsaten valmistetuissa putkissa.

Yhtälöt joita pakosarjan mitoituksessa käytettiin antavat vain suuntaa-antavia tuloksia. Käyttämällä virtauslaskentaohjelmaa, voitaisiin pakosarja saada laskennallisesti optimoitua parhaaksi mahdolliseksi. CSC-ohjelmistopankissa olisi ollut erilaisia virtauslaskentaohjelmia käytettävissä, mutta kuten jo aiemmin mainittiin, aika loppui kesken ja ohjelmia ei pystytty hyödyntämään. Parhaiten mitoitettun ja toimivan pakosarjan voisi käytännössä valmistaa kuitenkin vain tekemällä erilaisia variaatioita pakosarjasta, ja testaamalla niitä luotettavalla mittausjärjestelyllä samanlaisissa olosuhteissa.

6. JÄÄHDYTYSJÄRJESTELMÄ

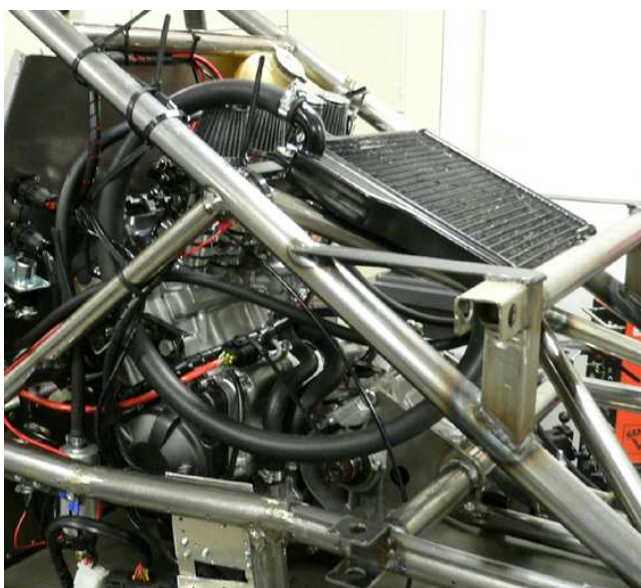
Moottorin jäähdytysjärjestelmän tehtävä on siirtää moottorissa syntyvä lämpö ympäristöön ja pitää siten moottorin käyntilämpötila oikeana kaikissa kuormitustilanteissa ja olosuhteissa. Yleisimmät jäähdytysjärjestelmät ovat tyypiltään joko ilma- tai nestejäähdytys, joista nykyään yleisemmin käytetty on nestejäähdytys. Nestejäähdytyksessä johdetaan moottorissa syntyvä lämpö väliaineena olevan jäähdytysnesteän välityksellä moottorista pois. Jäähdytysnesteinä käytetään veden ja pakkasnesteän sekoitusta. Sekoitussuhde vaihtelee niin, että pakkasnesteän osuus on yleensä 30...50 %. Pakkasnesteän tärkeimmät tehtävät ovat estää jäähdytysnesteoksen jäätyminen, ja sen kiehumispisteen nostaminen siten, että jäähdytysnesteän lämpötila voi nousta jopa 120 °C 1,4 barin ylipaineessa. /1/ Pakkasneste lisää myös jäähdytysnesteän voiteluominaisuuksia ja korroosion estokykyä.

Jäähdytysnesteeseen sitoutunut lämpö luovutetaan ympäröivään ilmaan jäähdyttimen välityksellä, jolloin lämpö siirtyy ensin jäähdytysnesteestä jäähdyttimen materiaaliin ja siitä edelleen ympäröivään ilmaan. Lämmön siirtymistä jäähdyttimestä ilmaan tehostetaan ilmavirtauksella jäähdyttimen läpi, joka syntyy joko ajoviimasta tai sitten erillisen, jäähdyttimen yhteyteen asennetun puhaltimen avulla. Nykyisin jäähdyttimet valmistetaan useimmiten kokonaan alumiinista tai muovista ja alumiinista.

6.1 Moottorin jäähdytysjärjestelmä

Käyttämämme moottori on nestejäähdytteinen. Moottorin alkuperäinen jäähdytin on alumiininen ja sen yhteyteen on asennettu sähkötoiminen puhallin. Moottori-pyörässä jäähdytin sijaitsee moottorin edessä, etupyörän takana. Jäähdytin on siten melko esteettömässä paikassa ajoviiman aiheuttaman ilmavirtauksen kannalta, joskin etupyörä ja etuhaarukka hieman estävät suoraa ilmavirtausta. Moottorin mukana emme saaneet alkuperäistä jäähdytintä, joten jäähdytin oli myös hankittava. Sopiva isomoottorisen matkapyörän jäähdytin löytyi Pirkkalassa sijaitsevasta purkamosta.

Jäähdytin on 2-rivinen alumiinista valmistettu, ja sen mitat ovat (360 x 290 x 34) mm. Autossamme jäähdytin sijaitsee moottorin päällä lappeellaan kuvan (kuva 14) mukaisesti. Ilmavirtaus johdetaan jäähdyttimelle auton oikealla sivulla olevasta ilmanottoaukosta (kuva 15) halkaisijaltaan 100 mm putkella. Jäähdyttimelle rakennetaan ilman tulopuolelle tiivis kotelo kaiken ilmavirran pakottamiseksi jäähdyttimen läpi. Ilmanottoaukko eli scoopi toimii myös eräänlaisena ptopaineahtimena. Ilmanottoaukon ilmaa haukkaavan reunan pinta-ala A_1 on 23 400 mm², josta se kuristuu edellä mainittuun halkaisijaltaan 100 mm putkeen, jonka poikkipinnan ala A_2 on täten 7854 mm².



Kuva 14 Jäähdyttimen sijoitus autossa



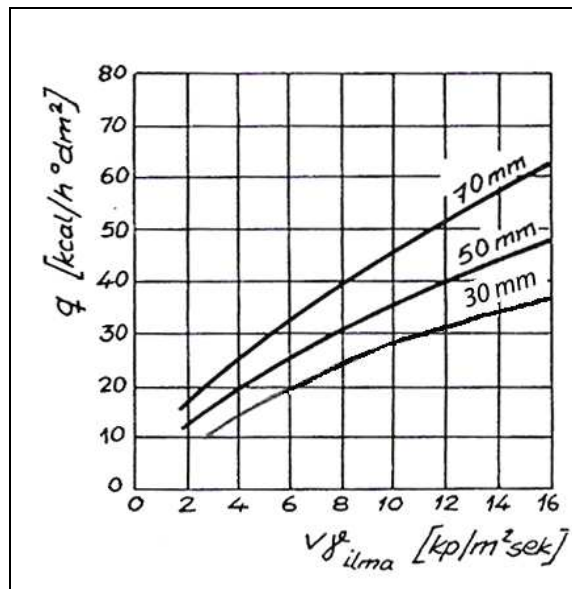
Kuva 15 Ilmavirtaus johdetaan jäähdyttimelle auton oikealla sivulla olevasta ilmanottoaukosta

6.2 Jäähdytysjärjestelmän mitoitus

Jäähdytysjärjestelmän riittävä tehokkuus on moottorin tehokkaan ja luotettavan toimimisen tae. Käytettäessä moottoria sovelluksessa, johon sitä ei ole alun pitäen suunniteltu, on erityisen tärkeää huomioida asia riittävän hyvin. Suurin moottorin jäähdytystehokkuuteen vaikuttava tekijä on jäähdyttimen koko ja sen läpi kulkema ilman massavirta, koska kaikki jäähdytysnesteeseen moottorissa sitoutunut lämpö siirretään sen kautta ilmaan. Lämpö johtuu tehokkaasti nesteestä metalliin, mutta huonosti metallista ilmaan. Mitä isompi jäähdytin on, sitä tehokkaampaa on nesteen jäähtyminen jäähdyttimessä. Tässä kappaleessa esitetään laskennallisesti jäähdytysjärjestelmän mitoitus joutokäyntitilanteessa eli pienellä moottorinkuormituksella sekä tilanteessa jossa moottoria kuormitetaan täydellä kuormalla.

Jäähdytystehoon vaikuttavat monet laskennallisesti vaikeat tekijät, kuten ilmanvastus, ilmamäärät, veden virtausvastukset ym. tekijät. Nestejäähdyttimen mitoitus perustuukin tämän vuoksi myös kokemukseräiseen taulukkotietoon. /3/ Nykyään on olemassa erilaisia virtauslaskentaohjelmia, joilla ilman ja veden virtauksia voidaan simuloida, ja ohjelmasta saatavia tuloksia voidaan käyttää sen jälkeen apuna jäähdytysjärjestelmän mitoituksissa. Monia virtauslaskentaohjelmia olisi ollut CSC-ohjelmistopankista käytettävissä, mutta niitä ei pystytty hyödyntämään aiemmin kerrotuista syistä.

Jäähdyttimen mitoitusta koskevaa materiaalia on saatavilla erittäin niukasti varsinkin suomenkielisenä. Suomen Autolehdessä asiaa on käsitelty jo vuonna 1971. Seuraavissa laskuissa käytetään Bussienin laskentamenetelmää, joka on yksi artikkelissa esitetyistä laskentamenetelmistä. Osa kaavoissa käytettävistä yksiköistä on vanhoja, yleisestä käytöstä poistettuja. Muuntokertoimet ovat kuitenkin esitetty esimerkiksi Autoteknisessä taskukirjassa ja siten SI-järjestelmän yksiköt ovat muutettavissa vastaamaan vanhoja yksiköjä. Mitoituksen pohjana on käyrästä (kuva 16). Käyrästä voidaan lukea erään henkilöautoille suunnitellun jäähdytintyyppin ominaisjäähdytysteho q ilman massavirran funktiona pinta-alaa kohti.



Kuva 16 Erään henkilöautoille suunnitellun jäähdytintyyppin ominaisjäähdytysteho q ilman massavirran funktiona pinta-alaa kohti /3/

Seuraavissa laskuissa on käytetty käyrästä arvoja, vaikka se ei olekaan käyttämämme jäähdyttimen mukaan laadittu. Käyrästä parametrina on jäähdyttimen paksuus. 30 mm käyrä on lisätty käyrästä itse, helpottamaan käyrästä lukua. Käyrän kulku on puhdas arvio, eikä siten ole kuin suuntaa antava.

6.2.1 Mitoitus joutokäyntitilanteessa /3/

Ensimmäinen vaihe laskennassa on moottorissa jäähdytykseen kuluvan lämpötehon määrittäminen. Jäähdytyksen lämpöteho saadaan karkeasti yhtälöstä (5)

$$Q = \frac{a \cdot b \cdot N_e \cdot H}{1000} \quad (5)$$

jossa Q = lämpöteho [kcal/h]

$a = 30 \dots 33$ [%] (polttoaineen lämpötehosta jäähdytykseen menevä osuus)

b = polttoaineen ominaiskulutus [g/hvh]

N_e = moottorin akseliteho [hv]

$H = 10000$ [kcal/kg] (hiilivetyypolttoaineen keskimääräinen lämpöarvo)

Normaalin henkilöautomoottorin polttoaineen ominaiskulutus b on normaalisti välillä 0,186...0,335 kg/kWh eli 252...456 g/hvh /5/. Moottorin ominaiskulutukseksi joutokäynnillä arvioidaan 240 g/hvh. Moottorin kehittämä max akseliteho on 111 kW, joka on n. 151 hv. Joutokäynnillä arvioidaan moottorin kehittävän noin 10 % max akselitehostaan eli n. 15,1 hv. Sijoittamalla arvot yhtälöön (5) saadaan lämpötehoksi Q

$$Q = \frac{0,32 \cdot 240 \cdot 15,1 \cdot 10000}{1000} \approx 11597 \text{ kcal/h} \quad (5)$$

Veteen siirtyvän lämpötehon yhtälö on

$$Q_v = V_v \cdot \gamma_v \cdot \Delta t_v \cdot c_{p_v} \quad (6)$$

jossa Q_v = veteen sitoutunut lämpöteho [kcal/h]
 V_v = veden tilavuusvirta [m^3/h]
 γ_v = veden tiheys [kp/m^3]
 Δt_v = veden lämpötilan muutos [$^{\circ}\text{C}$]
 c_{pv} = veden ominaislämpökapasiteetti [kcal/ $\text{kp}^{\circ}\text{C}$]

Kun tarvittavaa jäähdyttimen otsapinta-alaa merkitään A_{otsa} :lla, ominaisjäähdytystehoa q :lla ja jäähdytysveden ja ilman keskimääräistä lämpötilaeroa Δt_{keskim} :llä saadaan tarvittavalle jäähdytykselle ehto

$$Q = A_{otsa} \cdot q \cdot \Delta t_{keskim} \quad (7)$$

Moottorista pois johdettava lämpöteho Q on noin 11597 kcal/h. Moottorissa kiertäväksi tilavuusvirraksi V_v arvioidaan joutokäynnillä 2 m^3/h . Jäähdyttimen sisäänmenevän veden lämpötilaksi mitattiin 95 $^{\circ}\text{C}$ ja sisään menevän jäähdytysilman lämpötilan arvioidaan olevan kesällä n. 30 $^{\circ}\text{C}$.

Yhtälöstä (6) saadaan veden tarvittava jäähtyminen jäähdyttimessä

$$\Delta t_v = \frac{Q_v}{V_v \cdot \gamma_v \cdot c_{pv}} = \frac{11597}{2 \cdot 1000 \cdot 1} \approx 5,8^{\circ}\text{C} \quad (6)$$

Veden ulostulolämpötila jäähdyttimestä on näin ollen 89,2 $^{\circ}\text{C}$. Veden keskimääräinen lämpötila on

$$\Delta t_{vkeskim} = \frac{(95 + 89,2)^{\circ}\text{C}}{2} = 92,1^{\circ}\text{C}$$

Jäähdytysveden ja ilman keskimääräinen lämpötilaero $\Delta t_{keskim} = 62,1^{\circ}\text{C}$. Koska moottori käy paikallaan joutokäyntiä, kaikki jäähdyttimen läpi menevä ilmavirta synnytetään jäähdytyspuhaltimella. Jäähdytyspuhaltimen aikaansaamaksi ilman virtausnopeudeksi jäähdyttimen läpi arvioidaan 5 m/s, jolloin ilman massavirraksi saadaan

$$v \cdot \gamma_i = 5 \text{ m/s} \cdot 1,16 \text{ kp/m}^3 = 5,8 \text{ kp/m}^2 \text{ s} \quad (8)$$

Jäähdyttimen paksuus $T = 34$ mm, joten kuvan (kuva 16) käyrästä saadaan ominaisjäähdytystehoksi n. $20 \text{ kcal/dm}^2 \text{ h}^\circ\text{C}$. Vaadituksi jäähdyttimen otsapinta-alaksi saadaan kaavalla (7) edellä lasketulla lämpötilaerolla

$$A_{otsa} = \frac{Q}{q \cdot \Delta t_{keskim}} = \frac{11597}{20 \cdot 62,1} \approx 9,34 \text{ dm}^2 \quad (7)$$

$$= 93400 \text{ mm}^2$$

Hankitun jäähdyttimen otsapinta-ala on $104\,400 \text{ mm}^2$. Jäähdyttimen koko riittää täten jäähdyttämään jäähdytysnesteen yllä olevan laskelman perusteella. Jos jäähdyttimeen asennetaan tehokkaampi puhallin, jolloin ilman virtausnopeus kasvaa 10 m/s :ssa, niin saadaan jäähdytysteho paremmaksi ja jäähdytykseen lisävarmuutta. Yhtälöstä (8) saadaan

$$v \cdot \gamma_i = 10 \text{ m/s} \cdot 1,16 \text{ kp/m}^3 = 11,6 \text{ kp/m}^2 \text{ s} \quad (8)$$

jolloin kuvan (kuva 16) käyrästä saadaan q :n arvoksi n. $32 \text{ kcal/dm}^2 \text{ h}^\circ\text{C}$. Tällöin jäähdyttimen otsapinta-alaksi saadaan yhtälöllä (7)

$$A_{otsa} = \frac{Q}{q \cdot \Delta t_{keskim}} = \frac{11597}{32 \cdot 62,1} \approx 5,84 \text{ dm}^2 \quad (7)$$

$$= 58400 \text{ mm}^2$$

Hankitun jäähdyttimen otsapinta-ala on n. 1,8 kertaa isompi kuin laskennan mukaan moottorin jäähdyttämiseksi tarvittava otsapinta-ala. Tehokkaammalla puhaltimella jäähdyttimen jäähdytysteho riittää tällöin moottorin jäähdyttämiseen hyvin, moottorin käydessä joutokäyntiä.

6.2.2 Mitoitus täydellä moottorin kuormituksella /3/

Jäähdyttimen mitoitus tehdään täydellä moottorin kuormituksella samalla tavalla kuin joutokäynnilläkin. Täydellä kuormituksella käytettävät alkuarvot ovat seuraavat:

$$b = 250 \text{ g/hvh}$$

$$N_e = 151 \text{ hv}$$

$$H = 10\,000 \text{ kcal / kg}$$

$$V_v = 7 \text{ m}^3/\text{h} \text{ (arvio veden massavirraksi moottorin käyntinopeudella } 10\,000 \text{ rpm)}$$

Jäähdytykseen kuluvaksi lämpötehoksi saadaan yhtälöstä (5)

$$Q = \frac{0,32 \cdot 250 \cdot 151 \cdot 10000}{1000} = 120800 \text{ kcal / h} \quad (5)$$

Veden tarvittava jäähtyminen jäähdyttimessä on näin ollen

$$\Delta t_v = \frac{Q_v}{V_v \cdot \gamma_v \cdot c_{pv}} = \frac{120800}{7 \cdot 1000 \cdot 1} \approx 17,3^\circ \text{C} \quad (6)$$

Veden ulostulolämpötila jäähdyttimestä on siten $77,7^\circ \text{C}$ ja veden keskimääräinen lämpötila on

$$\Delta t_{v\text{keskim}} = \frac{(95 + 77,7)^\circ \text{C}}{2} \approx 86,4^\circ \text{C}$$

Jäähdytysveden ja ilman keskimääräinen lämpötilaero $\Delta t_{\text{keskim}} = 56,4^\circ \text{C}$, kun sisäänmenevän jäähdytysilman lämpötila on 30°C . Oletetaan, että jäähdytyspuhaltimen aikaan saama ilman virtausnopeus jäähdyttimen läpi on tässäkin tapauksessa 5 m/s , joten

$$v \cdot \gamma_i = 5 \text{ m/s} \cdot 1,16 \text{ kp/m}^3 = 5,8 \text{ kp/m}^2 \text{ s} \quad (8)$$

Kuvan (kuva 16) käyrästä saadaan q :n arvoksi, jäähdyttimen vahvuuden T ollessa 34 mm, n. 20 kcal/dm²h°C. Kaavasta (7) saadaan jäähdyttimen otsapinta-alaksi

$$A_{otsa} = \frac{Q}{q \cdot \Delta t_{keskim}} = \frac{120800}{20 \cdot 56,4} = 107,1 dm^2 \quad (7)$$

$$= 1071000 \text{ mm}^2$$

Jäähdyttimen otsapinta-alan tulisi olla ilmavirtauksella 5 m/s lähes 1,1 m², jos moottoria pystyttäisiin kuormittamaan auton paikallaan ollessa täydellä kuormituksella. Todellisuudessa tällaista tilannetta ei synny, joten ajoviiman aiheuttama ilmavirtaus tulee auttamaan jäähdytystä tässä vaiheessa. Seuraavaksi lasketaan, kuinka paljon ajonopeutta tarvitaan, jotta hankittu jäähdytin riittää jäähdyttämään moottoria tarpeeksi myös täydellä kuormituksella.

Ilmaan siirtyneeseen lämpötehoon pätee yhtälö (HUOM! Tässä SI-järjestelmän mukaiset yksiköt).

$$Q_i = V_i \cdot \gamma_i \cdot \Delta t_i \cdot c_{pi} \quad (9)$$

jossa Q_i = ilmaan sitoutunut lämpöteho [kW]
 V_i = ilman massavirta [m³/s]
 γ_i = ilman tiheys [kg/m³]
 Δt_i = ilman lämpötilaero [°C]
 c_{pi} = ilman ominaislämpökapasiteetti [kJ/kgK]

Yhtälöstä saadaan ratkaistua V_i , kun se johdetaan muotoon.

$$V_i = \frac{Q_i}{\gamma_i \cdot c_{pi} \cdot \Delta t_i} \quad (9)$$

Muutetaan lämpöteho $Q = 120800$ kcal/h kilowateiksi, jolloin $Q = 140,5$ kW. Sijoittamalla yhtälöön tunnetut vakiot $\gamma_i = 1,2$ kg/m³ ja $c_{pi} = 1,005$ kJ/kgK sekä ilman

lämpeneminen jäädyttimessä $\Delta t \approx 30 \text{ }^\circ\text{C}$, saadaan jäädytykseen tarvittavan ilman massavirran suuruudeksi yhtälön (9) mukaisesti

$$V_i = \frac{140,5}{1,2 \cdot 1,005 \cdot 30} = 3,88 \text{ m}^3 / \text{s} \quad (9)$$

Ilman virtausnopeus, joka tarvitaan riittävän ilmamassavirran aikaan saamiseksi jäädyttimen läpi, saadaan yhtälöstä (10).

$$v_i = \frac{V_i}{A_{otsa}} \quad (10)$$

jossa v_i = ilman virtausnopeus [m/s]
 V_i = ilman tilavuusvirta [m^3/s]
 A_{otsa} = jäädyttimen otsapinta-ala [m^2] /4/

Sijoittamalla yhtälöön tunnetut suureet, saadaan tarvittavaksi ilman virtausnopeudeksi jäädyttimen läpi

$$v_i = \frac{3,88}{0,1044} \approx 37,2 \text{ m} / \text{s} \quad (10)$$

Jäädyttävä ilmavirta johdetaan jäädyttimelle ilmanottoaukon kautta. Ilmanottoaukon poikkipinnan muutos saa tulevan ilmavirran nopeuden muuttumaan yhtälön (11) mukaisesti

$$A_1 \cdot v_{i1} = A_2 \cdot v_{i2} \quad (11)$$

jossa A_1 = ilmanottoaukon pinta-ala [mm^2]
 v_{i1} = ilman nopeus ilmanottoaukolla [m/s]
 A_2 = jäädyttimen pinta-ala [mm^2]
 v_{i2} = ilman nopeus jäädyttimellä [m/s] /1/

Ilmavirran nopeus hidastuu yhtälön (11) mukaisesti, jos ilmanottoaukon pinta-ala on pienempi kuin jäähdyttimen otsapinta-ala. Ilmanottoaukolla tarvitaan siten suurempi ilmavirran nopeus, jotta ilman virtausnopeus olisi riittävä jäähdyttimellä. Tarvittava ilman nopeus ilmanottoaukolla saadaan ratkaistua, kun yhtälö (11) johdetaan muotoon

$$v_{i1} = \frac{A_2 \cdot v_{i2}}{A_1} \quad (11)$$

Sijoittamalla yhtälöön (11) tunnetut suureet, saadaan tarvittavaksi ilman virtausnopeudeksi ilmanottoaukolla

$$v_{i1} = \frac{0,1044 \cdot 37,2}{0,0234} \approx 166 \text{ m/s} \quad (11)$$

Yllä olevia arvoja käyttämällä, tarvittaisiin ajonopeutta siis n. 166 m/s, joka ei luonnollisesti ole mahdollista. Ilman nopeuden maksimiarvona voidaan pitää 100 m/s, koska ylittäessään tämän nopeuden aiheutuu siitä melua ja muita ongelmia. On siis tehtävä toimenpiteitä tarvittavan ilman virtausnopeuden pienentämiseksi.

Yhtälöistä (10) ja (11) huomataan, että tarvittavaan ilman virtausnopeuteen ilmanottoaukolla vaikuttaa pienentävästi kaksi tekijää: jäähdyttimen otsapinta-alan kasvattaminen ja ilmanottoaukon pinta-alan kasvattaminen. Jos kasvatetaan ilmanottoaukon pinta-alaa siten, että A_1 on $0,08 \text{ m}^2$, niin tarvittavan ilmavirran nopeudeksi v_{i1} :ksi eli ajoneuvon nopeudeksi saadaan

$$v_{i1} \approx 48,6 \text{ m/s}$$

Ajonopeutta tarvitaan täydellä kuormalla moottoria kuormitettaessa siten n. 175 km/h käyttämällämme jäähdyttimellä ja parametreilla, jotta jäähdytys olisi riittävä. Jäähdyttimelle tulee tällöin ohjata lisäksi kolme kertaa enemmän ilmaa kuin alun perin suunniteltiin. Mitä enemmän ilmaa jäähdyttimen läpi saadaan, sitä

parempi jäähdytysteho on. Tehokkaammalla jäähdytyspuhaltimella voitaisiin saada jäähdytystehoa paremmaksi, joskaan ajoviiman aiheuttaman ilmavirtauksen noustessa suureksi, ei puhaltimesta ole kovinkaan paljoa lisäapua.

Moottoria voidaan yleensä kuormittaa täydellä kuormalla normaaleissa ajotilanteissa vain lyhyissä jaksoissa kerrallaan. Moottori käy siten vain lyhyitä aikoja täydellä teholla, joten jäähdytys voidaan mitoittaa tästä syystä jonkin verran pienempitehoiseksi. Jäähdytystehon riittävyys kokonaisuudessa riippuu raskaan ja kevyemmän kuormituksen suhteesta, koska kevyellä kuormituksella jäähdytys on tehokkaampaa.

Jäähdytysteho on oletettavasti riittävä täydellä moottorin kuormituksella pienemällä ajonopeudella, koska käytetyt yhtälöt eivät myöskään ota huomioon painepainevaikutusta, joka tehostaa jäähdytystä ajoviiman aiheuttaman ilmavirtauksen pakottaessa jäähdyttimen läpi ilmamassaa. Jäähdytyksen kannalta on tärkeää saada mahdollisimman suuri ilmamassavirta jäähdyttimen läpi.

Yllä mainittujen seikkojen vuoksi sisään menevän ilman riittävänä nopeutena voidaan tässä tapauksessa pitää ajoneuvon nopeutta 150...180 km/h. Jäähdytyspuhallin nostaa ilman virtausnopeutta mahdollisesti vielä 5...10 m/s, joten ajonopeus voi olla sen verran pienempi. Varmuus jäähdyttimen jäähdytystehon riittävyyteen tai riittämättömyyteen saadaan vasta, kun autolla päästään ajamaan. Jos moottorin lämpö pyrkii olemaan liian korkea, täytyy hankkia isompi jäähdytin tai asentaa tehokkaampi jäähdytyspuhallin, jolla moottorin lämpö saadaan pysymään oikeana. Toinen vaihtoehto on ohjata lisää ilmaa jäähdyttimen läpi, jolloin jäähdytys tehostuu. Tällöin ilmanottoaukon kokoa täytyy kasvattaa tai aukkojen lukumäärää lisätä. Myös putken halkaisijaa, jolla jäähdytysilma johdetaan ilmanottoaukolta tai -aukoilta jäähdyttimen kotelolle, olisi tällöin syytä suurentaa.

7. MOOTTORINOHJAUSJÄRJESTELMÄ JA SÄHKÖASENNUKSET

Lahjoituksena saamamme moottorin mukana ei tullut mitään apulaitteita, joten myöskään moottorinohjausjärjestelmää ei ollut valmiina. Tämä luku käsittelee, mikä moottorinohjausjärjestelmä moottoriin hankittiin ja mitkä seikat valintaan johtivat. Tässä luvussa myös esitellään järjestelmä lyhyesti ja kerrotaan mitä vaatimuksia järjestelmä moottorin anturoinnille ja sähköasennuksille asettaa.

7.1 Järjestelmän valinta

Aluksi moottorinohjausjärjestelmäksi harkittiin Mega Squirt -moottorinohjausjärjestelmää. Mega Squirt on eräänlainen tee-se-itse-moottorinohjausyksikkö, jota voi käyttää periaatteessa missä tahansa kipinäsytytyksellä varustetussa ottomoottorissa ja jossa ohjausyksikön voi rakentaa itse. Ohjausyksikön rakentamiseen vaaditut komponentit saa hankittua elektroniikkakomponentteja myyvistä liikkeistä ja rakennusohjeet saa internetistä. Myös ohjausyksikön ohjelmointiin ja säätöön tarvittavat ohjelmistot ovat vapaasti käytettävissä ja ladattavissa internetistä. Suomalaisella Mega Squirt -sivustolla kerrotaan järjestelmästä seuraavasti. ”MS on avoin projekti. Kaikki asiaan liittyvä aina hardwaren suunnittelusta ohjelmistoon saakka on saatavilla MS:n kotisivuilta. MS:n mikrokontrollerin konekielinen ohjelma on vapaasti saatavilla ja sitä saa räätälöidä paremmin omaan käyttötarkoitukseensa sopivaksi” /6/. Yllä olevien seikkojen vuoksi Mega Squirt on hyvin edullinen järjestelmä verrattuna kaupallisiin moottorinohjausjärjestelmiin. /6/

Muita moottorinohjausjärjestelmä vaihtoehtoja olivat suomalaiset HESTEC ja TA-TECH sekä amerikkalainen MOTEC, joissa on pieniä eroja lukuun ottamatta melko samanlaiset ominaisuudet. Nämä järjestelmät ovat kaupallisia

Kun perehdyttiin tarkemmin järjestelmiin, huomattiin, että MS:n säätötarkkuus ei riitä moottoripyörän moottorille, jonka ylin kierrosnopeus on n. 13 000 (r/min). MS:n säätökartta on tyypiltään 12x12, eli siinä on käytettävissä 12 säätökierrosnopeutta, jotka voi sijoittaa vapaasti moottorin kierrosnopeusalueelle ja jokaisella

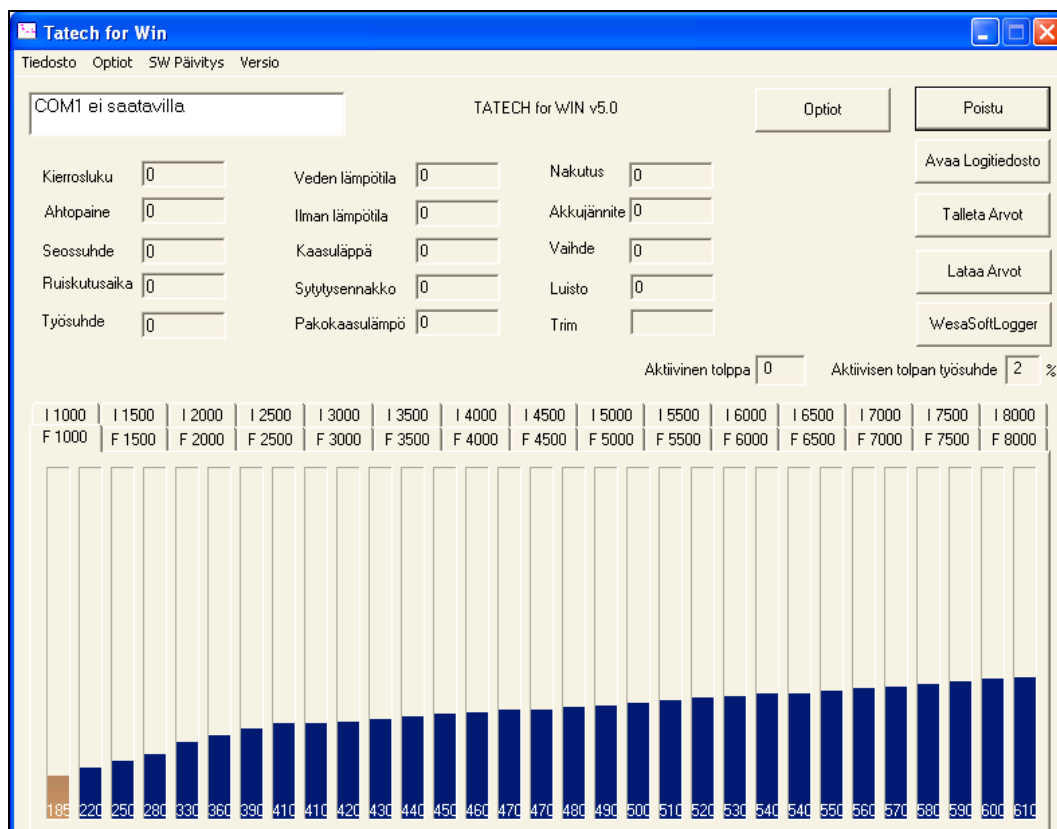
näistä 12 kierrosnopeudesta on 12 kuormituspistettä. /6/ Esimerkiksi jos moottorimme max pyörintänopeus on 6500 (r/min) ja oletetaan tyhjäkäyntinopeudeksi 800 (r/min), niin tasajaolla sijoitetut säätökierrosnopeudet olisivat tällä välillä 850...6500 (r/min), 475 (r/min) välein. Tämä olisi riittävä tarkkuus. Jos otamme moottorin, jonka max pyörintänopeus on 13 000 (r/min) ja tyhjäkäyntinopeus on 1000 (r/min), ei säätökierrosnopeuksia olekaan kuin yksi per 1000 (r/min), joka ei riitä moottorin riittävään, saati hyvään säätötarkkuuteen.

TATECH-moottorinohjausjärjestelmässä on säätökartasto 25x31 -tyyppiä, eli siinä on 25 säätökierrosnopeutta ja jokaisella kierrosnopeudella on 31 kuormituspistettä. Myös sytytysennakolle on yhtä monta säätöpistettä. TATECH:ssa voi säätökierrosnopeudet sijoittaa MS:n tapaan myös vapaasti mihin tahansa kierrosalueella ja tällä saavutetaan erittäin tarkka säätötarkkuus. /7/

TATECH:n säätötarkkuus, hyvät ominaisuudet ja Stadian formulastudent teamin hyvät kokemukset puolsivat järjestelmän hankintaa ja niinpä sellainen päätettiin hankkia. Ostopäätökseen vaikutti myös se, että järjestelmän kehittäjän ja valmistajan Softatech Oy:n toimipiste sijaitsee Pirkkalassa, joten siellä on helppo ja nopea asioida. Myös teknistä tukea on näin ollen nopeasti saatavissa, ja Softatech:sta luovattiinkin täysi tekninen tuki projektillämme.

7.2 Järjestelmän ominaisuudet ja toiminta /7/

TATECH on täysin elektroninen, Suomessa kehitetty moottorinohjausjärjestelmä. Järjestelmää voidaan käyttää kaikissa otto-moottoreissa riippumatta siitä, onko kyseessä auton vai moottoripyörän moottori. Järjestelmä on kehitetty varmatoimiseksi ja helppokäyttöiseksi. Moottorin säätöparametrien asetus tapahtuu täysin tietokoneella, järjestelmän mukana tulevalla helppokäyttöisellä TATECH for WIN -ohjelmalla, jonka kieleksi on valittavissa suomi tai englanti. Ohjelman pääikkuna näyttää seuraavalta (kuva 17).



Kuva 17 TATECH-moottorinohjausjärjestelmän säätöohjelman pääikkuna

Säädöt voidaan tehdä reaaliaikaisesti, eli tehdyt säädöt vaikuttavat heti moottoriin, ja ne ovat heti nähtävissä. Ruudulta voidaan reaaliaikaisesti lukea moottorin kierrosnopeus, ahtopaine, seossuhde, ruiskutusaika, työsuhde, veden lämpötila, ilman lämpötila, kaasulämpö, sytytysennakko, pakokaasun lämpö, nakutuksen esiintyminen, akkujännite, käytössä oleva vaihde ja mahdollisesti renkaan ja tien välissä esiintyvä luistoprosentti. Kaikkien arvojen näkyminen tietenkin edellyttää tarpeita vastaavaa ja riittävää anturointia.

TATECH:lla voidaan ohjata suuttimia ja myös lisäsuuttimia, jos sellaiset tarvitaan. Turboahdetuissa korkean viritystasteen omaavissa moottoreissa tämä on yleistä. Ruiskutus- ja sytytyshetki voidaan järjestää joko käyttämällä moottorin omaa virranjakajaa oikean sytytyshetken määrittämiseen tai käyttämällä esimerkiksi Hall-antureita kierrosnopeuden ja moottorin asennon mittaamiseen. Tällöin jokaiselle sylinterille on oma puola, ja järjestelmä on jakajaton. Kyseessä on ns. suorasytytys.

TATECH:lla voidaan ohjata myös paukkusysteemiä ja hukkaporttia. Paukkusysteemin tarkoitus on eliminoida pakokaasuahtimen viivettä. Systeemillä saadaan myöhäistettyä sytytystä ja katkottua polttoaineenruiskutusta siten, että polttoaine saadaan palamaan pakosarjassa. Palaminen pitää ahtimen kierrosluvun korkeana, ja siten myös ahtopaineen yllä, vaikka kuljettaja nostaa jalan väliaikaisesti kaasulta, jolloin kaasuläppä sulkeutuu. Systeemin nimi tulee paukkuvasta äänestä, joka syntyy polttoaineen palaessa pakosarjassa.

Järjestelmällä voidaan myös ohjata suutinta, jolla imusarjaan voidaan ruiskuttaa hienojakoista vesisumua. Vesisumun tarkoitus on jäähdyttää imuilmaa, jolloin ilman tiheys kasvaa, ja moottorista saadaan lisää tehoa täytöosuhteen parantuessa. Samalla myös palamislämpötila alentuu ja moottorin lämpörasitukset pienenevät. Suurin hyöty vesiruiskutuksesta saavutetaan turboahdetuissa moottoreissa, joissa imuilma on paineistuksen takia kuumempaa kuin vapaasti hengittävissä moottoreissa.

Järjestelmässä on lisäksi tarkasti ja hyvin toimiva kierrosrajoitin, joka on erittäin tärkeä ja tarpeellinen ominaisuus moottorin ehjänä pysymisen kannalta. Muita järjestelmän ominaisuuksia ovat:

- vaihtovalon ohjaus
- jäähdyttimen puhaltimen ohjaus
- joutokäyntiventtiilin ohjaus
- polttoainepumpun ohjaus
- tiedonkeruu PC
- tiedonkeruu ECU
- Quick shifter (sytytyksen katkenta vaihteen vaihdossa)
- pakokaasun lämpötilamittaus
- lähtökierrosrajoitin
- nakutusanturi
- ylipainesuojaus
- pako-, öljy- ja polttoaineen paineenmittaus
- polttoainekarttojen analysointi 3D-kuvana

Näiden ominaisuuksien lisäksi järjestelmä sisältää lukuisia erilaisia korjauskarttoja, joista esimerkkinä vaikka sytytysennakon määrääminen kylmäkäynnistyksessä moottorin lämpötilan mukaan, kylmärikastukset jne.

7.3 Moottorin anturointi

Moottorissa on alun perin jakajaton suorasytytys. Jokaisella sylinterillä on oma sytytyspuola integroituna tulpanhattuun. Moottorin kierrosnopeutta mitataan kampiakselin päästä induktiivisella asentoanturilla. Asentoanturin pyöränä toimii 12-sakarainen metalliekko. Moottorin asento mitataan puolestaan nokka-akselilta induktiivisella asentoanturilla. Alkuperäisessä nokka-akselin asentoanturissa käytetään 3-sakaraista pyörää. Suorasytytyksen käyttö moottorissa oli oikeastaan ainoa järkevä vaihtoehto, joten sitä silmällä pitäen hankittiin tarvittavat komponentit, esimerkiksi moottorin alkuperäiset sytytyspuolat.

TATECH-moottorinohjausjärjestelmä tarvitsee ohjaukseensa Hall-antureiden tuottamaa sakara-aaltoa. Induktiivisia asentoantureita voidaan käyttää, mutta silloin tarvitaan erillinen VR-muuntokortti, joka muuttaa induktiivisen anturin signaalin sakara-aalloksi. Muuntomahdollisuuden ollessa olemassa päätimme yhdessä Softatech Oy:n henkilökunnan kanssa käyttää moottorin alkuperäisiä induktiivisia antureita. Käyttämällä alkuperäisiä antureita välttyttiin myös anturien kiinnityksien rakentamiselta, jotka olisi tarvittu, jos olisimme joutuneet käyttämään Hall-antureita. 12-sakaraisella pyörimisnopeusanturilla saavutetaan 4- ja 6 -sylinterisessä moottorissa paras tarkkuus, joten anturin pyörääkään ei tarvinnut muuttaa.

Nokka-akselin asentoanturin pyörä päätettiin teettää uudestaan, jotta siihen saadaan samalla myös säätömahdollisuus. TATECH tarvitsee vain yhden signaalin nokka-akselilta nokka-akselin kierrosta kohden, joten uudessa anturipyörässä tarvitaan vain yksi sakara. Anturipyörän epäkeskeisestä kiinnityksestä johtuen, pyörään jätettiin kuitenkin kaksi sakaraa 180 asteen välillä. Toinen sakaroista katkaistiin pois, kun saatiin varmuus, kumpi sakaroista tarvitaan. Jätettävä sakara oli se, joka oli lä-

hempänä asentoanturia 1. sylinterin ollessa puristustahdin lopussa eli sytytyshe-
kessä. Kuvassa (kuva 18) on sekä alkuperäinen että uusi anturipyörä. Uuden asen-
topyörän piirustukset ovat liitteessä (liite 2). Uusi anturipyörä suunniteltiin vanhas-
ta otettujen mittojen mukaan IDEAS 3D -ohjelmalla, jonka jälkeen anturipyörä la-
serleikkautettiin 3D-mallista tehdystä polttomallista. Muita ohjausyksikön ulkopuo-
lisia muutoksia ei tarvinnut kierrosnopeuden ja moottorin asennon anturointiin teh-
dä.



Kuva 18 Nokka-akselin asentoanturin alkuperäinen anturi (vas.) ja uusi anturi (oikea).

Muita tarvittavia antureita olivat imuilman lämpötila-anturi (IAT, Intake Air Temperature), kaasuläpän asentoanturi (TPS, Throttle Position Sensor) ja lambda-anturi. Kyseisiä antureita ei vielä ollut, joten ne hankittiin. Jäähdytysnesteen lämpötilan mittaamiseen käytettiin alkuperäistä anturia, joka sijaitsee termostaattikotelossa. Koska kyseessä on korkeavirtteinen moottori lähinnä kilpakäyttöön, niin imusarjan paineen mittaamiseen käytettävää MAP-anturia (Manifold Absolutely Pressure) emme hankkineet. Pääkuormitusanturina käytetään tässä tapauksessa kaasuläpän asentoanturia, kun vakiomoottoreissa, joita käytetään jokapäiväisessä liikennöinnissä, pääkuormitusanturi on yleensä MAP tai MAP ja TPS-anturi yhdessä.

Imuilmanlämpötila-anturille rakennettiin teline 2. ja 3. sylinterin ilmansuodattimien väliin (Kuva 19). Tässä kohdassa moottoriin imettävän ilman lämpötilan arvioitiin olevan keskimääräisesti oikea.



Kuva 19 Imuilman lämpötila-anturi ja anturin teline

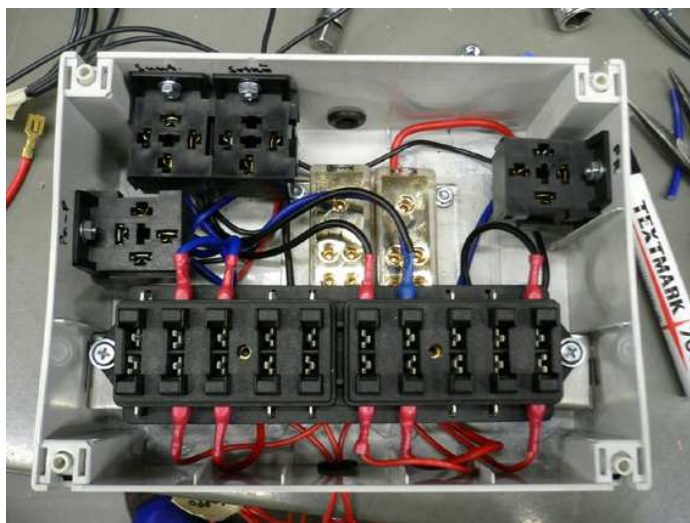
Myös kaasuläpän asentoanturille tehtiin tukeva teline, jotta anturin toiminta on jokaisella kaasuläpän avauksella samanlainen ja tarkka. Ensimmäinen versio anturin telineestä oli liian kevytrakenteinen, ja anturi toimi epätarkasti. Suurin syy epätarkkaan toimintaan oli kuitenkin se, että kaasuläpän akseli ei yltänyt kunnolla anturissa olevaan hahloon, jonka kautta pyörivä liike välittyy anturissa oleviin liukupintoihin aiheuttaen anturissa vastuksen muutoksen. Ongelma korjaantui jyrsimällä kaasuläpärungosta materiaalia pois siten, että kaasuläpän akseli yltää anturissa olevan hahlon pohjaan asti. Samalla anturille oli mahdollista tehdä tukeva teline.

Lambda-anturin käyttö on moottorin säädettävyyden kannalta välttämätöntä, joten hankittiin heti paras mahdollinen, eli laajakaista lambda-anturi. Perinteisellä lambda-anturilla varustettu ruiskutusjärjestelmä ei voi käyttää lambda-arvoa esimerkiksi moottoria kuormittaessa, koska silloin seossuhde menee yli anturin mitta-alueen. Tällöin käytetään jotain muuta anturia järjestelmän säätöön. Laajakaista lambda-anturin mitta-alue on huomattavasti laajempi kuin normaalilla lambda-anturilla, ja siksi sen tarkkuus riittää järjestelmän säätämiseen myös kuormitustilanteissa, joissa seossuhde voi olla huomattavankin kaukana stokiometrisestä seossuhteesta, jolloin ilman ja polttoaineen suhde on 14,7. Anturi on luonnollisesti lämmitettävä, jotta se on mahdollisemman toimintavalmis sen jälkeen, kun sen lämmityselementtiin on kytketty virta. Aika on yleensä noin 30 s. Lambda-anturin kiinnitysmutteri hitsattiin pakoputkeen noin 200 mm päähän kollektorin toisesta päästä. Tällä tavoiteltiin sitä, että kaikkien sylinterien pakokaasut ehtivät sekoittua toisiinsa, ennen seossuhteen mittaamista.

Kun kaikille antureille oli telineet valmiina, oli seuraavana vaiheena sähköasennuksien tekeminen ja järjestelmän kytkentä. Seuraava kappale käsittelee moottoriin liittyviä sähköasennuksia ja myös antureiden johdotuksia.

7.4 Moottoriin liittyvät sähköasennukset

Ensimmäisenä moottorin sähköistykseen liittyvänä työvaiheena rakennettiin sulake-/relerasia (kuva 20). Rasia pitää sisällään kaikki tarvittavat sulakkeet ja moottorin toimintaan vaikuttavat releet (päärele, polttoainepumpun rele, suuttimien rele, sytytyksen rele). Rasiaan tuodaan akulta jännite yhdellä paksulla johtimella päävirtakatkaisimen kautta. Rasiassa jännite jaetaan eri kuluttajille sulakkeiden kautta joko niin, että jännite on jatkuva tai siten, että päärele ohjaa jännitettä.



Kuva 20 Sulake- / relerasia

TATECH:n ohjausyksikön kytkennät suoritettiin Softatech Oy:n Marko Reposen laatiman kytkentäkaavion mukaisesti (Liite 3), käyttäen apuna myös TATECH:n alkuperäistä kytkentäohjetta, joka saatiin järjestelmän mukana CD-levyllä. Kaaviossa näkyvät järjestelmän kytkennät, esimerkiksi mistä ohjausyksikön liitinkamman pinneistä viedään johtimet kaasuläpän asentotunnistimelle. Kaavio on helppolukuinen, ja sen avulla kytkennät onnistuivat helposti, vaikka aiempaa kokemusta asiasta ei ollut. Kaikkien antureiden kytkennät tehtiin mahdollisimman huolellisesti ja kaikki johdinliitokset juotettiin hyvän ja varman liitoksen takaamiseksi. Ohjaus-

yksikkö on sijoitettu autossa kuljettajan vasemmalle puolelle runkoputkien väliin (kuva 21), johon taivutettiin 1 mm teräslevystä kiinnityslevy ohjausyksikölle.



Kuva 21 Ohjausyksikkö sijoitettuna kuljettajan vasemmalle puolelle

Ohjausyksiköltä lähtee johdinsarja toimilaitteille ja antureille, joista suurin osa sijaitsee auton moottoritilassa. Ohjaamon ja moottoritilan välissä sijaitsevaan tulipeltiin oli hyvä tehdä johdinsarjaan väliliitos. Johtimien läpivienti toteutettiin kahdella 16-napaisella liittimellä (kuva 22). Alemman liittimen kautta menevät kaikkien muiden antureiden, paitsi rpm-, home- ja lambda-anturin signaalit. Myös antureiden tarvitsemat maadoitukset kulkevat liittimen kautta. Ylemmän liittimen kautta menee sulake- ja relerasialta puolille ja suuttimille +12 V. Tämän liittimen kautta kulkee lisäksi suuttimien ohjaukset eli ohjausyksiköltä tulevat maadoitukset (suuttimille suoraan, ja puolille kipinänvahvistusyksikön kautta).



Kuva 22 Tulipellissä olevat läpivientiliittimet

Läpivientiliittimien ansiosta moottorin irrotus rungosta onnistuu nyt helposti ja nopeasti, koska suurin osa johtimista kulkee liittimien kautta. Tämän lisäksi täytyy pyörimisnopeus-, home- ja lambda-anturin liittimet irrottaa. Näille antureille on omat häiriösuojatut johdot ohjausyksikön johdinsarjassa. Johtimet vedettiin tulipellin läpi, tavanomaisen läpivientikummin läpi.

Viimeisenä sähkötyönä oli latauksen järjestäminen. Ensimmäiseksi tutustuttiin moottorin omaan sähkökaavioon. Sähkökaaviosta selvitettiin yhdessä sähkötekniikan laboratorioinsinööri Tapio Ketosen kanssa, miten moottorin latausjärjestelmä toimii. Moottorissa latauksen säätö tapahtuu erillisellä lataussäätimellä, joten sellainen jouduttiin hankkimaan. Säätimen kytkentä oli sähkökaavioon tarkemman perehtymisen jälkeen teoriassa melko yksinkertainen toimenpide, mutta japanilaiset valmistajat käyttävät johtosarjoissaan omia liitinkoteloja, joita ei saa tarvikkeena. Moottoripyörän alkuperäistä johdinsarjaahan meillä ei tietystikään ollut, joten lataussäätimen alkuperäinen liitinkotelo vaihdettiin tarvikekoteloon, johon saa luonnollisesti myös vastakappaleen. Näin liitoksesta tuli alkuperäisen kaltainen ja hyvä. Yhden säätimeen menevän johtimen kytkennästä ei oltu aivan varmoja, joten se jätettiin alkuvaiheessa kytkemättä. Latausjännitettä myöhemmin mitatessa huomattiin latausjännitteen kuitenkin nousevan liian suureksi; jännitteen säädin ei toiminut siis oikein. Johdin, joka jätettiin aluksi kytkemättä, on säätimen säätöjännitteelle. Säädin ei tiennyt vallitsevaa jännitetasoa eikä säätänyt jännitettä lainkaan. Kun

johdin kytkettiin sähköjärjestelmän +-piiriin, alkoi säädin toimia oikein ja latausjännite säätyi oikeaksi.

8. YHTEENVETO

Koko SFR-projektissa oli tavoitteena suunnitella ja rakentaa ratakäyttöön tarkoitettu formulatyypinen yhden hengen rata-ajoneuvo. Oman osuuteni tavoitteena oli mahdollistaa moottoripyörän moottorin käyttäminen auton voimanlähteenä tehokkaasti ja luotettavasti. Tässä raportissa käsiteltiin näiden kriteerien saavuttamiseksi tehdyt toimenpiteet.

Projektin aloituspalaverissa päätettiin, että SFR-autoa ryhdytään rakentamaan valittavan moottorin ympärille. Ensimmäiseksi valittiin käytettävä moottorityyppi. Vaihtoehtojen vertailun jälkeen päädyttiin käyttämään SFR-auton voimanlähteenä moottoripyörän moottoria, sen keveyden, pienen koon ja suuren tehon vuoksi. Moottorin hankinta yhdistyksen varoilla olisi muodostanut suuren kuluerän, joten tiedusteltiin moottoripyörämaahantuoilta halukkuutta lähteä mukaan projektiimme sponsoriksi. Noin kuukauden kuluttua Oy Brandt Ab:n lahjoitti moottorin käyttöömmeksi.

Lahjoituksena saamamme moottori oli vaihdettu melko vähän ajettuna uuteen, siinä olevan pienen vesikanavan halkeaman vuoksi, joka aiheutti pienen jäähdytysnestevuodon. Tuon vaurion selvittäminen ja korjaustoimenpiteet olivat ensimmäinen käytännön työvaihe työssäni. Halkeaman korjaaminen osoittautui haasteelliseksi toimenpiteeksi. Vaikka ensimmäinen korjausyritys ei onnistunut, päästiin toisella yrityksellä, eri menetelmää käyttämällä, haluttuun lopputulokseen, ja korjaus voitiin katsoa onnistuneeksi.

Käytettävissä olevan tilanpuutteen vuoksi ei voitu ajatella alkuperäisen pakosarjan käyttöä moottorissa. Pakosarja vaikuttaa olennaisesti moottorin tehoon ja ominaisuuksiin. Tämän vuoksi pakosarjan mitoitus ja valmistus oli yhtenä osana työtä. Suunnitteluvaiheen jälkeen pakosarja valmistettiin mitoituksen mukaiseksi. Kaiken

kaikkiaan pakosarjan mitoitus ja valmistus onnistui mielestäni hyvin, ja olen lopputulokseen tyytyväinen. Auton valmistumisen edetessä niin pitkälle, että pääsemme säätämään moottoria tehodynamometrillä, selviää myös miten pakosarjan mitoitus oikeasti onnistui. Kun pääsemme mittaamaan, millä kierrosalueella moottorin suurin vääntömomentti ja suurin teho esiintyvät uudella pakosarjalla, voimme sen jälkeen verrata tuloksia moottorin alkuperäisiin arvoihin ja tehdä johtopäätökset pakosarjan onnistumisesta.

Jäähdytysjärjestelmän riittävä tehokkuus mahdollistaa omalta osaltaan moottorin luotettavan toiminnan. Moottorin käyttäminen sovelluksessa, johon sitä ei ole alun perin suunniteltu, lisää tarvetta huomioida tämä asia. Työssä käsiteltiin jäähdytysjärjestelmän mitoitus tilanteessa, jossa moottori käy joutokäyntiä paikallaan ja tilanne, jolloin moottoria kuormitetaan täydellä kuormalla. Mitoituksen mukaan hankittu jäähdytin riittää jäähdyttämään moottorin, sen käydessä joutokäyntiä. Kuormitettaessa moottoria täydellä kuormalla moottorin lämpö saattaa nousta liian korkeaksi. Tulokset ovat suuntaa antavia, mutta niiden voidaan katsoa olevan suuruusluokaltaan oikeita. Varmuus asiasta saadaan kuitenkin vasta, kun autolla päästään ajamaan. Käytännössä saatujen kokemusten perusteella tehdään jäähdytysjärjestelmään tarvittaessa muutoksia.

Moottorinohjausjärjestelmä vaikuttaa moottorin tehokkuuteen suuresti, joten järjestelmän valintaan kiinnitettiin erityistä huomiota. Tarkalla järjestelmällä saadaan moottorista suurin mahdollinen teho jokaisessa kuormitustilanteessa. Työssä käsiteltiin moottorinohjausjärjestelmän valintaan liittyviä asioita sekä järjestelmän vaatimat anturoinnit ja sähköasennukset. Järjestelmän säätöön liittyvät asiat on jätetty käsittelemättä, koska niiden käsitteleminen tarvittavassa laajuudessa olisi ollut tässä yhteydessä mahdotonta. Järjestelmän kytkeminen onnistui kokonaisuudessaan melko hyvin, muutamia pieniä vastoinkäymisiä lukuun ottamatta, vaikka aiempaa kokemusta ei asiasta ollutkaan. Moottorinohjausjärjestelmän mahdollisesti tuoma lisäteho selviää myös tulevaisuudessa, kun pääsemme mittaamaan moottorin tehon dynamometrillä.

Työssä tuli hyvin selväksi se tosiasia, että huolellisuudesta huolimatta saattaa pieniä, myöhemmin hankalasti havaittavia virheitä tapahtua. Esimerkiksi ensikäynnistys ei onnistunut halutulla tavalla kahden johtimen ollessa kummassakin kipinävahvistusyksikössä väärin päin kytkettynä. Syy käynnistymättömyyteen kuitenkin huomattiin monien tarkistuskertojen jälkeen, ja moottori saatiin kuin saatiinkin käyntiin.

SFR-auto tullaan rakentamaan valmiiksi kesän 2007 aikana, jonka jälkeen sillä tullaan osallistumaan erilaisiin harrastetapahtumiin ja autolla tullaan ajamaan radalla varmasti aina, kun se on mahdollista. Auton kehitystä tullaan myös jatkamaan tulevaisuudessa.

Työ oli erittäin mielenkiintoinen ja työssä opituista asioista tulee olemaan hyötyä varmasti niin omissa kuin ammatillisissakin projekteissa. On ollut ilo huomata, että projektimme on ainakin osittain innostanut ja rohkaissut myös muita opiskelijoita ryhtymään koulullamme vastaavanlaisiin projekteihin.

LÄHTEET

Painetut lähteet

- 1 Robert Bosch GmbH, BOSCH, autoteknillinen taskukirja. 6. painos. 2002, 1021 s.
- 2 Mauno, Esko, Virittäjän käsikirja 1 nelitahtimoottorit. 5. painos. Al-famer Kustannus Oy 2005. s. 131–137.
- 3 Parpola, Matti, Nestejäähdytyksen konstruktioperusteet. Suomen Autolehti 5/1971, s. 186–189.

Painamattomat lähteet

- 4 Mäkilouko, Marko, Moottorivarusteet. Kurssimateriaali. Tampereen ammattikorkeakoulu. Koneosasto. Tampere 2005.
- 5 Mäkilouko, Marko, Moottoritekniikka. Kurssimateriaali. Tampereen ammattikorkeakoulu. Koneosasto. Tampere 2003.

Sähköiset lähteet

- 6 Kemppi Oy. [www-sivu]. [viitattu 5.2.2007] Saatavissa: <http://www.kemppi.com/>
- 7 Finsquirt - Suomenkielinen Megasquirt Wiki ja Forum [www-sivu]. [viitattu 8.3.2007] Saatavissa: <http://www.finsquirt.net/wiki/index.php/Johdanto>
- 8 Softatech Oy. [www-sivu]. [viitattu 9.3.2007] Saatavissa: <http://www.tatech.net/>
- 9 Service manual. [CD-ROM.] Honda Motor Co., Ltd. 2001.

SFR-PROJEKTI

Powered by Honda

Insinööriöprojekti – Tampereen ammattikorkeakoulu – Auto- ja kuljetustekniikka

SFR-projektin puitteissa suunnitellaan ja rakennetaan yhden hengen auto ratakäyttöön. Kyseessä on viiden Tampereen ammattikorkeakoulun auto- ja kuljetustekniikan opiskelijan insinööriöprojekti. Projektiin osallistuvat henkilöt ja heidän vastuu-alueensa ovat seuraavat:

Projektivastaava, runko	Vesa Salminen
Sihteeri, kate ja ohjaamo	Pasi Kuusisto
Moottori ja vaihteisto	Joni Joenniemi
Voimansiirto	Janne Lipasti
Alusta ja ohjaus	Jukka Kallio
Valvovat opettajat	Tauno Kulojärvi, Erkki Nuutio



Tietokoneella luotu auton 3D-malli.

Projekti alkoi helmikuussa 2006 ja on edennyt kevääseen 2007 mennessä loppusuoralle. Jäljellä ovat rungon, korin ja moottorin viimeistelyt, sekä alustarakenteiden ja voimansiirron loppuun rakentaminen. Tämän jälkeen päästään suorittamaan pintakäsittelyt, loppukokoonpano ja aloittamaan testitoiminta ja projektin tulosten esittely. Projektiä on viety eteenpäin Tampereen ammattikorkeakoulun tiloissa.

Kustannuksista suurimman osan ovat muodostaneet erilaisten osien ja materiaalien hankinta. Rahoitusta on kerätty sponsorien ja apurahojen avulla. Rahoitus onkin saatu riittämään kohtuullisen hyvin, joskin alun perin budjetoimatta jääneet kulut ovat osittain vielä kattamatta.

Yhteistyökumppaneille tarjotaan mainostilaa niin auton pinnalta, kuin myös mahdollisuuden mukaan erilaisista esitteistä ja julkaisuista joissa autoa käsitellään. Näkyvyyttä on tarjolla erilaisissa tapahtumissa, kuten ratapäivillä ja harrasteajoneuvotapahtumissa. Yhteistyökumppanit voivat sopimuksen mukaan saada auton esille myös omissa tapahtumissaan. Toistaiseksi yhteistyötä on Tampereen ammattikorkeakoulun lisäksi tehty mm. Hondan maahantuojan, Moto-Osat -moottoripyöräliikkeen, sekä Tatech-moottorinohjausjärjestelmän kehittäneen Softatechin kanssa.

Hankkeesta on hyötynyt ja tulee hyötymään myös Tampereen ammattikorkeakoulu, etenkin aiheeseen liittyvien koulutusohjelmien kiinnostavuuden lisääntymisen kautta. Ensimmäiseksi konkreettiseksi hyödyksi voidaan laskea tämän projektin innoittamana alkanut Tampereen ammattikorkeakoulun Formula Student -projekti. Oppilaitoksen puolesta SFR-projektia ovat tukeneet mm. auto- ja kuljetustekniikan koulutuspäällikkö Tauno Kulojärvi, yliopettaja Erkki Nuutio, sekä autolaboratorion laboratorioinsinööri Jari Seppälä. Projektiä hoitamaan on perustettu rekisteröity yhdistys, Team SFR ry.



SFR-auto valmistumassa keväällä 2007.

Auto on takavetoinen, keskimoottorinen ja nelipyöräinen. Moottori on Hondan 954 cm³ moottoripyörän moottori varustettuna elektronisella vaihtenvaihtojärjestelmällä. Moottoriin on asennettu tietokoneella säädettävä Tatech-moottorinohjausjärjestelmä. Voimansiirto takapyörille tapahtuu ketjun välityksellä. Korimalliltaan auto on avonainen ja korin materiaali on lasikuitu. Runkorakenne on levyillä tuettu putkirunko, jonka materiaali on teräs. Alustarakaisuna käytetään päällekkäisiä kolmiotukivarsia ja coilover-jousitusta.

Projektin aikana on tutkittu mm. runkorakenteen vääntöjäykkyyttä ja kolariturvallisuutta, sekä kiinnitetty erityishuomiota moottorinohjausjärjestelmän toimintaan ja ergonomisiin ratkaisuihin. Kaikkien osa-alueiden kohdalla on pyritty myös ottamaan huomioon vaatimukset niin keveyden, kestävyden, kuin turvallisuuden kannalta.

Vesa Salminen
p. 050 370 5404
vesa-matti.salminen@me.tpu.fi

Pasi Kuusisto
p. 050 330 1379
pasi.kuusisto@me.tpu.fi

Jukka Kallio
p. 040 587 2551
jukka.kallio@me.tpu.fi

Joni Joenniemi
p. 040 749 4315
joni.joenniemi@me.tpu.fi

Janne Lipasti
p. 050 597 6801
janne.lipasti@me.tpu.fi

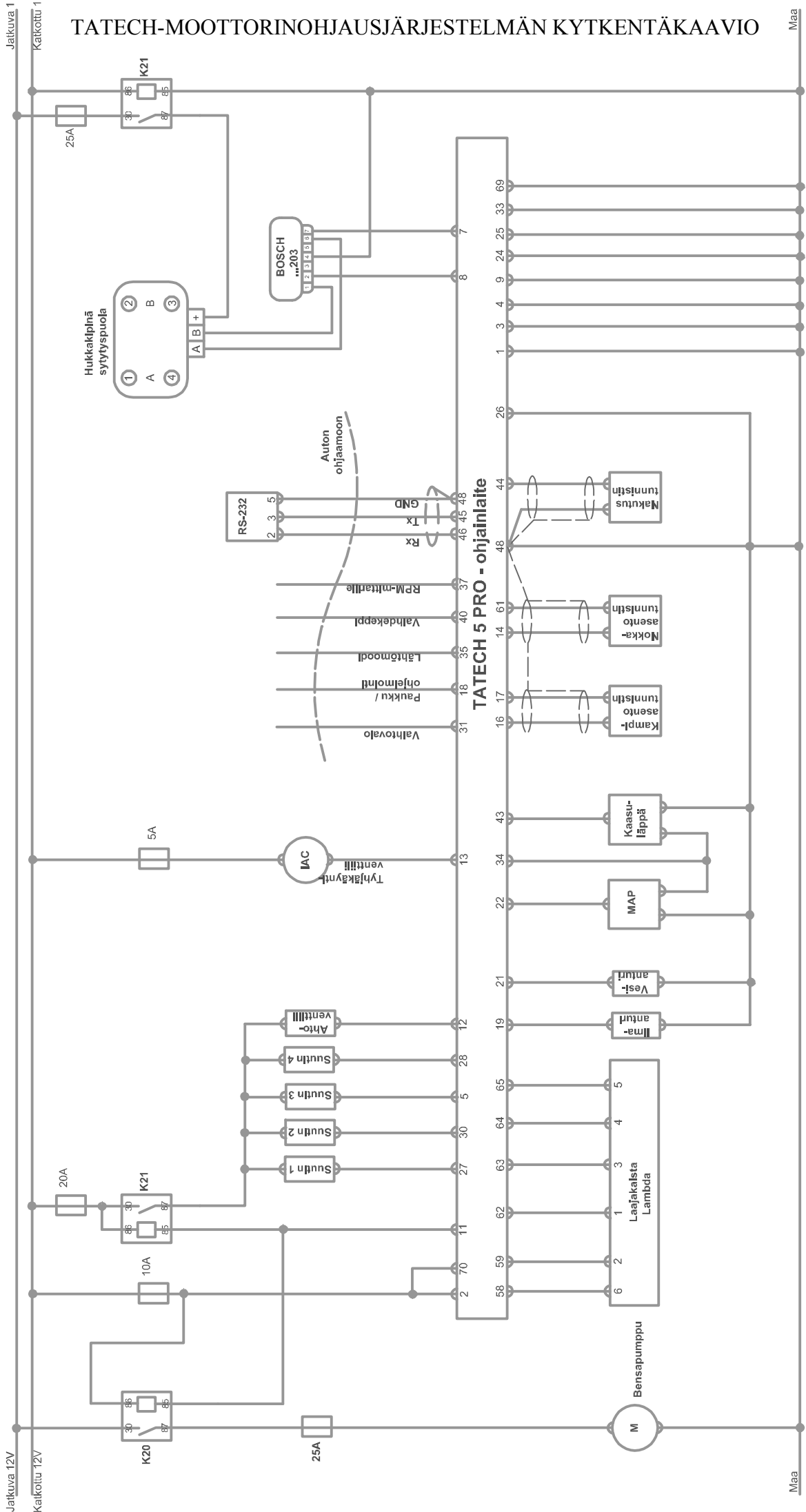
Jatkokuva 1

Kaikkotuu 1

Jatkokuva 12V

Kaikkotuu 12V

Maa



Maa