



**Rain Rosenblatt**

**4G63 MOOTORI  
ÜLELAADIMINE SAAVUTAMAKS  
VÕIMSUST 200 kW**

LÕPUTÖÖ

Tallinn 2015



**Rain Rosenblatt**

**4G63 MOOTORI  
ÜLELAADIMINE SAAVUTAMAKS  
VÕIMSUST 200 kW**

LÕPUTÖÖ

Transporditeaduskond

Autotehnika eriala

Tallinn 2015

Mina

.....  
tõendan, et lõputöö on minu kirjutatud. Töö koostamisel kasutatud teiste autorite, sh juhendaja teostele on viidatud õiguspäraselt.

Kõik isiklikud ja varalised autoriõigused käesoleva lõputöö osas kuuluvad autorile ainuisikuliselt ning need on kaitstud autoriõiguse seadusega.

Lõputöö autor

.....  
Nimi, allkiri ja allkirjastamise kuupäev

.....  
Üliõpilase kood .....

Õpperühm .....

Lõputöö vastab sellele püstitatud kehtivatele nõuetele ja tingimustele.

Juhendajad

.....  
Nimi, allkiri ja allkirjastamise kuupäev

.....  
Kaitsmisele lubatud „.....“ .....20....a.

..... teaduskonna dekaan.....

Teaduskonna nimetus

Nimi ja allkiri

# SISUKORD

SISSEJUHATUS .....	4
1. MOOTORI HINNANG ENNE MODIFITSEERIMIST .....	6
1.1. Mootoriplokk .....	7
1.2. Plokikaas .....	9
1.3. Sisselaskesüsteem .....	10
1.4. Väljalaskesüsteem .....	10
1.5. Jahutussüsteem .....	11
1.6. Toitesüsteem .....	11
1.7. Juhtarvuti .....	12
2. MUUDATUSTE PLAAN KASUTATAVALE MOOTORILE .....	13
2.1. Mootoriplokk .....	14
2.2. Plokikaas .....	16
2.3. Turbokompressori valik .....	16
2.4. Sisselaske süsteem .....	19
2.5. Ülerõhuklapp .....	21
2.6. Väljalaske süsteem .....	23
2.7. Turbolaaduri möödavooluklapp .....	24
2.8. Turborõhu regulaator .....	26
2.9. Jahutussüsteem .....	27
2.10. Toitesüsteem .....	28
2.11. Mootori juhtimine .....	30
2.11.1. Juhtarvuti simulaator .....	32
2.12. Kütus ja mootoriõli .....	34
3. KULUDE ANALÜÜS .....	35
4. JÄRELDUS .....	39
5. KOKKUVÕTE .....	41
SUMMARY .....	43
VIIDATUD ALLIKAD .....	45
Lisa 1. Väljalaskesüsteemi projekteerimine ja valmistamine .....	46
Lisa 2. Sisselaske valmistamine .....	48
Lisa 3. Juhtarvuti MegaSquirt MS3X ja simulaator .....	50

## **SISSEJUHATUS**

Töös käsitletakse Otto-mootori ülelaadimist turbolaaduriga, sellega kaasnevat probleeme ja kitsaskohti ning ka erinevate lahenduste leidmist.

Mootori võimsuse peaaegu kahekordistamine on suur katsumus nii projekti läbiviijale kui ka mootorile endale, seda selles mõttes, et mootor lisakoormustele vastu peaks. Selleks, et lõpuks valminud mootor ka vastu peaks, on vaja leida sobilikud materjalid ja varuosad, millega mootorit täiendada ja saavutada soovitud tulemus.

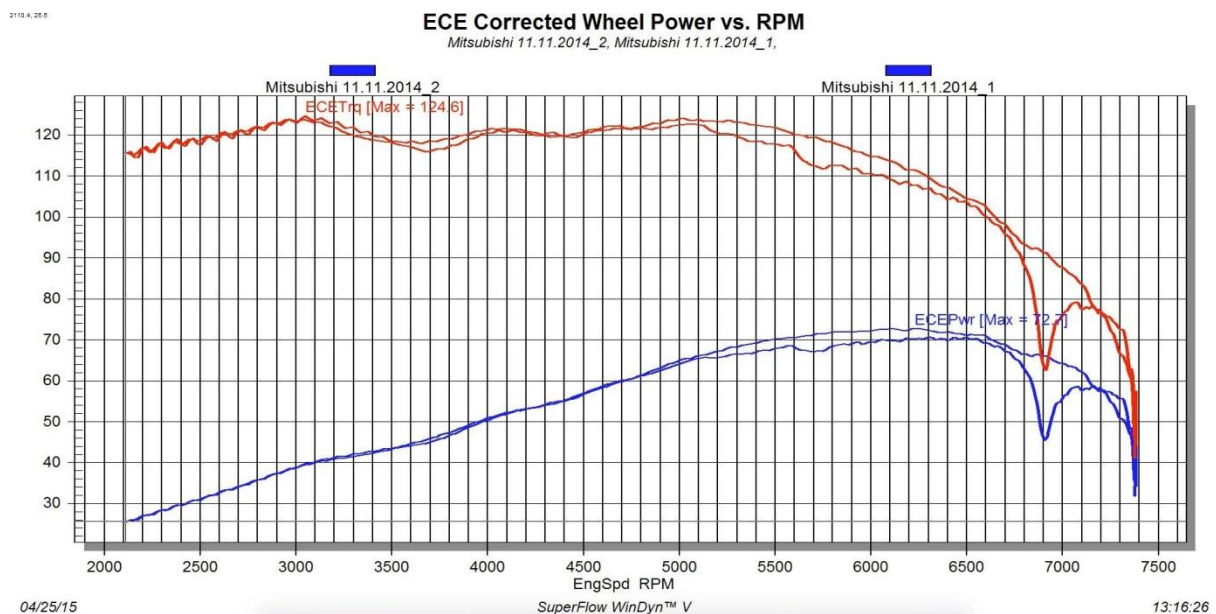
Mootor, mida modifitseeritakse, on mudelinumbri 4G63, originaalis on sellel vabaltähtsusega näol 110 kW ja on paigaldatud autodesse nagu muude seas Mitsubishi Eclipse, Eagle Talon, Plymouth Laser ja Hyundai Elantra. Sama mootoriploki on kasutatud Mitsubishi Lancer Evolutionis, mis on ülelaetud, seega ka mootorikood 4g63T. Kuigi mootorikood on sarnane, on seal suhteliselt palju erinevusi, nagu näiteks on nukkvõllid, sisselaske- ja väljalaskekollektorid, kolvid, pihustid, mis suunavad õli kolvide alla, hooratas ja palju muud, samaks on jäänud ainult plokk ja plokikaas.

Projekti käigus kuuluvad ümberehitusse sisselaskesüsteem, mootori juhtimissüsteem, väljalaskesüsteem, kütuse toide ja jahutussüsteem. Sõiduk, kuhu mootor paigaldatakse, on 1992. aasta Mitsubishi Eclipse GS.

Eesmärgiks on proovile panna ehitatud sõiduk Pärnu Auto24 ringrajal, mootorrattaga on samal rajal saadud sõita ringiajaks 2.05 ja see aeg on ka eesmärgiks pandud autoga sõites, või vähemalt ringiaeg, mis mahuks ajavahemikku 2.0–2.20 min. Sealt ka eesmärk saavutada vähemalt 200 kW pöördevahemikus 5000-6000 p/min. Eesmärk ei ole luua sõiduk võistluse eesmärgil, vaid ehitada sõiduk, mida on võimalik seadistada vastavalt soovile, et leida parim ohutu viis kiirelt ringrajal sõita. Katsetades erinevaid seadeid on võimalik analüüsida tulemusi ja jõuda parima lahenduseni. Antud sõiduki puhul modifitseeritakse ka vedrustust ja sõidudünaamikat, aga seda antud lõputöös ei käsitleta, vaid piirduakse otto-mootori võimsuse tõstmisega. Projekti valmides on tegu ainult hobiautoga ehk siis ei ole see mõeldud osalema tänavaliikluses.

## 1. MOOTORI HINNANG ENNE MODIFITSEERIMIST

Valitud mootoriks on 4G63 koodiga mootor, mis on loodud Mitsubishi ja Chrysleri koostöös ja pärineb sõidukist Mitsubishi Eclipse GS aastast 1992. Mootoril on 16 klappi ja on kubatuuriga 1997cc. Tehase poolt on mootori võimsuseks antud 110 kW pöörlemissagedusel 6750 p/min. Pöördemomendiks on 175 Nm pöördesagedusel 5500 p/min [1.p.15]. Mootori võimsust mõõdeti ka veojõustendis ja reaalseks võimsuse suuruseks saadi 72.7 kW pöördesagedusel 6250 p/min rattast (vt Sele 1) ehk siis umbkaudu 83.6 kW mootorist (umbkaudu on esiveolise veoskeemi kadu 15%). Põhjus, miks 110 kW-ist oli saanud 20 aastaga 83.6 kW, oli selles, et pooled pihustid olid amortiseerunud ja ei olnud võimelised enam üle 50% efektiivsuse töötama, kindlasti oli põhjuseid veel, aga kuna enamik mootori sisust on planeeritud välja vahetada, siis ei olnud otstarbekas aega ja raha selle peale raisata.



Sele 1. Mitsubishi 4G63 mootori võimsuse graafik (võimsus mõõdetud rattast)

## 1.1. Mootoriplokk

4G63 mootoriploki näol on tegemist malmplokiga, millele on olemas õlipihustite väljavõtted, aga pihustid ise puuduvad, ehk siis pihustid, mis pihustavad õli kolvide alla. Need on vajalikud, et kolb saaks lisajahutust ja -õlitust. Mõõdetud sai mootoriploki silindrite ovaalsus ja kulumine, kõikide silindrite kulumine jäi piiridesse, et plokki ei peaks üle puurima ja hoonima. Tehase poolt antud tolerantsid silindrite osas on 85,00–85,04 mm [1.p.8] ja nende tolerantside järgi ei ole vaja silindreid hoonida ega puurida. Kuigi esimene silinder on kõige rohkem kulunud ja lõtk kõige suurem, ei ole otstarbeks ajaliselt mootoriplokki hoonida ega puurida. Lisaks kuna kõik silindrid mahuvad tolerantsidesse, siis ei pea ma hoonimist ka vajalikuks (vt sele 1). Kolvi sobituslõtk on 0,03–0,05 mm ning kuna kolvid on uued ja kulumine puudub, siis ei ületa ka kolvi sobituslõtk lubatud tolerantse (vt Sele 2).

Mootoriploki tehnilised näitajad: [1.p.10]

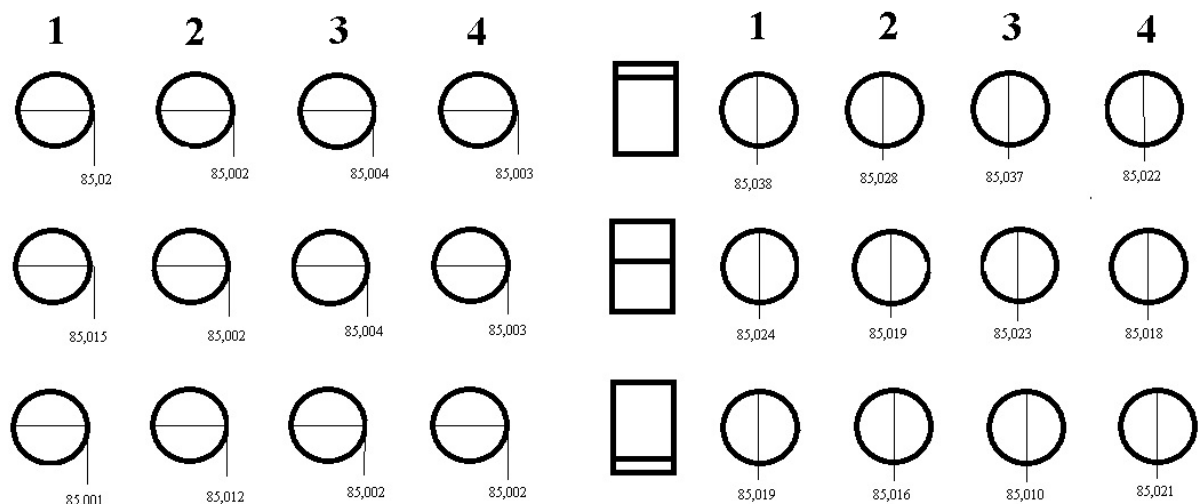
Silindri diameeter: 85.0 mm

Kolvikäik: 88.0 mm

Surveaste: 9.0

Mootoriploki kõrgus: 284 mm

Kepsu pikkus: 150 mm



Sele 2. Silindrite mõõtmistulemused (mm)

Tabel 1

Kolvide, silindrite ja silindrite ovaalsuse mõõtmistulemused

Silindri nr.	Uue kolvi mõõt (mm)	Vana kolvi mõõt (mm)	Silindri mõõt (mm)	Ovaalsus (mm)
1.	85,00	84,995	85,019	0,015
2.	85,00	84,997	85,012	0,015
3.	85,00	84,997	85,014	0,018
4.	85,00	84,996	85,011	0,017

Kõige suurem kulumine on toimunud silindris number üks. Selles silindris on kulumine 0,008 mm suurem kui kõige vähem kulunud neljandas silindris. Mõõtmine toimus õppejõu Janis Piiritalo juhendamisel Tallinna Tehnikakõrgkoolis. Mõõtsin digitaalse mikromeetriga kõik silindrid kahest suunast ja kolmest kõrgusest: ülevalt, keskelt ja alt.

Kõige rohkem ongi kulunud esimene silinder ja kolb. Ovaalsus on aga kõige suurem kolmandal silindril. Antud tabelis on leitud kolme kõrguse keskmine ovaalsus, täpsemad mõõdud vastavalt kõrgustele on välja toodud tabelis (vt tabel 1).

Kuna tehase poolt antud lubatud silindri kulumine on 85,00–85,04 mm [1.p.8], siis on silindrid 1 ja 3 võrdlemisi piiri peal, kuna aja puuduse tõttu ja fakti, et kulumispiir ei ole veel saavutatud, ei lastud plokki veel puurida, kindlasti tekib selle järgi vajadus tulevikus.

Uute kolvide mõõdud olid kõik täpselt 85,00 mm läbimõõduga. Kolvid mõõdeti mikromeetriga ja teostati vastavalt mootori tootjapoolt välja antud töökoja juhendile.

## 1.2. Plokikaas

Tegemist on kahe nukkvõlliga, 16 klapiga plokikaanega. Plokikaas antud projekti käigus väljavahetamisele ei lähe, kuna on sama plokikaas, mida kasutati ka juba tehasest tulnud ülelaetud mootoritel. See tähendab, et sellel on porditud sisse- ja väljalaskekanalid, mille diameetriteks on väljalaskekanalil 55 mm ja sisselaskel 58 mm. Valikut soosib juba see, et sisse- ja väljalase on erinevatel mootori pooltel, mis tagab parema mahutavuse mootoriruumi ja ka lahendab mingil määral temperatuuri ülekandemure väljalaskekollektorilt sisselaskekollektorile. Gaasijaotusmehhanism jääb ka samaks, kuna on võrdlemisi sarnane Lancer Evolutioni omaga, mis on juba ülelaetud mootoriga sõiduk. Gaasijaotusmehhanismi väljavahetamise teeks keeruliseks ka kättesaadavus ja hind. Gaasijaotusfaasid kasutatavatel nukkvõllidel jagunevad järgmiselt: (vt Sele 3)

Tabel 2

Gaasijaotusmehhanismi jaotusfaasid [1.p.9]

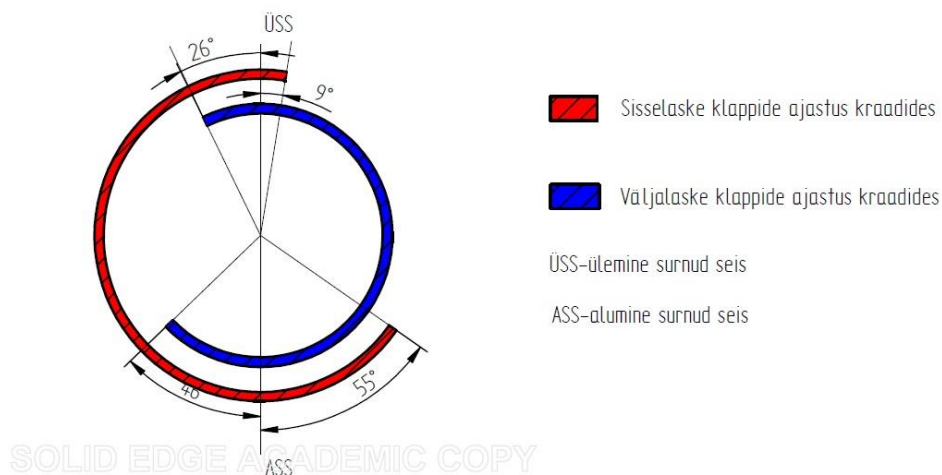
EÜSS – Enne ülemist surnud seisu  
 PÜSS – Peale ülemist surnud seisu  
 PASS – Peale alumist surnud seisu  
 EASS – Enne alusmist surnud seisu

	Avanevad (°)	Sulguvad (°)
Sisselase	26° EÜSS	46° PASS
Väljalase	55° EASS	9° PÜSS

Tabel 3

Sisse- ja väljalaskeklappide mõõtmed

Klapi suurused	SL	VL
Klapi diameeter	34mm	30,5mm
Klapisääre diameeter	6,57mm	6,55mm
Klapi pikkus	109,7mm	109,7mm



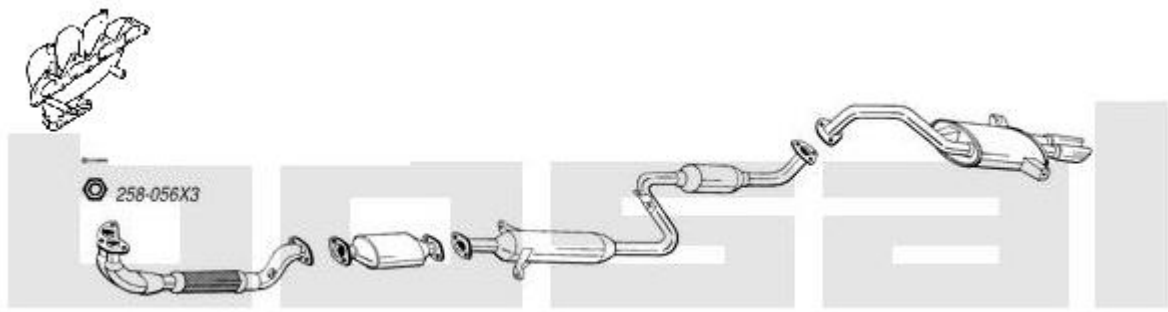
Sele 3. 4G63 sisse- ja väljalaskeklappide ajastus kraadides

### 1.3. Sisselaskesüsteem

Sisselaskesüsteem on sellel mootoril nagu igal teiselgi vabalthingaval mootoril. Puuduvad õhujahuti ja keeruline torustik. Õhu teekond algab õhufiltrist, läbib Karman pöörise tüüpi õhulugeja, mööda sisselaske torustikku imetakse õhku mootorisse läbi drosselklapi, mille läbimõõt on 64 mm. Plenumi maht on 2,3 l ning sisselaskekanali pikkuseks on 510 mm ja kanali läbimõõduks 58 mm.

### 1.4. Väljalaskesüsteem

Originaalis koosneb väljalaskesüsteem 4-2 valatud malmkollektorist, 2-1 leegitorust, katalüsaatorist, kahest resonatorist ja tagumistest summuti osast. Summutitoru läbimõõt on originaalis 51 mm ja väljalaskekollektori iga kanali läbimõõt 40 mm. Kogu väljalaskesüsteem koosneb originaalis terasest, mis tähendab et see korrudeerub ehk roostetab kergesti (vt Sele 4). Toon välja ka visuaalselt originaalsüsteemi, et oleks võimalik võrrelda uut ja vana süsteemi.



Sele 4. Mitsubishi Eclipse GS 1992 väljalaske süsteem

## 1.5. Jahutussüsteem

Jahutussüsteem koosneb tsentrifugaal veepumbast, sõiduki eesosas asuvast soojusvahetist, salongi soojendusradiaatorist, termostaadist, jahutusvedeliku torustikust ja soojusvaheti taga asuvatest ventilaatoritest. Soojusvaheti mõõtmed on 420 mm x 690 mm ja paksuseks on 27 mm, soojusvaheti on valmistatud alumiiniumist, väljaarvatud soojusvaheti ülemine ja alumine osa, mis on valmistatud plastikust.

Tsentrifugaal jahutusvedeliku pump asub sellel mootoril mootori otsas, rihmarullikute poolel ja seda käitab lisaseadmete rihm, mitte hammasrihm. Sama rihma pealt käitatakse ka roolivõimu. See on lahendatud nii sellepärast, et juht saaks aru rihma purunemisest rooli raskeks muutumisel.

## 1.6. Toitesüsteem

Kütuse toitesüsteem koosneb kütusepaagist, mis asub sõiduki tagaosas tagaistme all, kütusepumbast mille tootlikus on 100 L/h, 6 mm siseläbimõõduga terastorust torustikust, kütusefiltrist, mille eesmärk on eemaldada suurem mustus, ja veel ühest peenfiltrist, mille eesmärk on eemaldada ülejäänud võõrkehad. Kütus pumbatakse mööda toru filtrisse ja sealt edasi kütuselatti, millel on neli pihustit, igäühe tootlikus on 290 cm<sup>3</sup>/min 3 bar-i rõhu juures. Kütuselatil asub ka kütuserõhu regulaator, mille ülesanne on hoida kütuselatis 3 bar-ist rõhku [2.p.111]. Kütuse tagasivoolul puudub igasugune jahutus ja kütusetorud on valmistatud terasest, mis jooksevad sõiduki põhja alt, mis tähendab seda, et need on kaetud paksult kivikaitse materjaliga, mis pärsib jahutust veelgi.

## 1.7. Juhtarvuti

Juhtarvutiks on sellel mootoril Mitsubishi Electronics enda juhtaju MD169144. Selle juhtarvuti teeb eriliseks see, et seda on võimalik väikese, kuid suhteliselt kuluka modifikatsiooniga teha programmeeritavaks. Otsustasin aga seda teed mitte minna, kuna uue juhtarvutiga võrreldes oleks võimalusi siiski vähem ja maksumus oleks võrdlemisi sama olnud. Originaal juhtarvuti sissepritse korral käitatakse pihusteid järjestikuliselt. See tähendab et pihusteid käitatakse täpsemalt ja eraldi, mitte kõik pihustid korraga.

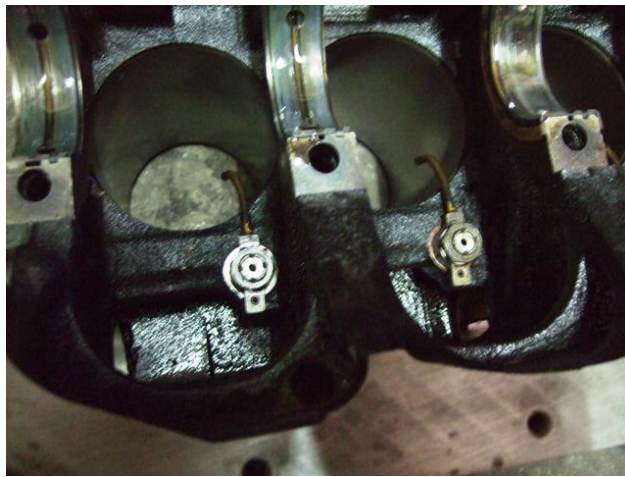
Andurid, mida juhtarvuti kasutab, on lambda andur, nukkvõlli asendiandur, õhukulu lugeja (Karman pöörise tüüpi lugeja), gaasiklapi asendiandur, jahutusvedeliku temperatuuri andur ja väntvõlli asendiandur. Süütamine toimub läbi kahe süütepooli, mida juhib juhtarvuti signaal.

## **2. MUUDATUSTE PLAAN KASUTATAVALE MOOTORILE**

Mootori võimsuse tõstmisel on väga tähtis leida koostöö detailide vahel ja leida ka detailid, mis peaksid koormusele vastu. Vabalthingava mootori detailid ei ole mõeldud vastu pidama suurematele jõududele, mida toob kaasa turbokompressori kasutamine ja seetõttu tuleb palju detaile välja vahetada tugevamate vastu. Modifitseerimise käigus muudetakse jahutussüsteemi, väljalaskesüsteemi, kütusesüsteemi, juhtimissüsteemi, sisselaskesüsteemi ja õlitussüsteemi. Kogu töö mõte on tõsta mootori tootlikust ning selleks on vaja suruda põlemiskambrisse rohkem õhku ja pihustada sinna ka rohkem kütust. Lisaks on vaja vahetada kolvid, et saavutada madalam surveaste, et oleks võimalik ohutumalt suurendada mootorikütuse ja õhu segu. Kuna väljavahetamisele läheb palju osi, siis peab mõningad vajalikud osad ise ehitama, aga palju ka järelturult otsima, samas hoides eelarvet piisavalt väiksena. Kuna sama mootoriplokki ja plokikaant on kasutatud ka ülelaetud versioonides (Mitsubishi Evolution III, Eagle Talon Tsi), siis ei ole vajadust neid modifitseerida, ainukene muudatus, mida on vaja teha, on õlikanalite lihvimine plokil ja sisselaske portide silendamine plokikaanel. Õlikanalite lihvimine on vajalik sellepärast, et eemaldada valu jäljed, mis on jäänud ploki kanalitesse, eesmärgiga parandada õli voolavust nendes kanalites. Samamoodi ka plokikaane sisselaskekanalites, et parandada õhu voolavus ja minimeerida turbulentside teket. See on vajalik turbomootoril just selleks, et minimeerida õhu liikumises vastupanu ja ühtlustada õhu liikumist. Liiga suur õhu vastupanu võib põhjustada jõu tootlikuses niioelda auke, võimsuse kadu ja ka suurendada turbo viivitust, kuna õhk hakkab lihtsalt turbiinile vastu töötama ja ei lase sellel vabalt pöörelda. Mida parem õhuvoolavus, seda kergemini ja täpsemini saab paika panna õhu ja kütuse segu.

## 2.1. Mootoriplokk

Mootoriplokk ise suuri muutusi ei vaja, ainuke asi, mis teha tuleb on õlipihustite paigaldamine kolvide alla, kohad on selle jaoks olemas, aga on vaja keerata välja poldid ja asendada need pihustitega (vt Sele 5). Pihustid pärinevad kolmanda generatsiooni Mitsubishi Lancer Evolutionilt. Need pihustid aitavad jahutada ja määrida kolbe, mis tagab parema töökindluse mootorile.



Sele 5. Õlipihustid paigaldatuna kolvi alla.

Samuti tuli välja vahetada kolvid, et saavutada väiksem surveaste, et oleks võimalik suurendada mootorikütuse ja õhu segu põlemiskambris ohutumalt ehk vältida detonatsiooni. Valitud sai Nippon Racing kolvid, need on valatud kolvid mitte sepistatud, valitud sai need just hinna ja erinevatest foorumites saadud tagasiside tõttu. Tänu kolvidele langes surveaste 9.0-ilt 7.8-le. Kuna neid kolve on paigaldatud sellele mootorile palju, siis on ka surveastme muutumise andmed kergesti saadavad. Lisaks oli kolvidega kaasas sertifikaat, millel oli kirjas kolvi mõõt, tootjariik ja surveaste.

Surveastme arvutused tegin, et veenduda kas leitud andmed on õiged (1)(2) [3.p.513].

$$\varepsilon = \frac{V_h + V_c}{V_c}, \quad (1)$$

$$V_c = \frac{V_h}{\varepsilon - 1}, \quad (2)$$

kus  $\varepsilon$  - surveaste

$V_h$  - silindri ruumala,  $\text{cm}^3$

$V_c$  - põlemiskambri ruumala,  $\text{cm}^3$

Silindri ruumala arvutamine (3) [3.p.513].

$$V_h = \frac{\pi * d^2 * s}{4}, \quad (3)$$

Kus  $V_h$  - silindri ruumala,  $\text{cm}^3$

$d$  - silindri läbimõõt,  $\text{cm}$

$s$  - kolvikäik,  $\text{cm}$

Mootori (4G63) algne põlemiskambri ruumala. [1.p.8]

$$V_h = \frac{\pi * 8,5^2 * 8,8}{4} = 499 \text{cm}^3$$

$$V_c = \frac{499}{9 - 1} = 62 \text{cm}^3$$

Põlemiskambri mahust moodustab plokikaanes olev süvend  $43 \text{cm}^3$ , kolvis olev süvend  $10 \text{cm}^3$  ja plokikaane tihend sellest  $9 \text{cm}^3$ .

Modifitseeritud mootoril vahetati ära kolvid ja plokikaane tihend, seega modifitseeritud mootori ruumala moodustas:

1. Plokikaane tihendist tekitatud ruumala -  $11\text{cm}^3$
2. Kolvis olevast süvendist tekitatud ruumala -  $19\text{cm}^3$
3. Plokikaanes olevast süvendist tekitatud ruumala -  $43\text{cm}^3$

Kokku on modifitseeritud mootori põlemiskambri mahuks  $73\text{cm}^3$

Seega on modifitseeritud mootori surveaste:

$$\varepsilon = \frac{499 + 73}{73} = 7,8$$

## 2.2. Plokikaas

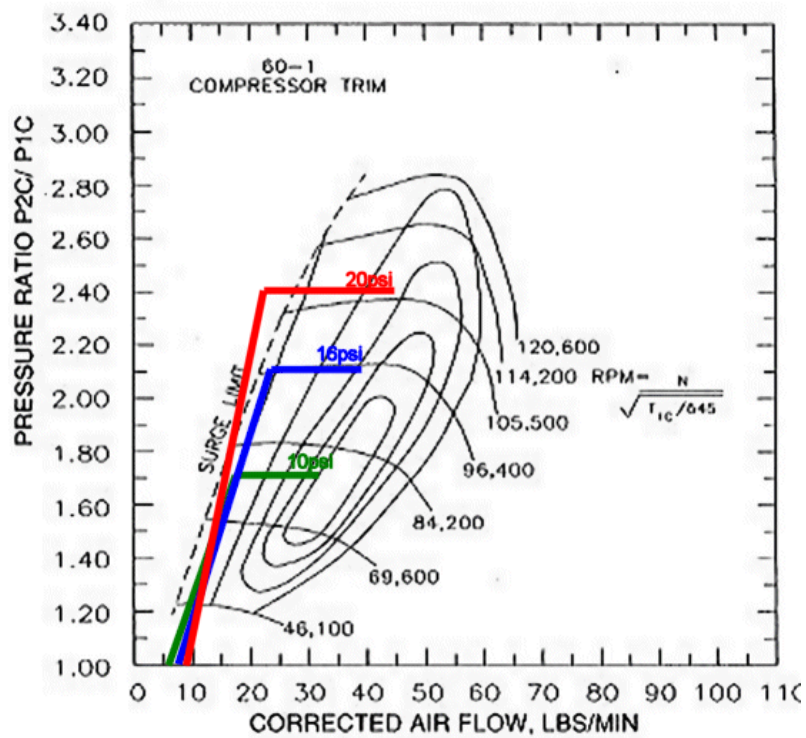
Plokikaanele suuremad muutused puuduvad, kasutati samu nukkvõlle, mis oli mootoril peal originaalis. Sisselaskeklapid avanevad  $26^\circ$  enne ülemist surnud seisu ja sulguvad  $46^\circ$  pärast alumist surnud seisu, väljalaskeklapid avanevad  $55^\circ$  enne alumist surnud seisu ja sulguvad  $9^\circ$  pärast ülemist surnud seisu (vt Sele 3). Mis tähendab, et sisselaskeklapid on avatud  $244^\circ$  ja väljalaskeklapid  $246^\circ$  vältel. [1.p.9]

## 2.3. Turbokompressori valik

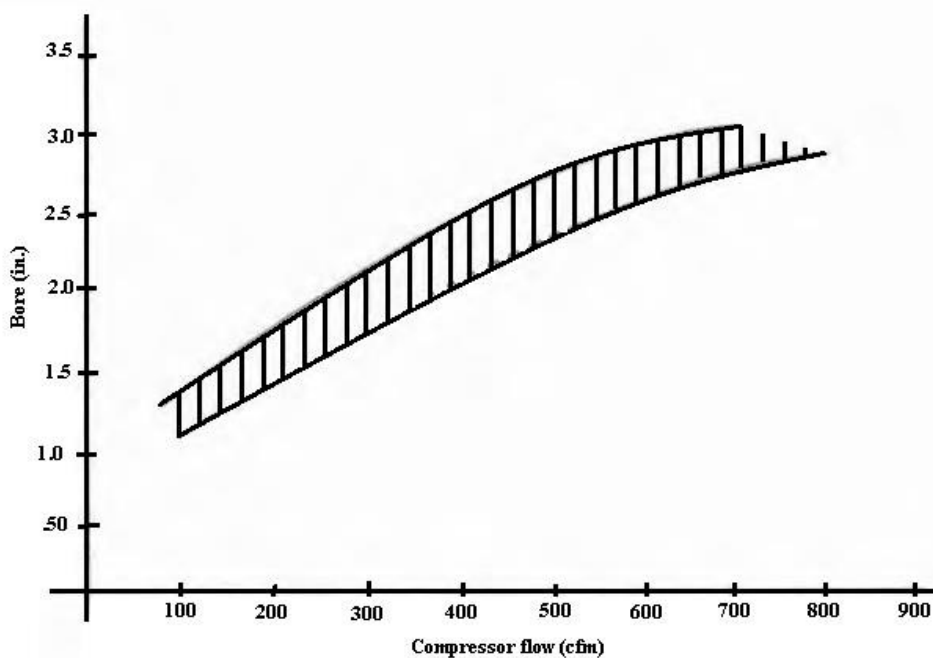
Kõige lihtsam viis kahekordistada mootori võimsust, on modifitseerida mootor nii, et sellele oleks võimalik paigaldada turbolaadur.

Valitud sai CX Racing toode. Tegemist on Ameerika firmaga, kes toodab ja paneb kokku ka ise erinevaid järelturu seadmeid, sealhulgas ka siis turbod, vahejahutid, juhtarvutid ja ka palju muud. Tellitud sai eraldi kompressori pool koos tiivikuga, mille läbimõõt on 75 mm ja eraldi turbiini pool, mille tiiviku läbimõõt oli 60 mm. Tegemist ei ole kuullaagritega turboga, vaid ujuvlaagri tüüpi. Laagrid on valmistatud spetsiaalselt väljatöötatud pronksi- ja vasesulamitest.

Turbolaaduri valiku pani paika eeldatav ülelaaderõhk, mis oli 13 psi ehk 0,9 bar-i, valitud turbo on võimeline toota ülerõhku 5–25 psi ehk 0,34–1,72 bar. Valitud sai suurem turbo, et oleks võimalus tulevikus sama turbolaaduriga tõsta mootori võimsust veelgi (vt sele 6 ja 7).



Sele 6. TRB-T04E tootikustabel. [4.p.30]



Sele 7. Turbokompressori tootikuse erinevuse sõltuvus vastavalt turbiini väljalaske ava suurusest. [4.p.31]

Turbokompressori valikul tuli tähelepanu pöörata eeldatavale ülelaaderõhule, mis antud projekti puhul on 0,9 bar. Arvutused teen tollmõõdustikus, kuna turbolaaduri kohta saadud andmed on tollmõõdustikus, kuna on tegemist Ameerika toodanguga.

Ümberehitatud mootori hinnanguline õhutarve 0,9 bar-i juures (4) [4.p.27]

$$AFR = \frac{V_h * n * E_v}{2} * PR, \quad (4)$$

kus AFR - mootori õhutarve, ft<sup>3</sup>/min

$V_h$  - mootori töömaht, in<sup>3</sup>

$n$  - vääntvõlli pöörlemissagedus, p/min

$\frac{1}{2}$  - arv mis näitab, et neljataktilisel mootoril lastakse õhku silindrisse korra 720° jooksul

$E_v$  - silindri täiteaste, vabalthingaval mootoril alla 1, turbomootoril 1-1,2

PR - ülelaaderõhk absoluutse õhurõhu suhtes, bar

$$AFR = \frac{121,86 \text{ in}^3 * 6000 \text{ p/min} * 1,8}{1728 * 2} = 380,81 \frac{\text{ft}^3}{\text{min}}$$

Õhu massi arvutamine õhuhulgast on vaja teada õhu tihedust ja 15 °C juures on õhutihedus 0.0765 lb/ft<sup>3</sup> (5) [4.p.27]

$$AFR_m = AFR * \rho_{\text{õhk}}, \quad (5)$$

kus AFR<sub>m</sub> - õhuhulga mass, lb/min

AFR - õhuhulk,  $\frac{\text{ft}^3}{\text{min}}$

ρ<sub>õhk</sub> - õhutihedus 15°C juures, lb/ft<sup>3</sup>

$$AFR_m = 380,81 \frac{\text{ft}^3}{\text{min}} * 0,0765 \text{ lb/ft}^3 = 29,13 \frac{\text{lb}}{\text{min}}$$

Õhu koguse tarbimine 0,9 bar-i juures on  $29,13 \frac{\text{lb}}{\text{min}}$ . Graafikut vaadates on näha, et antud turbolaadur sobib projektis olevale mootorile väga hästi (vt sele 6).

## 2.4. Sisselaske süsteem

Sisselaskesüsteemi modifitseerimist nõuab turbo paigaldamine, kuna turboga mootori sisselaske torustik on keerulisem kui vabalthingava oma, on vaja leida lahendusi, kuidas külma ja suurema rõhuga õhk saada kompressorist põlemiskambrini. Õhu teekond algab õhufiltrist, mis on originaalis ümmargune filterelement, mis asetseb filtri korpuses, sellele aga asendatakse suurema läbilaskevõimega koonusfiltri vastu. Originaalis on kohe pärast õhufiltrit õhulugeja, aga seda uue seadistusega vaja ei lähe. Koonusfiltrist läheb alumiiniumtoru otse turbo kompressorisse, kompressoris surutakse õhk edasi vahejahutisse, mis asub sõiduki eesosas ja on mõõtudega 550 x 230mm ja jahutuselement paksusega 63 mm. Vahejahutil on vaja vahetada ka otsad, kuna on liiga väikese läbimõõduga (55 mm, on vaja 63,5 mm) ja on oht, et tekib nii-öelda pudelikaela efekt, mis pärsib õhuvoolavust. Vahejahutist suunatakse õhu alumiiniumtoru kaudu läbi 69 mm läbimõõduga segusiibri sisselaske kollektorisse ja sealt edasi põlemiskambrisse. Sellele osale peale paigaldatakse ka ülerõhuklapi, mille ülesanne on üleliigne õhk atmosfääri suunata, kui segusiiber sulgub (vt sele 8).

Sisselaske torustiku teeb alumiiniumist, ühendades torustiku silikoonühendustega. Torustiku läbimõõduks on 2,5 tolli ehk 63,5 mm.

Teades, et ülerõhul 0,9 bar-i tarbib modifitseeritud mootor õhku  $380,81 \frac{\text{ft}^3}{\text{min}}$  ehk  $0,1797 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$ , sellest lähtuvalt on võimalik arvutada gaasiklappi läbivat õhukogust (6) [4.p.80]

$$v_{\text{õhk}} = \frac{\text{AFR}}{S}, \quad (6)$$

kus  $v_{\text{õhk}}$  - õhuvoolu kiirus gaasiklapis, m/s

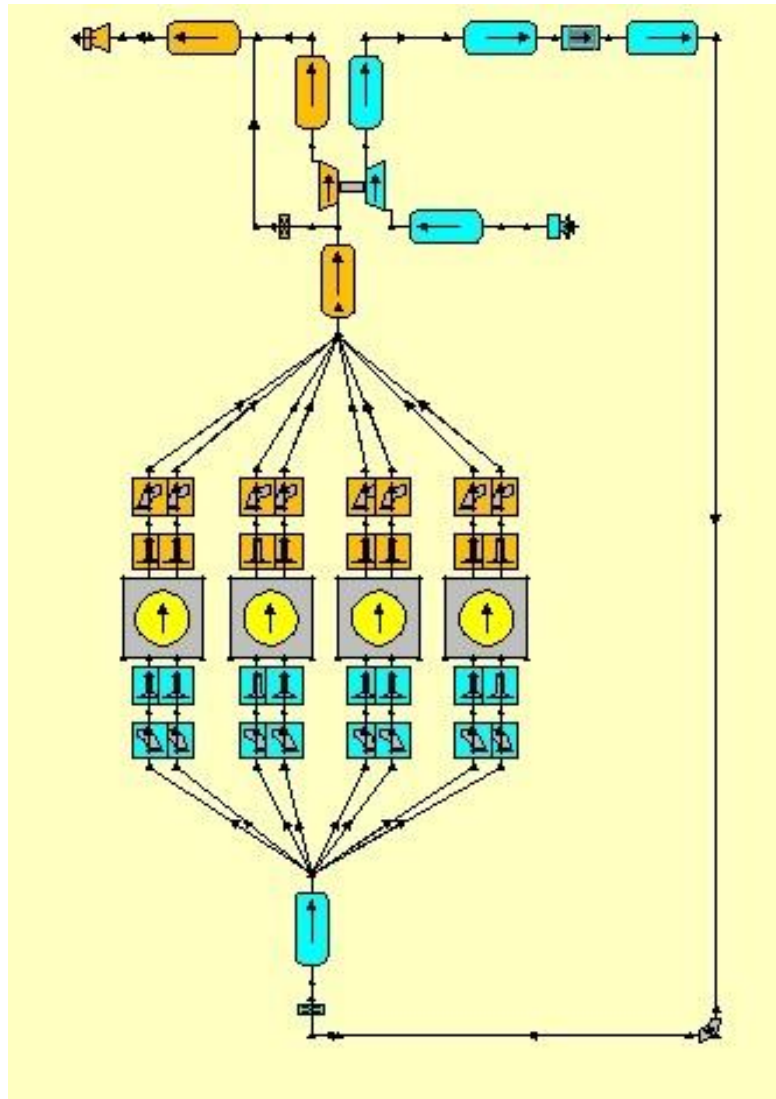
AFR - õhuvoolu hulk,  $\text{m}^3/\text{s}$

S - gaasiklapi ristlõike pindala,  $\text{m}^2$

$$v_{\text{õhk}} = \frac{0,1797 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}}{0,0037 \text{m}^2} = 48,56 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Mootoripöõretel 6000 p/min on gaasiklapis õhuvoolu kiiruseks  $48,56 \frac{\text{m}}{\text{s}}$

Maksimaalne soovituslik õhuvoolu kiirus gaasiklapis oleks  $300 \frac{\text{ft}}{\text{sec}}$  ehk  $91,44 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ , mis tähendab, et antud gaasiklapp on väga hästi sobilik, kuna tulemuseks saadud õhuvoolu kiirus on väiksem kui optimaalne maksimum kiirus, siis on võimalik tulevikus mootori võimsust veelgi tõsta.



Sele 8. Mootori virtuaalne skeem (Lotus Engine Simulator)

## 2.5. Ülerõhuklapp

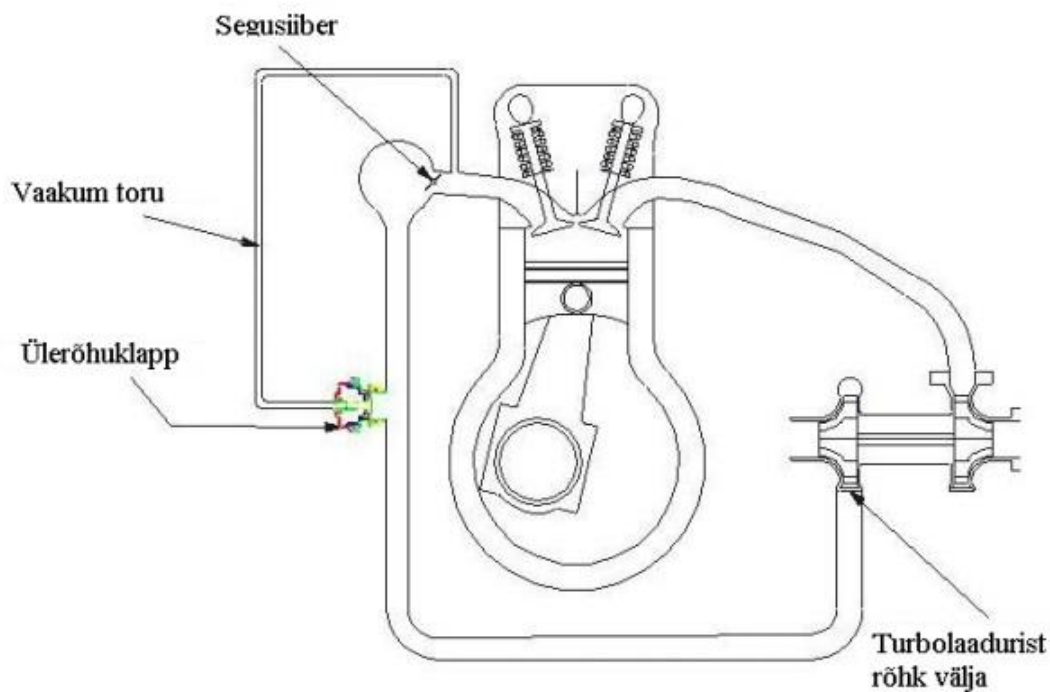
Kui mootor töötab ja segusiiber on avatud asendis, saab õhk mootorisse pääseda, aga kui segusiiber kinnisesse asendisse läheb, ei ole sellel õhul enam kusagile minna, kui ainult tagasi, mis aga lõhub turbolaadurit. Kuna mootor enam õhku ei saa, siis ei tekita see ka väljalaskegaase, mis ajaksid turbiini ringi. Rotor käib aga inertsist edasi ringi, nii umbkaudu 250 pööret sekundis, kuna aga sisselaskesse on pumbatud suur rõhk, siis hakkab see kiirelt vaibuma.

Mis veelgi ohtlikum on see, et õhk hakkab läbi turbo tagasi liikuma, mille tulemusena võib mootor isegi tagurpidi pöörlema hakata, mis tähendab põhimõtteliselt seda, et kompressori pool hakkab töötama nagu turbiin.

Selle probleemi saab lahendada sellega, et segusiibri sulgemisel tuleks üleliigne rõhk välja lasta, et vältida õhu tagasivoolu rootoris. Selleks kasutataksegi ülerõhuklappi, mis paigaldatakse sisselaske torustikule enne segusiibrit (vt Sele 9).

Ülerõhuklapi tööpõhimõte on iseenesest kerge, sisselaske kollektor ühendatakse ülerõhuklapiga vaakumtoru abil ja kui segusiiber sulgub, tekib sisselaske kollektoris hetkega vaakum, vaakum liigub mööda vaakumtoru ülerõhuklappi ja avab selle, üleliigne rõhk liigub atmosfääri või uuesti ringlusesse.

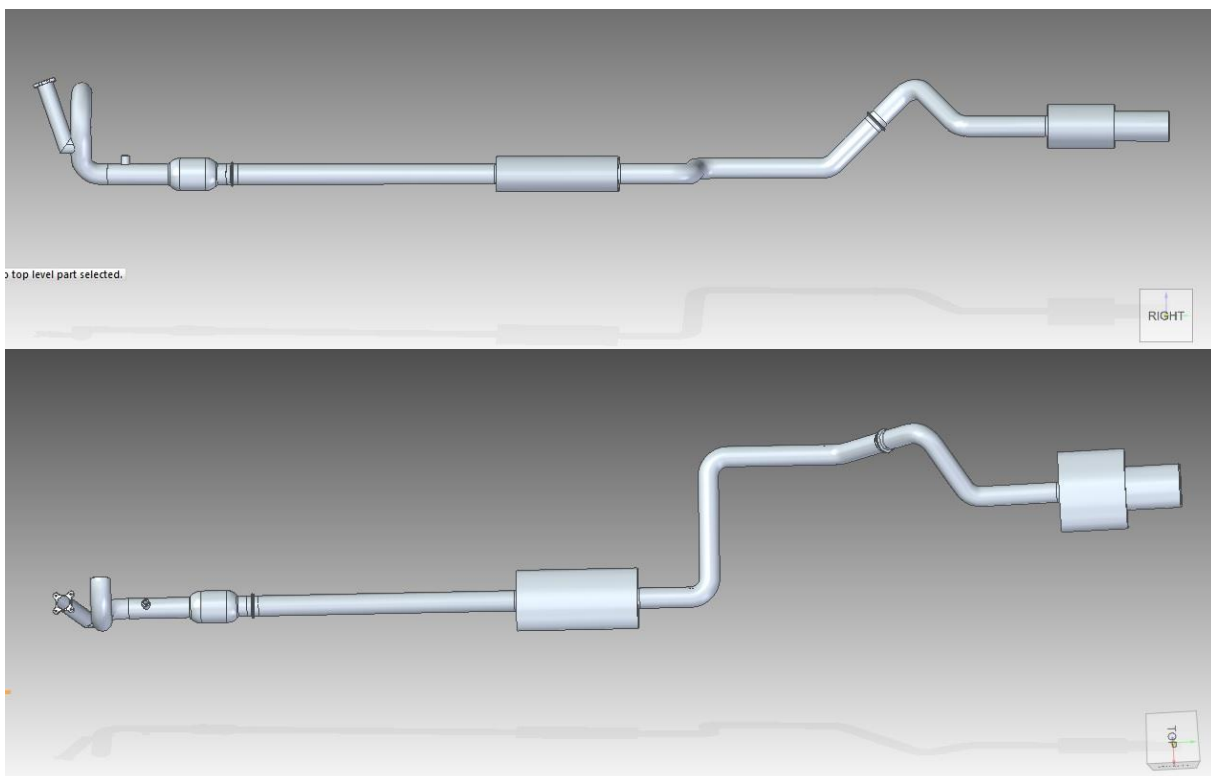
Ülerõhuklapp, mille valisin, on Greddy Type-RZ, mis on 40 mm avaga, reguleeritava pingega ülerõhuklapp. Üleliigse rõhu suunan atmosfääri, kuna ei kasuta traditsioonilist õhulugejat vaid MAP andurit (hõrendusandur). Klapi on kaasas ühendusadapter, mille keevitan sisselaske torustikule, tänu adapterile on monteerimine ja demonteerimine lihtne.



Sele 9. Ülerõhuklapi asetus

## 2.6. Väljalaske süsteem

Väljalaskesüsteemi projekteerin ümber, kuna turbo olemasolu muudab seda päris palju (vt sele 10). Väljalaske torustik valmistatakse 2,5-tollisest (63,5 mm) roostevabast terasest torust. Torustiku vahele läheb Simmonsi resonaator ja EUS lõppsummuti, hiljem lisatakse ka sport katalüsaator, aga antud projekti hulka see ei kuulu. Torustiku kõige keerulisem osa on turbo turbiinist algav leegitoru, kuna toru peab minema peaaegu 180° nurga alla, et suunata leegitoru mootori alla, lisaks on selle sama toru küljes möödavooluklapi toru. Leegitoru peal on ka veel lairiba andur, mis on paigaldatud 300 mm kaugusele turbiinist, kui andur tõsta lähemale, siis on on küll näit täpsem, aga samas lühendab see ka anduri eluiga. Anduri kohapealt on veel nõudeks see, et see paigaldataks kellaosutite vahemikku 9-3, seda sellel põhjusel, et kui andur paigaldada allapoole keskkoha, siis on oht, et kondentsvesi võib tekitada anduris lühise ja selle ära lõhkuda. Ühendusteks kasutan roostevabu V-band ühendusi, seda just sellepärast, et neid on lihtne paigaldada ja on töökindlad. Et vähendada vibratsiooni, mis tuleb mootorist on paigaldatud süsteemile ka sukk, mis vähendab mootori vibratsiooni liikumist sukast edasi. Valitud sai 2,5-tolline toru sellepärast, et turbo turbiini ava oli täpselt 2,5 tolli ehk 63,5 mm.



Sele 10. Uue väljalaskesüsteemi projektsioon (Kõrvalt- ja pealtvaade)

## 2.7. Turbolaaduri möödavooluklapp

Et reguleerida turbolaaduri võlli pöörlemisagedust, on vaja osa väljaheitegaase enne turbo turbiini eemale suunata ja sellejaoks ongi möödavooluklapp ehk inglise keeles *bypass* või *wastegate*. Selle tööpõhimõte seisneb selles, et suurtel mootori pöörlemisagedustel ja koormustel lastakse osa heitgaase turbiinist mööda möödavooluklapi kaudu, kas atmosfääri (ei ole soovitatav, kuna tekitab palju müra) või väljalaske torustikku. Madalatel pööretel ja väikestel koormustel hoitakse möödavooluklapp suletuna. See klapp on ka vajalik, et reguleerida ülelaade rõhku, vastavalt soovitud ülerõhule pannakse kas tugevam/nõrgem vedru seadmesse või kui on reguleeritav seade, siis piisab reguleerimis elemendi seadistamisest. Antud projekti puhul tuleb ülelaadimise rõhuks 0,9 bar-i ja seade on reguleeritav.

Et teada saada, palju on mootoril vaja õhku, et saavutada teatud võimsus, on vaja kasutada valemit (7) [7]

$$HP * \frac{A}{F} * \left(\frac{BSFC}{60}\right) = WA, \quad (7)$$

kus HP - soovitud võimsus hoorattast mõõdetuna, hj

$\frac{A}{F}$  - Kütuse/ õhu segu

$\frac{BSFC}{60}$  - Näitab kui palju kütust on vaja et toota iga hobujõud eraldi, jagatakse 60-ga et

taandada tunnid minutiteks,  $\frac{lb}{Hp * h}$

WA - Õhu voolavus,  $\frac{lb}{min}$

$$268 * 12 * \left(\frac{0,55}{60}\right) = 29,04 \frac{lb}{min} \text{ ehk } 13,17 \frac{kg}{min}$$

Nüüd teades, et mootoril on vaja  $13,17 \frac{kg}{min}$  õhku, et saavutada soovitud võimsus, on vaja arvutada ka vajalik ülelaaderõhk. (8) [7]

$$\frac{WA * R * (460 + T_m)}{VE * \frac{N}{2} * V_d} = MAP_{req}, \quad (8)$$

kus  $MAP_{req}$  – Vajatud ülelaaderõhk et saavutada soovitud võimsus, psi

R – Mootoribensiini konstant, 639,6

$T_m$  – Sisselaske kollektori temperatuur,  $F^\circ$

VE – Täiteaste, %

N – Mootori pöörlemissagedus, p/min

$V_d$  – Mootori kubatuur,  $in^3$

$$\frac{29,04 * 639,6 * (460 + 130)}{92 * \frac{7200}{2} * 121,86} = 27,2 \text{ psi ehk } 1,86 \text{ bar}$$

Kuna antud valemis ei ole maha arvestatud atmosfääri rõhku, siis tuleb see tulemusest maha arvutada ehk siis  $27,2 - 14,7 = 12,5$  psi ehk 0,86 bar.

Siit ka järeldus, et ülelaaderõhuks peaks tulema umbkaudu 0,9 bar-i.

Möödavooluklappe on kahte sorti, on turbosisesed ja turbovälised möödavooluklapid. Tehaseadmes ülelaetud mootorid on enamasti turbosise möödavooluklapiga. Turbosise möödavooluklapi miinuseks on see, et see ei võimalda ava suuruse tõttu muuta mootori võimsuse näitajaid, kuna turbolaaduri pöörlemissageduse piiramise võimalused on samuti piiratud ava suurusele. Välisel möödavooluklapil on aga võimalus muuta eelpingega vedru, möödavooluklappi ennast suurema avaga klapi vastu vahetada võrdlemisi kerge, just sellepärast eelistataksegi välist möödavooluklappi sisemistele.

Möödavooluklapp töötab membraanseadme abil ja seda käitatakse laadimisrõhuseadme (elektropneumaatiline muundur) ja alarõhu pumba abil. Selline lahendus on laiadlaselt levinud diiselmootorite puhul. Ottomootorite puhul saadakse vajatav alarõhk sisselaske kollektorist.

Seadet juhib kas juhtarvuti (ECU), mehhaaniliselt või elektrooniliselt.

## **2.8. Turborõhu regulaator**

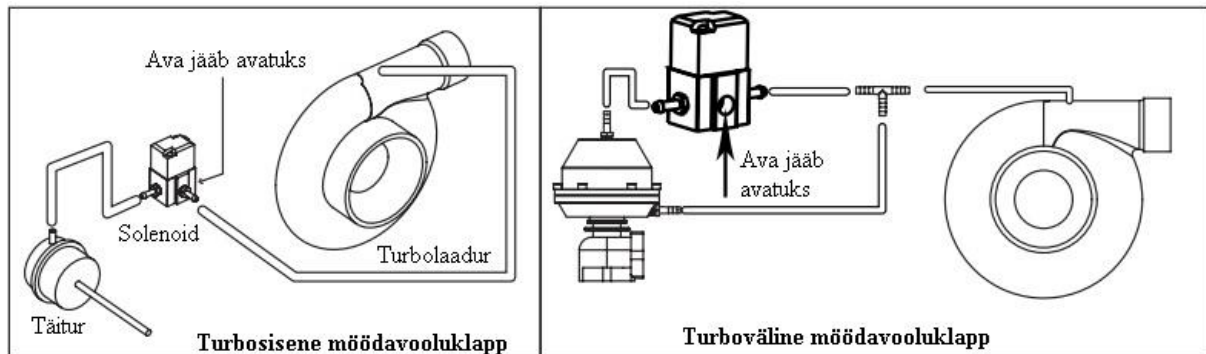
Turborõhu regulaator reguleerib sisselaske kollektori rõhku, ehk siis rõhku, mis läheb mootorisse. Kui rõhku ei reguleerita siis võib tekkida oht, et mootorisse läheb liigselt õhku ja puudub kontroll selle üle. See saavutatakse nii, et reguleeritakse rõhku, mis läheb möödavooluklappi, mis laseb üleliigsed väljaheitegaasid turbolaadurist mööda. On olemas kahte tüüpi turborõhu regulaatoreid – elektroonilised ja mehhaanilised.

Mehhaanilised turborõhu regulaatorid on võrdlemisi kerge ehitusega, turborõhku juhitakse vedruga, mida saab käsitsi avada (suurendada rõhku) või sulgeda (vähendada rõhku), vastavalt vajadusele saab sellega turborõhku reguleerida. Erinevalt elektroonilisest turborõhu regulaatorist vajab mehhaaniline regulaator aeg-ajalt hooldust.

Elektrooniline turborõhuregulaator on palju arenenum ja nõuab suuremaid tehnilisi teadmisi. Elektroonilise turborõhu regulaatori komplekti kuulub juhtüksus, solenoid, mis juhib rõhku, voolik ja juhtmestik, millega kõik ühendada. Seadistamine toimub juhtüksusega, millel on küljes nupp,

nappu keerates muudab see solenoidi parameetreid, millega siis suunatakse rohkem/vähem rõhku möödavooluklappi.

Turborõhu regulaator, mille valisin on elektrooniline firmalt HDI ja mudeliks EBC-R Type R. Valisin selle mudeli, kuna selles komplektis on kõik olemas, mis paigaldamiseks vaja ja seadistamine on võrdlemisi lihtne, lisaks on tegemist töökindla ja tunnustatud seadmega. (vt. Sele 11)



Sele 11. HDI EBC-R turborõhu regulaatori ühendusskeem.

## 2.9. Jahutussüsteem

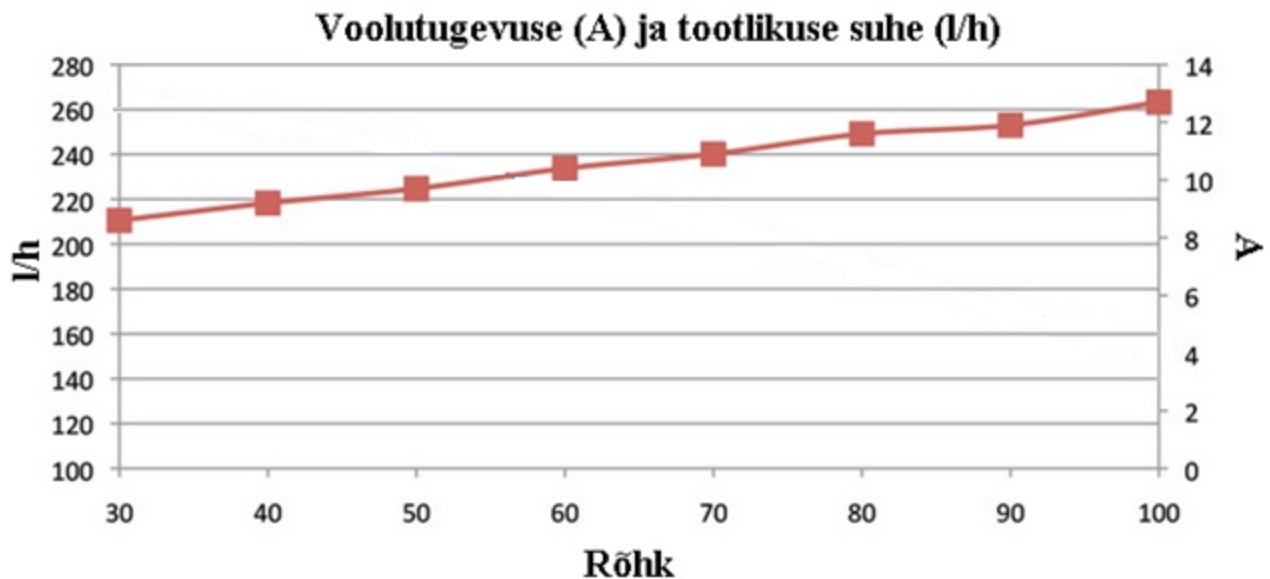
Jahutussüsteem koosneb veepumbast, suurest soojusvahetist sõiduki eesotsas, salongi soojendusradiaatorist ja termostaadist. Ülelaetud mootor hakkab tootma rohkem soojust, kuna ülelaetud mootoril toimub põlemine intensiivsemalt ja tänu sellele ka eraldub rohkem soojusenergiat, seetõttu on vaja suurendada ka jahutussüsteemi efektiivsust. Valitud soojusvaheti on alumiiniumist, mõõtmetega 420 mm x 690 mm ja mille jahutuselemendi paksuseks on 34 mm, ehk siis 7 mm paksem kui oli vana soojusvaheti. Uuel soojusvahetil on ka hüdraulilise roolivõimendi vedeliku jahutamiseks eraldi väljavõtted (eraldi radiaatori sektsioon radiaatori sees). Lisaks pean jahutusvedeliku ülevoolupaagi asukohta muutma, kuna vahejahuti torustik ei mahuks muidu soojusvahetist mööda.

Radiaatori paigaldan järjestikku, järjestikuse ühendamisel on vedeliku voolamiskiirus kaks korda suurem kui paralleelselt ühendades. Mis tähendab, et vedelikku voolab kaks korda rohkem läbi radiaatori ning tekitab turbulentsi, mis omakorda aitavad vedelikku jahutada. Lisaks elimineerib

järjestikune ühendus nii-öelda „surnud“ kohad, ehk siis kohad, kus vedelik seisab ja ei liigu. Mootori jahutusvedeliku soojusvaheti jahutuseks paigaldan kaks 12 tollise (30,48 cm) läbimõõduga ventilaatorit.

## 2.10. Toitesüsteem

Mootoribensiini toitesüsteemi ümberehitamine oli vajalik, et rahuldada suurem kütuse etteande vajadus, mida kutsus esile suurema õhukoguse sissesurumine mootoris. Eelnev kütusesüsteem koosnes ühest pumbast, mis asus kütusepaagis ja mille tootlikus oli 100 l/h. Kütusepump sai välja vahetatud Deatsch Werks kütusepumba vastu, mille mudelinumber on DW200. DW200 tootlikus on maksimaalselt 255 l/h [8] (vt sele 12) ehk siis üle poole suurema tootlikusega, kui oli originaalne kütusepump. Antud kütusepump sai valitud sellepärast, et sobis täielikult juba olemasoleva süsteemiga ehk siis ei nõudnud kütusepumba vahetus modifikatsioone kütusevõtturil ega ka kütusetaseme anduril.



Sele 12. Kütusepumba voolutugevuse ja tootlikuse suhe [8]

Torustik, mille kaudu mootoribensiin suunatakse kütusepumbast kütuse filtrisse, vahetati välja suurema diameetriga toru vastu. Eelnev torustik oli valmistatud 6 mm siseläbimõõduga terasest valmistatud torust, mis oli ajapikku korrudeerunud ja ei olnud enam ohutu. Samas oli torustik kaetud paksu kivikaitsematerjaliga, mis pärsib kütuse jahutust ja ei sobi antud projektiga. Kütuse

torustik sai väljavahetatud vasest 8 mm siseläbimõõduga torustiku vastu. Vasest toru soodustab kütuse jahutust ning see ei korrudeeru.

Kütuselatt jäi samaks, mis oli eelnevalt tehast mootorile paigaldatud, ainukesed muudatused, mis sellele sai tehtud, olid kütuselati otsast originaal kütuserõhu regulaatori eemaldamine ja selle asendamine reguleeritava kütuserõhu regulaatori vastu. Lisaks vahetati toru, mis algab kütusefiltrist ja suubub kütuselatti teflon vooliku vastu, originaal voolik oleks antud eesmärke silmas pidades nõrgaks jäänud, kuna suutis maksimaalselt taluda kõigest 5 bar-ist rõhku.

Pihustite kohapealt oli oluline ennem välja arvutada, kui suure tootlikusega pihusteid oleks vaja, et saavutada soovitud eesmärk. Pihustite valik langes Mitsubishi Lancer Evolution 8 pihustitele, mille tootlikus oli  $560 \frac{\text{cm}^3}{\text{min}}$ . Valitud said antud pihustid kättesaadavuse ja hinnaklassi tõttu, samas ei nõua ka nende pihustite kasutamine lisamodifikatsioone kütuselatile.

Kuna materjalides, mis kasutusel on Ameerika päritoluga, siis on ka arvutused kohandatud Ameerika mõõtühikutes [4.p.94]

$$\frac{\text{cm}^3}{\text{min}} = \frac{\text{lb}}{\text{h}} * 10,5$$

$$\frac{\text{lb}}{\text{h}} = \frac{560 \frac{\text{cm}^3}{\text{min}}}{10,5} = 53,33 \frac{\text{lb}}{\text{h}}$$

Sellest tulenevalt on võimalik välja arvutada maksimaalne võimsus, mis on võimalik nende pihustitega saavutada.(9) (10) [4.p.94]

$$q = \frac{P * BSFC}{n}, \quad (9)$$

$$P = \frac{q * n}{BSFC'} \quad (10)$$

kus  $q$  - pihustite tootlikus,  $\frac{\text{lb}}{\text{h}}$

$P$  - eeldatav võimsus, hj

BSFC - kütuse efektiivsus, 0,55

n - pihustite hulk

$$P = \frac{53,33 \frac{\text{lb}}{\text{h}} * 4}{0,55} = 385,85 \text{ hj}$$

Kuna tulemus on Ameerika mõõtühikutes, siis sellest tulenevalt on vaja arvestada, et Ameerikas võrdub 1 hj 0,746kW, seega on võimalik antud pihustitega saavutada 287 kW. Seda muidugi juhul, kui tegemist on neljasilindrilise mootoriga nagu antud projektis. See võimsus on aga saadaval ainult siis, kui pihustid töötavad 100%, mis ei ole aga soovituslik, optimaalne on hoida pihustid maksimaalse töötükli ajal 80% tootlikuse ringis. Kui pihustid töötaksid 80% tootlikusega, siis oleks võimalik saavutada 229kW võimsus, mis on antud projektile täiesti sobilik.

## 2.11. Mootori juhtimine

Et saavutada suurem jõudlus, on vaja põletada rohkem kütust, kuna aga originaal juhtarvutil ei olnud võimalik muuta parameetrid, siis oli vaja muretseda juhtarvuti, mida oleks võimalik programmeerida.

Juhtarvutiks sai valitud Megasquirt MS3X, millel on 16 bitine protsessor MC9S12XEP100MAL ja mille kiiruseks on 50MHZ. Antud juhtarvutit on võimalik osta nii komplektsena kui ka juppidega, ehk siis saadetakse arvuti ehitamiseks vajalikud osad ja need peab ise kokku panema.

See on Megasquirt seeria kõige arenenum juhtarvuti ja valiti asjaolu tõttu, et seda on võrdlemisi kerge paigaldada, see on odavam kui mõne teise firma juhtarvuti, mis pakuks samu võimalusi. Võimaluste hulka kuuluvad 0,1% täpsusega saab paika panna kütuse kogused kütusekaardil. 0,1 kraadi täpsusega saab paika panna süütenurka süütekaardil. Juhtarvutil on olemas mälukaartipesa, millele saad lisada kütusekaarte, seadeid ja saad vaadata juhtarvuti tegevuste ajalugu ehk Log-e. USB pordi kaudu saab muuta juhtarvuti seadeid ja muuta vajadusel parameetreid. Lisaks, mida ei ole odavamatel järelturu juhtarvutitel, on tühikäigu kontroll, mis sobiks enamik tühikäigu hoidmiste tüüpidega.

Selle juhtarvutiga saab ühendada kuni 12 pihustit, kuigi antud projekti puhul on vaja ainult nelja. Kõige suurem pluss selle juhtarvuti puhul on see, et sellel on sisseehitatud MAP andur (hõrendusandur). MAP anduri ja sissepuhutava õhu temperatuuri anduri kaudu saab juhtarvuti välja arvutada, palju õhku läheb põlemiskambrisse. See lahendus on sellepärast hea, et see elimineerib

olemasoleva Karman pöörise tüüpi anduri, mis on füüsiliselt suur ja võtab palju ruumi mootoriruumis.

Andurid, mida on vaja, et juhtaju töötaks on järgmised: sissepuhutava õhu temperatuuri andur, väntvõlli asendiandur, väljalaske hapnikuandur (lairiba), jahutusvedeliku temperatuuri andur, MAP andur (hõrendusandur), detonatsiooni andur, gaasiklapi asendiandur. Enamik andurid, mida sai kasutada, olid juba mootoril endal küljes, ehk siis sai kasutada originaal juhtmestikku ja andureid, ainukesed andurid, mis vajasisid väljavahetamist, olid sissepuhutava õhu temperatuuriandur, väntvõlli asendiandur, väljaheitegaasi hapnikuandur ja detonatsiooni andur, detonatsiooni andur oli enim ka mootoril olemas, aga oli kahtlusi, et see ei toiminud enam, kuna ei reageerinud testimisele. Detonatsiooniandur sai väljavahetatud juhtarvuti tootja poolt soovitatud ja testitud detonatsiooni anduri vastu. Väntvõlli asendiandurile lisaks oli vajadus paigaldada ka lugemiratas väntvõlli otsa, et anduril oleks millegi pealt signaali lugeda.

Väljaheitegaasi hapnikuandur on vajalik selleks, et juhtarvuti saaks aru, mis on mootorikütuse ja õhu segu/suhe. Anduriks sai valitud Innovate MTX-L, antud komplektis on andur ja näidik, mis töötab ka kui lairiba juhtplokk, juhtarvuti ühendatakse näidikuplokiga mitte otse anduriga.

Juhtarvutile oli originaalis ainult emaplaat ja MS3 tütarplaat, kus on peal MS3 protsessor ja mälukaardi pesa, et saada sellest juhtarvutist 100% kätte oli vaja lisaks soetada niinimetatud X-kaart, mis võimaldab lisada nitro sissepritsesüsteemi, anti-lag süsteemi ja launch control-i. Tänu sellele plaadile on ka lisaks 4 pihusti väljundit, ehk siis, kui X-plaati ei oleks, siis on võimalik 8 pihustit ühendada, aga X-plaadiga on võimalik 12 pihustit. Kuigi antud projekti puhul ei ole nii suur pihustite hulk vajalik, aga lisa seaded nagu eelmainitud launch control, nitro ja anti-lag ei oleks ilma selle plaadita võimalikud.

Lisaks sai veel paigaldatud detonatsiooni vältimiseks lisa moodul, millel on kaks detonatsiooni tuvastamise kanalit, mis on võimeline tuvastama ja ohjama detonatsiooni, keerates ise süüdet varasemaks. Tänu sellele moodulile ei ole detonatsiooni probleem nii suur, kuna juhtarvuti saab ise süütenuka reguleerida täpsemini ehk siis on mootorile ohutum.

Juhtarvuti ühendusskeem ja X-plaadi ühendusskeem, kus on välja toodud kõik andurid ja täiturid [5].

Kui Megasquirt 3 juhtarvutil on ka lisatud X-plaat, saab ise valida, kas võtta süüde ja pihustite signaal MS3 emaplaadilt või X-plaadilt. Nende vahe seisneb selles, kuidas juhtarvuti eos kokku on pandud, juhul kui seda on ise kokku pandud, mitte tellitud juba kokkupandult.

Erinevus tuleb välja ka siis, kui hakata juhtarvutit seadistama, peab täpselt teadma, kuidas on arvuti kokku pandud, mis võib teha programmeerimise keeruliseks, kui ei ole kaardistatud eelnev tegevus.

### **2.11.1. Juhtarvuti simulaator**

Simulaatori mõte seisneb selles et, juhtarvutit on vaja enne testida, et näha, kas arvuti töötab korralikult ja ka kontrollida, kas juhtarvuti kokkupanemisel ei tekkinud viga sisse.

Simulaatori mõte on iseenesest lihtne: selle ülesanne on saata juhtarvutile signaal, mis sarnaneks mootori andurite signaalile. Simulaatoriga on võimalik kontrollida, kas juhtarvuti saab kütusepumba signaali, sissepuhutava õhu kogust, pöörlemissageduse signaali, gaasiklapi asendi näitu ja kontrollida pihustite töösignaali.

Selliseid stimulaatoreid saab tellida ka internetist, aga selle kohaletulek oleks olnud jälle ligi kaks kuud, nii et saigi otsus vastu võetud see ise valmistada.

Elektriskeemid ja vajaminevate elementide nimekirja sai MegaSquirt kodulehelt ja kui vajaminevad jupid olid olemas, siis oli vaja kõik komponendid ühisele trükiplaadile panna ja omavahel ühendada [5].

Juhtarvuti testimine käib järgnevalt. Juhtarvuti ühendatakse USB liidese abil lauarvuti või sülearvutiga ja pannakse käima programm TunerStudio, mis on MegaSquirt-i enda programm, millega saab muuta juhtarvuti seadeid ja väärtusi, lihtsamalt öeldes seadistada. Ühendades stimulaatori juhtarvutiga, peaksid tekkima ekraanil olevatel näidikutel muutused ning potensioomeetreid keerates peaksid need veelgi muutuma, see ongi märk, et juhtarvuti on õigesti kokku pandud ja toimib, nagu ette nähtud. Stimulaator ei ole selleks, et kontrollida, kas juhtarvuti annab täpseid lugemeid, vaid pigem selleks, et näha kas juhtarvuti on võimeline kõiki signaale vastu võtma, mis andurid edasi annaksid.

Tabel 4

## MegaSquirt simulaatori valmistamiseks vajaminevad osad

<b>Nimetus</b>	<b>Kogus</b>
10k $\Omega$ potensioomeeter	5
100 $\Omega$ , 1/4W takisti	2
33k $\Omega$ , 1/4W takisti	1
39k $\Omega$ , 1/4W takisti	1
330 $\Omega$ , 1/4W takisti	5
1k $\Omega$ , 1/4W takisti	1
10k $\Omega$ , 1/4W takisti	2
0.1 $\mu$ F, kondensaator	1
0.22 $\mu$ F, kondensaator	1
2N3906 PNP transistor	1
AD654 Volt->sagedus muundur	1
emane DB37 ots	1
2-pin terminal plokk	1
SPDT lüliti	2
T-1 3/4 LED	5
2.1 mm (P5) voolu pistik	1
300 ma, 12v adapter	1
Trükiplaat 100mm x 150mm	1

## 2.12. Kütus ja mootoriõli

Kütuseks kasutan mootoribensiini oktaaniarvuga RON/MON 98, mille tihedus jääb tavaliselt vahemikku 680-780 kg/m<sup>3</sup> ja seda 15°C juures. Valitud sai see kütus, kuna on kättesaadav ja piisavalt kvaliteetne, et kasutada seda antud projekti puhul. Sai mõeldud ka bioetanooli kasutamise peale, kuna paigaldatud juhtarvuti võimaldab kasutada FlexFuel süsteemi, mis võimaldaks E85 kütusesegu mootoris kasutada, kuna aga E85 kättesaadavus on pigem keeruline, siis sai esialgu valitud tavapärase 98 oktaaniarvuga mootoribensiin.

Tagasisivoolava kütuse jahutusele mõeldes on kõik terasest kütusetorud väljavahetatud vasest torude vastu, mis on siis vastupidavam korrosiooni mõttes ja on ka parema soojusjuhitavusega, mis aitab kütust jahutada.

Mootoriõliks, mida kasutan, on Motuli 15W50, 300V seeriast. Valitud sai see õli sellepärast, et sellel on kõrge tsink dialküülditiofosfaadi (ZnDTP) sisaldus, mis aitab nukkvõlle, väntvõlli ja klappe paremini määrida ja kaitsta kulumise eest kõrgel temperatuuridel. Õli valikul on tähtis vaadata, et see kannataks kuumust, kuna turboga ülelaetud mootorid toodavad palju rohkem kuumust. Lisaks määrib sama õli ka turbolaaduri laagreid ja kui õli ei kannata lisakuumust, mis tuleb turbolaadurist, siis põleb õli turbo sisse ja võib selle ummistada, mille tulemuseks võib olla turbolaaduri purunemine. Lisaks on seda õli soovitatud ka erinevates foorumites ja DSM (Diamond Star Motors) kogukondades. Õli mis antud mootorisse panna, peab olema suurema viskoosusega, kuna antud mootoril on isepärane hüdrodünaamiline klõbin, suurema viskoosusega õli aitab seda elimineerida ning ei kaota oma omadusi nii kergelt suurematel koormustel/temperatuuridel.

Õli jahutamiseks on sõidukile juba tehases paigaldatud õliradiaator, mille kõrgus on 18 cm ja laius 24 cm, jahutuselemendi paksuseks on 4,3 cm. Õliradiaator on paigaldatud sõiduki esiotsa, vahejahuti ja mootori jahutusvedeliku soojusvaheti vahele.

Mootoriõli kogus on 4,4L, külma mootoriga on õlisurve 4,1 bar ja sooja mootoriga 1,5 bar ja seda tühikäigul ehk 900 p/min.

### 3. KULUDE ANALÜÜS

Kokku kulus varuosade peale 3 117 € ja kuna garaaž oli endal olemas ja selle rentimisele kulutusi ei lisandunud, väljaarvatud mõningad tööriistad, mis purunesid või puudusid. Varuosade poolest oleks saanud ka asju odavamalt soetada, nagu näiteks kasutada kasutatud osi ja odavamaid tootjafirmasi, kuna aga endal oli võimalus saada ka kvaliteetsete firmade tooteid väiksemal määral soodsamalt, siis sai otsustatud ka nende kasuks. Ka juhtarvuti poolepealt oleks olnud võimalik kokku hoida, aga kindluse mõttes sai võetud kallim variant, et mootori töö oleks ohutum ja lihtsam jälgida. Lisaks ei ole otseselt vajalik teha terve väljalaskesüsteem roostevabast terasest aga, et vältida roostest tekkivaid probleeme, siis sa mindud seda teed.

Nagu eelmainitud siis kokku oli kulutusi 3 117 € ja tulemuseks saavutasin 216 kW. Arvestades, et eelnev mootoripoolt toodetud võimsus oli 72 kW mõõdetud rattast, ehk umbkaudu 83 kW mootorist, siis on võimsust juurde tulnud 133 kW.(11)

Nende andmete järgi on võimalik arvutada iga kW hind, tulemus on umbkaudne, kuna rattast mõõdetud võimsus on arvatud ümber mootorist mõõdetud võimsuseks umbkaudselt ehk 15%.

$$kWh = \frac{K}{Sv} \quad (11)$$

kus kWh -iga saadud lisa Kw hind, €

K - kulutused kokku, €

Sv - saavutatud lisavõimsus, kW

$$\frac{3117}{133} = 23,4 \text{ €}$$

Umbkaudu maksis iga juurdesaadud kW 23,4 €, mis kokkuvõtteks ei ole suur summa ja võib öelda, et projekti võib lugeda õnnestunuks. Nagu eelnevalt mainitud on võimalusi saavutada sama tulemus veel väiksemate kulutustega, seda aga kui kaua odavamad varuosad vastu peavad, näitab ainult aeg.

Lisaks tehtud kulutustele, tuleb arvestada kuludega kui kõike tööd ise ei tee, ehk siis kellegile teisele maksta tehtud töö eest.

Tööd saab jagada kolmeks, inseneritöö, elektrikute töö ja lukksepa töö.

Inseneritöö alla kuuluvad need tööd, kus pidi ise välja mõtlema sõlmed ja lahendused, kuidas mingi sõlm töötama ja kulgema peaks ning ka erinevate osade otsimine, mis omavahel toimiks. Elektrikute töö alla kuuluvad need tööd, mis hõlmavad elektritööd, enamik sellest tööst on seotud juhtarvuti kokkupanekuga ja selle seadistamisega. Lukksepa tööks saab lugeda neid töid, mis kuulusid mootori lahtivõtmise ja kokkupanemise ning muude mehhaaniliste tööde hulka.

Inseneri tunnipalgaks võtsin umbkaudu 25 €, lukksepa tunnipalgaks 15 € ja elektrikute tunnitasuks 20 €, nii on võimalik umbkaudne tasu välja arvutada, kui oleks pidanud kellegile teisele töö eest tasuma.

Inseneritunde läks umbkaudu 250 h ehk siis rahaliselt 6250 €

Lukksepa tunde umbkaudu 340 h ehk siis rahaliselt 5100 €

Elektrikute tunde umbkaudu 30 h ehk siis rahaliselt 600 €

Kokku tuleks siis väljaminek  $6\,250\text{ €} + 5\,100\text{ €} + 600\text{ €} + 3\,117\text{ €} = 15\,067\text{ €}$

Tabel 5

## Kõik kulutused mootori modifitseerimiseks

Osa nimetus	Hind
Turbolaadur: CX Racing	300 €
Turbo õlitus	30 €
Turbo flants T3	10 €
Väljalaske gaasiklapp	70 €
Väljalaske kollektor	100 €
Väljalaske torustik (roostevaba teras)	170 €
Resonaator: Simmons	100 €
Sukk (roostevaba teras)	17 €
Sisselaske torustik (Alumiinium)	50 €
Ülerõhu klapp (BOV)	70 €
Lairiba hapnikuandur: Innovate MTX-L	110 €
Vahejahuti	100 €
Pihustid: 560cc Lancer Evolution	150 €
Mootori juhtarvuti: Megasqurt MS3X	740 €
Mootori juhtarvuti stimulaatori materjal	30 €
Juhtmestiku materjal	130 €
Mootori tihendite komplekt	170 €
Raamsaaled: ACL Racing	80 €
Kepsusaaled: ACL Racing	80 €
Kolvid: Nippon Racing	180 €
Õlirõhu kell	30 €
Õhurõhu kell (boost)	30 €
Kütusesurve regulaator: Mollory	110 €
Väntvõlli asendi lugemi ratas	130 €

Osa nimetus	Hind
Kütusepump: DW200	100 €
Kütusetoru	50 €
Plokikaane lihvimine + survestamine	60 €
Õhu temperatuuri andur	20 €
KOKKU	3 117 €

## 4. JÄRELDUS

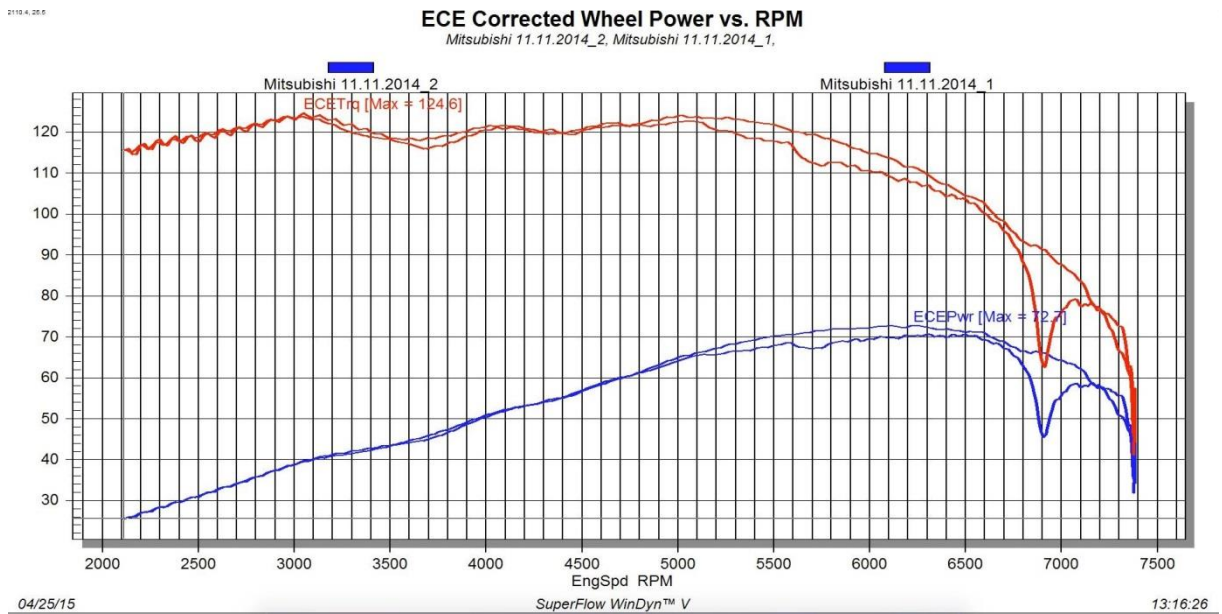
Veojõustendis proovides selgus, et eesmärk on saavutatud ja mootori võimsuseks sai 216,4 kW pöördesagedusel 5950 p/min. Maksimaalne pöördemoment 418,2 Nm on saadaval pööretesagedusel 4250 p/min, mis on väga sobilik pöörete ala ringrajal sõiduks. Graafikul ongi välja toodud mootori võimusus, ehk siis juurde on arvatud veoskeemi kadu, mis on ümmarguselt 15%, mis teeb võimsuseks rattast mõttes 184kW. Arvutuse tegi veojõustendi arvuti ise. (vt sele 16).

Esiolguks sai proovitud väiksema ülelaade rõhuga, et vaadelda, kuidas mootor käitub ja mis näitajad tulevad, nähes aga, et kõik toimib, keerasime rõhku juurde ja ülelaade rõhuks sai pandud, nagu eelnevalt arvatud, 0,9 Bar-i ja arvestades, et juhtarvutit ei ole veel täielikult seadistatud (oma ala asjatundja poolt), siis on põhjust arvata, et võimsuse numbrid võivad veelgi tõusta, kui seade täiesti paika saada. Tänu detonatsiooni moodulile, mis sai lisatud juhtarvutile, puudus ka detonatsioon, mis oli minu enda jaoks suur murekoht, teades, kui ohtlik see mootorile võib olla.

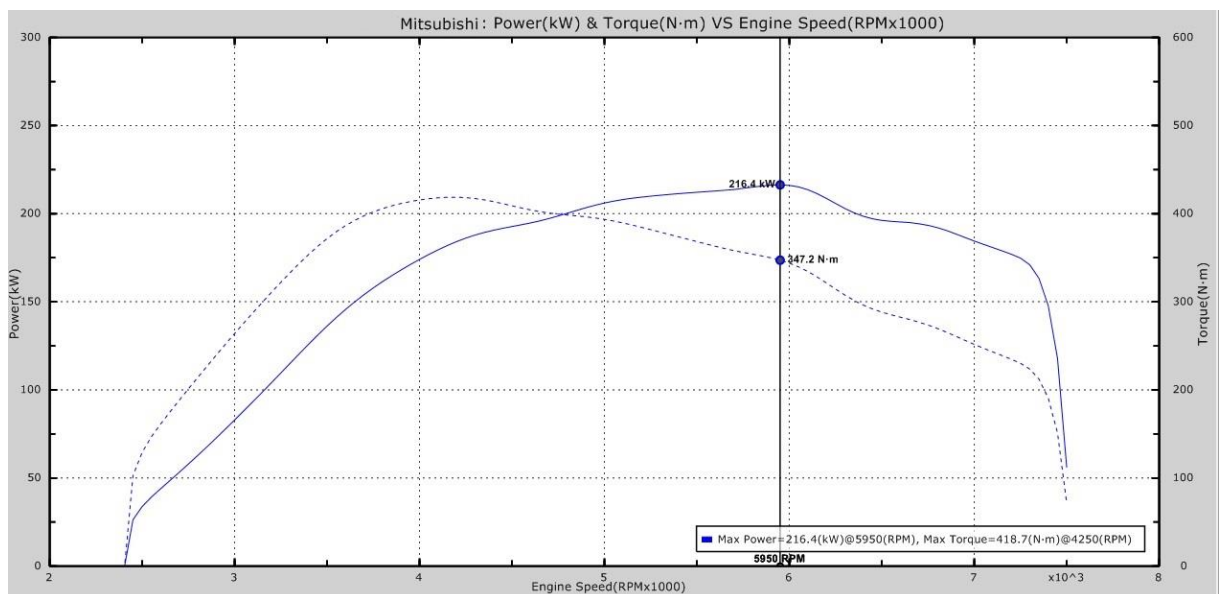
Probleemiks osutus sisselaske torustik, mille ühendused suure rõhu all lahti end surusid, kuna ei olnud käepärast seadet, mis alumiiniumtoru flantsida suudaks, kui see probleem tulevikus lahendada, siis kaob ka see probleem ära. Lisaks tekkis sisselaske torustikuga probleem, et gaasiklapi toru kinnitus osa on niivõrd lühike, et see ei hoidnud silikoon toru enda peal, selle lahenduseks vahetati välja originaalis olevad tikkpoldid tavaliste poltide vastu, mis andsid lisa sentimeetri ruumi, kuhu toru kinnitada.

Teiseks probleemiks osutus gaasiklapi asendiandur, mille näit oli hakanud kõikuma, kui olime jõudnud veojõustendi, seda viga enim ei olnud, ehk siis anduri näit kinnises olekus kõikus 0,2–0,4%, viga ei olnud aga niivõrd suur, et see oleks seganud veojõustendis mõõtmist. Gaasiklapi asendianduri viga põhjustas tühikäigul töötades seda, et pöörded kõikusid vähemal määral, kui aga klapp avada, siis viga kadus ära, seda kas viga tuli andurist endast või mõnest halvast ühendusest, on hetkel veel väljaselgitamisel.

Seni on kõik komponendid vastu pidanud ja purunemisi ei ole toimunud, arvestades ka detaile, mis ei olnud ümberehituses, nagu näiteks poolteljed ja käigukast, mis jäi sama, mis oli ka vabalthingaval versioonil.



Sele 1. Originaalmootori võimsuse graafik veojõustendis (võimsus mõõdetud rattast)



Sele 16. Modifitseeritud mootori võimsuse graafik veojõustendis (võimsus mõõdetud mootorist)

## 5. KOKKUVÕTE

Kokkuvõtteks võib öelda, et tegemist oli väga huvitava ja hariva projektiga, kuna endal oli plaan selline projekt ette võtta juba pikalt, siis seda enam oli entusiasmi see ka ära teha. Kõige keerulisem ja aeganõudev oli varuosade ning sobilike osade otsimine ja leidmine. Plaan oli teha projekt ära nii odavalt, kui võimalik. Selgus aga, et kui tahta, et tuleks ka hea tulemus, ei saa igalt poolt kokku hoida, millega olen ma ka kokkuvõtteks rahul, et selline otsus sai vastu võetud. Kindlasti oli ka huvitav uurida erinevate materjalide ja osade kokkusobivust, et need peaksid vastu lisakoormusele, mida kutsus esile turbolaaduri kasutamine sise põlemismootoril.

Inseneri- ja lukksepatöö poolepealt sai ka palju kogemusi. Inseneritööks lugesin siis need tööd, kui pidi planeerima tööde järjekorda, materjalide ja varuosade valikut ja üleüldist sõlmede väljamõtlemist. Kõige keerulisem oligi ilmselt planeerida töid nii, et ma lõpuks selle õigeks ajaks ka valmis jõuaks, kuna kõik erinevad sõlmed sõltuvad teineteisest, siis on järjekord võrdlemisi oluline. Varuosade kohapealt pidi tihtipeale otsustama, kas tellida osa Eestist, mis on kallim, aga jõuaks kiiremini kohale, või tellida interneti kaudu välismaalt, mis võtab väga palju kauem aega, aga on ka samas mõnedel juhtudel kordi odavam. Enamik asju sai tellitud Ameerika Ühendriikidest, kuna seal on järelturu osade turg väga palju suurem kui meil siin Eestis. Sealt tellimine tähendas aga seda, et tarneaeg oli väga pikk ja samas ka teadmata, mis tähendab, et ajakava, mil midagi teha, oli väga kaootiline.

Lukksepatöö alla lugesin ma need tööd, mis hõlmasid uute osade paigaldust ja ka isevalmistatud osade valmistamist. Lukksepa töökohapealt sai väga palju keevitustööd teha. Palju sai praktikat just alumiiniumi keevitamise kohapealt, mis on võrdlemisi keeruline ja seetõttu ka hea, et seda sai praktiseerida. Kuigi lukksepa töökogemus ei olnud põhiline selle projekti puhul, siis võib öelda, et sellegi poolest sai kogemusi juurde.

Juhtarvuti puhul oli alguses hirmutav asjaolu, et selle peab ise kokku panema nullist, aga saades infot interneti kaudu ja paberkandjal, siis sai sellega hakkama ja jällegi kogemus juures. Kuna minu valitud MS3X juhtarvuti on kõige uuem ja ka üks kallimatest MS seeria toodetest, siis ei ole ka väga palju õpetusi liikvel, kuidas neid seadistada, seetõttu oli see ka aeganõudev tegevus. Kuigi antud mootorile on paigaldatud küll MS juhtarvuteid, ei ole valitud selleks MS3, vaid odavamad variandi, kas siis MS1 või MS2. Seetõttu ei ole saadaval ka baasseadeid, mida saaks kerge vaevad arvutile kirjutada ja mootori tööle panna, kõik tuli ise välja mõelda. Lisaks võttis palju aega uue juhtmestiku vedamine ning originaal juhtmestiku lahtiharutamise ja dešifreerimine. Juhtarvuti seadistamine ei ole keeruline seni, kui sa tead, mis ühendused on tehtud juhtarvuti sees, kui see kokku pandi. Kuigi sain enda seadega mootori suhteliselt hästi tööle, peab selle laskma üle seadistada oma ala professionaalil, kuna mootori eluiga sõltub palju juhtarvuti õigest seadest. Juhtarvuti kokkupanekul ja seadistamisel nõustas mind ka Tallinna Tehnikakõrgkooli teise kursuse elektritehnika tudeng Sixten Sepp.

Kas lõputöö eesmärk saavutada Auto24 ringil ringiaeg ajavahemikus 2.0–2.2 minutit ka saavutati, selgub, kui kogu auto on valmis ehitatud. Lõputöö keskendus ainult mootori ümberehitusele, aga plaanis on ümber projekteerida ka veermik, pidurid ja teha auto kergemaks.

Ma leian, et lõputöö täitis oma eesmärgi, igal sammul lõputööd tehes sai midagi juurde õpitud, eriti just elektri valdkonnas, kuna ma ise tundsin, et seda oleks võinud kooliõppimise rohkem olla, just seetõttu vajasin ka nõustamist elektritehnika tudengilt. Lõputöö õpetas mõtlema ette, ehk siis planeerida igat tegevust, et kõik sujuks korrapäraselt ja tõrgeteta. Mis kõige tähtsam, lõputööd tehes sai proovile panna oma teadmised, mis on saadud koolist ja jõuda teemaplaanist valmistoodanguni, ning valmistoodangut analüüsides saades veel rohkem tagasisidet tehtud töö kohta.

## **SUMMARY**

This diploma thesis at hand is called “Supercharging 4G63 engine to reach the engine power of 200kW”. The main goal of this project is to build a hobby car to participate in a track day at Pärnu Auto24 track. The original naturally aspirated engine produces 110kW at 6750 rpm and 175nm of torque at 5500 rpm, but this was the case when the engine was new and had all of its kW, but time had reduced the power and the engine that I was modifying had only 72,7kW left in it. The reconstruction entails adding a turbocharger to the engine. However, adding a turbocharger requires modification to almost every part of the engine system.

The easiest way to increase the power output of an engine is adding a turbocharger. The purpose of a turbocharger is to force more air into the combustion chamber and to increase volumetric efficiency. Due to the fact that more air is forced to the combustion chamber, it is essential that additionally more fuel is added as well. This extra pressure means that more pressure is applied to the piston. to avoid knock a lower compression ratio must be achieved, to do that I replaced the old pistons, which were with a compression ratio of 9.0, with new pistons with a compression ratio of 7.8. To increase the amount of fuel that is squirted into the combustion chamber the engine management system must be replaced with programmable unit, which is also needed to tune the ignition timing and sense the barometric pressure in the intake plenum.

The modification starts by disassembling the engine and evaluating the condition of the parts. The first things to be changed are the main and rod bearings, the author of the text used ACL performance bearings. The pistons chosen are Nippon Racing 85 mm pistons with a compression ratio of 7.8, a lower compression is achieved by lowering the center dome of the piston, which allows more air into the combustion chamber without the threat of knock. All the gaskets on the engine block and cylinder head where replaced, the cylinder head chosen was the Cometic Street Performance metal gasket, which was chosen because it was recommended to use with the chosen pistons.

Adding a turbocharger also requires a new exhaust manifold and a new exhaust system. The exhaust manifold was made out of stainless steel by DPT Motorsport. The exhaust system was made out of stainless steel 2.5 inch tubing, in the center of the system there is a Simmons Racing resonator and the end muffler is a muffler made by EUS. The most difficult part of the exhaust reconstruction was the J-pipe that goes from the turbocharger under the engine, which was difficult to fabricate because it had so many bends in it and to getting it exactly how it was needed was tricky, plus this part of the system had the piping for the waste gate on it, which also had to match up perfectly in order to fit.

The intake system was also modified, because the intake system for a naturally aspirated engine is really simple. It only consists of an air filter, airflow meter, rubber hose which is connected to the throttle body. The intake system of a turbocharged engine is much more complicated. The intake piping is made out of 2.5 inch aluminum and is connected with silicone connectors. The system got upgraded with a big intercooler and a blow off valve, which protects the turbocharger from a surge. When the throttle closes, the air has to go somewhere and without a blow off relief valve, the pressurized air would break the turbocharger or damage the throttle body or the intake system.

The engine management system chosen by the author was MS3X, which was Megasquirt 3 with an additional X-card. This is the most advanced ECU the MS series has to offer, it is also the most expensive, but for this option was decided because of the sheer possibilities and options it gives the user. It is possible to control two stages of nitrous, two step launch control, the option to use ethanol as fuel because it has a flex fuel system on it, and many more options. The ECU was ordered disassembled, which meant that it had to be assembled at first, which was quite difficult, but considering the fact that the price of the disassembled package was 200 euros cheaper than it was worth the effort.

Turbocharging is a topical subject because big engines consume a lot of fuel and are not economical, the solution to that is to turbocharge a smaller cc engine and get the same power figures. This is also the reason why car manufacturers produce more and more cars with a turbocharged engine instead of cars with a big cc engine.

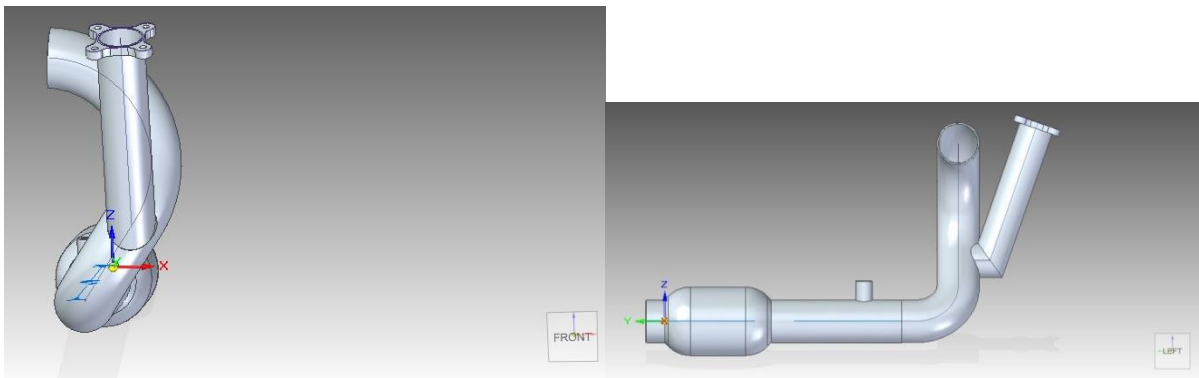
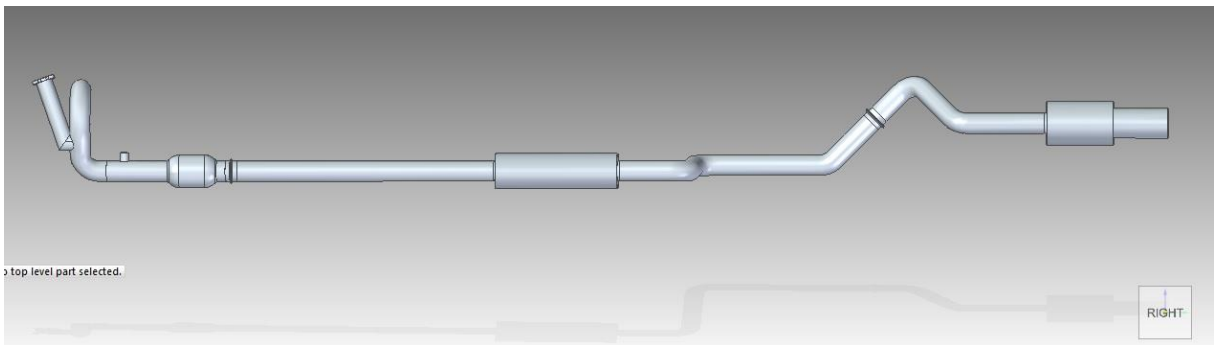
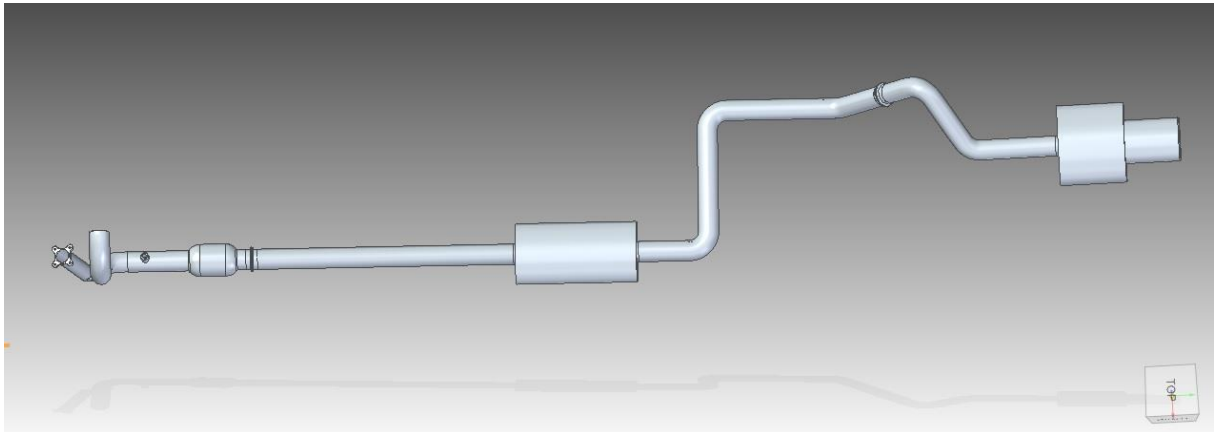
At first it was supposed to be a low-budget project but as the project progressed it soon turned out that if something that would last was wanted then money could not be spared on certain parts.

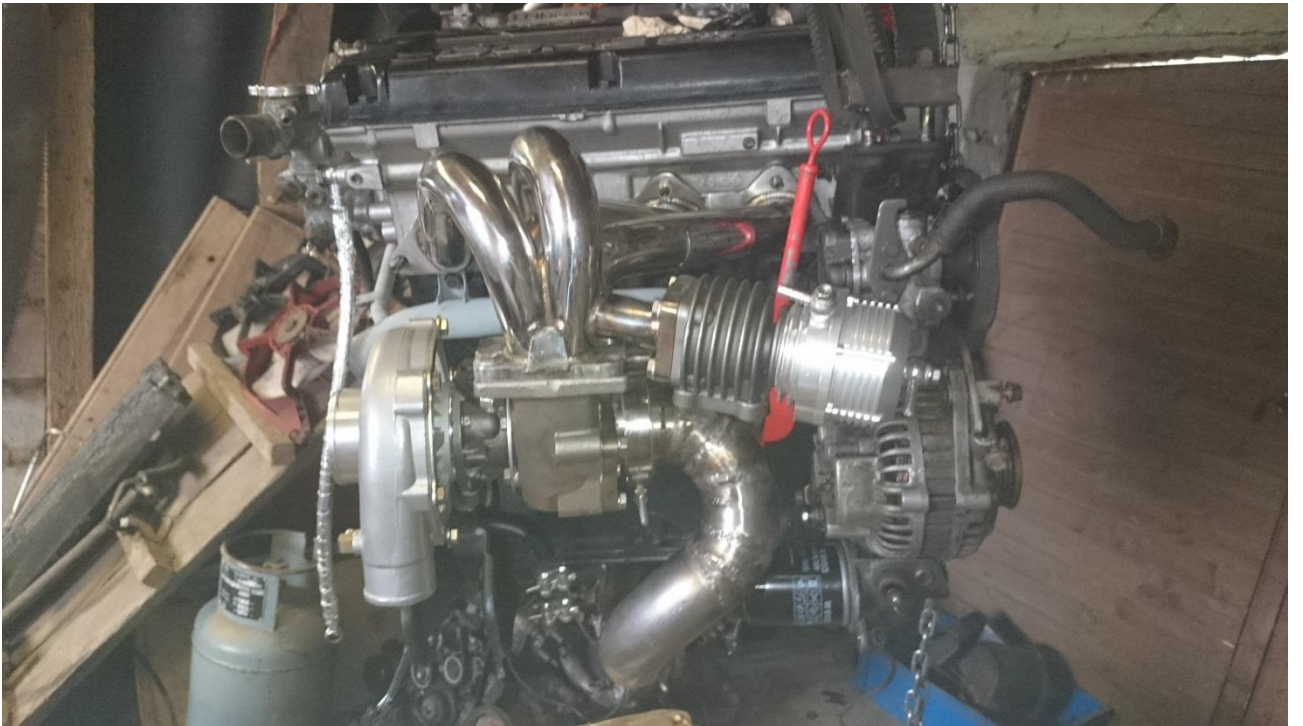
In the dyno testing it turned out that the goal was achieved, the engine produced 216.4kW which is 184kW at the wheel.

## VIIDATUD ALLIKAD

1. Mitsubishi Eclipse Overhaul Manual (1992) USA, 71lk
2. Haynes Rapiar Manual. Mitsubishi Eclipse, Plymouth Laser & Eagle Talon. (1997). I. M. Coomber; C. Rogers, Nr Yeovil, Somerset BA227JJ, England: Haynes Publishing, 320lk
3. Robert Bosh GmbH. (2007). Automotive Handbook 9th Edition. Germany: Robert Boch GmbH, Bentley Publishers, 1192lk.
4. Bell, C. (1997) Maximum Boost: Designing, testin and installin turbocharger sytems Cambridge, MA 02138 USA. Bentley Publishers, 250lk
5. Megasquirt Setup Guide for Eagle Talon/Mitusbishi Eclipse [WWW]  
[shhttp://www.diyautotune.com/tech\\_articles/how\\_to\\_megasquirt\\_your\\_4g63\\_powered\\_dsm\\_eclipse\\_talon\\_laser.htm](http://www.diyautotune.com/tech_articles/how_to_megasquirt_your_4g63_powered_dsm_eclipse_talon_laser.htm)
6. DSM Tuners Enthusiast forum[WWW]  
<http://www.dsmtuners.com/>
7. The math behind turbocharging  
<https://takemebeyondthehorizon.wordpress.com/the-math-behind-turbocharging> [WWW]
8. DeatschWerks  
<http://www.deatschwerks.com/resources/fuel-pump-tech/dw200-fuel-pump-tech> [WWW]

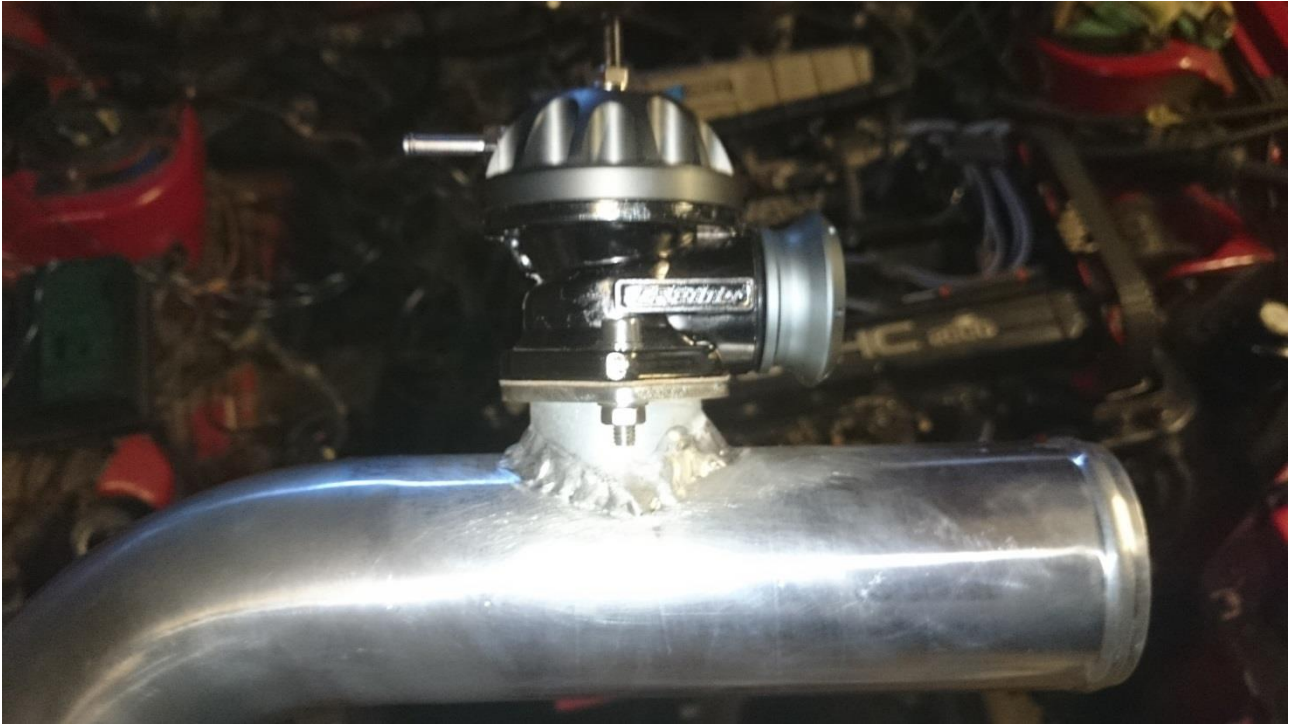
# Lisa 1. Väljalaskesüsteemi projekteerimine ja valmistamine



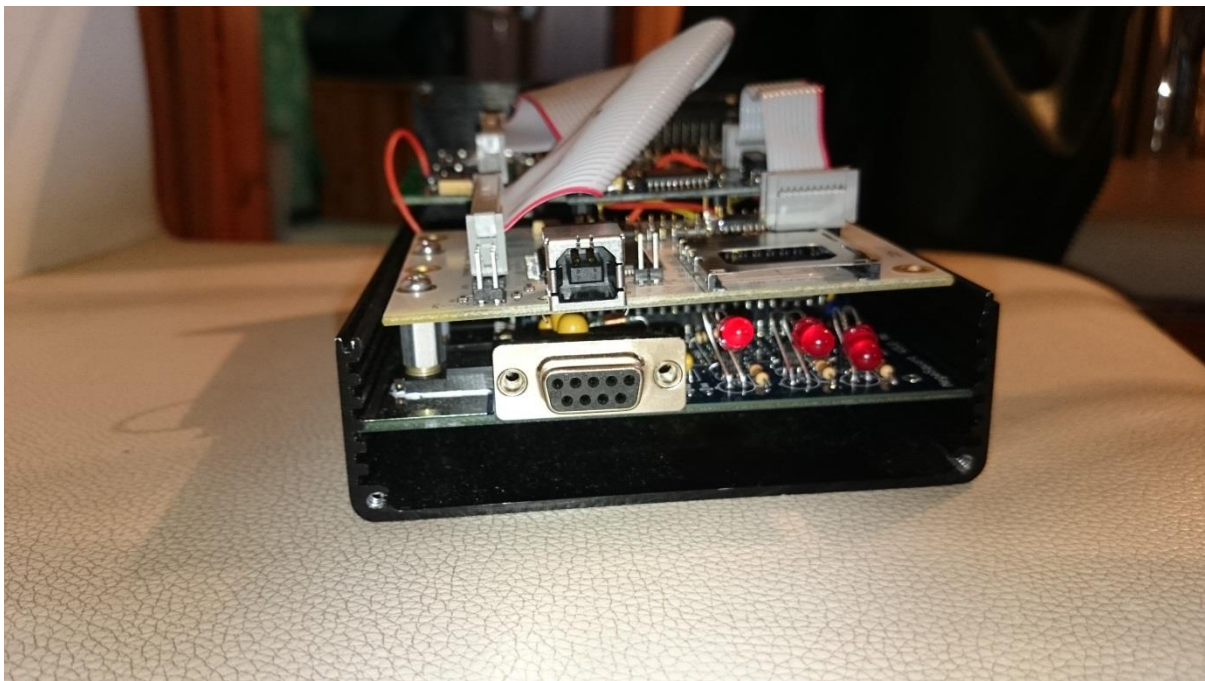


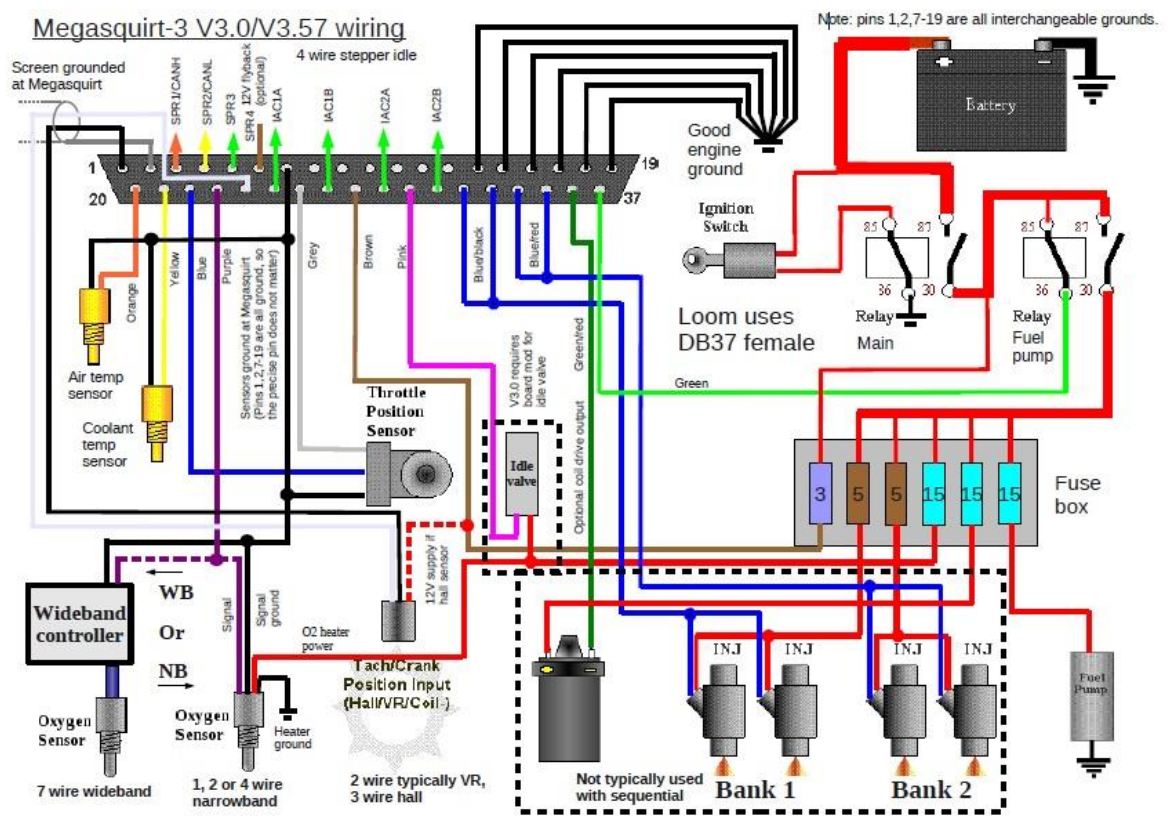
## Lisa 2. Sisselaske valmistamine





### Lisa 3. Juhtarvuti MegaSquirt MS3X ja simulaator





# MS3X wiring

