

Martin Merelaid

**LADA SAMARA MOOTORI
MODIFITSEERIMINE,
SAAVUTAMAKS VÕIMSUST 100 kW**

LÕPUTÖÖ

Tallinn 2015

Martin Merelaid

**LADA SAMARA MOOTORI
MODIFITSEERIMINE,
SAAVUTAMAKS VÕIMSUST 100 kW**

LÕPUTÖÖ

Transporditeaduskond

Autotehnika eriala

Tallinn 2015

Mina,

Martin Merelaid,

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

Martin Merelaid.....

Nimi, allkiri ja allkirjastamise kuupäev

.....
Üliõpilase kood 7D6498

Õpperühm KAT85

Lõputöö vastab sellele püstitatud kehtivatele nõuetele ja tingimustele.

Juhendaja

Aimar Lukk.....

Nimi, allkiri ja allkirjastamise kuupäev

.....
Kaitmisele lubatud „.....“20....a.

Transporditeaduskonna dekaan.....

Teaduskonna nimetus

Nimi ja allkiri

SISUKORD

SISSEJUHATUS.....	5
1 MOOTORI FORSSEERIMINE	6
1.1 Mootori forsseerimise teooria.....	7
1.2 Lada Samara ülevaade	9
1.3 Tehnilised tingimused.....	10
2 MOOTORIS TEOSTATUD MODIFIKATSIOONID	12
2.1 Mootoriplokk ja väntmehhanism.....	12
2.2 Plokikaas.....	14
2.3 Nukkvõll	18
3 TOITESÜSTEEM	23
4 JAHUTUSSÜSTEEMI MUUDATUSED.....	25
5 SISSELASKEKOLLEKTORI PROJEKTEERIMINE	26
5.1 Nõudmised sisselaskekollektorile.....	27
5.2 Inertsülelaadimine	27
5.3 Optimaalse sisselasketrakti pikkuse arvutamine	28
5.4 Materjali valik ning valmistamise tehnoloogia	30
6 VÄLJALASKESÜSTEEM	32
6.1 Väljalaskekollektori parameetrite arvutamine.....	32
6.2 Summuti.....	34
7 JÕUÜLEKANNE.....	35
7.1 Käigukasti ülekannete valik soovitud momendikõvera saamiseks.....	35
7.2 Hõõrdsidur	38
8 DÜNOSTENDIS VÕIMSUSE MÕÕTMINE	40
KOKKUVÕTE.....	42
SUMMARY	43
VIIDATUD ALLIKAD.....	45
LISAD	46
Lisa 1. Dünostendi graafik	47

Lisa 2. Klapitaldriku joonis	48
Lisa 3. Reguleeritava nukkvõlli rihmaratta joonis	49
Lisa 4. Sisselaskekollektori flants 1 joonis	50
Lisa 5. Sisselaskekollektori flants 2 joonis	51
Lisa 6. Sisselaskekollektori toru joonis.....	52
Lisa 7. Sisselaskekollektori koostu joonis.....	53

SISSEJUHATUS

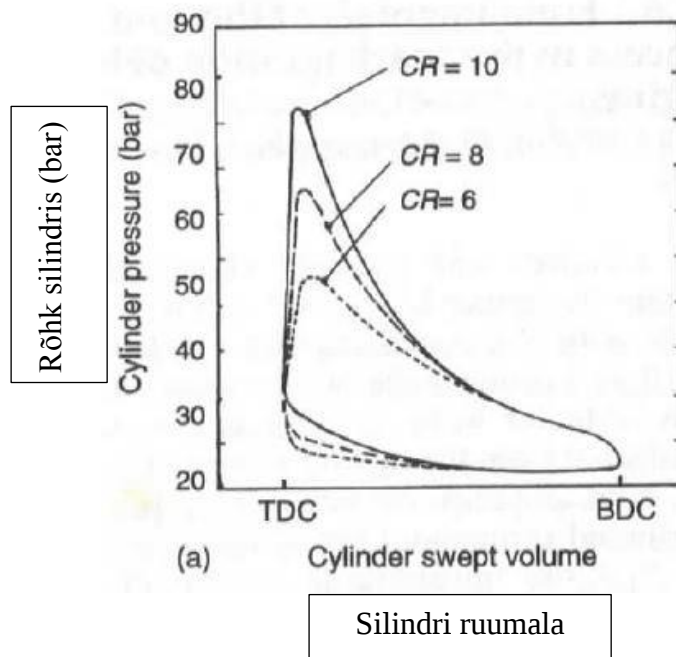
Käesoleva lõputöö teemaks on võidusõidu mootori ehitamine, kasutades Lada Samaralt pärit 1499 cm³ töömahuga mootorit. Lõputöö eesmärgiks on uurida erinevaid mootori võimsuse tõstmise viise ning ehitada valmis forsseeritud mootor, millega oleks võimalik võistelda Eestis toimuvatel ralli ning rallisprindi võistlustel. Tehasest väljudes olid selle mootori näitajad 52 kW 5600 p/min juures ja maksimaalne pöördemoment 106 Nm saavutati 3400 p/min juures. Eesmärgiks on tõsta mootori võimsust ligemale kaks korda ehk 100 kW-ni ja saavutada pöördemomendiks 160 Nm. Mootori forsseerimine on kallis kuna nõuab paljude sõlmede väljavahetamist või siis modifitseerimist. Teine tähtis aspekt millega tuleb mootori forsseerimisel arvestada on vastupidavus. Kuna forsseerimine on kallis, siis peab suurt tähelepanu pöörama mootori komplekteerimisele ja detailide valikule.

Kuna tegemist on autoga, millega omanik soovib osa võtta erinevatelt võistlustelt, siis tuli arvesse võtta ka Eesti Autosportdiliidu poolt kehtestatud piiranguid. Edaspidises lõputöös on kõiki modifikatsioone tehes järgitud Eesti Autosportdiliidu poolt kehtestatud tehnilisi tingimusi. Peale tehniliste piirangute on mootori ehitamisel ka arvesse võetud rahalisi ressursse ning aega. Auto omaniku sooviks oli kasutada võimalikult vähe elektroonikat, mistõttu on valitud elektroonilise sissepritse süsteemi asemel Weber DCOE 45 mm karburaatorid.

1 MOOTORI FORSSEERIMINE

Pöördemoment ehk väntvõlli pöörlemisel saavutatud töö tulemus seaduspäraselt ei sõltu mootori pöörlemiskiirusest. See sõltub rõhust mis avaldub kolvile, kolvi pindalast ja kolvikäigust. Sama kolvikäigu ning silindri läbimõõdu juures suurendades efektiivrõhku suureneb ka pöördemoment ja vastupidi.[8.p.39] Selleks, et suurendada keskmist efektiivrõhku tuleb parandada mootori efektiivkasutegurit ja täiteastet. Järelikult, mida suurem on silindri täiteaste seda suurem on silindrisse jõudnud värsket gaasi kaaluline kogus ja mille tulemusel on võimalik silindris põletada suurem kogus kütust, millega omakorda suureneb sooritatav mehaaniline töö ja mootori võimsus. Surveastme tõstmisega suureneb ka keskmine efektiivrõhk.

Silindris tekkivat rõhu ja surveastme vahelist seost iseloomustab järgnev joonis:



Sele 1. Rõhk silindris surveastme tõstmisel[7.p.166]

1.1 Mootori forsseerimise teooria

Sisepõlemismootorit iseloomustavad kaks peamist näitajat: pöördemoment ja võimsus. Sisepõlemismootorites muudetakse kütuse põlemisel kütuses olev keemiline energia mehaaniliseks tööks. Gaaside paisumisel tekkiv rõhk avaldub kolvile ning sellega tekitatakse mootoris väntvõlli pöörlema panev pöördemoment. Mootori pöördemomenti mõõdetakse dünamomeetrilisel katsestendil. Dünamomeetriga koormatakse mootorit ning mõõdetakse kui suurt pöördemomenti mootor erinevatel pööretel arendab.

Mootori võimsus HP[hp] leitakse valemiga(1)[1.p.591]:

$$HP = \frac{Tq \times RPM}{5252}, \quad (1)$$

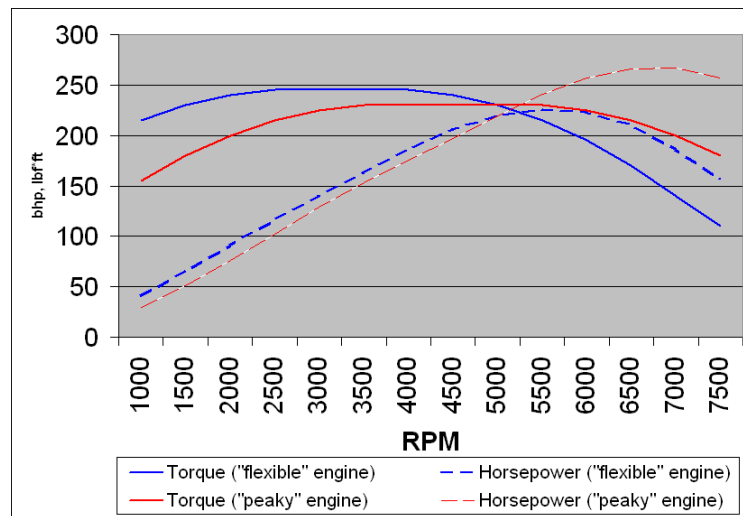
kus HP[hp] -võimsus;
 Tq[lb/ft] -pöördemoment
 RPM[p/min] -mootori pöörded
 5252 -konstant

Mootorivõimsus on arvutuslik tulemus, mida arvutatakse eelpool oleva valemi järgi. Valemist on võimalik välja lugeda, et mootori võimsus kui selline, sõltub pöördemomendist ning mootori pööretest. Suurendades mootori maksimaalseid pöörded suureneb ka mootori maksimaalne võimsus ja vastupidi.

Sisepõlemismootorid töötavad väga laias pööretevahemikus. Mootori võimsuskõver näitab millistel pööretevahemikul ja kui efektiivselt mootor töötab. Kuigi tänavasõiduautode mootorid töötavad vahemikus 700-7500 p/min, siis tegelik mootori efektiivne tööala on palju väiksem. Mootori efektiivseks tööalaks loetakse vahemikku, kus mootor saavutab maksimaalse pöördemomendi ja maksimaalse võimsuse. Näiteks, vaadates allpool oleva diagrammi (vt Sele 2) sinisega tähistatud mootori väljundkarakteristikut saab välja lugeda, et mootori efektiivne tööala on vahemikus 2500 p/min - 5000 p/min. Maksimaalne pöördemoment on 2500 p/min juures ning maksimaalne võimsus saavutatakse 5000 p/min juures.

Nihutades maksimaalset väändemomenti kõrgemale (vt Sele 2 punasega tähistatud) on võimalik saavutada ka suurem võimsus kõrgematel pööretel. Maksimaalse pöördemomendi saavutamine liialt kõrgetel pööretel vähendab samas mootori efektiivset pööretevahemikku [12]. Kõiki neid nüansse arvesse võttes on võimalik mootori väliskarakteristiku järgi valida ka konkreetsele mootorile efektiivseimad jõuülekande ülekanded ning koos sellega parendada ratasteni jõutavat veojõudu.

Mootori võimsuse näidisgraafik:



Sele 2. Mootori väljundkarakteristikud [12]

Mootori võimsuse tõstmiseks on mitmeid viise. Tänapäeval on isehitajate seas kõige levinum moodus mootori võimsuse tõstmisel ülelaaduri paigaldamine. Peamised moodused vabalthingava mootori forsseerimisel on järgmised:

- töömahu suurendamine;
- surveastme tõstmine;
- mehaaniliste kadude vähendamine;
- täiteastme suurendamine.

Nii võimsus kui pöördemoment on mootori pöörlemisel saavutatavad tulemused. Madalatel mootori pöörlemiskiirustel hakkab pöördemoment kasvama mootori pöörlemiskiiruse kasvades. Kui mootori pöörlemiskiirus on jõudnud teatud pööreteni jõuab pöördemoment maksimaalsele tasemele ning seejärel hakkab pöördemoment langema. Pöördemoment hakkab vähenema kuna mootor ei suuda vastu võtta suuremat õhukogust nii kõrgetel pööretel. Indikaatorvõimsus kasvab koos pöörete tõusmisega jõudes maksimumini ning seejärel hakkab langema. Mootori võimsus hakkab teatud pööretest uuesti langema, kuna pöörete kasvades suurenevad ka hõõrdekaod. Paljude automootorite maksimaalne võimsus saavutatakse vahemikus 6000-7000 p/min.[3.p.52]

Mootori üks tähtsamaid protsesse saavutamaks võimalikult suurt võimsust ning pöördemomenti on see, kui suur kogus õhku suudetakse viia silindrisse iga tsükli jooksul. Rohkem hapnikku madalamal temperatuuril omakorda tähendab, et suurem kogus kütust on võimalik lisades põletada ja rohkem energiat on võimalik muuta võimsuseks. Võrdlemisi väikse koguse vedelkütuse saamine silindrisse on palju lihtsam kui saada silindrisse suur kogus gaasilist õhku, mis peab segunema

kütusega. Tavaliselt varieerub tänavasõiduautode mootori täiteaste avatud segusiibriga vahemikus 70%-90%. Täiteaste väheneb aga oluliselt kui segusiiber on suletud asendis.[3.p.60]

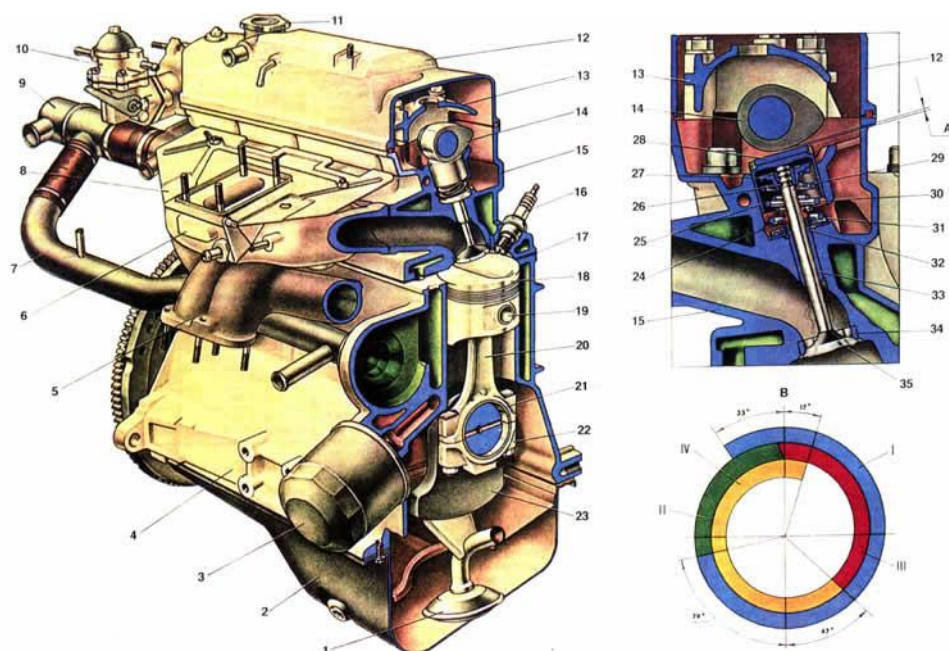
Võidusõiduauto mootori ehitamiseks kasutatud mootorist tuleb ennekõike vahetada välja originaal mootori juures kõik kulunud detailid. Selleks tuleb mootor võtta algosadeks ning teostada vajalikud mõõtmised, et selgitada välja, mis vajab välja vahetamist. Arvestades, et korraliku forsseeritud mootori ehitamine on küllalt kulukas ei tohi selliseid vigasid lubada. Kuna võidusõidumootor töötab äärmuslikes tingimustes siis on äärmiselt tähtis kasutada selleks ettenähtud uusi osasid, mis on suutelised taluma suurenenud koormusi.

1.2 Lada Samara ülevaade

Lada Samara on väikeklassi kuuluv sõiduauto mida hakati tootma Venemaal (endises NSVL) 1984.a ning toodeti teda 2003.aastani. Konkreetsele keremudelile toodeti kolme erineva kubatuuriga mootorit: 1,1, 1,3 ja 1,5 liitrist.[5] Tegemist on ühe nukkvõlliga, kaheksa klapilise mootoriga. Toitesüsteemis on kasutusel karburaator. Süütesüsteemis on kasutusel kontaktivaba süütesüsteem ja jagaja.

Järgmisena on välja toodud Lada Samara tehnilised näitajad [4]:

- Mudel: Lada Samara 21083
- Mootor: neljasilindriline ridamootor 2 klappi silindri kohta
- Mootori töömaht: 1499 cm³
- Surveaste: 9,9:1
- Kolvikäik: 71 mm
- Silindri läbimõõt: 82 mm
- Võimsus: 52 kW, 71 hj / 5600 p/min
- Pöördemoment: 106 Nm / 3400 p/min



Sele 3. Lada Samara 1,5 l mootor [13]

1.3 Tehnilised tingimused

Homologeering on nn tüübikinnitus mille FIA ehk rahvusvaheline autospordiorganisatsioon on andnud seeriatootmises olevatele autodele, mida on toodetud FIA poolt etteantud arv. Erinevatesse rühmadesse homologeeritud sõidukite valmistamisarvud on erinevad. [11] Järgnevad välja toodud tehnilised tingimused on esitatud Eesti Autospordi liidu reegliraamatus.

1. Määratlus.

Kasutada võib ainult rühmadesse A ja N homologeeritud autosid, mille homologatsioonitähis on lõppenud ja samuti mittehologeeritud autosid. Mittehologeeritud autode kasutamine on lubatud ainult juhul, kui nad vastavad FIA Lisa J Art. 252 ja 253-le.

3. lubatud muudatused ja täiendused

3.1 Mootor

3.1.1 Mootorit on lubatud vahetada sama autotootja piires. Mootori asukoht algse ruumi piires on vaba. Kinnituspunkte kerele võib lisada. 3.1.2 Algset kubatuuri võib muuta hülssides, puurides või kolvikäiku muutes. 3.1.3 Väntvõll on vaba. 3.1.4 Väntvõlli laagrite tüüp ja arv tuleb säilitada. 3.1.5 Plokikaas on vaba, kui silindri kohta on kaks klappi. Homologeerimata mitmeklapilistel mootoritel peab kasutama algset plokikaant. Sama automargi mitmeklapilisi mootoreid võib kasutada vaid tehase kompleksuses, tingimusel, et võistleja suudab dokumentaalselt tõestada konkreetse auto

margi ja mudeli, kust mootor on pärit. Nukkvõllide arv ja paigutus tuleb säilitada igasuguste mootorite puhul. 3.1.6 Turbo- ja kompressormootorid on keelatud

klassides alla 2000 cm³ (s.t. kubatuur x 1,7 on alla 2000 cm³, vankel- ja diiselmootoritel x 1,5).

Maksimaalne turbo õhuvõtuavaläbimõõt peab vastama rühma A nõuetele. 3.1.7 Gaasipedaali ja segusiibrite vaheline ühendus peab olema mehhaaniline. 3.1.8 Väljalaskekollektor on vaba,

summuti müratase peab vastama FIA mürapiiridele rallidel – 100 dBA +/-3 dBA/3500pm. 3.1.9

Õlitussüsteem on vaba, õliradiaatori paigaldamine väljapoole kereplekke on lubatud ainult allapoole esirataste telgi ja mitte väljapoole kere ülaltvaadet. Ei ole lubatud paigaldada salongi. 3.1.10

Nukkvõll(id) ja klapimehhanism on vabad järgmistel eeldustel:

- võllide arv ja asukoht tuleb säilitada
- reguleeritav nukkvõll on lubatud
- klapivedrude tüüp ja tööpõhimõte tuleb säilitada.

3.1.11 Jahutussüsteem: ventilaator, veepump ja radiaator on vabad, kuid neid ei või paigaldada

salongi. 3.1.12 Hooratas on vaba. 3.1.13 Toitesüsteem on vaba. 3.1.14 Võistlusklassides kuni 2500

cm³ k.a. võib mootori töömaht ületada võistlusklassis lubatud töömahtu kuni +2,5%.

3.2 Jõuülekanne

3.2.1 Sidur on vaba järgmiste piirangutega:

- sidurit võib juhtida ainult juhi jalaga, kui teistsugune süsteem pole homologeeritud (esitada homologatsioon)

- automaatkäigukasti sidur peab olema homologeeritud (esitada homologatsioon).

3.2.2 Homologeeritust erineva käigukasti kasutamine on lubatud järgmiste piirangutega:

- algne asukoht tuleb säilitada

- ainult mehhaaniline käigukast, mida kontrollib mehhaaniliselt juht, on lubatud

- töötav tagurpidikäik on kohustuslik

- käigukangi asukoha muutmiseks vajalikud keremuudatustööd on lubatud.

2 MOOTORIS TEOSTATUD MODIFIKATSIOONID

2.1 Mootoriplokk ja vāntmehhanism

Kõigepealt on mootoriplokil ja vāntvõllil teostatud kontrollmõõtmised ning veendutud, et detailid ei oleks liigselt kulunud, ega omaks muid mehaanilisi defekte. Jārgmisena tuuakse välja tehase andmed ning mõõdetud tulemused nii vāntvõllil kui ka silindritel.

Raamlaagritel on ettenāhtud lõtk 0,025-0,060 mm. Kepsukaotel on ettenāhtud lõtk 0,02-0,07 mm.

Vāntvõlli lubatud pikilõtk 0,06-0,26 mm.[10.p31-35]

Vāntvõlli kaelte mõõtmised:

Vāntvõlli kaelte mõõtmised on teostatud kasutades mikromeetrit, täpsusklass (0,01 mm).

Tabel 1

Tehase andmed vāntvõlli kaelte mõõtmise kohta[10.p.35]

	Tehase andmed(mm)
Vāntvõlli raamikael	max50,799 min50,619
Vāntvõlli kepsukael	max47,85 min47,83

Tabel 2

Vāntvõlli kaelte mõõtmistulemused

	1	2	3	4	5
Vāntvõlli raamikael	50,76	50,75	50,75	50,76	50,76
Vāntvõlli kepsukael	47,84	47,83	47,83	47,84	

Silindri ovaalsuse mõõtmised:

Silindrite mõõtmisel kasutatakse sisemikromeetrit, täpsusklass (0,01 mm).

Tehase poolt lubatud maksimaalne ovaalsus 0,15 mm.

Tabel 3

Silindri ovaalsuse mõõtmistulemused[10.p.31]

	A suunal (mm)	B suunal (mm)
Silindri üleval ääres	79,99	79,99
Silindri keskel	80,01	80,21
Silindri alumises ääres	80,0	80,0

kus A suund -väärtvõlliga paralleelselt
 B suund -väärtvõlliga risti

Peale kontrollmõõtmiste veenduti, et konkreetne mootoriplokk ning väärtvõll on heas seisukorras. Analüüsides mõõtmistulemusi on tehtud otsus, et nii raamsaalede kui ka kepsusaalede puhul kasutatakse esimest remontmõõtu, mis on +0,25 mm ja vastavalt sellele on lastud ka väärtvõll lihvida. Pärast lihvimist tuli kokkupanekul mõõta üle raamsaalede ja kepsusaalede lõtk. Lõtku mõõtmiseks on kasutati Plastigauge kaliibreid. Raamsaalede lõtk oli vahemikus 0,03-0,04 mm. Kepsusaalede lõtk oli vahemikus 0,02-0,03 mm. Väärtvõlli pikilõtk oli 0,1 mm.

Võidusõidumootorid töötavad suurema osa ajast äärmuslikes tingimustes. Suuremad pöörded ning forsseeritud mootori töötemperatuur on seega kõrgem. Selleks, et tagada mootori pikk eluiga tuleb hoolikalt valida ka õige mootoriõli. Kuna temperatuurid on kõrgemad siis kasutatakse reeglina suurema viskoossusega mootoriõlisid, kas siis 10w60 või 5w50 õli. Konkreetset mootorit hakatakse kasutama Motul Sport 5w50 õli. Tegemist on tuntud tootjaga ning juba proovitud ning kindla valikuga.

Kuna plaanitakse kasutada suurema viskoossusega õli, siis tuleb tähelepanu pöörata ka raam- ja kepsusaalede lõtkudele. Suurema viskoossusega õli kasutades tuleks jätta suurem lõtk, et väärtvõlli ja saale vahele tekiks piisav õlikiht tagamaks korrektset määrimist.

Kõrgelt forsseeritud mootorite puhul on tähtis kasutada võimalikult palju uusi detaile, seda selleks, et vältida nende kulumisest ning väsimusest tingitud purunemisi.

Analüüsides erinevaid võimalusi sealhulgas aega ja raha on vastu võetud otsus et esialgu jääb mootori kubatuur samaks. Peamiseks põhjuseks said rahalised vahendid.

Tehase poolt on selles mootoris kasutusel kepsud mis ei ole ujuva sõrmega. Nende miinuseks on suurem kaal. Uuemat Lada 2110'1 on kasutusel kepsud, mis on ujuva sõrmega ning nende mõõdud on samad, mis Lada Samara kepsul. Peale selle on suureks plussiks nende kepsude puhul see, et nad on kergemad. Sellega vähenes ka pöörlev mass. Lada Samara tehase keps kaalub 688 g, uuema Lada 2110 keps, mida on ka kergendatud kaalub 570 g. Pöörlev mass vähenes sellega 472 g võrra. Võidusõidumootorid töötavad oluliselt kõrgematel pööretel kui tänavasõidu autode mootorid, sellepärast on ka väga tähtis, et kõik pöörlevad detailid oleksid tasakaalus ja iga silindri keps ning kolb oleksid sama kaaluga. Mootori komplekteerimisel kaaluti kõikide silindrite kepsud ja kolvid koos kolvisõrmega ning veenduti, et kaalud oleksid võrdsed. Maksimaalne kaalu erinevus oli 2 g. Vähendatud on ka tehase hooratta massi. Tehase originaal hooratas kaalub 5,8 kg ning selle massi on vähendatud 5 kg'ni. Kergem hooratas annab mootorile parema gaasitundlikuse.

2.2 Plokikaas

Plokikaas on üks tähtsamaid detaile millega tuleb tööd teha mootori forsseerimisel. Selle disain ja modifitseerimine mõjutavad enim mootori karakteristikut. Kui plokikaane sisselaske- ja väljalaskekanalite voolavus ning põlemiskambri kuju on ebaefektiivsed, siis ei ole võimalik saavutada suurt pöördemomenti ega võimsust. Põlemiskambri kujust sõltub kui hästi kütusesegu põleb ja kui efektiivselt suudetakse heitgaasid silindrist välja suruda. Võime küll palju kütusesegu suuta toimetada silindrisse kuid, kui põlemiskambri kuju on ebaefektiivne ei pruugi kütusesegu põlemine olla täielik ning piisavalt kiire. Enamik tehast välja tulnud plokikaante sisse ja väljalaske kanalites esineb valujääke ning sisselaskekollektor ei ole alati täielikult kohakuti sisselaskekanalitega. Kõik need tegurid vähendavad täiteastet ning pärsivad mootori võimsust. [1.p.42]

Selleks, et saavutada suuremat täiteastet tuleb:

- modifitseerida plokikaane sisse- ja väljalaskekanaleid;
- paigaldada suuremad sisse- ja väljalaskeklapid;
- modifitseerida klapi juhtpuksi sisse- ja väljalaskekanalisse ulatuvat osa;
- sisse- ja väljalaske klapi raadiuse muutmine.

Plokikaane juures on teostatud mitmeid muudatusi. Alustatud on sisse- ning väljalaskekanalitest millele järgnes omakorda suuremate klappide paigaldamine.

Sisselasketrakris omavad suurimat takistust just sisselaskeklapid. Selle parandamiseks on võimalik paigaldada võimalusel suuremad klapid ja parandada klapi kuju.

Alustuseks mõõdeti põlemiskambrit ning sisse-ja väljalaskekanaleid. Originaalseades on kasutusel selles mootoris 37 mm läbimõõduga sisselaskeklapp ja 31,5 mm läbimõõduga väljalaskeklapp. Mõõtmised näitasid, et füüsiliselt on võimalik ära mahutada sellesse plokikaande 39 mm sisselaskeklapp ja 34 mm väljalaskeklapp. Suuremad klapi pesad on lastud paigaldada ettevõttes Windorf OÜ. Otsides erinevatest kataloogidest ning konsulteerides erinevate inimestega leidis töö autor, et sobivate mõõtudega klapid on kasutusel BMW M10B16 mootoris.

Järgmisena on välja toodud arvutused kui palju suurenes klappide vahetamisega klapi ristlõikepindala.

Ringi ristlõikepindala valem $S[\text{mm}^2]$ (2):

$$S = \pi r^2, \quad (2)$$

kus $S[\text{mm}^2]$ -ringi ristlõikepindala;

$r[\text{mm}]$ -ringi raadius;

π -konstant;

Originaal sisselaskeklapi ristlõikepindala:

$$S = 3,1416 \times 18,5^2 = 1075,2 \text{ (mm}^2\text{)} \quad (3)$$

Uue sisselaskeklapi ristlõikepindala:

$$S = 3,1416 \times 19,5^2 = 1194,6 \text{ (mm}^2\text{)} \quad (4)$$

Originaal väljalaskeklapi ristlõikepindala:

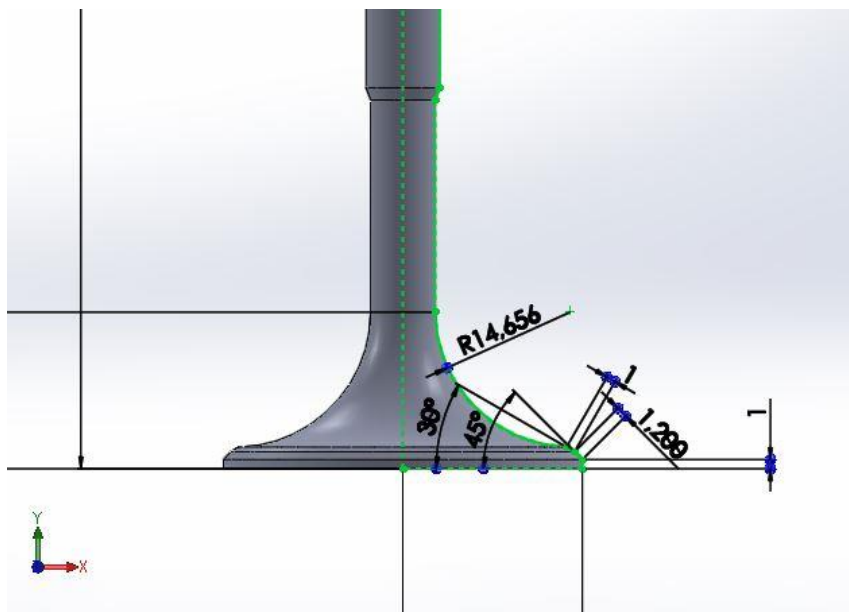
$$S = 3,1416 \times 15,75^2 = 779,3 \text{ (mm}^2\text{)} \quad (5)$$

Uue väljalaskelapi ristlõikepindala:

$$S = 3,1416 \times 17^2 = 907,9 \text{ (mm}^2\text{)} \quad (6)$$

Samuti on nii sisselaske- kui ka väljalaskeklappe treitud kergemaks ja muudetud nii klappipesade kui ka klappide raadiuseid (vt Sele 4). Seda selleks, et saavutada paremat voolavust.

Modifitseeritud sisselaskeklapi 3d mudel:



Sele 4. Modifitseeritud sisselaskeklapi joonis [9]



Sele 5. Modifitseeritud vs tehase sisselaskeklapp [9]

Järgnevas tabelis on näha nii sisselaske kui väljalaskeklappide kaalud pärast modifitseerimist.

Tabel 4

Klappide kaal

	Originaalklapp(g)	Modifit.M10B16 klappide kaal(g)
Sisselaskeklapp	78,6	67,1
Väljalaskeklapp	70,3	66,4

Juhtpukside sisse- ja väljalaskeavadesse ulatuvad osad on treitud koonusesse, et vähendada kütusesegu ja heitgaaside liikumisel takistust.

Järgmine aspekt millega plokikaane puhul tuleb tegeleda on surveaste. Originaalis on konkreetse mootori surveaste 9,9. Surveastme suurendamine annab märgatavat efekti mootori võimsusele. Mida suurem on surveaste seda suuremat rõhku avaldatakse kolvile. Mida suurem on silindris rõhk seda kiirem on kütusesegu põlemine.

Surveastme tõstmisel tõuseb ka detonatsiooni oht ning klapid ja vāntmehhanism peavad suutma taluda suurenenud koormusi. Arvestades kõiki neid tegureid on valitud, et surveaste peaks jääma vahemikku 11,6-11,8. Surveastme tõstmisel tuleb samuti arvesse võtta seda, millist kütust hakatakse kasutama. Liialt suure surveastme ning madala oktaanarvuga kütuse kasutamisel on suurenenud oht detonatsiooni tekkele. Võidusõidukütusena plaanitakse kasutada lennukinbensiini RON130 ning RON98 segu. Sellise valiku puhul on lõplik liitri hind kõige soodsam.

Surveastme ε arvutamise valem(7)[6.p.38]:

$$\varepsilon = \frac{V_s + V_p}{V_p}, \quad (7)$$

kus ε -surveaste;

$V_s[\text{cm}^3]$ -silindri ruumala;

$V_p[\text{cm}^3]$ -põlemiskambri maht;

Silindri ruumala V_{sil} arvutamise valem $[\text{cm}^3]$ (8):

$$V_{\text{sil}} = \pi x r^2 x h, \quad (8)$$

kus $V_{\text{sil}}[\text{cm}^3]$ -silindri ruumala;

π -konstant;

$r[\text{cm}]$ -ringi raadius;

$h[\text{cm}]$ -silindri kõrgus;

Silindri ruumala arvutamine(9):

$$V_{\text{sil}} = 3,1416 x 4,12^2 x 7,1 = 378,6 (\text{cm}^3) \quad (9)$$

Põlemiskambri, klapisüvendite (pealt lohkus kolvid) ja plokikaane tihendi maht tuleb mõõta ära füüsiliselt.

Põlemiskabri maht töödeldud plokikaanel- $20,5 \text{ cm}^3$

Kolb- $8,5 \text{ cm}^3$

Plokikaane tihend- $6,5 \text{ cm}^3$

Kokku on põlemiskambri maht $V_p = 20,5 + 8,5 + 6,5 = 35,5 \text{ (cm}^3\text{)}$

Surveastme arvutamine:

$$\varepsilon = \frac{378,6 + 35,5}{35,5} = 11,66 \approx 11,7 \quad (10)$$

2.3 Nukkvõll

Järgmise teemana käsitletakse nukkvõlli ja selle erinevaid omadusi. Koos teiste tähtsate komponentidega võidusõidumootoris on tähtis osa ka nukkvõllil. Nukkvõlli ülesandeks on avada ja sulgeda sisselaske- kui ka väljalaskeklappe selleks vajalikul ajal.

Sisselaskeklapp avatakse enne ülemist surnud seisu sisselasketakti ajal, saavutamaks hetke, et sisselaskeklapp on avatud enne kui kolb hakkab alla liikuma. Sisselaskelappi hoitakse lahti ka pärast kolvi alumisse surnud seisu jõudmist, et kasutada ära inertsit ning rohkem küttesegu pääseks silindrisse, misjärel sisselaskeklapp suletakse.

Väljalaskeklapp hakkab avanema tükk maad enne töotakti lõppu. Kuna suurem osa küttesegu põlemisel saadud energiast on möödas selleks hetkeks kui kolb on ületanud pool teed alumisse surnud seisu. Varajane väljalaskeklapi avamine aitab survet silindris vähendada enne, kui kolb hakkab väljalasketakti ajal uuesti ülesse liikuma. Pärast kolvi uuesti ülemisse surnud seisu jõudmist hoitakse väljalaskeklappi ka pärast ülemist surnud seisu lahti, sel hetkel on mõlemad klapid avatud ja väljalaskegaaside poolt tekitatud negatiivne rõhulaine aitab silindrit täita värsket kütteseguga.[1.p.342]

Tänavasõiduautode gaasijaotusfaasid on tehase poolt valitud mootori efektiivseks ning ökonoomseks töötamiseks mingitel kindlatel pööretel. Need gaasijaotusfaasid on valitud selliselt, et mootor töötaks ühtlaselt ning oleks ökonoomne just enam kasutataval pööretevahemikul. Sellised

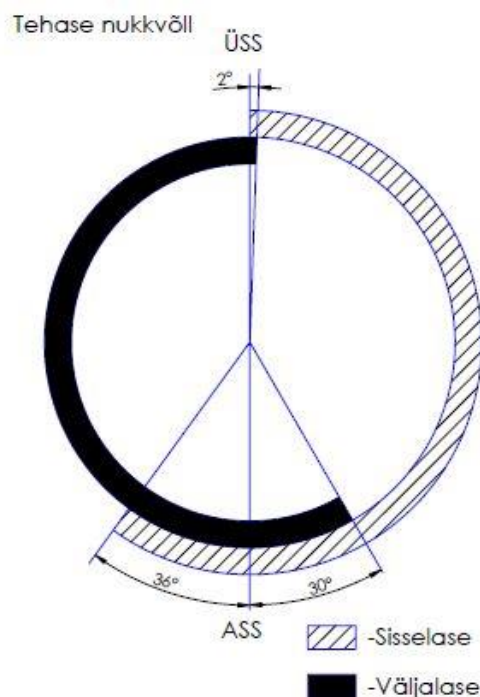
gaasijaotusfaasid, mis tagavad silindri maksimaalse täituvuse 4000 p/min juures ei suuda tagada silindri täituvust 6000 p/min juures. Probleem seisneb selles, et gaaside liikumise kiirus on 6000 p/min juures palju suurem kui 4000 p/min juures.

Võidusõidumootorile nukkvõlli valimisel on kolm tähtsat parameetrit:

- klapitõus - suurema klapitõusuga nukkvõll annab laiema pöördemomendi ala. Parandab silindri täituvust kütteseguga suurematel pööretel.
- sisse- ja väljalaske kestvus - pikema klapiavatusega nukkvõlli kasutamisel saavutatakse maksimum pöördemoment ja maksimum võimsus kõrgematel pööretel.
- sisselaske ja väljalaske nukke vahe - suurema ülekattega nukkvõll tõstab mootori pöördemomenti kõrgematel pööretel ja vähendab seda keskmistel pööretel. Suurema ülekattega nukkvõlliga saavutatakse maksimumpööretel suurem võimsus ja vastupidi.

Kõik need parameetrid mõjutavad mootori karakteristikut. Nukkvõlli valikuga mõjutatakse pööretevahemikku, kus maksimaalne pöördemoment ja võimsus saavutatakse. Käesolevas töös ehitatava mootori tööpiirkond, kus soovitakse saada maksimaalset pöördemomenti ning võimsust on vahemikus 4000-7000 p/min.

Lada Samara tehase gaasijaotusfaaside graafik:



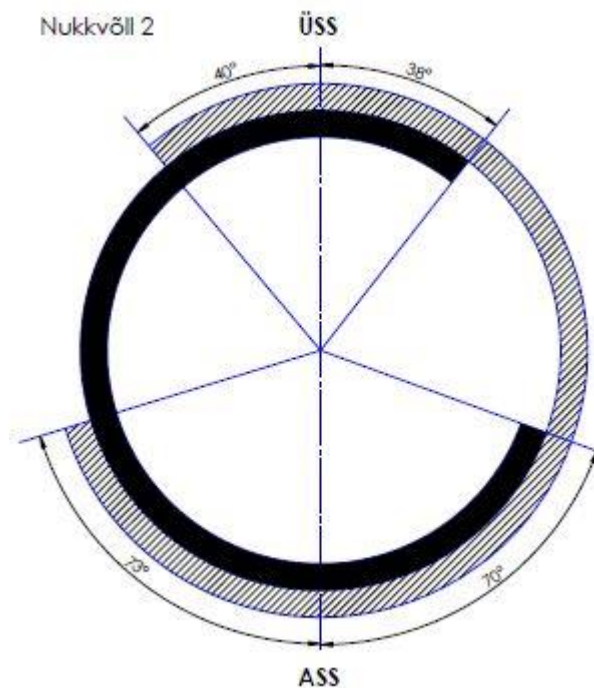
Sele 6. Lada Samara tehase gaasijaotusfaasid [9]

Tehase mootoril avaneb sisselaskeklapp ülemises surnud seisus ja sulgub 36° pärast alumist surnud seisut. Sisselaskeklapp on avatud 216°. Klapitõus on 8,55 mm.

Väljalaskeklapp avaneb 30° enne alumist surnud seisu ja sulgub 2° pärast ülemist surnud seisu. Väljalaskeklapp on avatud 212° . Klapitõus on 8,55 mm. Sisselaske ja väljalaske nukjade vahe on 93° . Klappide ülekate on 2°

Analüüsides tehase gaasijaotusfaase ning uurides nukkvõllide erinevaid omadusi, otsustati kasutada järgnevata parameetritega nukkvõlli.

Valitud nukkvõlli graafik:



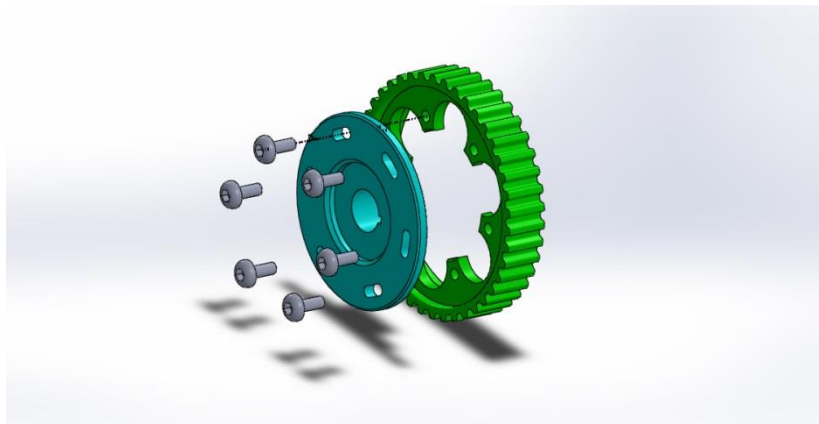
Sele 7. Valitud nukkvõll [9]

Nukkvõll on ostetud Venemaalt. Sealt soetatud nukkvõllidel mingeid paigaldusjuhiseid kaasa tavaliselt ei tule. Kirjas on ainult peamised nukkvõlli parameetrid. Konsulteerides erinevate inimestega otsustas töö autor esialgu paigaldada nukkvõlli selliselt nagu on näha Sele 5'1. Hiljem on võimalik seadistamisel nukkvõlli asendit väntvõlli suhtes keerata, kas siis varasemaks või hilisemaks. Nukkvõlli kraadimisel on kasutatud indikaatorkella, magnetstatiivi ning kraadiketast. Töö autori poolt valitud nukkvõllil avaneb sisselaskeklapp 40° enne ülemist surnud seisu ja sulgub 73° pärast alumist surnud seisu. Sisselaskelapp on avatud 293° ning klapitõus on 12,8 mm. Väljalaskeklapp avaneb 70° enne alumist surnud seisu ja sulgub 38° pärast ülemist surnud seisu. Väljalaskeklapp on avatud 288° ning klapitõus on 12,8 mm. Sisselaske ja väljalaske nukjade vahe on 106° ning ülekate on 78° .

Valitud nukkvõllil on nii sisselaske kui ka väljalaske klappide avatuse aeg pikem ning sellega on võimalik saavutada suuremat täiteastet kõrgematel pööretel. Samuti on suurem klapitõus, mis omakorda parandab täiteastet just kõrgematel pööretel.

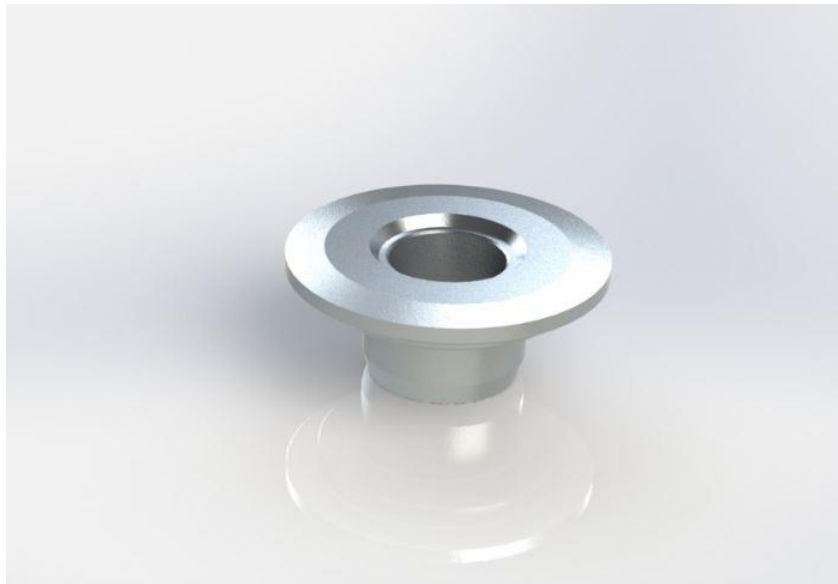
Kuna muudetud on nii mootori surveastet kui ka on paigaldatud tehase andmetest erinev nukkvõll, siis on vaja gaasijaotusfaaside seadistamiseks kasutada ka reguleeritavat nukkvõlli rihmaratast. Reguleeritav nukkvõlli rihmaratas on valmistatud modifitseerides tehase rihmaratast. Tehase rihmarattal on sisemine osa välja treitud ning sinna asemele treitud uus südamik kus on olemas reguleerimiseks vajalikud avad. Reguleeritava rihmaratta uue südamiku valmistamiseks on joonestatud vajalik detaili mudel Solid Works 3d keskkonnas.

Reguleeritava nukkvõlli rihmaratta koost:



Sele 8. Reguleeritava nukkvõlli rihmaratta koost. [9]

Modifitseeritud mootor töötab oluliselt kõrgematel pööretel kui seda on tehasest tulnud mootor. Samuti on uue nukkvõlli tõus märgatavalt suurem kui tehase nukkvõllil. Vältimaks seda, et klappivedru ei jõua suurtel pööretel enam klappi kinni suruda piisavalt kiiresti on valmistatud ka kergemad klapitaldrikkud ja tehtud klappid kergemaks. Kuna kasutusele jäid uute klappidega originaal klapi poolkuud, siis uute klapitaldrikute mõõtmed on samad mis on tehase omadel. Klapitaldrikute projekteerimisel on mõõdetud tehase poolt valmistatud klapitaldrikkud ning seejärel on joonestatud cad programmis uus klapitaldrik (vt Sele 9) ning koostatud selle valmistamiseks vastav tööjoonis.



Sele 9. Projekteeritud uus klapitaldrik [9]

Pärast uute klapitaldrikute valmistamist on võrreldud nende kaale tehase klapitaldrikutega. Uute klapitaldrikutega õnnestus kaalu vähendada 56%.

Tabel 5

Klapitaldrikute kaal

Detail	Originaal klapitaldrik (g)	Titaanist klapitaldrik (g)
klapitaldrik	17	7,4

3 TOITESÜSTEEM

Toitesüsteemiks on võimalik valida kas elektrooniline sissepritsesüsteem või karburaator. Täna on päeval on pakkuda väga erinevaid elektroonilise sissepritsesüsteeme koos programmeeritava juhtmooduliga.

Elektroonilise sissepritsesüsteemi paigaldamine antud mootorile oleks täitsa võimalik, kuid nõuaks mootori juures teatavaid modifikatsioone. Näiteks tuleks paigaldada lisaandureid ja modifitseerida kogu mootori juhtmestikku. Elektroonilise sissepritsesüsteemi kasutamine annab täpsemaid seadistamisvõimalusi ning hiljem on võimalik logifailidest saada infot mootori töö parameetrite kohta ka analüüsida.

Teine võimalus on kasutada võidusõidus tuntud Weber karburaatoreid. Tegemist on küllaltki lihtsa ning mitte nii tänapäevase lahendusega, kuid neid kasutatakse veel siiani. Nende miinuseks on küllaltki keeruline ja aeganõudev seadistamine. Weber karburaatorite kasutamisel puudub vajadus lisaandurite paigaldamiseks. Üks võimalustest paremaks seadistamiseks on kasutada lairiba lambda andurit koos kontrolleri ja segukellaga. Lairiba lambdaanduri paigaldamine autole, kus kasutatakse Weber karburaatoreid on väga otstarbekas, kuna sellega on võimalik jälgida reaajas kütusesegu. Uue maksavad Weber karburaatorid u 800 eurot paar, kuid kasutatuna on võimalik osta neid ka 400 eurot paar. Sissepritsesüsteemi miinuseks on kõrgem soetushind, mis täislahenduse puhul jääb umbes 1000 euro juurde.

Kuna auto ise on juba 80-ndatest pärit, siis oli ka sellel väike osa otsuse langetamisel.

Kaaludes kahte erinevat lahendust, arvestades seejuures majanduslikke ressursse ning süsteemi lihtsust on võetud vastu otsus kasutada Weber karburaatoreid.

Weber karburaatoreid toodetakse mitmes eri mõõdus. Lamavaid lühendiga DCOE toodetakse lõõri läbimõõduga 40, 42, 45 ja 48 mm. Lõõri läbimõõd valitakse vastavalt mootori kubatuurile.

Weber karburaatorite suuruse valimine järgneva tabeli põhjal:

Table 4.7b Weber carburettor and choke size for a four-cylinder engine with an inlet port per cylinder						
Cylinder displacement (cc)	Choke size (mm)					Recommended carburettor
	Sports	Semi-race	Full-race			
			7,500rpm	8,500rpm	9,500rpm	
200				29	32	2 x 40 DCOE
250	27	28	29	32	34	2 x 40 DCOE
325	29	32	34	36		2 x 40 DCOE
				35	38	2 x 45 DCOE
400	32	34	36			2 x 40 IDA or 2 x 40 DCOE
			36	40	40	2 x 44 IDA or 2 x 45 DCOE
				40	42	2 x 48 DCOE
450	33	35	36			2 x 40 IDA or 2 x 40 DCOE
			37	40		2 x 45 DCOE
				40	42	2 x 48 DCOE
500	34	36	38	40		2 x 45 DCOE
			38	42	45	2 x 48 IDA or 2 x 48 DCOE
				42	45	2 x 50 DCOE
550	35	37	40			2 x 45 DCOE
	32	35	39	42	45	2 x 48 IDA or 2 x 48 DCOE
				42	45	2 x 50 DCOE
600	34	36	40	43		2 x 48 IDA or 2 x 48 DCOE

Sele 10. Weber karburaatori valikud[1.p.130]

Eelpool olevast tabelist lähtudes (vt Sele 10) on valitud vastavalt silindri kubatuurile ja pööretele millises vahemikus konkreetne mootor peaks töötama, et kõige sobilikum on 45 mm läbimõõduga karburaator.

4 JAHUTUSSÜSTEEMI MUUDATUSED

Mootori võimsuse tõstmisel tõuseb ka temperatuur mootoris ja seega peab jahutussüsteem suutma jahutada suurenenud soojushulka. Seega tuleb tähelepanu pöörata ka jahutussüsteemi parendamisele.

Tehase poolt paigaldatud jahutusradiaatori mõõdud on 480x340 mm. Kuna mootoriruumis on suurema radiaatori paigaldamiseks ruumi piisavalt tuli leida sarnaste lõdviku diameetrite ning asukohtadega suurem radiaator. On leitud, et uuemal Lada 2110 on vajalike mõõtmetega radiaator ning samad jahutuslõdvikute diameeter ning asukohad radikal. Suurema radiaatori mõõtmed on 560x340 mm. Suurema radiaatori paigaldamisega suurenes radiaatori pindala tervelt 16,7%.

Jahutusventilaator on juba tehase poolt elektriline ning see jäi esialgu originaal. Jahutusventilaator rakendatakse tööle kui mootori temperatuur on 95°C. Samuti on kindluse mõttes paigaldatud salongi lisalüliti, millest on võimalik jahutusventilaator vajadusel tööle lülitada. See on hea näiteks selleks kui peaks temperatuuri anduriga midagi juhtuma.

Samuti parandasin õhu juurdevoolu radiaatorile lõigates stange sisse vastava ava (vt Sele 11).



Sele 11. Õhu juurdevool radiaatorile.[9]

5 SISSELASKEKOLLEKTORI PROJEKTEERIMINE

Modifitseeritud mootoril tulevad kasutusele kaks 45mm Weber DCOE karburaatorit. Weber karburaatorite puhul on igale silindrile oma lõõr. Sellise ehituse puhul kasutatakse isoleeritud sisselasketraktiga kollektoreid.

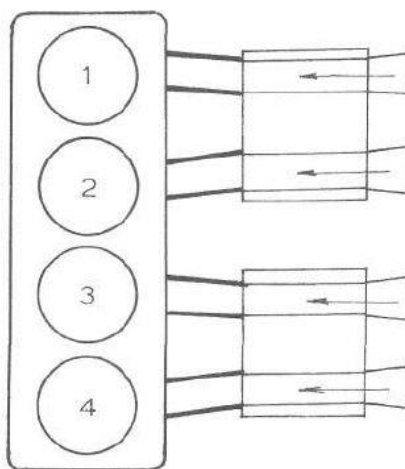


Fig. 3.5 Isolated runner manifold.

Sele 12. Isoleeritud kanalitega sisselaskekollektor[2.p.52]

Sellist tüüpi lahenduse puhul on iga silinder teineteisest sõltumatu ja igal silindril on eraldi segusiiber. Võrreldes süsteemiga, kus kasutatakse ühte kahe kambriga karburaatorit nelja silindrilisel mootoril, siis kahe karburaatori kasutamise eeliseks on see, et silindrid teineteist ei mõjuta ja kütusesegu moodustumine ning kogus mis suunatakse igasse silindrisse on võrdne.

Lihtsustatult on sisselaskekollektori ülesanne kütusesegu juhtimine silindrisse. Ülesanne tundub küll lihtne, aga sisselaskekollektori kuju ja ka mõõtmed omavad suurt tähtsust mootori väljundkarakteristikul. Õigesti projekteeritud sisselaskesüsteem aitab parandada mootori täiteastet.

5.1 Nõudmised sisselaskekollektorile

Sisselaskekollektori efektiivsus sõltub mitmetest teguritest. Peamised tingimused on järgmised: võimalikult sirged kanalid, ei tohiks olla teravaid nurki. Iga silindri trakti pikkus peab olema võrdne. Sisselasketrakt peaks olema võimalikult väikse läbimõõduga, et tagada piisav õhu liikumise kiirus madalatel pööretel, kuid samas peab läbimõõt olema piisavalt suur, et maksimaalsetel pööretel ei hakkaks liiga väike läbimõõt õhu liikumist takistama. Sisselasketrakti torude sisepinnad peaks olema siledad (pinnad ei tohiks olla peegelsiledaks lihvitud, sest see pärsib õhu ja kütuse segunemist).

Teiseks on tingimused, mida me muuta ei saa. Kuna kasutusele tulevad 45 mm Weberid, siis on kindel, et karburaatorite poolne torude läbimõõt peab olema 45 mm. Plokikaanes olevad sisselaskekanali avad on läbimõõduga 33 mm.

Karburaatoreid kasutades toimub küttesegu moodustumine sisselaskekollektoris, seega on tähtis püüda säilitada võimalikult madal temperatuur. Lada mootoril asuvad nii sisselaske- kui ka väljalaskekollektor ühel pool mootorit. Selleks, et väljalaskekollektorilt kiirguv soojus ei mõjutaks niipalju sisselaskekollektori temperatuuri, tuleb nende vahele teha soojust peegeldav teraslehest ekraan või mähkida väljalaskekollektori torud kollektoriteibiga.

5.2 Inertsülelaadimine

Põhimehhanism sisselaskesüsteemi parendamiseks on suure rõhu kindlustamine sisselaskeklapi juures selleks, et suurem kogus küttesegu surutaks silindrisse teatud mootoripööretel.

Töötava mootoriga liigub sisselasketakti ajal teatav õhumass mööda sisselasketrakti sisselaskekanalisse ja sealt edasi silindrisse. Sisselaskeklapi sulgumisel ei pääse õhk enam silindrisse ja surutakse mööda sisselasketrakti tagasi atmosfääri. Klapi sulgumisel tekib negatiivne rõhulaine, mis helikiirusel tungib läbi õhu ning liigub tagasi sisselasketrakti algusesse. Rõhulaine paiskumisel atmosfääri tekib hõrendus, mis omakorda tekitab positiivse rõhulaine ja see liigub mööda sisselasketrakti uuesti silindri suunas. Kui rõhulaine jõuab õigel hetkel uuesti sisseaskeklapini, siis on võimalik sisselasketakti lõpus suruda silindrisse rohkem õhku. Kuna need negatiivsed ja positiivsed lained liiguvad edasi-tagasi, siis nende amplituud väheneb ja selleks, et kasutada ära positiivse laine maksimaalset mõju on tähtis, et positiivne rõhulaine jõuaks sisselaskeklapini sisselasketakti ajal sel hetkel kui kolb on alumisse surnud seisuga jõudnud.[7.p258,259]

5.3 Optimaalse sisselasketrakti pikkuse arvutamine

Aeg t [s] mis kulub rõhulainel läbimiseks trakti algusesse ja tagasi avaldub valemist (11)[7.p.259]:

$$t = \frac{2L}{1000C}, \quad (11)$$

kus t [s] -aeg mis kulub trakti läbimiseks edasi tagasi;
 L [mm] -trakti pikkus k.a sisselaskekanali pikkus;
 C [m/s] -heli kiirus gaasis (331m/s);

Väntvõlli nurga θ_t [°] valem(12):

$$\theta_t = \frac{0.012LN}{C}, \quad (12)$$

kus θ_t [°] -väntvõlli nurk;
 N [p/min] -väntvõlli pöörlemiskiirus;

Katsed on näidanud seda, et saavutada suurimat efekti on otstarbekas valida väntvõlli nurk vahemikus 80°-90°.[7.p.262]

Lähtudes eelnevast valemist on võimalik kasutada optimaalse sisselasketrakti pikkuse arvutamiseks järgnevat valemit L [mm][7.p.262](13):

$$L = \frac{\theta_t C}{0,012N}, \quad (13)$$

kus θ_t [°] -väntvõlli nurk;
 C [m/s] -heli kiirus;
0.012 -konstant;
 N [p/min] -väntvõlli pöörlemiskiirus;

Eesmärgiks on saavutada maksimaalne efekt 5200p/min juures.

Sisselasketrakti pikkuse L [mm] arvutamine(14):

$$L = \frac{85^\circ \times 331}{0,012 \times 5200} = 450,88 \text{ (mm)} \quad (14)$$

Saadud tulemus 450,88 mm on kogu sisselasketrakti pikkus. Selleks, et saada teada kui pikad peavad olema kollektori torud, tuleb tulemusest maha arvestada sisselaskekanali pikkus ja karburaatorite pikkus koos trompetitega.

Selleks on teostatud järgmised mõõtmised:

Tabel 6

Mõõdetud sisselasketrakti pikkused

Sisselaskekanali pikkus (mm)	100
Karburaatori pikkus koos trompetiga (mm)	181
Karburaatori ja kollektori vaheline tihend (mm)	8

Lahutades arvatud pikkusest mõõdetud tulemused saadakse sisselaskekollektori pikkus, milleks on 161,9 mm. Pärast arvutuste teostamist tuli veenduda, et sellise pikkusega sisselaskesüsteem reaalselt ka mootoriruumi ära mahub. Selgus, et mootoriruumis tuleb teha muudatusi. Sellise pikkusega süsteemi paigaldamisel tuli eemaldada osa torpeedoplekist.



Sele 13. Mootoriruumi modifikatsioon [9].



Sele 14. Projekteeritud sisselaskekollektori 3d mudel.[9]

Lähtudes arvutatud tulemustest on projekteeritud Solid Works 3d keskkonnas sisselaskekollektori (vt Sele 14) mudel, mille põhjal on vormistatud detailide valmistamiseks tööjoonised.

5.4 Materjali valik ning valmistamise tehnoloogia

Sisselaskekollektori flantsid on valmistatud 6 mm teraslehest ning välja lõigatud vesilõikuspingil. Flantside vahelised ühendustorud on koonuselised. Karburaatori poolse ava sisediameeter on 45 mm ja mootoripoolne on sisediameetriga 33 mm. Torud on välja treitud ümarmaterjalist. Uuritud on erinevaid materjale millest kollektor valmistada. Kaaludes erinevaid metallide omadusi on langetatud otsus kasutada terast S235J2G3 (vt Tabel 7 ja 8). Valik langes just sellele kuna tegemist on hästi keevitatava ning plastsete omadustega terasega. Teiseks põhjuseks oli kättesaadavus ning hind. Kollektori valmistamiseks tuli kõigepealt valmistada vastav rakis. Rakis on tehtud selliselt, kus kollektori flantsid kinnitatakse rakisele õigel kaugusel ja õige nurga all. Seejärel on võimalik täpselt välja lõigata ja lihvida flantside vahelised toru ühendused. Torude ühendamisel flantsidega kasutatakse keevisliidet. Kuna torud on nurga all siis nende avad ei ole enam ringi kujulised vaid ellipsid, flantside sees olevad avad on ümmargused. Selleks, et torude ja flantside avad oleksid sujuvad, ilma teravate nurkadeta, on kasvatatud keevitusega vajalikesse kohtadesse lisamaterjali mis

hiljem lihvitakse vajalikul hulgal maha saavutamaks võimalikult ühtlased üleminekud. Pärast kollektori kokku keevitamist on mõlemad kollektori flantsid lihvipingil uuesti lihvitud. Lihvimine on tähtis kuna keevitamisel teras deformeerub.

Terase S235J2G3 keemiline koostis:

Tabel 7

S235J2G3 keemiline koostis [14]

Keemiliste ühendite sisaldus %	S235J2G3
Süsinik (C)	< 0,17
Räni (Si)	0,55
Mangaan (Mn)	< 1,4
Fosfor (P)	0,035
Väävel (S)	0,035
Kroom (Cr)	0,3
Nikkel (Ni)	0,3
Molübdeen (Mo)	0,08

Terase S235J2G3 mehaanilised omadused:

Tabel 8

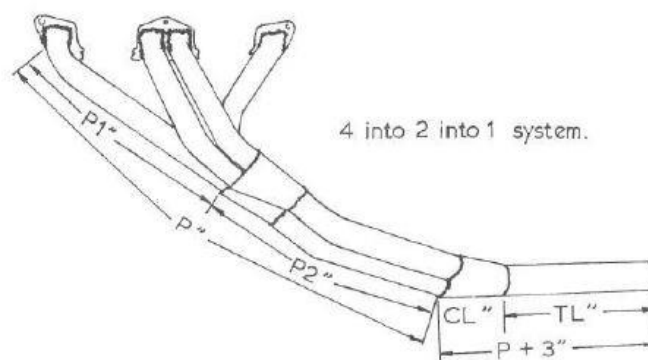
S235J2G3 mehaanilised omadused [14]

Mehaanilised omadused	Väärtused
Voolavuspiir (N/mm ²)	235
Tõmbetugevus (N/mm ²)	340-470
Katkevenivus $\geq 3\text{mm}$ (%)	24

6 VÄLJALASKESÜSTEEM

Kõrgelt forsseeritud mootoritel kasutatakse peamiselt kahte tüüpi väljalaskekollektoreid. Üks on 4-1 ja teine 4-2-1. Rallis kasutatakse peamiselt 4-2-1 süsteemi kuna sellise lahendusega saavutatakse keskmistel pööretel võrreldes 4-1 süsteemiga suurem võimsus. Miinuseks selle süsteemi puhul on see, et maksimaalsetel pööretel saavutatakse väiksem võimsus. Heitgaasid surutakse silindrist välja kiirusel 60-90 m/s, aga rõhulained liiguvad läbi gaasi kiirusel 457-518 m/s. Kui heitgaasid surutakse silindrist välja väljalaskekollektorisse tekitatakse sellega positiivne rõhulaine, mis liigub helikiirusel läbi väljalasketorustiku. Kui see rõhulaine pääseb atmosfääri, siis tekitab see omakorda negatiivse rõhulaengu, mis liigub mööda väljalasketorustikku vastupidises suunas. Selleks, et projekteerida maksimaalselt efektiivne väljalaskesüsteem tuleb välja arvutada väljalaskekollektori torude pikkus ning läbimõõt. Täpne pikkus ning torude läbimõõt on vajalik, et negatiivne rõhulaine jõuaks tagasi silindrisse klappide ülekatte perioodil aidates sellega täita silindrit värske kütteseguga. [1.p.313]

Näide 4-2-1 väljalaskekollektorist:



Sele 15. 4-2-1 skeemiga väljalaskekollektor [1.p.313]

6.1 Väljalaskekollektori parameetrite arvutamine

Primaartoru pikkuste P[tolli] arvutamine[1.p.319](15):

$$P = \frac{850 \times ED}{p/min} - 3, \quad (15)$$

kus	p/min	- mootori pöörded (kus soovitakse max tulemust);
	ED	-180°+ nurk mille juures väljalaskeklapp avaneb enne ASS;
	850	-konstant;
	3	-konstant;

Primaatoru P[tolli] pikkuste leidmine(16):

$$P = \frac{850 \times 250}{6500} - 3 = 29,7" = 754,4 \text{ (mm)} \quad (16)$$

Primaatorude P1 pikkus peaks olema vähemalt 15in (381mm). Primaatorudele pikkuse lisamine tõstab mootori võimsust kõrgetel pööretel, sekundaatorudele P2 pikkuse lisamine tõstab mootori võimsust just keskmistel pööretel.[1.p.321]

Primaatorude P1[tolli] siseläbimõõdu arvutamise valem[1.p.320](17):

$$ID = \sqrt{\frac{cm^3}{(P + 3) \times 25}} \times 2,1, \quad (17)$$

kus	cm ³	-ühe silindri ruumala;
	P[tolli]	-primaatoru pikkus;
	ID[tolli]	-primaatoru siseläbimõõt;

Primaatorude P1[tolli] siseläbimõõdu leidmine(18):

$$ID = \sqrt{\frac{378,4}{(29,7 + 3) \times 25}} \times 2,1 = 1,43" = 36,3 \text{ (mm)} \quad (18)$$

Sekundaatorude P2[tolli] siseläbimõõdu arvutamise valem[1.p.320](19):

$$IDS = \sqrt{ID^2} \times 0,93, \quad (19)$$

kus	IDS[tolli]	-Sekundaatorude siseläbimõõt;
	ID[tolli]	-primaatoru siseläbimõõt;

Sekundaatorude P2[tolli] siseläbimõõdu leidmine(20):

$$IDS = \sqrt{1,43^2} \times 0,93 = 1,86in = 47,2 \text{ (mm)} \quad (20)$$

Väljalasketoru TL[tolli] siseläbimõõdu arvutamise valem(21):

$$ID3 = \sqrt{\frac{CCx2}{(P + 3)x25}} x2, \quad (21)$$

kus ID3[tolli] -väljalasketoru TL siseläbimõõt;
 cc[cm³] -ühe silindri ruumala;
 P[tolli] -primaartoru pikkus;

Väljalasketoru TL[tolli] siseläbimõõdu leidmine(22):

$$ID3 = \sqrt{\frac{378,4x2}{(29,7 + 3)x25}} x2 = 2" = 51 (mm) \quad (22)$$

6.2 Summuti

Väljalaskesüsteemi kuulub ka summuti, mida kasutatakse heli summutamiseks. Kuna autoga plaanitakse võistelda, siis peab lähtuma reeglitest kus on kirjas, et müratase ei tohi ületada 100 dBA +/-3 dBA/3500 rpm. Seda võidakse kontrollida igal võistlusel. Täpne mõõtmismetoodika on välja toodud Eesti Autosportdiliidu reegliraamatus tehniliste tingimuste all.

Võidusõiduautodel kasutatakse summutina tavaliselt otseläbilaskega summuteid kus sisemine toru on perforeeritud ja selle ümber on suurema läbimõõduga toru. Välimine toru võib olla nii ümar kui ka ovaalne. Kahe toru vahele jääv vahemik on täidetud põlemiskindla villaga, mis toimib helisummutuselemendina. Põhjus miks kasutatakse just sellist tüüpi lahendust on selles, et sellise summuti puhul on takistus kõige väiksem. Mida suuremate mõõtmetega on konkreetne summuti, seda suurem on tema võime müra summutada.

7 JÕUÜLEKANNE

Jõuülekande ülesandeks on mootori pöördemomendi ülekandmine ratastele. Jõuülekandega suurendatakse ratasteni jõutavat pöördemomenti. Lada Samara puhul on tegemist esisillaveoga autoga kus jõuülekande alla kuuluvad hõõrdsidur, käigukast, differentiaal ja veovõllid. Tehase poolt on paigaldatud sellele autole viiekäiguline manuaalkäigukast.

Tänavasõiduautode transmissioni ülekanded on valitud selliselt, et autoga oleks võimalik sujuvalt kohalt liikuma hakata ning kõrgematel käikudel ja suurematel kiirustel oleks auto ökonoomne.

Võidusõidus on tähtsateks parameetriteks ühtlase ning suure veojõu tagamine ratastel ning läbi selle hea kiirenduse tagamine.

Tänavasõiduautode käigukastides kasutatakse peamiselt kaldhammasrattaid, kuna kaldhammaste puhul on müra väiksem. Käikude lülitamisel kasutatakse sünkronisaatoreid hammasrataste kiiruste ühtlustamiseks ning sujuvaks käikude lülitamiseks. Võidusõiduautode puhul ei ole müra tähtis ning enamasti kasutatakse sirgete hammastega hammasrattaid. Samuti ei ole võidusõiduautode käigukastides kasutusel sünkronisaatoreid, selle asemel kasutatakse lülitusmuhvide ning hammasrataste küljes olevaid nukke, inglise keeles nimetatakse „dogbox“. Samuti on nende eeliseks lihtsam ning odavam valmistusviis ning võlle ei koormata telgkoormustega.

7.1 Käigukasti ülekannete valik soovitud momendikõvera saamiseks

Mootori modifitseerimisega saavutasin suurema pöördemomendi mootorist, mis omakorda tähendab ka suuremat ratasteni jõudvat veojõudu. Tehase poolt valitud käigukasti ülekannete puhul on aga probleemiks liialt suured käikude vahed ning sellega langeb ka igal käiguvahetusel ratasteni jõudev veojõud liiga madalale. Tänapäeval toodetakse võidusõiduautodele väga erinevate ülekande valikutega käigukastide ülekandeid. Samuti on õige puudumisel võimalik lasta neid vastavalt oma soovile valmistada. Lada Samarale on samuti võimalik soetada järjestikülütusega käigukast, mis on reeglite järgi ka lubatud. Kuna rahalised vahendid on piiratud otsustatakse jääda H-lülituse juurde ning kasutatada kaldhammastega ülekande paare ning nende hulgast valida konkreetsele mootorile ning arvesse võttes auto kasutust parima valik.

Selleks, et võrrelda erinevaid ülekandeid on koostatud vastavas arvutusmoodulis graafik, kus on arvesse võetud mootori pöördemomenti kindlatel pööretel ning samal ajal autole mõjuvaid takistusjõudusid.

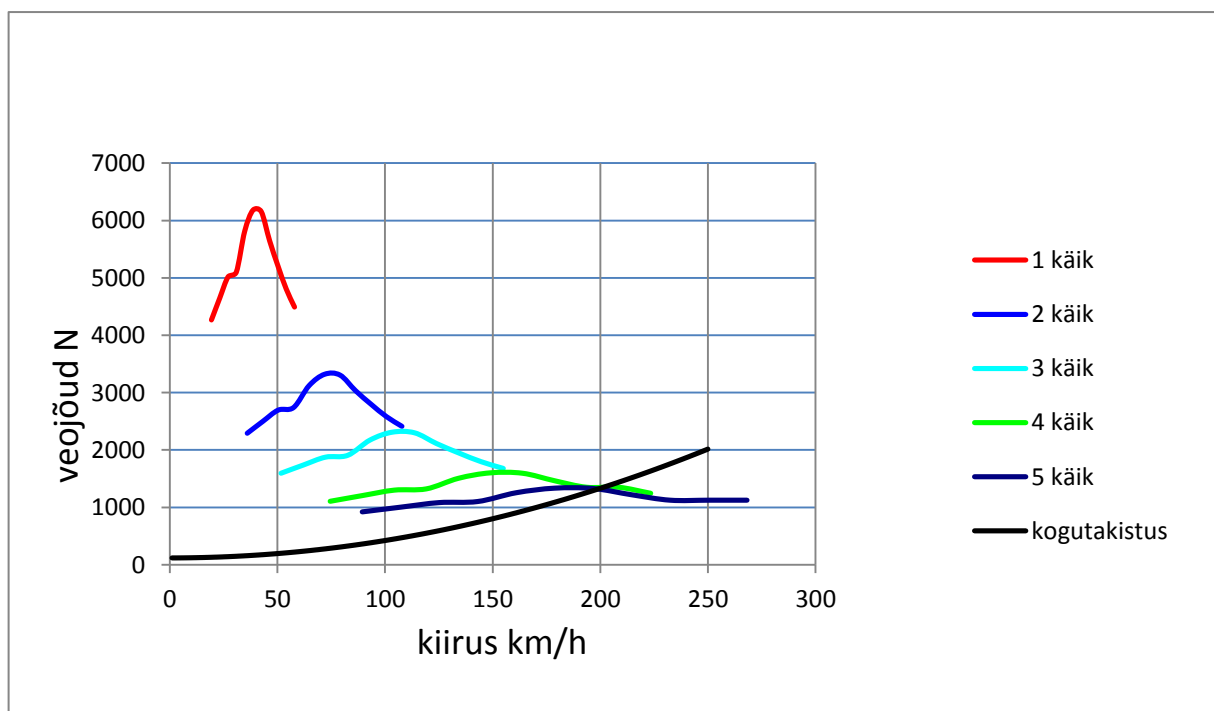
Lada Samara tehase käigukasti ülekanded.

Tabel 9

Tehase ülekandearvud

	Tehase ülekanded
1.käik	3,630
2.käik	1,950
3.käik	1,357
4.käik	0,941
5.käik	0,784
peaülekanne	3,9

Tehase ülekannetega veojõu graafik:



Sele 16. Ratasteni jõudev veojõud tehase ülekannetega[9]

Graafikult on näha, et tehase ülekannetega on auto maksimaalne kiirus 193 km/h, mis on rallisprindis võistlemise jaoks liialt suur. Arvestades võistluste trassivalikuid ei ole sellist lõppkiirust vaja. Samuti on näha, et esimeselt käigult teisele lülitades langeb veojõud märgatavalt.

Samuti on liialt suur veojõu vähenemine teiselt kolmandale ja kolmandalt neljandale käigule lülitades.

Uute ülekannete valikul on arvesse võetud ja paika pandud, et maksimumkiirus võiks jääda vahemikku 150-160 km/h ning uueks peaülekandeks on valitud 4,7.

Samuti on võrreldud erinevaid käikude ülekandeid ning leitud, et optimaalseim on nn rida-7 käigupaaride ülekanded.

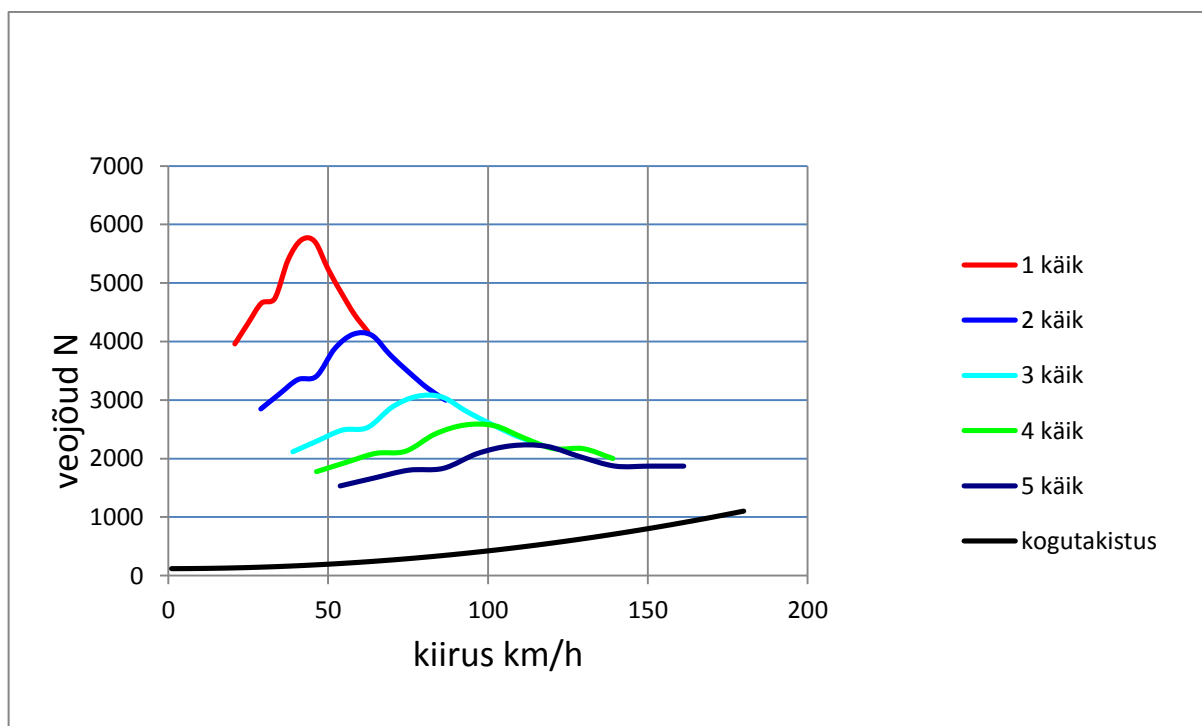
Rida-7 käikude ülekanded:

Tabel 10

Rida 7 käigukasti ülekanded

	Rida 7 ülekanded
1.käik	2,92
2.käik	2,10
3.käik	1,56
4.käik	1,31
5.käik	1,13
peaülekanne	4,7

Uute ülekannetega veojõu graafik:



Sele 17. Ratasteni jõudev veojõud uute ülekannetega[9]

Graafikult saab välja lugeda, et uue peaülekandega on maksimaalne võimalik kiirus 161 km/h.

Esimese käiguga on küll maksimaalne veojõud väiksem, kuid võimalik maksimumkiirus esimese käiguga on suurem. Teiste käikudega on maksimaalne veojõud suurem ning käikude ülekandearvude suhted on väiksemad võrreldes tehase ülekannetega.

Antud valikuga õnnestus suurendada kõikide käikudega ratasteni jõutavat veojõudu ning tänu sellele saavutada parem kiirendus.

7.2 Hõõrdsidur

Hõõrdsiduri ülesandeks on mootori pöördemomendi ülekandmine, mootori ning jõuülekande lahtiühendamine kohalt võtuks ning käikude vahetamiseks. Kuna mootori modifitseerimisel on kasvanud ka mootori poolt saavutatav pöördemoment tuleb tähelepanu pöörata ka hõõrdsidurile.

Siduri poolt ülekantav pöördemoment avaldub järgnevast valemist(23):

$$M_{sidur} = M_e \cdot \beta = \mu \cdot F_{vedru} \cdot \frac{2(R_v^3 - R_s^3)}{3(R_v^2 - R_s^2)} \cdot Z \quad (23)$$

Kus M_{sidur} -siduri poolt ülekantav pöördemoment

M_e - mootori pöördemoment

β -siduri varutegur (1,2-1,4)

μ -hõõrdetegur (0,25-0,35)

F_{vedru} -vedru survejõud

Z -hõõrdpindade arv

R_s ja R_v -siduriketta sise-ja välisläbimõõt

Selleks, et kanda üle suuremat mootori pöördemomenti, tuleks suurendada sidurikorvi vedrude survejõudu ning kasutada suurema hõõrdeteguriga siduriketast.

Võidusõiduautodel kasutatakse enamasti labadega kettaid, kus on kasutusel keraamilised friktsioonkatted. Friktsioonkatted valmistatakse pulbertehnoloogial Si ja Cu paagutamisel. Keraamilise friktsioonkatte kasutamise eeliseks on suurem hõõrdetegur 0,4 ja kõrgem töötemperatuur kuni 440 C° kraadi.

Analüüsid erinevate tootjate poolt pakutavat otsustatakse kasutada Sachsi tugevadatud vedrudega sidurikorvi ning keraamiliste hõõrdkatetega AP-Racing poolt valmistatud kolmelabalist siduriketast.

8 DÜNOSTENDIS VÕIMSUSE MÕÕTMINE

Pärast mootori lõplikku komplekteerimist ning autole monteerimist on teostatud esialgne seadistamine, et oleks võimalik dünostendis võimsust mõõta.



Sele 18. Mootor valmiskujul [9]

Seoses kiire ajagraafikuga ei jõutud niipalju pühenduda seadistamisele kui seda oleks vaja olnud. Stroboskoopi kasutates on reguleeritud paika esialgse süütenurk. Samuti on seadistatud karburaatoreid, selleks et segu oleks paigas. Esialgu on kasutatud süüteküünaldena NGK bpr6es süüteküünlaid.

Dünostendis arendas mootor 79 kW / 6600 p/min juures ning maksimaalne pöördemoment mootorist oli 140 Nm / 5200 p/min juures.

Mõõdetud tulemused (vt Lisa 1) näitasid, et mootor vajaks veel täpsemat seadistamist. Küünalde värvuse järgi on näha, et segu on liialt rikas. Liialt rikka kütusesegu tõttu ei ole võimalik saavutada maksimaalset võimsust kuna põlemine ei ole piisavalt kiire. Täpsemaks seadistamiseks tuleks paigaldada veel lairiba lambdaandur koos segukella ning kontrolleriaga. See aitaks paremini ning täpsemini kütusesegu seadistada. Samuti tuleks proovida süütenurka muuta varasemaks ja vaadata

kas see annaks soovitud tulemusi. Pärast mõõtmistulemusi sai selgeks, et lõputöös seatud eesmärki 100 kW ning 160 Nm pöördemomenti ei õnnestu täita.

Põhjusi miks eesmärk ei saadud täidetud on kindlasti mitmeid. Pärast täpsemat seadistamist on kindlasti võimalik saavutada paremad näitajad, kuid kindlasti mitte sellist kasvu, et saavutada eesmärgiks seatud võimsust. Samuti võib olla põhjuseks mittepiisavad modifikatsioonid sellise võimsuse saavutamiseks.

Dünostendis peaks tegelema ka resonantsülelaadimise tõhustamisega. Selleks on võimalik proovida katsestendil erineva pikkusega trompeteid ning muuta nukvõlli asendit väntvõlli suhtes.

KOKKUVÕTE

Antud lõputöö ülesandeks oli Lada Samaralt pärit mootori forsseerimine, mis arendaks võimsust 100 kW ning maksimaalne pöördemoment oleks 160 Nm. Edaspidi kasutatakse autot peamiselt rallisprindi võistlustel. Kõikide mootori juures tehtavate muudatuste käigus tuli järgida Eesti Autosportdiliidu poolt kehtestatud tehnilisi tingimusi. Samuti oli piiravaks teguriks antud projekti juures majanduslikud ning ajalised piirangud.

Saavutamaks sellist võimsust tuli tutvuda kõigepealt tehniliste tingimustega ning uurida erinevaid võimalusi konkreetse mootori puhul eesmärgiks seatud võimsuse saavutamiseks. Mootori modifitseerimise käigus tuli projekteerida mitmeid uusi komponente - sisselaskekollektor, väljalaskekollektor ja torustik, reguleeritav nukkvõlli rihmaratas jne. Nende projekteerimisele ning valmistamisele kulus eeldatust oluliselt rohkem aega.

Samuti tuli teha optimaalne valik toitesüsteemi osas. Kaaludes nii elektroonilist sissepritsesüsteemi kui ka Weber karburaatoreid otsustas töö autor kasutada just Weber karburaatoreid kuna nende lõplik hind võrreldes sissepritsesüsteemiga oli soodsam. Järgnevalt oli vaja projekteerida optimaalne sisselaskekollektor saavutamaks maksimaalset pöördemomenti 5200 p/min juures. Seejuures tuli veenduda, et arvutuslikult leitud optimaalse pikkusega sisselaskesüsteem mahuks ära ka mootoriruumi.

Viimase etapina ning antud töö puhul ka tähtsaimaks oli reaalseste muudatustega saavutatud tulemuste mõõtmine Tallinna Tehnikakõrgkooli veojõustendis. Veojõustendist saadud tulemused ei olnud sellised nagu olid seatud eesmärgiks. Paljusi oli selle põhjuseks kindlasti ajapuuduse tõttu tegemata jäetud lõplik häälestus ning teatavate parameetrite korrigeerimine.

Samuti andis see aimu sellest, et soovitud tulemuste saavutamine ei olegi alati nii lihtne. Teoorias arvutatud tulemused on heaks lähtepunktiks, kuid maksimaalse tulemuse saavutamiseks tuleks katsetada erinevaid lahendusi ning leida seejärel nendest parim.

SUMMARY

The subject of the final thesis is: „Modifying Lada Samara engine to achieve an output of 100 kW“. The aim of the final thesis was to modify a Lada Samara engine to have an output of 100 kW and maximum torque of 160 Nm. This vehicle will be used to compete at rally sprint events after the project is finished. All the changes to the engine had to comply with the regulations set by Estonian Autosport Union for competition vehicles. Additionally, time and financial constraints also influenced the outcome of the project.

It was necessary to work through the technical requirements set by Estonian Autosport Union and also learn about the specific possibilities of the given engine to achieve the desired output. A need to develop custom components arose during the modification of the engine. Some items that were designed specifically for this project are the following – engine intake, exhaust manifold and system, adjustable camshaft pulley. The design and manufacturing of the mentioned items took considerably longer than previously estimated.

An optimum choice for the fuel system had to be made. Considering both an electronic fuel injection system and Weber carburetors I decided to use the latter as the price of the carburetors was cheaper than the injection system. After the deciding on the fuel system an engine intake had to be developed that would allow maximum torque at 5200 engine rpm. A critical point of the intake development was to make sure that the intake system that had the length required for calculated best efficiency and would also fit in the engine bay.

The last and also the most important part of the project was to measure the real output given by the changes on a dyno at Tallinn University of Applied Sciences. However the results at the dyno did not measure up to the objectives. The reason behind not achieving the desired output was mainly down to the lack of fine tuning of engine parameters due to the time constraints.

The end result showed that it is not easy to achieve the desired objectives. The theoretical calculated results are a good starting point but testing of multiple real solutions and choosing the best amongst them is the key to a successful end result.

VIIDATUD ALLIKAD

- [1] A.Graham Bell, Four-Stroke Performance Tuning 4th edition, England: Haynes Publishing, 2012, p.13, p.42, p.130, p.313, p.319-321, p.591.
- [2] A.Graham Bell, Performance Tuning in Theory and Practice Four Strokes, England: Haynes Publishing Group, 1981, p.52.
- [3] Willard W.Pulkrabek, Engineering Fundamentals of the Internal Combustion Engine, New Jersey, University of Wisconsin, p.52, p60.
- [4] <http://modeli-vaz.ru/vaz-2108>, [Võrgumaterjal]. Available: <http://modeli-vaz.ru/vaz/vaz-2108.htm> [Kasutatud 01.märts 2015]
- [5] <http://www.wikipedia.org/> , Lada Samara, [Võrgumaterjal]. Available: http://en.wikipedia.org/wiki/Lada_Samara . [Kasutatud 03.märts 2015]
- [6] Heldur Tamma, Mootori algõpe, Tallinn 2014, p.38
- [7] Heinz Heisler, Advanced Engine Technology, London 1995, p.166, p258-259, p,262.
- [8] Philip H.Smith, The Design and Tuning of Competition Engine 1974, p.39
- [9] Autori fotode erakogu
- [10] Косарев С.Н, Ваз 2110 руководство по эксплуатации, техническому обслуживанию и ремонту, Москва 2005, p.31-35.
- [11] <http://en.wikipedia.org/> , Homologation, [Võrgumaterjal]. Available: http://en.wikipedia.org/wiki/Homologation_%28motorsport%29 . [Kasutatud 02.mai2015]
- [12] <http://en.wikipedia.org/> , Power band, [Võrgumaterjal]. Available: http://en.wikipedia.org/wiki/Power_band .[Kasutatud 02.mai2015]
- [13] <http://auto.etlt.ru/> , vaz 2108, [Võrgumaterjal]. Available: <http://auto.etlt.ru/s8-4.php> . [Kasutatud 02.märts2015]
- [14] <http://www.steel-grades.com/> , EN S235J2G3, [Võrgumaterjal]. Available: <http://www.steel-grades.com/Steel-Grades/Structure-Steel/en-s235j2g3.html> [Kasutatud 02.mai2105]

LISAD

Lisa 1. Dünostendi graafik

Lisa 2. Klapitaldriku joonis

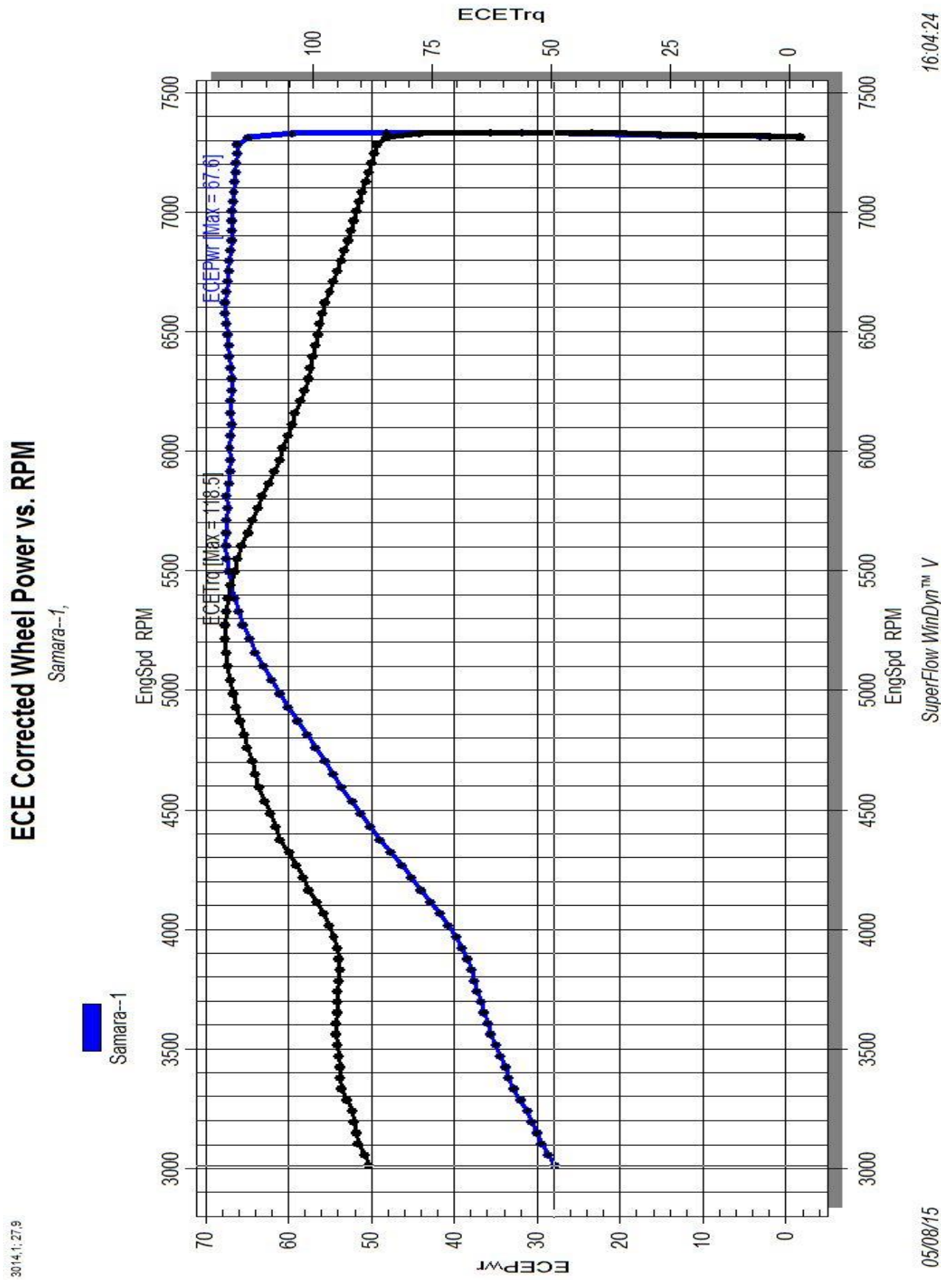
Lisa 3. Nukkvõlli rihmaratta joonis

Lisa 4. Sisselaskekollektori flants 1 joonis

Lisa 5. Sisselaskekollektori flants 2 joonis

Lisa 6. Sisselaskekollektori toru joonis

Lisa 7. Sisselaskekollektori koostu joonis



Lisa 2. Klapitaldriku joonis

Lisa 3. Reguleeritava nukkvõlli rihmaratta joonis

Lisa 4. Sisselaskekollektori flants 1 joonis

Lisa 5. Sisselaskekollektori flants 2 joonis

Lisa 6. Sisselaskekollektori toru joonis

Lisa 7. Sisselaskekollektori koostu joonis