



Taavi Särg

**AAN MOOTORI
FORSSEERIMINE
SAAVUTAMAKS 165 kW**

LÕPUTÖÖ

Tallinn 2015



Taavi Särg

AAN MOOTORI FORSSEERIMINE SAAVUTAMAKS 165 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

SISUKORD	3
SISSEJUHATUS	5
1. LÄHTEANDMED	6
1.2 Momendikõver tehase seades	8
2. TEHTUD TÖÖ KIRJELDUS	10
2.1 Vaja minevad varuosad	11
2.2 Mootori virtuaalne mudel	11
3. NUKKVÕLLID	14
3.1 Gaasijaotusmehhanismide muutus	14
3.2 Gaasijaotusmehhanismide analüüs	16
4. KOLVID	17
4.1 Materjal	18
4.1.1 Alumiiniumsulamid	20
4.2 Kolvirõngad	22
5. VÄNTMEHHANISM	23
5.1 Väntvõlli õlitus	24
5.1.1 Kasutatav mootoriõli	25
5.2 Väntvõlli muutused	26
5.3 Uus surveaste	28
6. TÖÖ TULEMUS	31
6.1 Uus võimsus ja väändegraafik	33
6.2 Kütusekulu muutus	34
7. PROJEKTI MAKSUMUS	36
8. KOKKUVÕTE	38
9. SUMMARY	39
10. VIIDATUD ALLIKAD	40

Lisa 1. Sepiskolvi tellimis ankeet.....	41
Lisa 2. Algse jõu ja väändemomendi mõõtmise	42
Lisa 3. Põlenud väljalaske kanal ja puhastatud kanalid	43
Lisa 4. JE kolb ja erinevus originaaliga	44
Lisa 5. JE kolvi joonis	45

SISSEJUHATUS

Tallinna Tehnikakõrgkooli lõputöö teemaks valisin AAN mootori forsseerimise, kuna see on hobiauto projekti üks osa. Lõputöös uuritavaks objektiks on sõiduauto Audi S6, mis väljus tehasest rida 5 ülelaetud mootoriga (AAN). Rida 5 mootoreid hakkas Audi tootma juba 1976.-ndast aastast ning need algasid võimsusega 74 kW ja lõppesid 1990.-ndatel 485 kW ralliversiooniga.

Lõputöö eesmärk on hobiauto sisepõlemismootori ümberehitamise teel saavutada 200 kW võimsusega mootor, millega sõita ühe miili võistlusel lõppkiirusel 230 km/h või enam. Senine saavutatud tulemus on 208 km/h. Samuti kaasneb võimsuse kasvuga ka auto kaalu ja võimsuse suhe. Kaalu ja võimsuse suhe on näitaja, mis annab infot auto tegelikust liikumisest, ehk kui palju on mootor võimeline seda massi liigutama. Tehtavas töös käsitlen mitmeid muid detaile, nagu gaasijaotusmehhanism, vääntvõll ja kolvid. Suur osa uuritavast osast on analüüs, mis täpselt muutus detailide vahetuse ja modifitseerimisega.

Teema on aktuaalne, sest sisepõlemismootoreid arendatakse järjest edasi, et mootorite kütusekulu oleks väiksem, kuid võimsus suurem. Seega on teema valik tähtis nii õpilastele kui ka konstruktoritele, sest see aitab kaasa sisepõlemismootorite väljatöötamise arendamisele.

Ülesandeks olen seadnud uurida mitmeid erinevaid detaile, näiteks mehaanilisi osasid ning sellest tulenevalt efektiivsust, väändemomenti ja võimsust. Kõigepealt on vajalik leida õiged varuosad. Selleks tuleb teha erinevaid matemaatilisi arvutusi. Kasutan teema käsitlemisel programmi nimega Lotus Engine Simulator, sest see aitab paremini mõista mootori tööd ja ehitust.

1. LÄHTEANDMED

Lähteautoks on Audi S6, tootmise aasta 1995. See mudel loodi algselt Audi poolt kiireks pereautoks. Tegelikult tähendas see vaid seda, et tavalisest standard A6-st tehti võimsam versioon väikeste muudatustega auto välimuses, salongis ja jõuallikas.

Tabel 1

Tehnilised andmed tehase poolt [2]

Tehnilised mootori näitajad	AAN tehase andmed
Silindri läbimõõt (mm)	81
Kolvi käik (mm)	86,4
Silindrite arv	5
Kepsu pikkus (mm)	144
Maksimaalsed pöörded (p/min)	7200
Kepsu ja kolvikäigu suhe	1,666
Töömaht (cm ³)	2226
Põlemiskambri ruumala (cm ³)	45,5
Kolvi nõgususe ruumala (cm ³)	1
Silindri ruumala (cm ³)	445,22
Kogu silindri ruumala ÜSS (cm ³)	53,7
Surveaste	9,3
Võimsus (kW)	153 (5650rpm)
Väändemoment (Nm)	304 (3500rpm)
Kaalu ja võimsuse suhe (kg/kW)	12,1

Silindri ruumala (1) [9]

$$V_h = \frac{\pi * d^2 * s}{4} \quad (1)$$

kus d = silindri diameeter

s = kolvikäik

$$\text{Silindri ruumala } V_h = \frac{\pi * 81^2 * 86,4}{4} = 445,2$$

Originaal plokikaanetihendi paksus on 1,65mm ja koosneb 4-st kihist.

$$\text{Tihendi ruumala } V_{ht} = \frac{\pi * 82^2 * 1,65}{4} = 8713,68 \text{ mm}^3 = 8,7 \text{ cm}^3$$

Surveaste (2) [9]

$$\varepsilon = \frac{V_h + V_c}{V_c} \quad (2)$$

kus V_h = Silindri ruumala

V_c = Põlemiskambri ruumala

$$\varepsilon = \frac{445,2 + 53,7}{53,7} = 9,29 \approx 9,3$$

Järgnevalt toon tabelis 2 välja tehase poolsed gaasijaotusmehhanismi näitajad.

Tabel 2

Tehase gaasijaotusmehhanismi andmed [2]

Gaasijaotusmehhanism	Andmed
Sisselaske klapitõus (mm)	8,3
Väljalaske klapitõus (mm)	8,6
Sisselaske klapp avaneb peale ÜSS	3°
Sisselaske klapp sulgub peale ASS	25°
Väljalaske klapp avaneb enne ASS	42°
Väljalaske klapp sulgub enne ÜSS	9°

1.2 Momendikõver tehase seades

Et teada saada mootori momendikõverat, on vaja seda mõõta dyno stendil. Mis on momendikõver? Momendigraafikult saame välja lugeda auto maksimaalse pöördemomendi ja võimsuse. Samuti selle, kuidas olemasolev jõud kajastub auto sõiduomadustes. Mõõtmised said teostatud 2014. aasta sügisel, kui autol olid all suverehvid, kuna talverehvidega on dyno stendi minek keelatud (vaata lisa 2).

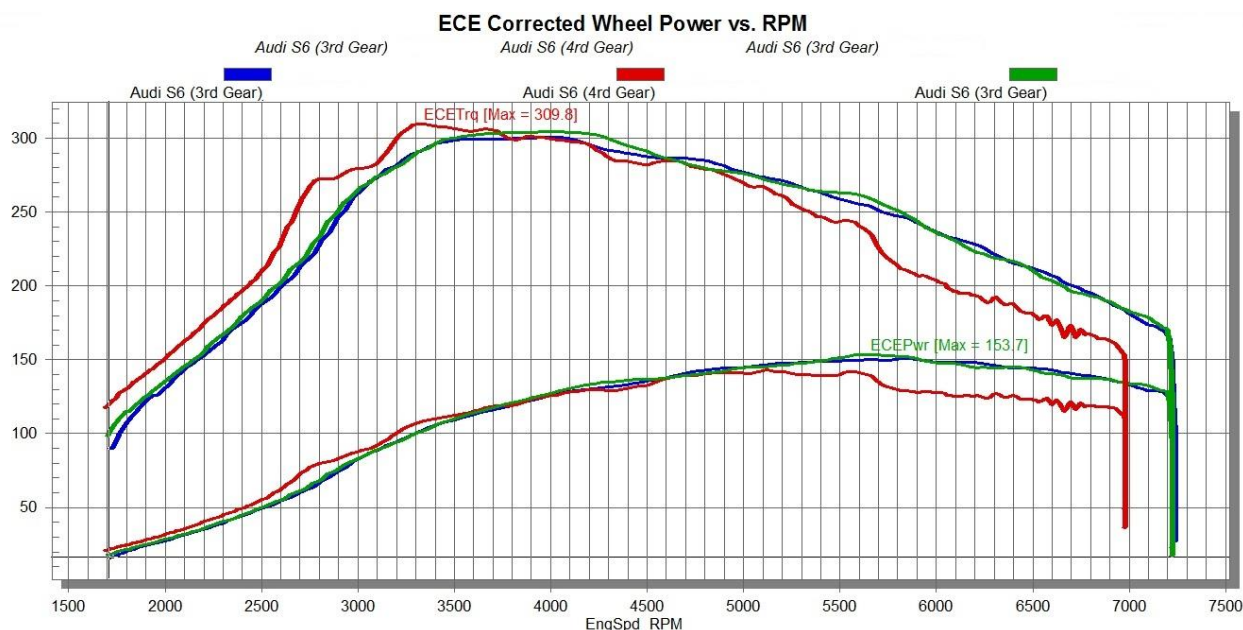
Mõõtmistulemuste täpseks hindamiseks on vaja teada käigukasti ülekannete arvu. Kõige täpsema mõõtmistulemus saab siis, kui mootori pöörete suhe ratastele on ülekande arvuga 1. Tabelis 3 on välja toodud (01E) kuuekäigulise manuaalkasti ülekandearvud.

Tabel 3

Käigukasti ülekandearvud (01E) [2]

1 käik	3,500
2 käik	1,889
3 käik	1,320
4 käik	1,043
5 käik	0,857
6 käik	0,730
Peaülekanne	4.111

Järgnevalt seletan lahti sele 1 tulemused.



Sele 1. Graafik algseades

Teostasin kolm mõõtmist, neist kaks kolmanda käiguga ja üks neljanda käiguga. Sele 1 on näha, et maksimaalne moment ratastel on 3500 pöörde juures 304 Nm, edasi moment seisab umbes 500 pöörde jagu maksimaalsena ja seejärel hakkab langema. Põhjus on selles, et tehase turbolaadur on piisavalt väike ja kasutab oma maksimaalse tootlikkuse ära võimalikult madala pöörde juures. Kõrgematel pööretel, kus õhukogused suurenevad, kasvab sisselaske kollektorisse mineva õhu temperatuur tänu kokkusurumisele ja väiksele vahejahutile.

Võimsus aga jätkab kasvamist, saavutades oma maksimaalse väärtuse 5650 pöörde juures väärtusega 153,7 kW, mõõdetuna rattast.

Neljanda käigu mõõtmine (graafikul punane) on väga muutlik, eriti graafiku lõpuosas, sest sisse surutava õhu temperatuur tõusis kõrgeks, umbes 60 kraadini. Mootor ei suutnud vähese hapnikukogusega ja sama suure hulga kütusega enam võimsust toota, vaid pigem jäi õhupuudusesse.

2. TEHTUD TÖÖ KIRJELDUS

Alustades selle projektiga, tuli välja mõelda tehniline lahendus detailidele, et need saaks koos töötada. Algselt oli vaja teada kõiki tehasepoolseid näitajaid. Seejärel sai uuritud erinevatest internetiallikatest ja teatmeteostest mootori tööks vajalikke näitajaid. Järgnevalt sai mõõdetud auto võimsus ja pöördemoment. Kui varuosad said välja valitud, oli vaja need hankida ja leida lahendus, kuidas need võimalikult optimaalselt tööle panna. Kõigepealt tuli eemaldada auto mootor, võtta see osadeks ning teha vajalikud mõõtmised. Nimelt oli vaja plokk viia puurimisse, kuna uued kolvid olid 0,5 mm suurema läbimõõduga tehase omadest, sest iga kolvi tootja annab kaasa enda kolviga ka tolerantsid, mida tuleb jälgida. Saavutamaks õigeid tolerantse, oli vaja puurida need remontmõõtu. Järgmiseks sai plokikaanelt eemaldatud nukkvõllid ja hüdrotõukurid. Algas töö klappide väljavõtmise ja puhastamisega, samuti vajasisid puhastamist sisselaske- ja väljalaskekanalid, mis olid teise silindri lekkivate klapisääre tihendite tõttu põlenud õli täis (lisa 3).

Pärast mitmetunnist puhastamist suruõhu otslihvijaga olid kanalid väga puhtad, mis on oluline mootori monteerimisel (lisa 3).

Järgmiseks puhastasid kõik klappid ja põlemiskambri. Selle töö käigus selgus, et küünla ava ümber olid tekkinud mõrad, mis suundusid klappipesade poole. Peale puhastamist ja kontrollimist oli näha, et need praod on pinnapealsed ja mootori edasist tööd ei sega. See on üsna levinud, et plokikaas on küünla pesa ümber praguline. Turbomootoriga autodel (antud mudelil konkreetselt) tekivad need suurema põlemiskambri rõhu tõttu.

Edasine töö oli kogu mootor lahti võtta, puhastada, jõuda välja mootori plokini, see korralikult puhastada ja saata edasi puurimisse. Seni, kui mootoriplokk oli puurimises, sai tegeletud plokikaane puhastamisega ning kollektori pindade ja tööpindade sirgeks laskmisega. Kollektori pinnad tegime koolis lõiketöötaluslaboris, tööpinna lihvimine toimus ettevõttes nimega Windorf. Samuti vajasisid

klapipesad lõikamist, kuna oli näha kahjustusi klapipesa ja klapi puutepindadel. Ka need tööd lasin teha samas ettevõttes.

2.1 Vaja minevad varuosad

Saavutamaks suuremat võimsust, on vaja suurendada töömahtu kolvikäigu pikkuse muutmisega. Originaal kolvikäigu pikkus on 86,4 mm, kuid kasutades 2,5 liitrise diiselmootori (AEL) vāntvōlli, tuleb kolvikäigu pikkuseks 95,5 mm. Selle valiku tegin peamiselt rahalistel ja töökindluse kaalutlustel, kuna on olemas ka vāntvōll, mille kolvikāik on 100 mm. See lahendus aga nõuaks kõrgemat diiselmootori plokki (AEL) ja pikemat kepsu. Samuti on ka hinnavahe, mis on 17-ne kordne. Eeltoodust tulenevalt valisin 2,5L diiselmootori vāntvōlli.

Edasi tuleb valida kolb, mis oleks 4,55 mm madalam, kui jääda sama kepsu pikkuse juurde. Kolvi valikul lähtusin töökindlusest ja tugevusest, kuna Wiseco poolt pakutud kolb on teistsugusest alumiiniumsulamist ja seega langesid need minu valikust välja. Hinnavahe oli samuti väike, seega valisin JE kolvid.

Samuti kasutasin 2,3 liitrise ottomootori (7A) nukkvōlle, mis on suurema nukatōusuga ja teise klappide ajastusega. Ka selle valiku tegin hinna ja töökindluse kaalutlustel. Sest spetsiaalsed nukkvōllid on vaid 1-1,5 mm suurema tōusuga, kui seda on 7A mootori omad. Muidugi on eelis spetsiaalsetel nukkvōllidel klapilahtioleku aja ja klapitōusu osas. Kuid hinnavahe, mis on 7-me kordne, ei tasu piiratud ressurse arvestades ära. Nukatōus 7A-l on sisselaske nukkvōllil 1,3 mm suurem ja väljallaske nukkvōllil 1,9 mm suurem AAN-i originaal nukkvōllidest.

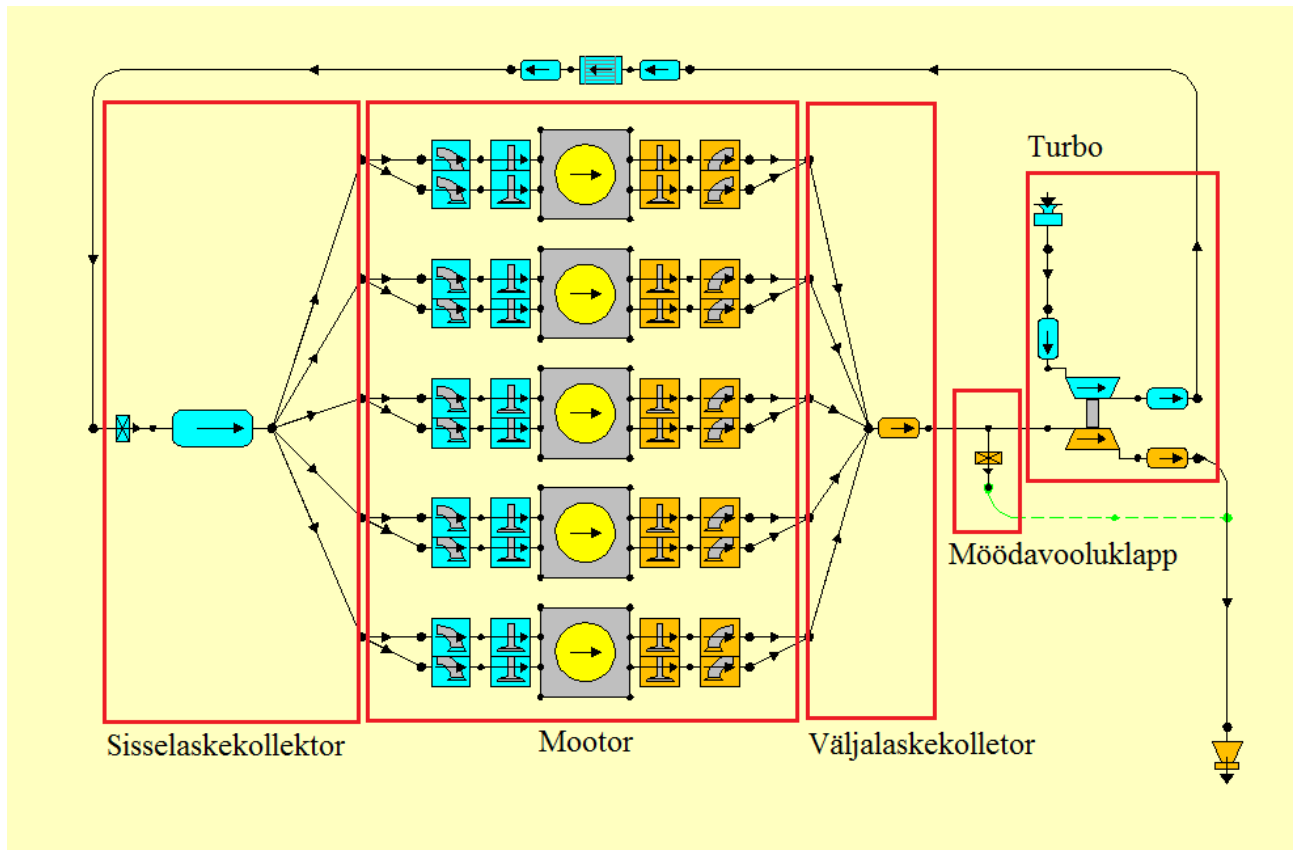
Vāntvōlli ja nukkvōllid sain Audi Klubi foorumi kaudu, sest käesoleval ajal on neid ametlikest Audi esindustest ja remonditōokodadest väga keeruline leida. Kolvid tulid USA-st eritellimuse järgi, originaalist kõrguse poolest madalamad. Samuti on originaalidega võrreldes need madalama surveastega (8,5) ja 0,5 mm suurema läbimōōduga.

2.2 Mootori virtuaalne mudel

AAN mootorist parema visuaalse pildi saamiseks lõin Lotus Engine Simulation tarkvara abil sellest virtuaalse mudeli. Käesolev lõputōō ei tegele sisse- ja väljallaske süsteemide uurimisega ega muutmisega. Seega on vajalik ainult mootori tōōks vajalikud parameetrid:

- Silindri läbimōōt
- Kolvikāik
- Kepsu pikkus

- Surveaste
- Klapi ajastus
- Klapi tõus
- Töömaht



Sele 2. Mootori virtuaalne mudel

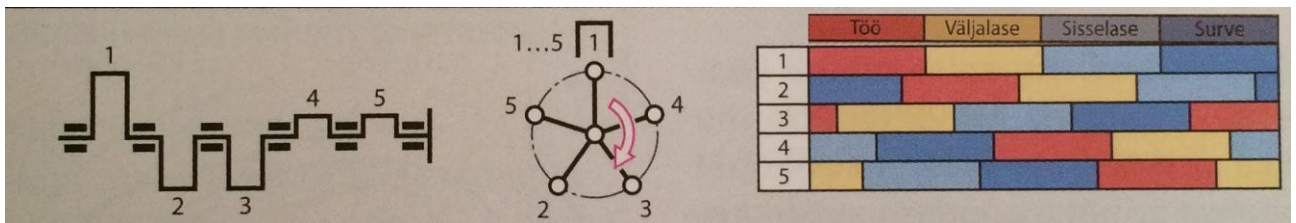
Mootori peamised komponendid on:

- Sisselaskekollektor ja sisselaske torustik
- Mootor koos vāntmehhanismi ja gaasijaotusmehhanismiga
- Väljalaskekollektor koos möödavoolu klapiga
- Turbo

Mootoril on kokku 20 klappi, mida juhib üks hammasratas. Gaasijaotusmehhanismid on omavahel ühendatud ketiga. Klapi ja gaasijaotusmehhanismi vahelist tööd reguleerib hüdrotõukur. Klappide tööd juhib juhtpuks. Süütamine toimub süüteküünla abil.

$$\text{Süütenurgavahe} = \frac{720^\circ \text{ v\ae ntv\o lli nurk}}{\text{Silindrite arv}}$$

Viiesilindrilisel mootoril arvutatakse süütenurkade vahe järgmiselt: 720° v\ae ntv\o lli nurgast jagatud viiega = 144° v\ae ntv\o lli nurk. V\ae ntv\o lli asemel kujutatakse Sele 3 tähistega ratast. Alustades ülemistest silindritest, mille tähis on 1, kantakse ülejäänud silindrid joonisele vastavalt nende süüte järjekorrale 1-2-4-5-3 pöörlemissuunale vastupidises suunas 144° v\ae ntv\o lli pöördenurga vahedega. Nii on võimalik iga tähe harult (kepsukaelalt) lugeda süüte järjekorda (sele 3). [1, p. 179]



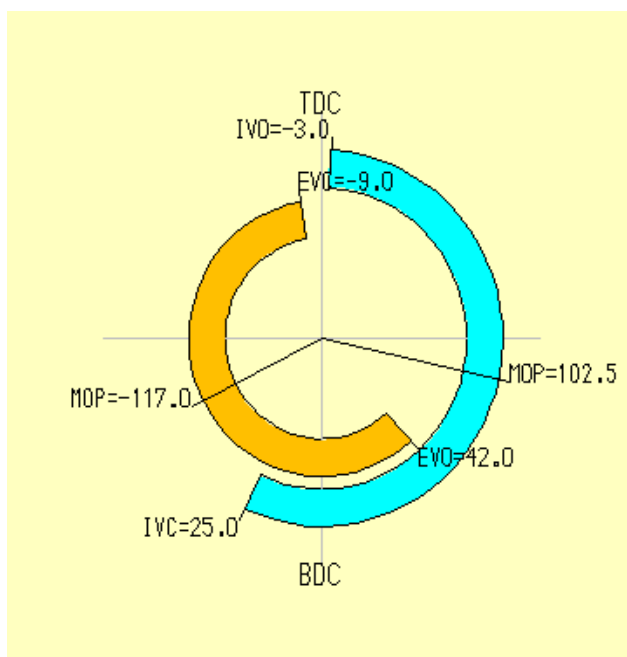
Sele 3. Süüte- ja töotakti järjekord [1]

3. NUKKVÕLLID

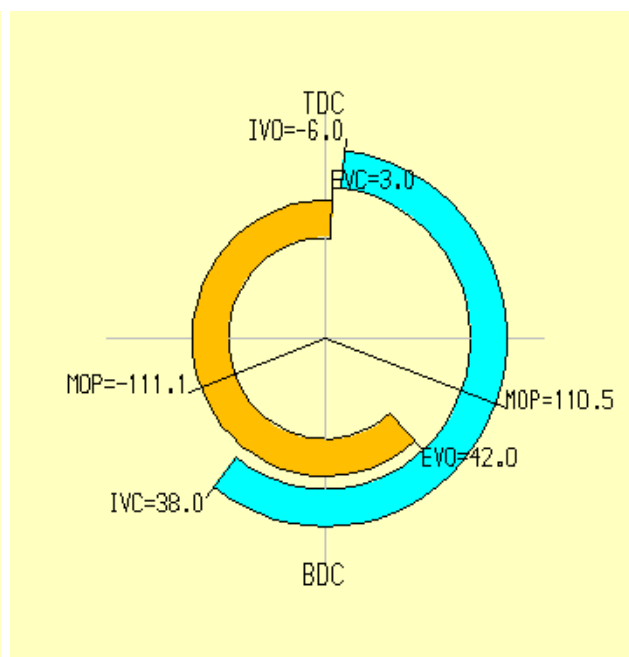
Gaasijaotusmehhanismi valikul põhinesin piiratud ressursile. Spetsiaalsed nukkvõllid maksid 1400 eurot paar, seega seitse korda odavam oli muretseda 2,3 liitrise ottomootori (7A) gaasijaotusmehhanismid. Nende leidmine tänapäeval pole enam kerge, kuna neid mootoreid toodeti aastatel 1988-1991. Tänu Audi klubi foorumile leidsin need umbes kuu aja jooksul.

3.1 Gaasijaotusmehhanismide muutus

Kuna antud lõputöös võetakse kasutusele 2,3 liitrise ottomootori (7A) nukkvõllid, siis on oluline uurida, mida see endaga kaasa toob. Eelkõige tuleb vaadelda sisse- ja väljalaskeklappide ajastust vāntvõlli suhtes, ning mis on alloleval joonisel esitatud gaasijaotusdiagrammina.



Sele 4. Gaasijaotusdiagramm AAN



Sele 5. Gaasijaotusdiagramm 7A

Sele 4 ja 5 kujutatud diagrammil on helesinisega märgitud sisselaske nukkvõll ja pruuniga väljalaske nukkvõll. Diagramm on kujutatud vāntvõlli suhtes, tähtitused on järgmised:

- IVO (Intake Valve Opens) – Sisselaskeklapp avaneb

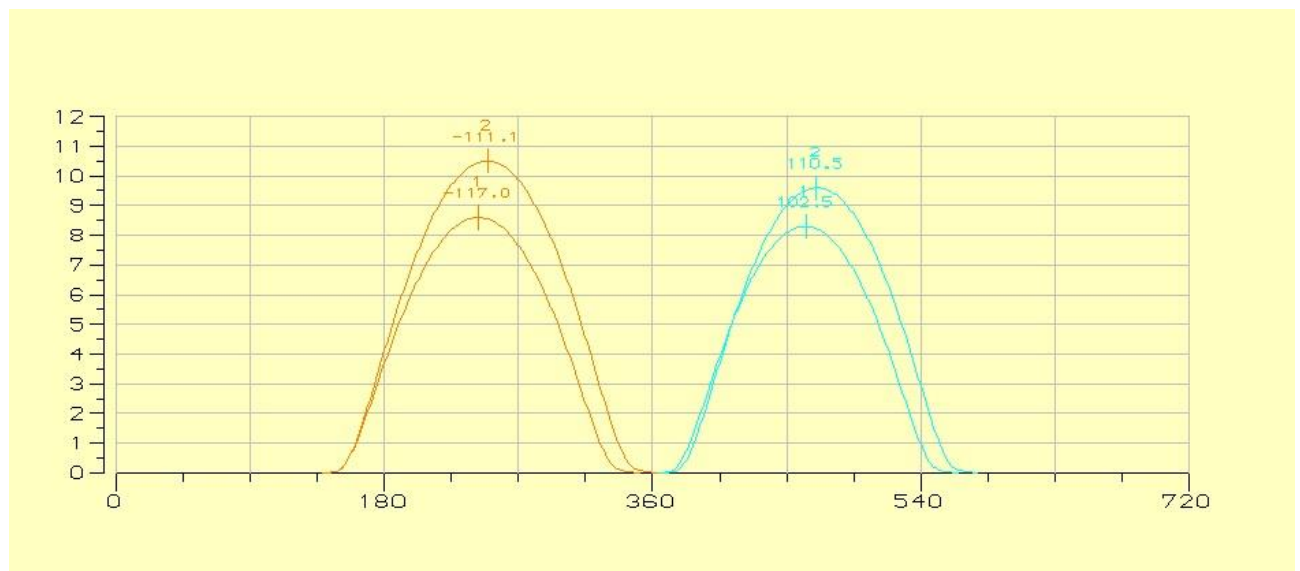
- IVC (Intake Valve Closes) – Sisselaskeklapp sulgub
- EVO (Exhaust Valve Opens) – Väljalaskeklapp avaneb
- EVC (Exhaust Valve Closes) – Väljalaskeklapp sulgub
- MOP (Maximum Opening Point) – Klapi maksimaalne avatus
- TDC (Top Dead Centre) – Kolvi ülemine surnud seis (ÜSS)
- BDC (Bottom Dead Centre) – Kolvi alumine surnud seis (ASS)

Tabel 4

Gaasijaotusvõllide spetsifikatsioonid [3]

	AAN	7A
Sisselaskeklapp avaneb peale ÜSS	3°	6°
Sisselaskeklapp sulgub peale ASS	25°	38°
Väljalaskeklapp avaneb enne ASS	42°	42°
Väljalaskeklapp sulgub enne ÜSS	9°	3°
Sisselaskeklapi maksimaalne avatus peale ÜSS	102,5°	110,5°
Väljalaskeklapi maksimaalne avatus enne ÜSS	117°	111,1°
Sisselaske klapitõus (mm)	8,3	9,6
Väljalaske klapitõus (mm)	8,6	10,5

Antud tabeli andmete põhjal koostati Lotus Engine Simulation tarkvara abil sele 6. Kuna AAN mootoril on hüdraulilised tõukurid, siis klapi vahe on võrdne nulliga ning seetõttu ei pea seda juurde lisama.



Sele 6. Gaasijaotusfaaside võrdlus

3.2 Gaasijaotusmehhanismide analüüs

Mõlema nukkvõlli ehitus on sarnane, mõlemal nukkvõllil on teravaotsalised nukid. See tähendab, et klapp tõstetakse aeglaselt üles ja suletakse ning see jääb vaid lühikeseks ajaks avatuks. Nagu Sele 6 näha, siis puudub mõlemal nukkvõllil ülekate. Seega ei saa gaasid sisselaskekanalisse tagasi liikuda. Küll aga tähendab see seda, et mootori täiteaste on väiksem, kuna ülekate puudub. Klappide ülekattega on võimalik täiskoormustel (drosselklapp täielikult avatud) suurendada silindri täituvust ja värske õhu kogust silindris, mis omakorda suurendab võimsust. Ülekatte halvaks pooleks on aga keskmistel ja madalatel koormustel suurem kütusekulu. Tänavasõidu tingimustes on ülekatte puudumine parem. Sellepärast on ka uutel autodel keskmiste ja madalate koormuste jaoks võimalik gaasijaotusmehhanismi nurka muuta, et parandada mootori efektiivsust.

Võrreldes teiste parameetritega, mõjutab mootori täiteastet kõige enam sisselaskeklapi sulgumine, seega sisselaskeklapi sulgumine on kõige suurema mõjuga mootori poolt toodetavale momendile. Sisselaskeklapi varajasem sulgumine suurendab momenti madalatel pööretel, kuid vähendab silindri täiteastet kõrgetel pööretel. Hilisem sulgumine suurendab täiteastet kõrgematel pööretel ja vähendab seda madalamatel pööretel. [7]

Antud nukkvõlli valiku tegin nii rahalistel ja kui ka töökindluse kaalutlustel. Erinevad tootjad pakuvad paljusid erinevaid nukkvõlle, kuid enamasti on need tunduvalt teravamad tõusuga ja oluliselt kallimad. Minu eesmärgiks oli võtta kasutusele 7A mootori nukkvõllid, mille lahtioleku aeg on sarnane AAN mootori omaga ja mille tõus on suurem. Eesmärgiks oli, et auto peab olema sõidetav ka igapäevasel tänavasõidul.

4. KOLVID

Kolb on sisepõlemismootori osa, mis vajab kõige suuremat paindlikkust ja peab täitma üheaegselt mitut ülesannet. Esiteks peab kolb taluma kokkupuudet temperatuuridega -30 (ekstreemne külmkäivitus) kuni $+ 2000^{\circ}\text{C}$ (põlemisprotsessi temperatuur töotakti alguses). Teiseks on kolvi ülesanneteks silindris nii tihendada, puhastada kui ka määrada. [5, p 47] Kolb on mootori töös üks tähtsamaid komponente, kuna just see detail annab jõu läbi kepsu pöörlevale vāntmehhanismile.

Kolvi valik oli üks keerukamaid ülesandeid ja õige kolvi leidmine polnud lihtne. Otsustasin sepiskolvi kasuks, mis tehti spetsiaalselt selle mootori jaoks. Peamine oli, et kolb oleks madalam kui originaalkolb, sest muidu läheks see vastu plokikaant ja mootor ei käiks ringi (lisa 4). Teine peamine kriteerium oli, et ta oleks madalama surveastmega kui tehasest välja tulnud kolb (9,3). Madalamat surveastet on vaja paremaks täituvuseks ja samuti ka suuremaks ülelaaderõhuks. Ülelaaderõhku käesoleva töö raames muutma ei hakatud. Väiksema surveastmega mootoril on ka väiksem tõenäosus detonatsioonile. Selleks, et õige kolb tellida, oli vaja täita ankeet (lisa 1). Selliste kolvide tegemine võtab aega umbes ühe kuu, lisaks saatmine USA-st umbes 1 kuu. Seega täitsin tellimuse avalduse niipea kui võimalik. Kolvid tellisin remontmõõdus ehk 81,5 mm läbimõõduga, sest iga kolvitootja näeb ette kolvilõtku. Ainuke mõistlik lahendus selle saavutamiseks on puurida mootoriplokk vastavusse tootjapoolse kolvi lõtkuga. Kolvilõtkuks näeb tootja ette 0,1016 mm ja seda mõõdetud 13 mm kolvi alumisest äärest ülespoole. Kolvi enda joonis tootjalt on toodud lisa 5.

Kuigi kolvid liiguvad silindris, ei ole need ise täielikult silindri kujuga. Alumiiniumi suure soojuspaisumisteguri tõttu on vajalik, et kolvi pinnad, kus paikneb rohkem materjali ja mis kuumenevad töösükli jooksul rohkem, oleksid väiksema mõõduga kui vähem kuumenevad osad. Seetõttu tehakse kolvipea koonuse kujuga ja hõlm ovaalse kujuga. Vaid kolvirõngaste sooned on täielikult ringikujulised. [5]

Kolvipea kuju on tingitud asjaolust, et see on kogu ristlõike ulatuses täismaterjal ning silindrilise kuju korral kiiluks see soojuspaisumise tõttu silindrisse kinni. Kolvipea on kolvi suuremast läbimõõdust seetõttu 0,1 – 0,25 mm võrra väiksem. Hõlm töödeldakse ovaalseks, sest seal asuvad palju materjali sisadavad kolvisilmad, millele peab andma soojuspaisumise jaoks rohkem lõtku. Ovaalsus jääb üldiselt piiridesse 0,3 – 1,0 mm. Vähendamaks vajadust ovaalseks töötlemise järele, on paljudel kolbidel kolvisilmade kohal süvised, vähendades pindala, mis kuumenedes rohkem paisub. Kolbide soojuspaisumise vähendamiseks kasutatakse tihti külma sissevalatud terasest tükki, mis oma väiksema soojuspaisumisteguri tõttu tekitab pingemomendi, mis ei lase kolvil paisuda nii ebaühtlaselt, kui see ilma lisatud terastükita paisuks. See võimaldab töödelda kolbe väiksema ovaalsusega ja väiksema lõtkuga silindris. [5, p 49]

Võrdluseks toon uue ja vana kolvi erinevuse. Kolvid on laua peal asetatud samala joonele väntvõlliga seoses olles. Lisas 4 on näha, et uus kolb on oma küljeseina suhtes väiksem ja 4,55 mm madalam. Kepsu pikkus jäi täpselt samaks (144 mm). Samuti on lisas 4 näha, kui palju tihedamalt on kolvirõngad koos.

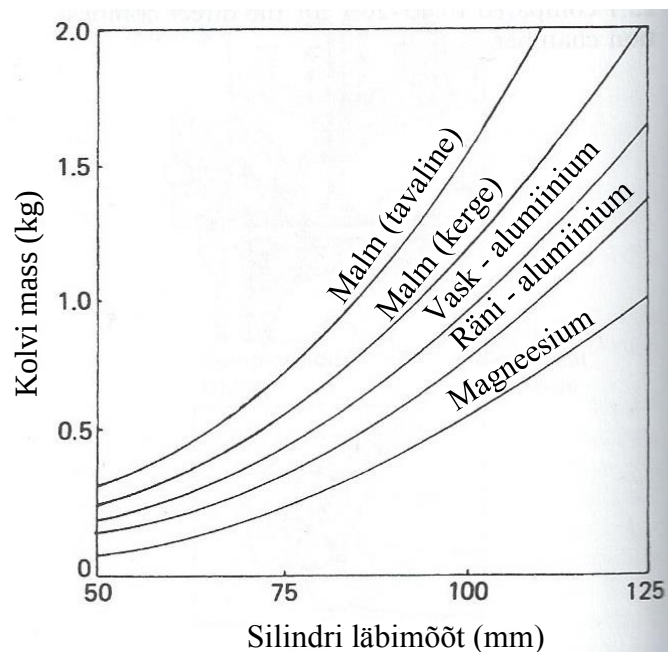
4.1 Materjal

Viimaste aastakümnete jooksul on keskkonnasäästlikkuse tõstmine igas valdkonnas esile tõusnud, see on viinud ka autoinsenerid uute lahenduste välja töötamisele. Peamine arengusuund on olnud üleminek väiksema töömahuga kõrgelt forsseeritud mootoritele (erivõimsusega üle 90 kW/l). See on tekitanud vajaduse muuta ka kolbide tootmistehnoloogiat, tähtsaim muutus on toimunud kasutatavas materjalis, mis tähendab, et on üle mindud suurema ränisisaldusega alumiiniumsulamile [5, p 51] .

Peamised nõuded kolvi materjalile:

- Head valatavus
- Kõrge kuumataluvus
- Kõrge tugevuse ja massi suhe
- Hea vastupidavus pinnahõõrdumisele
- Hea soojusjuhtivus
- Võimalikult madal soojuspaisumistegur

Kõrgepöördeliste mootorite edasi-tagasi jõud, mis on kolvi poolt tekitatud, peaksid olema võimalikult väiksed. See on kaasa toonud vajaduse kasutada kergemaid materjale kui teras ja malm. Kõige lihtsam oli kasutusele võtta alumiinium, mille suhteline tihedus on 2,6 võrreldes malmi 7,8-ga. Alumiinium on alati legeeritud teiste elementidega, nagu vask ja räni. See suurendab tugevuse ja massi suhet, kuid see suhe muutuks marginaalselt, kui kolb oleks tehtud puhtast alumiiniumist. [7]



Sele 7. Kolvi diameetri ja massi suhe erinevatel materjalidel. [7]

Sele 7 on näha, kuidas kolvi mass suureneb diameetri suurenemisega. Esialgu võib tunduda, et magneesium on ideaalne materjal kolvi valmistamiseks, kuid magneesiumil on kehv kulumiskindlus, seega kasutatakse neid kolbe vaid võistlusautodel, kus peale igat võistlust vahetatakse kolvid uute vastu. [7]

4.1.1 Alumiiniumsulamid

Peamiselt valmistatakse kolbe kahte tüüpi alumiiniumist: 2618 või 4032 tähisega alumiiniumsulamist. Räni sisalduse hulk määrab ära kolvi üldise tugevuse versus kulumiskindlus.

2618 alumiiniumi sulam omab kõrgemat üldist tugevust ja suudab rohkem vastu panna valele kasutamisele (detonatsioonile) kui 4032 sulam. 2618 sulam on sobivaim sunnitud sisselaskega mootoritele, kus tekib kõrgem temperatuur. Võrreldes 4032 sulamiga, vajab 2618 oma madala ränisisalduse tõttu suurt kolvilõtku ja omab suuremat soojuspaisumistegurit, mis põhjustab kolvi suurenemist seoses temperatuuriga. [8]

Plussid:

- Kõrge temperatuuritaluvus
- Suur tugevus
- Hea soojusjuhtivus
- Kõrge väsimuspiir

Miinused:

- Suur paisumistegur (vajab rohkem lõtku)
- Kõrge kulumisindeks (madal ränisisaldus)
- Enne töötemperatuuri saavutamist võib klopplivat heli kostuda

4032 alumiiniumsulam on mõeldud kasutamiseks suure jõudlusega mootorites, kus tugev ja vaikne kolb on vajalik. 4032 sulam nõuab vähem kolvilõtku kui 2618 sulam, seda tänu suuremale ränisisaldusele, ning on ideaalne tänavasõidu autodes. [8]

Plussid:

- Kulumiskindlus (hea vastupanu tänu suuremale ränisisaldusele)
- Madal paisumistegur
- Madal tihedus (kerge)

Miinused:

- Limiteeritud temperatuuritugevus (väiksem tugevus kõrgetel temperatuuridel)
- Maksimaalne tundlikkus (rabadus)

Võidusõidumootorite ehitamisel kasutatakse eranditult sepistatud kolbe. Selliste kolbide terasstruktuur on nende valmistamisel rakendatud ülikõrge rõhu tõttu palju tihedam kui valutehnoloogiaga valmistatud kolbide terasstruktuuri tihedus [6]. Sellised kolvid taluvad paremini tsüklilist koormust ja ka mõningast detonatsiooni. Sepistatud kolvi miinuseks on tema suur soojuspaisumistegur, kuna terasstruktuur on tihedam ja samas koguses materjalis on rohkem molekule kui valutehnoloogiaga valmistatud kolbidel. Sellepärast istuvad sepistatud kolvid silindris suurema lõtkuga ja võivad enne töötemperatuuri saavutamist tekitada kloppivat heli.

JE kolvid valmistatakse alati sulamist 2618 ning tootja sõnul on nende jaoks tähtis just tugevus ja vastupidavus ekstreemsetes tingimustes. Seega tellisin ka mina kolvid, mis on valmistatud 2618 sulamist ja need kaaluvad 255 g. Teiste tootjate kolvid jäid minu valikust seega materjali tõttu välja.

4.2 Kolvirõngad

JE kolbide komplektis on ka kaasas kolvirõngad koos kepsusõrmedega. Kolvirõngaste üks komplekt sisaldab esimest surverõngast, teist surverõngast ja kolmest osast koosnevat õlirõngast.

Kolvirõngaste peamised ülesanded on: [5, p 55]

- Moodustada hermeetilisus
- Ennetada gaaside sattumist vāntmehhanismini ja karterisse, seda ka kõrgetel temperatuuridel
- Juhtida soojust kolvilt silindri seintele
- Peatada õli sattumine põlemiskambrisse

Kolvirõngaste peamine materjal on pindkarastatud malm, mille struktuuris on tavaliselt sfääriline grafiit. Kõrgkoormusega kolvirõngad on enamasti valmistatud kõrglegeeritud terasest. [1]

Selleks, et silinder saavutaks oma täieliku hermeetilisuse, on vaja paika panna kolvirõngaste pilud.

JE kolbide komplektis on kaasas ka rõngaste paigaldamise juhend ja rõngaste pilude vahed.

Tabel 5

JE kolvide rõngaste pilude vahe [4]

	Ülemine surve rõngas	Teine surve rõngas	Õlirõngas
Rakendus	Minimaalne pilu silindri läbimõõdu kohta		Minimaalne pilu (mm)
Kõrge jõudlus tänaval	$\varnothing \cdot 0,0045$	$\varnothing \cdot 0,0050$	0,4
Mõõdukas tänaval turboga	$\varnothing \cdot 0,0050$	$\varnothing \cdot 0,0055$	0,4
Ringrajale/kiirenduseks	$\varnothing \cdot 0,0055$	$\varnothing \cdot 0,0057$	0,4
Keemiline ülelaadimine	$\varnothing \cdot 0,0070$	$\varnothing \cdot 0,0073$	0,4
Kompressor ülelaadimine	$\varnothing \cdot 0,0060$	$\varnothing \cdot 0,0063$	0,4

$\varnothing$ – Kolvi läbimõõd millimeetrites

Antud tabelis on mõõdud millimeetrites ja nende järgi on lihtne leida vajaliku lukupilu suurus. Enamasti jäävad pilu suurused vahemiku 0,35 – 0,6mm. Valisin mõõdukaks tänavasõiduks turboga sõidukile mõeldud sobilikud pilud, sest auto on turbokompressoriga varustatud ja tänavaliikluseks sobivad just need pilud.

5. VÄNTMEHHANISM

Väntvõll on mootori üks tähtsamaid detaile ja tema ülesanneteks on:

- Kepsujõu muundamine ringjõuks ja seeläbi pöördemomendiks
- Pöördemomentide ühe osa edastamine hooratta kaudu sidurile
- Pöördemomentide teise osaga mootori kõrvalagregaatide käitamine

Kepse ja kolbe tuleb iga väntvõlli töökäiguga kiirendada ja uuesti aeglustada. Selle juures esinevad suured kiirendusjõud (inertsjõud) ning lisaks mõjub väntvõllile suur kesktõukejõud. Esinevate jõudude mõjul on väntvõll allutatud väände, painde ja väändevõnkumisele ning laagerdustel ka kulumisele. [1]

Väntvõlli kuju ja ehituse määrab:

- Silindrite arv
- Väntvõlli laagrite arv
- Kolvikäigu suurus
- Silindrite tööjärjekord
- Silindrite paigutus

Antud lõputöös kasutasin 2,5L diiselmootori (AEL) väntmehhanismi, mis on oma ehituselt väga sarnane AAN-i omaga. Erinevus seisneb selles, et diiselmootori väntvõllil on ka üks lisaratas, millelt AEL mootor loeb omale väntvõlli asendit. Kuna AAN mootoril seda vaja pole, sai lisaratas sealt eemaldatud. AAN mootoril loetakse väntvõlli asendi signaali hoorattalt.

Teine peamine põhjus, miks kasutada AEL väntvõlli, on selle suurem kolvikäik ja hind. Kepsu- ja vändakaela läbimõõdud on võrdsed AAN mootori omadega, seega istub ta plokki ilma ühegi muudatuseta.

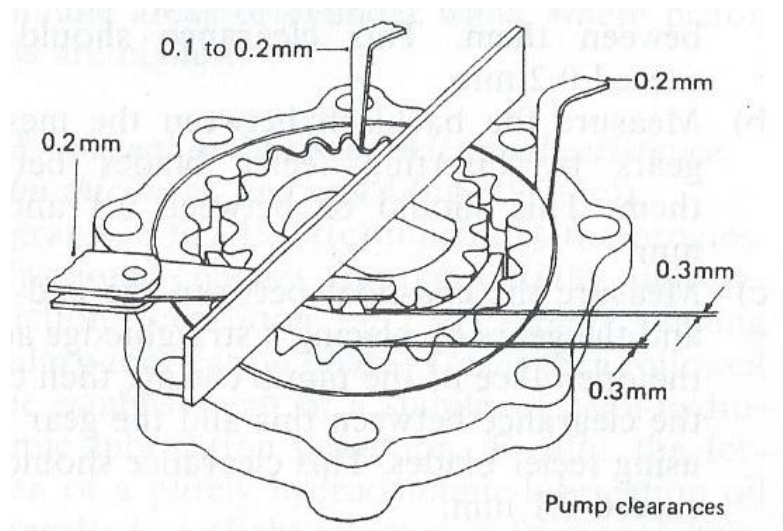
5.1 Väntvõlli õlitus

Enne mootori kokku panemist on vaja mõõta kepsukaelad ja raamkaelad. Mõõtmistulemustest selgus, et väntvõll ei ole kohe kasutamiskvaliteetne, kuna kulumist on liiga palju ja standardmõõdus kepsu liuglaager jääks liiga suure lõtkuga. Seega tuli väntvõll saata lihvimisse. Et tulemus oleks võimalikult hea, lihviti see esimesse remontmõõtu (0,025mm). Samuti olid näha ka mõningad suured kulumistriibud vändakaelal, mis olid tekkinud metallipuru sattumisest õlitussüsteemi. Õli pealevoolu ja selle kepsu liuglaagrite määrimise parandamiseks lasin ka õlikanali suudmed ovaalseks lihvida. Originaalis on need ümmargused. See parandab õli voolamist kepsu- ja raamikaeladele.



Sele 8. Ovaalne õlitussuue

Samuti võtsin lahti ka vana õlipumba ja mõõtsin lubatud tolerantsid kulumise suhtes. Õlipump on mootori töös üks kõige tähtsamaid elemente. AAN mootori õlipump on sirpkambriga pump, mille sees asetsevad kaks erineva suurusega hammasratast. Väiksem neist on ühenduses väntvõlliga. Kontrollimaks pumba edasist tööd ja võimalikku eluiga, oli vajalik pump lahti võtta, mis on näidatud Sele 9.



Sele 9. Õlipumba kulumise mõõtmine [7].

Kahjuks oli mõõtmise tulemus negatiivne: tolerantsid olid ületatud ja korpusel oli näha suuri kulumisjälgi. Hammasrataste ja sirbi vaheline pilu oli samuti lubatust suurem, mistõttu tuli muretseda uus õlipump.

5.1.1 Kasutatav mootoriõli

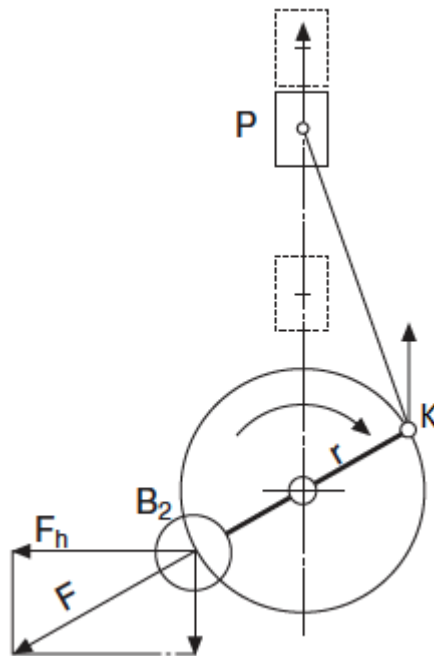
Mootoriõliks valisin Motuli 5W40 300V POWER. Tehas näeb ette just parasvöötme ja külmemaa kliimaga aladel sõitvatel sõidukitel viskoossusega 5W40 mootoriõli. Ma valisin just selle õli on seetõttu, et seda õli kasutatakse ka ringraja- ja võistlussõidukitel. Selle määrimisomadused on temperatuuri tõustes paremad kui konkurentidel ja sama viskoossusega odavamatel õlidel.

Mootoriõlide valikul tuleb kõigepealt jälgida, millist viskoossusvahemikku soovib mootori (auto) valmistanud firma. Viskoossuselt parim mootoriõli on alati väheviskoosne, sellest ka suund väikestele viskoossustele. [12]

5W40 mootoriõli on parim võimalik lahendus arvestades antud mootori ehitust. Kuna liiga suure viskoossusega õli määrib küll hästi temperatuuri tõustes, kuid samas see takistab ka mootori kerget pöörlemist madalatel töö temperatuuridel. Sellest suureneb ka kütusekulu ja võimalik hüdrotõukurite klõbin külma mootoriga. Sellepärast valisin kõige optimaalsema viskoossusega ja parimate määrimisomadustega mootoriõli.

5.2 Väntvõlli muutused

Suurtest muutustest võib esile tuua kolvikäigu suurenemise 86,4mm-lt 95,5mm-le. Suureneb ka tsentrifugaaljõud. Punkt K (Sele 9) asub keskpunktist kaugemal ja tänu pöörlevale jõule kasvab ka tsentrifugaalne vastujõud suunal F.



Sele 10. [5 p 28]

Samuti muutub kepsunurk väntvõlli ja kolvi vahel. See põhjustab suuremat koormust kolvi seinale, kuna kolbi ei lükata päris otse üles, vaid suurema nurga all.

Tänu teadmisele, et kolvikäigu pikkus on 95,5 mm, saame arvutada mootori uue töömahu.

Ühe silindri töömaht (3) [9]

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

kus d = silindri läbimõõt (mm)

s = kolvikäik (mm)

$$V_h = \frac{\pi \cdot 81,5^2 \cdot 95,5}{4} = 498205,44 \text{ mm}^3 = 498,2 \text{ cm}^3$$

Kogu mootori töömaht on järgmine:

$$498,2 * 5 = 2491 \text{ cm}^3$$

Mootori uueks töömahuks on sel juhul 2491 cm^3 eelneva 2226 cm^3 asemel. See on 10,6% töömahu kasvu. „Liiklusseaduse” §-s 63 on sätestatud:

“Mootorsõiduki ja selle haagise tehnonõuded ning nõuded varustusele” lisa 2

Kood 701. Üldnõuded mootorile

- 7) mootor peab vastama võimsuselt, pöördemomendilt, pöörete arvult, töömahult ja massilt valmistaja poolt sellele mootorsõidukile ettenähtule. Erandina, kui valmistaja ei ole ette näinud erinevate mootorimudelite paigaldamist ning sellega ei muutu mootorsõiduki kategooria, on lubatud mootorsõidukile ümberehituse korras paigaldada mootor, mille võimsuse erinevus ei ületa 30 %, töömahu erinevus 20 % ja massi erinevus 10 % valmistaja poolt ettenähtust. [10]

See kehtib aga ainult mootori vahetuse korral. Seega seadusega kooskõlas antud lõputöö projekt ei ole. Seadusega on mootori ümberehitamine keelatud. Seaduse järgimiseks tuleks auto Maanteeametist arvelt maha võtta ning kasutada seda hobiautona kinnistel aladel ja selleks ette nähtud üritustel.

Mootori töömahuks loetakse ainult silindri ruumala. Plokikaanetihend, kolvi õõnsus ja põlemiskambri ruumala sinna sisse ei arvutata.

Järgmiseks oli vaja kindlaks teha, kas keps käib ringi selle vāntvõlliga, kuna kepsu nurk oli muutunud ja vāntvõll käis väga lähedalt plokist mööda. Õnneks ei olnud midagi vaja muuta ja vāntvõll käis koos kolbidega ringi.



Sele 11. Ploki ja kepsu vahe



Sele 12. Õlitusnipli ja kepsukaela vahe

Sele 12 on näha õlipihusteid, millest väntvõll väga lähedalt möödub. Õlipihustid on üks osa õlitussüsteemist, need suunavad õli kolvi põhjale ja aitavad seda jahutada. Uute kolbide panekuga õlipihusteid vaja muuta ei olnud, kuna kolvi sees oli piisav süvend, et mitte kokku puutuda kolvi põhjaga.

5.3 Uus surveaste

Järgmiseks leiame mootorile uue surveastme ja vaatame, mis sellega kaasneb. Surveastme arvutamiseks on vajalik peale silindri ruumala veel ka tihendi paksusest tekkiv ruumala, kolvi süvendi ruumala ja ka põlemiskambri ruumala. Eelnevalt arvutasime silindri ruumala, milleks oli 2491 cm^3 .

Edasi tuleb arvutada plokikaane tihendi ruumala. Plokikaane tihendi paksus on 1,61 mm ja see koosneb kolmest kihist, millest kaks on õhukesed kihid ja üks paks kiht. Plokikaane tihendi arvutamiseks on võimalik kasutada sama valemit, ainult kolvikäigu asemele tuleb panna tihendi paksus millimeetrites. Plokikaane tihendi ava läbimõõt on 82 mm. Kasutan AEL mootori plokikaane tihendit, sest originaaltihend on neljakihiline ja kõige õhem kiht võib osutuda probleemiks. Seega püüdsin seda ennetada.

$$V_{ht} = \frac{\pi \cdot 82^2 \cdot 1,61}{4} = 8498,13 \text{ mm}^3 = 8,5 \text{ cm}^3$$

Samuti tuleb arvestada ka kolvis olevat süvendit, mis tootjapoolse sertifikaadi kohaselt on 15,25 cm³ ühe kolvi kohta. Järgmiseks tuli leida põlemiskambri ruumala. Selleks tuli asetada plokikaan sirgelt tagurpidi laua peale, mõlemad klapid suletud asendis ja küünal oma pesas. Seejärel lisasin süstlaga koguseid mõõtes värvilist vedelikku põlemiskambris. Värvilist vedelikku kasutasin sellepärast, et lekkeid ja täituvust oleks kergem märgata. Mõõtmise tulemuseks sain 45,5 cm³ ehk 45,5 ml. Järgnevate tulemustega saan arvutada surveastme uue väärtuse.

Mootori surveaste (4) [9]

$$\varepsilon = \frac{V_h + V_c}{V_c} \quad (4)$$

kus ε = Surveaste

V_h = Silindri ruumala

V_c = Kokkusurutav osa ruumala silindris

Silindri ruumala arvutasime eelnevalt välja, milleks oli 498,2 cm³. V_c saamiseks liidame kokku põlemiskambri ruumala, tihendist tekkinud ruumala ja kolvi süvendi. Antud mootoril on kolb ÜSS ploki äärega tasa, seega sealt eraldi ruumala juurde ei teki.

$$V_c = 45,5 + 15,25 + 8,5 = 69,25 \text{ cm}^3$$

$$\varepsilon = \frac{498,2 + 69,25}{69,25} = 8,194 \approx 8,2$$

Uus surveaste on seega 8,2. Mootori surveaste on oluline faktor järgnevatel punktidel [11]:

- Pöördemomendi tootmisel
- Võimsuse tootmisel
- Kütusekulu
- Kahjulike heitmete tekkimisel

Bensiinimootorite surveaste varieerub, tulenevalt nende ehitusest ja pritsesüsteemist (kas tegemist on otsepritse või kollektor pritse mootoriga). Surveaste jääb tavaliselt vahemiku $\varepsilon = 7-13$ Diiselmootoriga autodel on surveaste kõrgem, ehk $\varepsilon = 14-24$ Sellist surveastet ei ole võimalik kasutada bensiinimootoriga autos, sest kloppimispiir on mootoribensiinil piiratud. Pidev kontrollimatu kloppimine kahjustab mootorit ja halvendab võimsust. [11]

Surveaste originaalis on 9,3, mis on 1,1 ühiku võrra väiksem kui enne. See tähendab seda, et mootor on töökindlam ja suudab vastu panna detonatsioonile paremini kui õhu- ja kütusekogus on õige. Kindlasti tähendab see ka suuremat pöördemomenti ja võimsuse kasvu. Halvaks küljeks on suurenev kütusekulu, kuna mootor tarbib rohkem õhku kui varem. Kõrge surveastmega mootoreid tehakse just sellepärast, et neil oleks keskmistel ja madalatel koormustel rohkem väändemomenti. 1990.-ndatel olid kasutusel kollektor pritsesega mootorid. Selle ajastu toodetud turbomootoriga autod on madalatel pööretel jõuetumad. Antud lõputöö raames parandasin seda litraasi tõstmise, gaasijaotusmehhanismide vahetamisega ja surveastme muutmisega.

6. TÖÖ TULEMUS

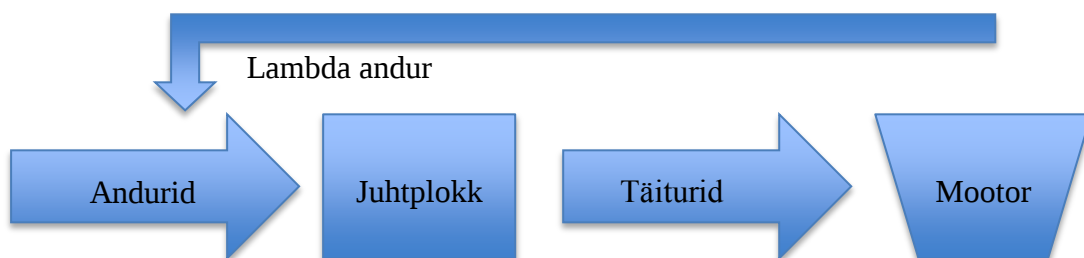
Lõputöö eesmärgiks on hobiauto sisepõlemismootori ümberehitamise teel saavutada 165 kW võimsust rattast, millega sõita ühe miili võistlusel lõppkiirust 230 km/h või enam. Kui auto sai pärast muudatusi töökorda, tuli teha mootorile umbes 400 km pikkune sissesõitmine. Peale seda sai hakata testima auto käitumist. Esimese asjana oli tarvis proovida kütuse- ja õhusegu, selle jaoks on autos olemas AFR (air/fuel ratio) segukell, mis edastab näitu lairiba lambda abil.

Esimene probleem tekkis kohe keskmistel koormustel ja madalal pöördel (2000 pööret). Proovides kiirendada jõulisemalt (alates 2000 pööret) tekib olukord, kus suureneva töömahu tõttu oli mootoril sisselaskekollektoris 0,4 bar ülerõhku. Kuna turbo lülitub käima varem, tekib ka gaase rohkem, kuid mootori juhtplokki on alles nii nimetatud “suletud ahelas” (Sele 14). See tähendab seda, et mootori tööd kontrollitakse lambda anduri abil ja hoitakse kütusesegu ideaali lähedal, ehk lambda 1. Kuna auto on varustatud kitsasriba lambdaga, siis kahjuks selle ajastu juhtplokid kasutasid suletud ahela süsteemi (sele 14). Seega on lambda näit ühe kindlate pööreteni milleks on umbes 2200-2300 pööret. Alles siis läheb juhtplokki üle avatud ahela süsteemi ja hakkab toimima temale ette nähtud kütusetabeli alusel (sele 13). See tähendab seda, et lambda näitu ei arvestata ja kütusesegus korrekture ei tehta. Kütusetabel on koostatud tehasepoolt ja vastavalt mootori parameetritele.

Suletud ahela heaks küljeks on parem kütusekulu maantee sõidul ja ühtlasel sõidul. Minu jaoks põhjustas see probleemi, kuna 2000 pöörde juures oli autol juba 0,4 bar ülerõhku, mis vajaksid rikkamat kütusesegu kui 14,7 (ehk lambda 1). Seega on kuulda mootori töös sellel pöörete ja koormuse vahemikus kütuse mittesüttimist. See on mootori töös ohtlik, seega tuleb seda olukorda vältida, kus mootori juhtplokki on suletud ahelas ja koormus on keskmine või suur. Rahulikult kiirendades see probleem kaob, kuna ülerõhku sisselaskekollektoris ei teki nii palju.

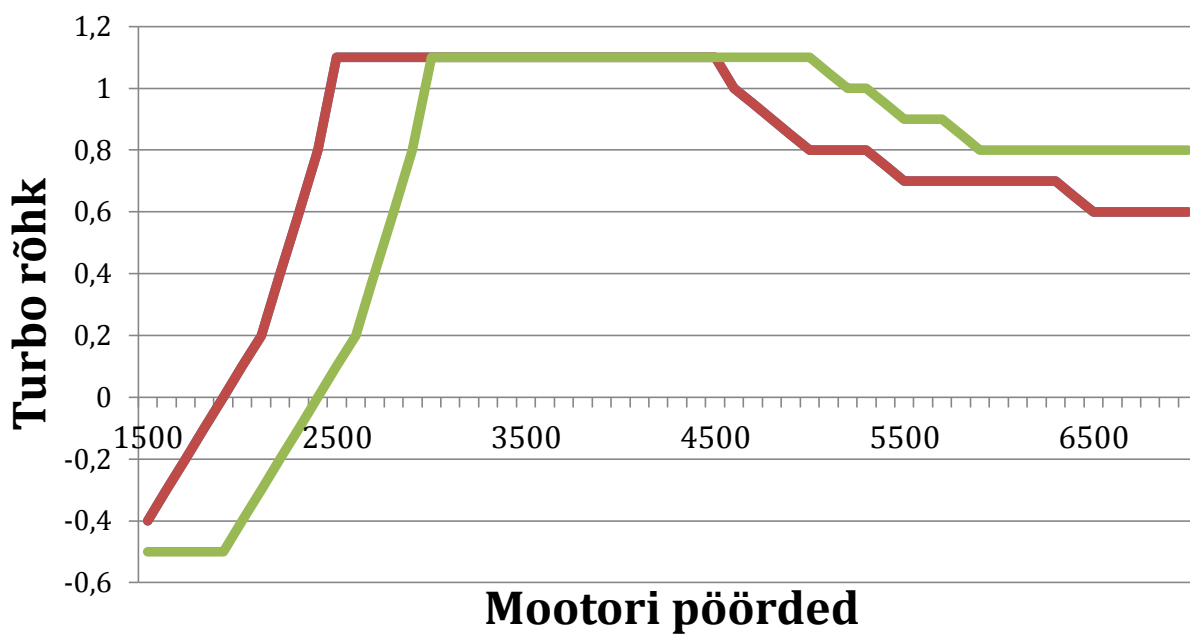


Sele 13. Avatud ahel



Sele 14. Suletud ahel

Positiivseks osaks oli turbo reageerimine mootori tööle. Järgnevalt koostan graafiku turborõhu muutuste kohta täiskoormustel (drossel 100% avatud).

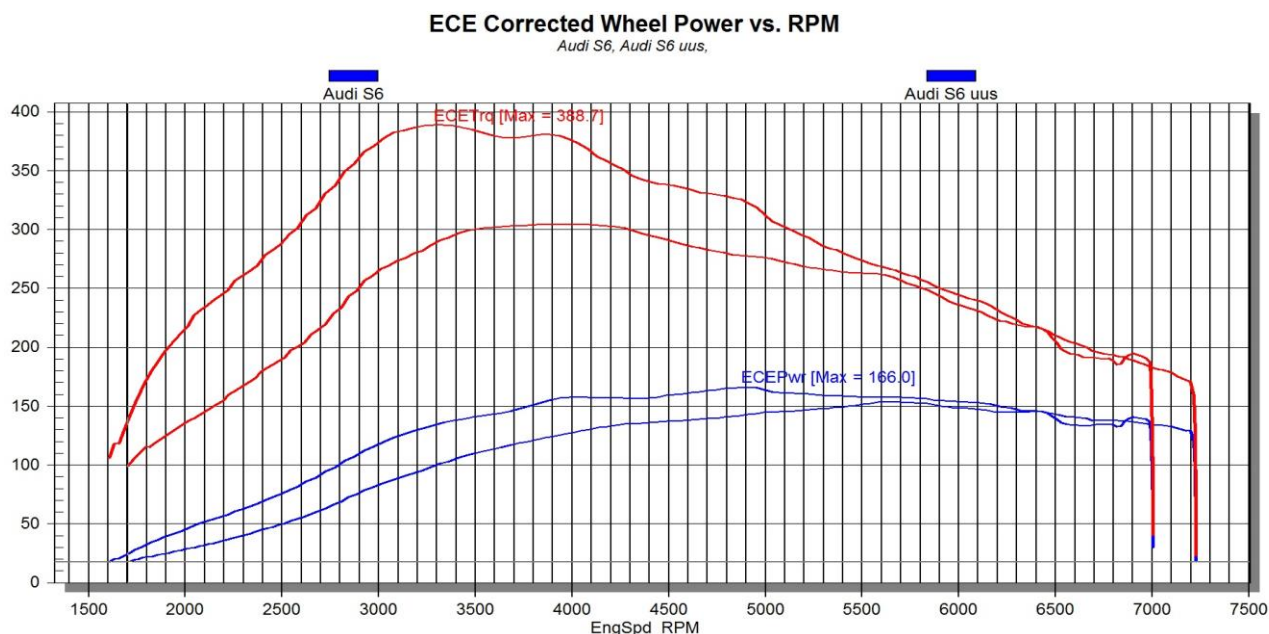


Sele 15. Turbo rõhu muutus (roheline 2,2L, punane 2,5L)

Turbo reageerib mootori tööle kiiresti, ehk 500 pööret varem. See muudab auto tänavaliikluses väga hästi sõidetavaks, arvestades, kui palju auto kaalub. Tulenevalt väändemomendist on auto madalatel pööretel väga jõuline. Maksimaalne ülelaaderõhk saavutatakse juba 2500 pöörde juures. Küll aga jääb kõrgetel pööretel turbo tootlikkusest väheks, kuna rõhk hakkab üsna kiiresti langema, kuid mootori töös on tunda endiselt potentsiaali rohkemaks. Samuti ei valmista kõrged pöörded probleemi kütusesegu moodustamisel, kuna kütusepump ja -pihustid on piisavad, et täiskoormusel hoida kütusesegu 12,3-12,5 vahemikus (λ 0,85). Teades neid andmeid ja olles kindel mootori ohutuses, otsustasin ära mõõta mootori jõudluse.

6.1 Uus võimsus ja väändegraafik

Vana mootoriga sai võimsuseks mõõdetud 153 kW ratastelt, eesmärgiks oli 165kW. Tulemus võimsuse arvelt oleks võinud veidi rohkem olla, aga pöördemomendi osas tulid head tulemused. Graafikul on toodud võrdluse originaaliga. Alumised jooned (sinine ja punane joon) on mõõdetud enne modifikatsioone. Ülemised (sinine ja punane joon) on peale tehtud töid. Punane kajastab väände kõverat ja sinine võimsuse kõverat.



Sele 16. Väände ja võimsuse graafik võrdlus.

Lõpptulemuseks oli võimsus 166kW 4850 pöörde juures ja maksimaalne väändemoment 388,7 Nm 3250 pöörde juures. Seega sai püstitatud eesmärk ka täidetud. Maksimaalne võimsus tuli 800 pöörde võrra madalamale. Pöördemomendi maksimaalne väärtus tuli 250 pööret madalamale. Viimase osas on muutus suurem, tervelt 22%, eriti madalatel pöördel. Võimsuse osas oli muutus

8%. Eesmärgi teine pool, sõita lõppkiirusvõistlusel 230 km/h või enam, on hetkel veel välja selgitamata, kuna võistlus toimub alles augustikuus.

Tabel 6

Kahe mootori võrdlus

Tehnilised mootori näitajad	AAN algselt	AAN hiljem
Silindri läbimõõt (mm)	81	81,5
Kolvi käik (mm)	86,4	95,5
Silindrite arv	5	5
Kepsu pikkus (mm)	144	144
Maksimaalsed pöörded (p/min)	7200	7000
Kepsu ja kolvikäigu suhe	1,666	1,508
Töömaht (cm ³)	2226	2491
Põlemiskambri ruumala (cm ³)	45,5	45,5
Kolvi nõgususe ruumala (cm ³)	1	15,25
Silindri ruumala (cm ³)	445,22	498,2
Kogu silindri ruumala ÜSS (cm ³)	53,7	69,25
Surveaste	9,3	8,2
Võimsus (kW)	153 (5650 p/min)	166 (4850 p/min)
Väändemoment (Nm)	304 (3500 p/min)	388 (3250 p/min)
Kaalu ja võimsuse suhe (kg/kW)	12,1	11,1

6.2 Kütusekulu muutus

Kütusekulu mõõtmiseks sai teostatud kaks katset:

- Üks oli tavasõit linnaliikluses madalatel pööretel kõrge käiguga. Palju pidurdusi, paigaltvõtmisi, külmkäivitusi, väikesed läbisõidud linnaliikluses. Kokku tegin sellist katset 5 päeva, iga päev 20 km läbisõitu tööle ja tagasi. Kokku läbisin 100 km, sõitsin iga päev sama marsruuti, vältisin järske pidurdusi ja jõulisi kohaltvõtte.
- Teine katse oli maantee sõit, mille kogupikkuseks oli 402 km ehk sõit Lõuna-Eestisse ja tagasi. Samuti vältisin möödasõite, enamus teel läbitud kiirusest oli 90km/h.

Kogu katsete aja proovisin hoida ühte ja sama sõidustiili ja -joont. Küll aga olid katsete läbiviimise ajal teeolud ja temperatuurid erinevad. Vana mootoriga katse tegin veebruarikuu alguses, uue mootoriga aga aprilli lõpus, mil autol olid all juba suverehvid ja teeolud olid kuivad. Mõlema katse

ajal oli autos reisijate arve sama, ehk siis sõitsin üksinda. Kütusekulu mõõtmiseks kasutasin nii auto enda kompuutri näitu kui ka arvutuslikku meetodit. Tankides panin paagi täis enne katset ja ka peale katset. Kahe tankimise vahel arvestasin kütusekulu tulemuse.

Tabel 7

Kütusekulu

Kütusekulu	Vana mootor	Uus mootor
Keskmine temperatuur °C	-1	7
Linnas L/100km	14,5	15,8
Maanteel L/100km	9,0	9,8
Keskmine L/100km	10,5	11,0

Seega on tulemuseks suurenenud kütusekulu, mis oli ka eeldatav, kui tõsta töömahtu 10,6% ja parandada täiteastet. Mootori juhtaju on võimeline muudatustega kaasa tulema, kuna kütusesegu moodustamiseks arvestab see ka õhumassimõõtja, temperatuuri ja lambda näitused.

7. PROJEKTI MAKSUMUS

Tabel 8

Toon välja kogu töö maksumuse tabeli kujul.

Nimetus	Kogus	summa €
Erinevad tihendid mootori juures	18	108
Mootori kandepadi	2	64
Plokikaane poldikomplekt ARP	12	190
Raami kaela poldid	12	13,5
SFS vaakumvoolik 4mm (m)	2	1,5
Pikilõtku liuglaagrite komplekt	1	9
Raami liuglaagrite komplekt	1	30
Kepsu liuglaagrite komplekt	1	120
Terasest hammasratas	1	175
Õlipump OE	1	430
Nukkvõllid 7A mootor	2	200
Väntvõll AEL mootor	1	100
Väljalaske kollektor	1	40
Kolvid JE koos kolvirõngastega ja sõrmedega	5	823
Kepsud H-profiil	5	390
Õli tagasivoolu klapp	1	14
Mootori õli Motul 5W-40 300V POWER (L)	6	47
AEL Diisli otsaratta polt	1	10
Mootori plokitööd	1	730
Plokikaanetööd	1	550
Töötunde (h)	60	180
Kokku		4225

Kuna antud töö oli minu jaoks esmakordne, siis algselt plaanisin summaks täpselt poole vähem kui see tegelikkuses tuli. Samuti tekkis ootamatuid kulutusi seoses detailide lahtivõtmisega, näiteks nagu uuendamist vajav õlipump, rihmaratas, väljalaskekollektor ja veel mõned väiksemad varuosad, millega ma ei olnud arvestanud. Õlipump oli ülemäära kulunud, vanal väljalaskekollektoril olid mõrad sees, mootori kandepatjadest lekkis õli ja need tekitasid vibratsiooni autokeresse. Seega tuli ka need välja vahetada. Samuti olin planeerinud vähem kulutusi plokikaane- ja plokitöödele.

Kindlasti tuleb märkida, et antud varuosa hinnad on tabelis toodud juba minule kehtivate allahindlustega, väga palju loevad sidemed ja tutvused. Inimene, kellel pole selliseid võimalusi, peaks kindlasti projekti maksumusele juurde lisama 15-20%.

Seega võib öelda, et iga juurde võidetud kW võimsuse hinnaks kujunes:

$$166-153=13\text{kW}$$

$$\frac{4225}{13} = 325\text{€}$$

Seega on iga kW võimsuse maksumuseks 325 eurot. Mis ei ole sugugi mõistlik summa, arvestades teisi lihtsamaid ja odavamaid meetodeid, saavutamaks samasugust jõulisa. Kuna tegemist oli lõputöö ja õpiprojektiga, siis oma teadmiste saavutamiseks olid kulutused siiski põhjendatud. Lihtsamateks moodusteks on näiteks turborõhu tõstmine, kütusetabeli ümber kirjutamine, sisselaske- või väljalaskesüsteemi muutmine. Need eelpool nimetatud viisid annavad sama võimsuse kasvu tunduvalt odavamal viisil.

8. KOKKUVÕTE

Antud töö eesmärgiks oli mootori forsseerimise ja parameetrite muutmisega saavutada 165kW, püüdsin saavutada kogu soovitud võimsuse sisepõlemismootori modifitseerimisega, jättes välja välised elemendid, nagu näiteks sisselaske- ja väljalaskesüsteem. Samuti sõita saavutatud võimsusega lõppkiirusvõistlusel tulemuseks 230 km/h või enam.

Lõputöö esmaseks ülesandeks tuli välja mõelda kontseptsioon, kuidas saavutada soovitud võimsus, milliseid varuosi kasutada, teha arvutusi ja palju muud. Seega otsustasin muuta mootori töömahtu kolvikäigu, kolbide ja nukkvõllide muutmisega, sest see parandab mootori väände ja võimsuse näitajaid. Kolbideks tuli kasutada sepiskolbe, mis oli ainuke lahendus, kuna ühtegi teist alternatiivi turul ei ole. Väntvõlli ja nukkvõllide osas sai ressursse arvestades mindud teise mootorimudeli ostutoodete kasutamisega.

Mootoriploki ettevalmistamiseks tuli see kolbide jaoks õigesse mõõtu puurida koos ette antud silindrilõtku tolerantsiga 0,1016mm. Plokikaanel ja plokil oli vajalik lihvida kontaktpinnad sirgeks, et kaotada ebatasasused. Plokikaanes selgusid puhastamise käigus mõrad küünlapesades, mis aga ei seganud mootori edasist tööd. Väntmehhanismi mõõtmisel selgus, et toode vajab lihvimist, et kepsu liuglaagrite lõtkud oleks lubatud piirides. Mootori komplekteerimisel arvestasin mootori kui terviku eluea maksimeerimisega, järgides kõiki tolerantse ja ette antud kulumispiire.

Lõpptulemuseks võib öelda, et tulemus 165kW sai saavutatud reaalse tulemusega 166 kW mootorist. Suurem võit tuli pöördemomendist kui võimsusest. See aga muudab auto tunduvalt mugavamaks tänavaliikluses sõitmiseks. Samuti kaasnes sellega ka kütusekulu märgatav tõus. Lõppkiiruse ühe miili sõidul 230 km/h või enam tulemuse teadasaamiseks tuleb ära oodata võistlus augusti kuus.

9. SUMMARY

The aim of my final thesis was changing the parameters and boosting the engine to achieve power of 165 kW. I tried to achieve the total desired power by modifying of the internal combustion engine, excluding the elements like, for example, intake and exhaust system. Also to drive achieved power in top speed competition with results of 230 km/h or more.

The first task of my final thesis was to figure out the conception of how to achieve desired power, which spare parts I have to use for this purpose, make calculations etc. I decided to change engine's cylinder capacity by modifying the stroke, changing the pistons and camshafts, because it improves the characteristics of the engine's torque and power. I had to use forged pistons. It was the only solution, because there is no other alternative on the market. For economic reasons, I used crankshaft and camshafts, which were produced by another manufacturer.

For the preparation of the engine block, I had to re-drill the cylinder bores with a predetermined piston size and clearance, which was 0,1016 mm. To eliminate any unevenness, I had to grind the contact surfaces of the cylinder head and engine block. During the cylinder head cleaning, some cracks occurred in the spark plug holders, but they did not interfere with the engine's work. It revealed in the crank measurement, that the product needs polishing to make sure that the clearances of the plain bearings will fit within acceptable limits. In the composing of the engine, I took into account maximizing the lifetime of the whole engine, observing all predetermined wear limits and tolerances.

In conclusion, the aim (165 kW) was achieved with a real result 166 kW at the wheels. I better results in torques figures than in power. This, however, makes the car much more comfortable in everyday road driving. Also, the result was considerable increase in fuel consumption. Final speed in one mile challenge resulting 230 km/h or more, i must wait until august when race is being arranged.

10.VIIDATUD ALLIKAD

1. Autonduse käsiraamat (Fachkunde Kraftfahrzeugtechnik ,30th edition) 2014
2. AAN Workshop Manual (edition 07.91) 1991
3. 20V Camshaft Specifications [WWW]
<http://forums.quattroworld.com/s4s6/threads/8182.phtml>
4. JE Pistons Manufacturers quality Forged Pistons [WWW]
<http://www.jepistons.com/>
5. The Motor Vehicle, Reed Educational and professional publishing, 2001
6. Metallioõpetus, P. Kulu, TTÜ Kirjastus, 2005
7. Vehicle and engine technology, Second edition, Heinz Heisler, 1999
8. Piston Anatomy – Tech Knowledge [WWW] 07.10.2011
<http://www.superstreetonline.com/how-to/engine/impp-1110-piston-anatomy-tech-knowledge/>
9. Automotive Handbook 8th edition, Robert Bosch, 2011
10. “Mootorsõiduki ja selle haagise tehnonõuded ning nõuded varustusele” lisa 2 [WWW]
https://www.riigiteataja.ee/aktilisa/1160/6201/1008/MKM42_lisa2.pdf#
11. Gasoline Engine Management, systems and components, Konrad Reif, 2015
12. Autode määrdeained, Mihkel Naams, 2012

LISA 1. SEPISKOLVI TELLIMIS ANKEET

Attn: (JE Sales Associate)

SAL-1021



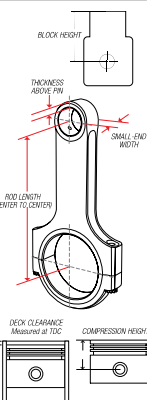
Custom Piston Order Form

8 Mason, Irvine, CA 92618, USA • TEL (714) 898-9763 • FAX (714) 893-8297 • www.jepistons.com

Engine Make: _____ Model: _____ Year: _____
Number of Cylinders: _____ Order Quantity of Pistons: _____
Cubic Inch Displacement: _____ Max RPM: _____ Approx. HP: _____
Bore Material: _____ Max Torque: _____
☐ Aluminum ☐ Iron ☐ Steel ☐ Nikasil
Bore Size: _____ Stroke: _____
Rod Length: _____
☐ Steel ☐ Aluminum ☐ Titanium
Brand: _____
Rod Small-End Width: _____
Thickness Above Pin: _____
Piston Guided Rod ☐ Yes ☐ No

Compression Height Calculation Table

Block Height: _____
-1/2 of Stroke: _____
Rod Length: _____
Deck Clearance +/-: _____
Compression Height: _____



Head Gasket Thickness: _____
Head Gasket ID: _____
Compression Ratio: _____
CAMSHAFT SPECS: ☐ Hydraulic ☐ Solid ☐ Roller
Gross Valve Lift: In: _____ Ex: _____
Lobe Separation (°): _____ Duration @.050: In: _____ Ex: _____
Degreed in Std. °: + _____ ° - _____ °
Valve Lift @ TDC: In: _____ Ex: _____
CYLINDER HEAD Type: _____ Pt#: _____
Combustion Chamber Size: _____ cc's
Valve Diameter: In: _____ Ex: _____
Free Drop (If Known): _____
Was Cylinder Head Milled?: ☐ Yes ☐ No
If Cylinder Head Was Milled, How Much?: Flat: _____ Angled: _____

Piston Type (Circle One If Known):

☐ Dome ☐ Flat Top ☐ Dish ☐ Inverted Dome
☐ Conical ☐ Spherical ☐ Round ☐ 3D

Pistons Designed For: ☐ Circle Track ☐ Asphalt ☐ Dirt
☐ Drag Race ☐ Road Race ☐ Marine ☐ Street/Strip
☐ Other (Please Specify): _____

Is Your Motor:

☐ Carbureted ☐ Injected
☐ Turbo Charged: Lbs. Boost: _____ ☐ Blown: Lbs. Boost: _____
☐ Nitrous - How Much HP: ☐ 100 ☐ 250 ☐ 350 ☐ 400+
☐ Other (Please Specify): _____

Fuel Type: ☐ Pump Gas ☐ Race Gas ☐ Alcohol ☐ Nitro

REV NC

Purchasing Rings with Order: ☐ Yes ☐ No Cylinder Qty: _____

If **NOT** Purchasing Rings, Please Provide Ring Set Brand and Part Number: _____

Axial Ring Height: **AXIAL RING HEIGHT**
Top: _____ 2nd: _____ Oil: _____

Radial Ring Widths: **RADIAL RING WIDTH**
Top: _____ 2nd: _____ Oil: _____

OPTIONAL FEATURES

*For details on custom piston features and terminology refer to catalog pages VIII and IX

Gas Ports; Vertical: _____ Spin Boss: _____
Gas Ports; Lateral: _____ Window Mill: _____
Accumulator Grooves: _____ Skirt Coating: _____
Contact Reduction: _____ DBL Pin Oilers: _____
Oil Rail Supports: _____ Pin Fit: _____

PIN SPECS

Pin Diameter: _____ Length: _____ Wall Thickness: _____ Qty: _____
Pins With Order: ☐ Yes ☐ No Pin Fit: ☐ Yes ☐ No
Pin Series: ☐ 51 ☐ 52 ☐ 72 ☐ 93 ☐ 94 ☐ 95 ☐ 44

Locks: ☐ Double Spiro Lock ☐ Wire Lock ☐ Tru Arc ☐ HookWire
☐ Single Spiro Lock ☐ Single Tru Arc ☐ Buttons

JE Pistons reserves the right to choose the appropriate pin length if supplying pins per each piston design.

Expedite Service (Does not apply to components)
☐ 7 Day + 25% ☐ 5 Day + 40% ☐ 3 Day + 50%

BILLING INFORMATION

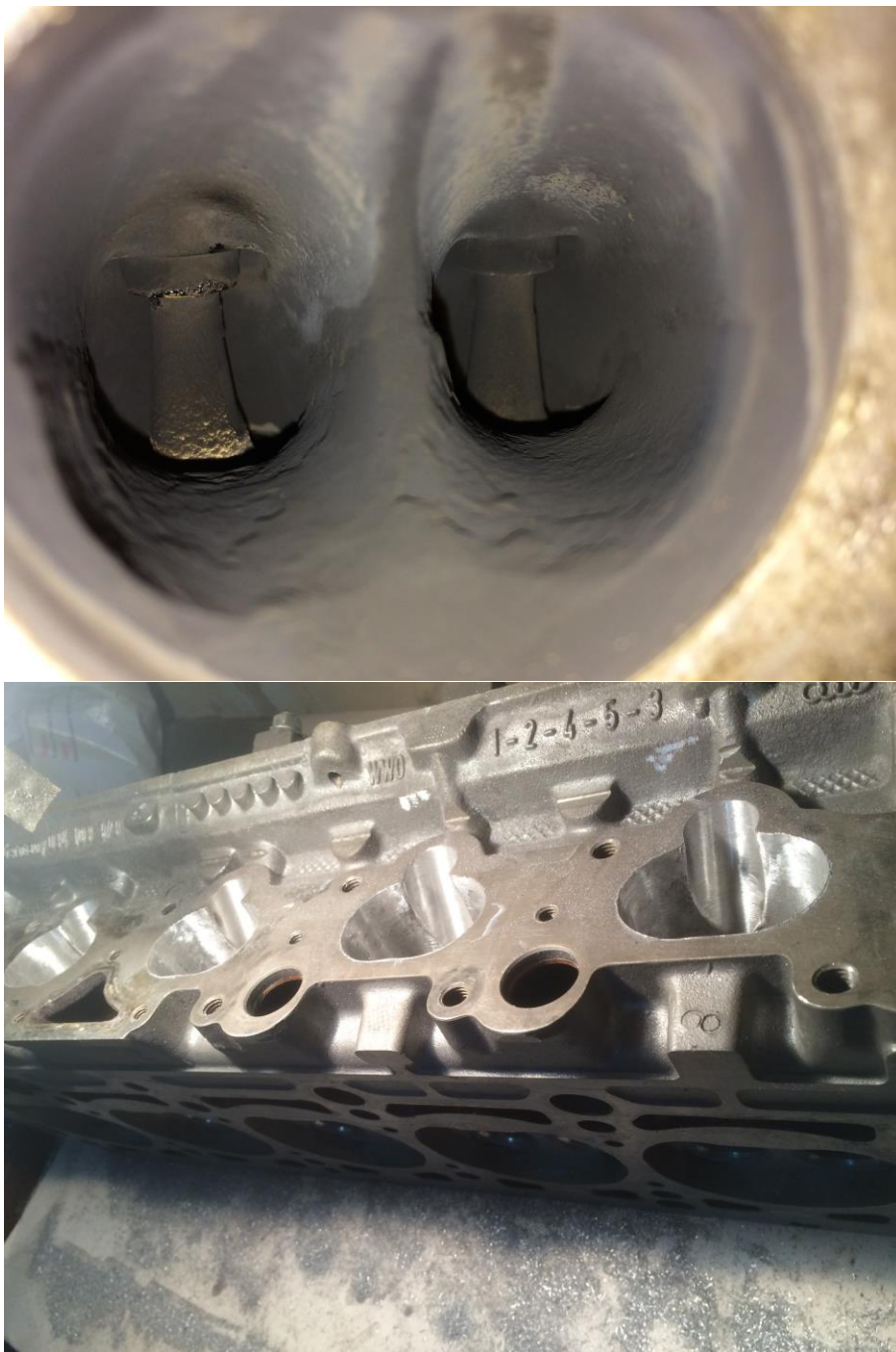
Bill To: _____ Acct #: _____
Address: _____
Ship To: _____ Acct #: _____
Address: _____
Phone: _____ Fax: _____
Ship Method: _____ P.O. #: _____
CC#: _____ CVC#: _____
Name On Card: _____ Exp: _____
Deposit Amount (50% req.): _____ Billing Zip Code: _____
Signature: _____ Date: _____
Customer's Email address: _____

RETURN POLICY: Custom pistons are returnable only for defects in workmanship or materials in the as received condition. Under no circumstances will parts be returnable after 90 days. Please check packaging for complete details regarding return policy. All returns require "Return Materials Authorization" (RMA) number, available from the JE sales department.

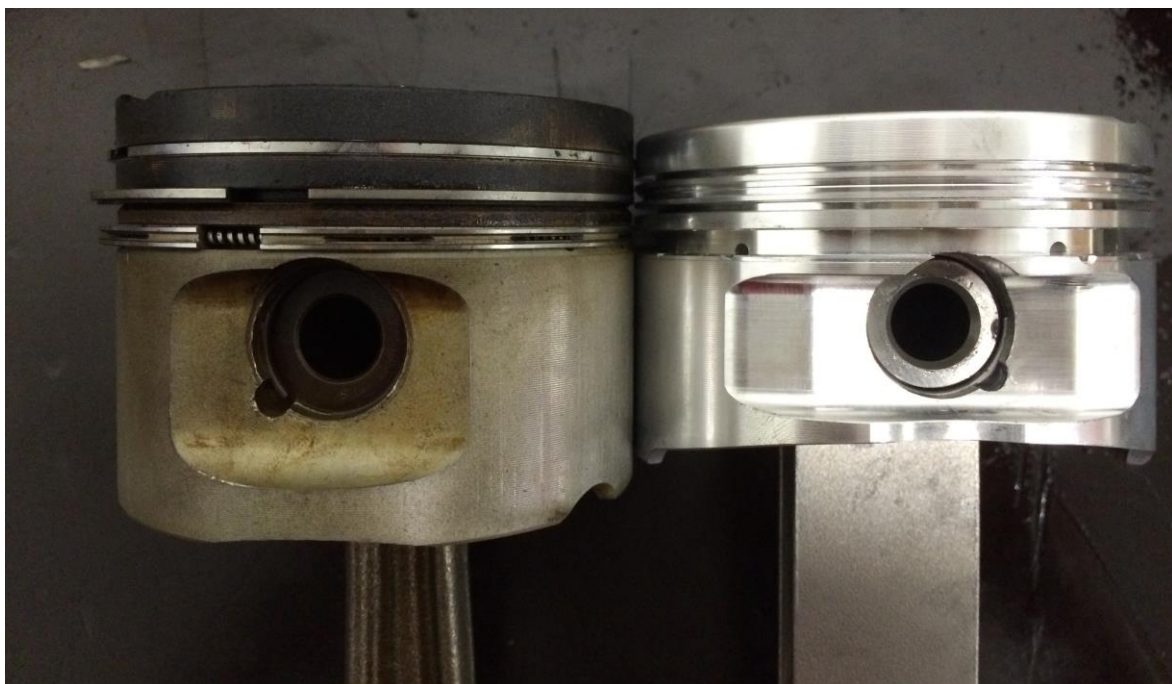
LISA 2. ALGSE JÕU JA VÄÄNDEMOMENDI MÕÕTMINE



LISA 3. PÕLENUD VÄLJALASKE KANAL JA PUHASTATUD KANALID



LISA 4. JE KOLB JA ERINEVUS ORIGINAALIGA



LISA 5. JE KOLVI JOONIS

