



Sander Preedin

**AUDI V8 MOOTORI
SUUTLIKKUSE TÕSTMISE
ANALÜÜS
KIIRENDUSVÕISTLUSTE
TARBEKS**

LÕPUTÖÖ

Tallinn 2015



Sander Preedin

**AUDI V8 MOOTORI
SUUTLIKKUSE TÕSTMISE
ANALÜÜS
KIIRENDUSVÕISTLUSTE
TARBEKS**

LÕPUTÖÖ

Transporditeaduskond

Autotehnika eriala

Tallinn 2015

SISUKORD

1. SISSEJUHATUS	4
2. KONSEPTSIOON	7
2.1. Lähteülesande seadmine	9
2.2. Turbolaaduri valik	12
2.3. Mootorisimulatsioon.....	15
2.3.1. Turbokaart.....	18
3. TURBOKOMPRESSORIGA SEONDUVAD MUUDATUSED MOOTORILE	24
3.1. Surveaste.....	24
3.2. Väljalaske kollektor	25
3.3. Vahejahuti.....	26
3.4. Toitesüsteem	29
3.5. Süütelahendused	30
3.6. Sisselaskekollektor	31
4. KULUANALÜÜS.....	37
5. JÄRELDUS	38
6. KOKKUVÕTE	40
7. SUMMARY	41
8. VIITED.....	42

1. SISSEJUHATUS

Lõputöö antud teemal on valitud põhjusel, et saavutada kiirendusvõistlustel 12,5 sekundiga veerand miili läbiv auto ning, et koguda kogemusi antud valdkonnas. Teine ja mitte vähem tähtis eesmärk on kinnitada koolis õpitut ja rakendada kogutud teadmised ühte töösse.

Mootor, mida arendada, on Audi nn esimese generatsiooni V8 mootor ning tegu on ottomootoriga. Selle põlvkonna mootorid läksid tootmisesse alates 1988 aastast ja olid täis alumiiniumsulamist mootoriploki peal. Audi esimesed V8 mootorid tulid tehase liinidelt 3562cm³ töömahuga ja arendasid 184kW 4000p/min juures. Nende mootorite edasiarendus mõne aasta jooksul tõstis mootori kubatuuri 4172cm³-ni ja jõudlusnumbrid muutusid 206kW-ni 4000p/min juures. 4.2 liitriise töömahuga mootoreid hakati tootma alates 1991-st aastast ja toodeti aastani 1994. Kubatuur jäi samaks, kuid 7kW lisa saavutati klapi ajami muutmisest ja juhtajus seadistuste muutmisega. Kõik need mootorid on nelja nukkvõlli ja 32 klapi ga, neid juhib Bosch Motronic juhtmoodul ning need on kontaktsüütelahendusega. Selle põlvkonna mootoritest edasiarenduseks valiti viimase ehk 4.2 liitriise 213kW mootori. Viimast kasutati Audi S6 mudelitel 1995-1997 aastatel, kuid see sobib 1:1-le ka Audi V8 mudelile originaalmootori asemele.

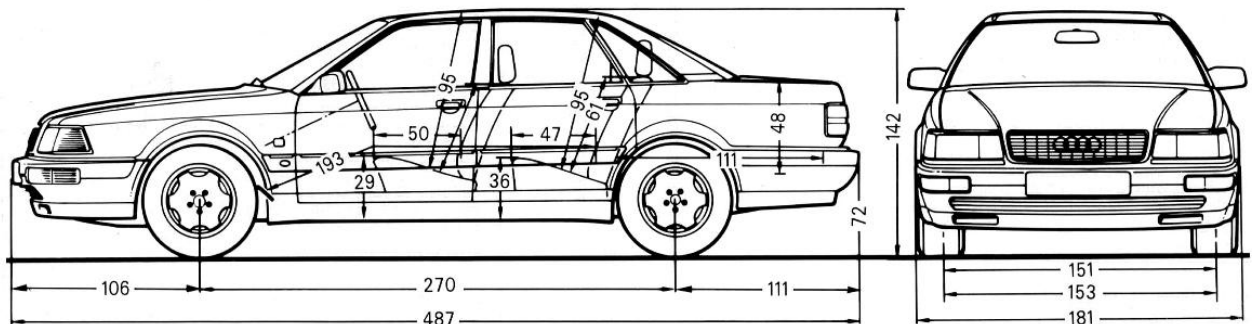
Auto millele antud mootorit plaanitakse muuta, on Audi V8. Antud mudelit hakati tootma 1988 aastal ja toodeti kuni 1994. 1991 aastal sai antud mudel värskenduse, mis kajastus mootorivalikus, käigukastivalikus ja interjööri väikestes muudatustes. Auto on nelja ratta veoga luksussedaan, mis väljendub eelkõige selle suures massis (tühi mass 1710kg). Antud mudeli kasutamise põhjus on võimalus kasutada masinat mõõtmisteks arvestades võimalusi ümberehitamiseks.

Projekti eesmärgiks on üle keskmise kiire tänavaauto, millega oleks võimalik võistelda ka kiirendusvõistlustel. Kiirendusvõistlusel on eesmärgiks seatud läbida 1/4 miili 12,5 sekundiga. Normaali hingamisega mootoriga ja manuaalkäigukastiga autol on veerandmiili läbimise aeg 14,287 sekundit. Selleks, et teada, kui palju võimsust eelnimetatud auto vajab, et läbida 1/4m 12,5 sekundiga, on vajalik teha auto dünaamikaga seotud arvutused, mida käsitletakse alljärgnevas töös.

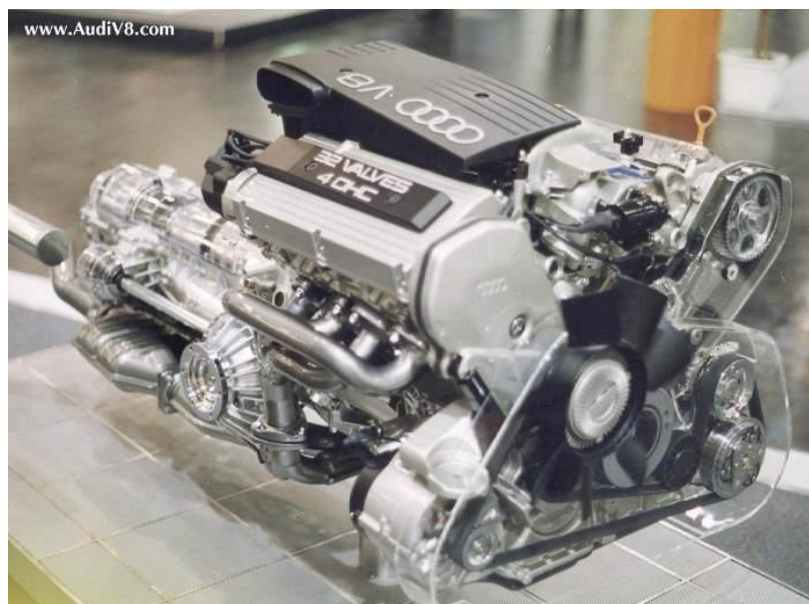
Autol peab pärast neid modifikatsioone säilima kasutusmugavus ehk kõik lisad, mis tulid tehases, peaksid jääma kasutatavateks. See eesmärk seab mõningaid ruumilahendus probleeme, mida tuleb silmas pidada.

Sellise projekti maksumus võiks soovitatavalt jääda 1500-2000€ juurde, kuid see eeldab kasutatud detailide kasutamist. Kui kasutada uusi detaile, tõuseb hind kordades. Seatud finantseesmärkidest tulenevalt välistatakse töös kepsude ja kolbide vahetus nende kõrge hinna tõttu.

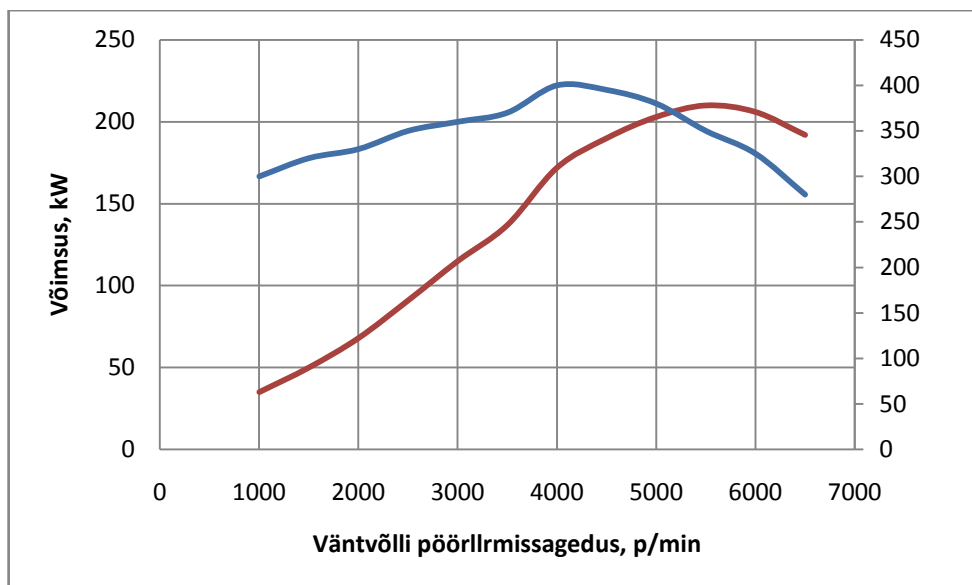
Seda, milliseid modifikatsioone tuleb antud võimsuse saavutamiseks valmistuda, käsitletakse ka alljärgnevas töös.



Sele1: Katseauto mõõtmed



Sele2: Audi V8 mootor [1]



Sele3: Audi v8 mootori väliskarakteristika

Tabel 1.

Katsesõiduki andmed[2] [3]

Auto andmed		Mootori andmed	
Täismass [kg]	2310	Silindrite arv	8
Tühimass [kg]	1710	Kubatuur [cm ³]	4172
Pikkus [m]	4,874	Silindrite asetus	V-90°
Laius [m]	1,814	Kütus	Mootoribensiin
Kõrgus [m]	1,42	Mootori tähis	AEC
Rehvid	205/55R16	Maksimum võimsus	213kW/5800p/min
Kaalujaotus [%]	60,4	Maksimum moment	400Nm/4000p/min
Õhutakistus tegur	0,3	Pöörete piiraja [p/min]	7200
Vedav sild	Nelja ratta vedu	Klapide arv silindri kohta	4
Käigukast	Manuaal	Surveaste	10,8
Käikude arv	6	Silindri diameeter [mm]	84,5
Ülekande arvud		Kolvikäik [mm]	93
Peaülekanne	4,11	Kepsu pikkus [mm]	156
1. käik	3,5	Klapiajastus	
2. käik	1,889	SL-klapp avaneb pärast ÜSS [°]	7
3. käik	1,231	SL-klapp sulgub pärast ASS [°]	29
4. käik	0,871	VL-klapp avaneb enne ASS [°]	31
5. käik	0,667	VL-klapp sulgub enne ÜSS[°]	2
6. käik	0,561	SL klapitõus [mm]	11,2
Tagurpigi käik	3,455	VL klapitõus [mm]	10,55
Lõppülekanne	4,11	SL klapipesa [mm]	31,2
		VL klapipesa [mm]	27,6

2. KONSEPTSIOON

Teoreetiline võimsuse vajadus antud eesmärgile (1) [4];

$$P = F_k \times v = F_k \times \frac{s}{t} \quad (1)$$

Teada saamaks vajatavat võimsust veerand miili läbimiseks 12.5 sekundiga on vaja teada autole vastu töötavaid tegureid nagu veeretakistus, õhutakistus ning kiirendustakistus.

Takistused kokku (2) [4];

$$F_k = F_v + F_{\delta} + F_a \quad (2)$$

Õhutakistusjõud (3) [4];

$$F_{\delta} = 0,5 \times \rho \times c_w \times A(v + v_0)^2, \quad (3)$$

kus F_{δ} [N] -õhutakistusjõud;
 ρ [kg/m³] -õhutihedus (1,29 kg/m³);
 c_w -õhutakistustegur;
 A [m²] -ristlõikepindala;
 v [m/s] -sõiduki kiirus;
 v_0 [m/s]-tuule kiirus.

Veeretakistus (4) [4];

$$F_v = f \times m \times g, \quad (4)$$

kus F_v [N] -veeretakistus;
 f -veeretakistuse koefitsient;
 m [kg] -sõiduki mass;
 g [m/s²] -gravitatsiooni kiirendus.

Kiirendustakistus (5) [4];

$$F_a = a \times m, \quad (5)$$

kus F_a [N] -kiirendustakistus;
 a [m/s²] -kiirendus;
 m [kg] -mass.

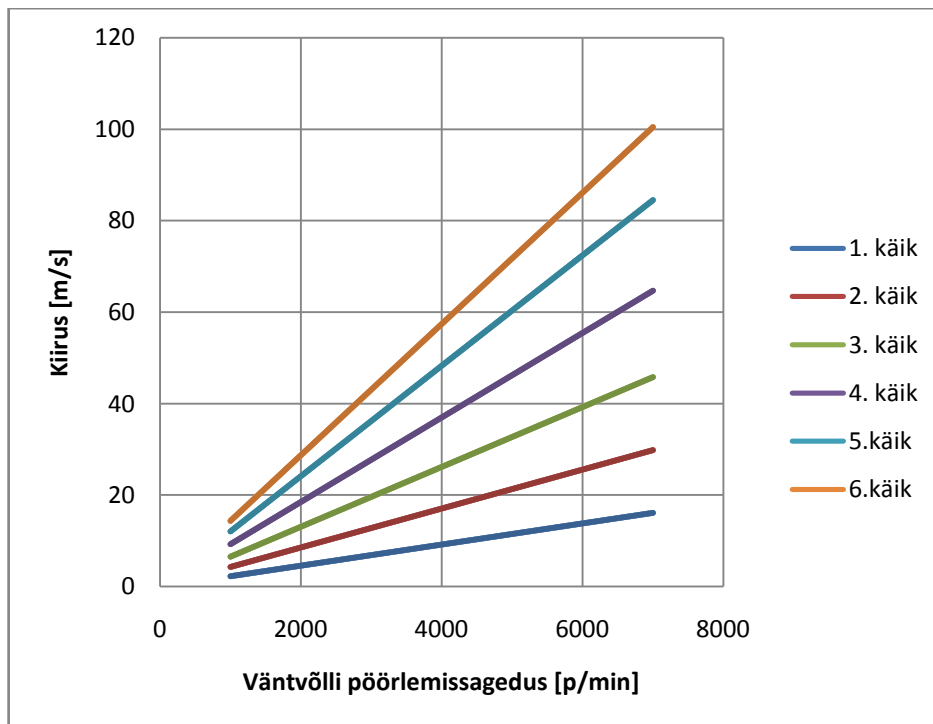
Kiirendusarvutustes kasutatakse kiirendust, mis arvestab haardetegurit, gravitatsiooni kiirendust ja auto kaalujaotust. Arvutustes ei arvesta tõuse või langusi, kuna eeldatakse, et kiirendus toimub horisontaalsel tasasel pinnal. Selle arvutamiseks kasutatakse valemit (6) [4];

$$a = k \times g \times \mu, \quad (6)$$

kus a [m/s²] -kiirendus;
 k -kaalujaotus sildade vahel;
 g [m/s²] -gravitatsiooni kiirendus;
 μ -rehvi haardetegur 0,85.

$$a = 0,604 \times 9,81 \times 0,85 = 5,036 \text{ m}^2/\text{s}, \quad (7)$$

$$F = (f \times m \times g) + (0,5 \times \rho \times c_w \times A(v + v_0)^2) + (a \times m), \quad (8)$$



Sele4. Auto arvutuslik kiirus etteantud ülekandearvudega

Tabel 2:

Võimsuse arvutused erinevatel kiirustel.(7)

4. käik kiirus, m/s	F _õ , N	F _v , N	F _a , N	F _k , N	P, W	P, kW
9,2	35,7	294,6	11634,2	11964,5	384778,7	384,8
18,5	142,8	294,6	11634,2	12071,6	388224,1	388,2
27,7	321,4	294,6	11634,2	12250,2	393966,3	394,0
37,0	571,4	294,6	11634,2	12500,2	402005,3	402,0
46,2	892,8	294,6	11634,2	12821,6	412341,3	412,3
55,4	1285,6	294,6	11634,2	13214,4	424974,1	425,0
64,7	1749,8	294,6	11634,2	13678,6	439903,8	439,9

4. käigu kiirused on valitud põhjusega selliselt, sest nende ülekannetega on võimalik saavutada 180km/h 12,5 sekundi jooksul ning madalamate käikudega antud kiirust ei saavutata. Antud kiiruse saavutamiseks ettenähtud ajaga peab mootor arendama 418,37kW.

Kui vähendada auto massi, siis väheneb ka vajatava võimsuse suurus. Auto läbilõike pindala muuta ei saa, samuti ei saa oluliselt muuta muid tegureid nagu õhutakistustegur ja veeretakistustegur.

2.1. Lähteülesande seadmine

Mootori võimsuse tõstmiseks on võimalik kasutada erinevaid tehnilisi lahendusi. Alljärgnevalt neid analüüsitakse ja tehakse valik antud konseptsioonile.

Lahendused, millele võiks mõelda vajaliku võimsuse saavutamiseks: pöörete tõstmine, keemiline ülelaadimine, töömahu suurendamine, rootskompressori lisamine, tsentrifugaalkompressori lisamine või turbolaaduri kasutamine.

Pöörete suurendamine on antud valikust kõige ebaotstarbekam ja kalleim valik, seda just kulutatud raha/võimsuse saavutamise suhte pealt. Mootori pöördeid tõstes suurenevad vääntvõllile mõjuvad inertsiaal jõud ja klapi ajamit tuleb modifitseerida. Võimsuse kasv oleks umbes 10% [5]. Turbo.ee internetileheküljel viitab, et mootori töö kiirendamisel kasvab kadude määr pumpamisel ja teistel tööoperatsioonidel, mis toob kaasa töö efektiivsuse languse. Antud valik ei sobi, kuna ei saavutata soovitud võimsust.

Töömahu suurendades kasutades pikemat kolvikäiku, lühemat kepsu või madalamat kolbi, ei ole mõistlik kasutada seepärast, et võimsuse kasv ei tule piisav eesmärgi saavutamiseks. Võimsuse kasv

oleks taas umbes 10% [5]. Pikem kolvikäik suurendab ka silindriseintele mõjuvaid jõude. Valik ei sobi, kuna ei saavutata soovitud võimsust.

Rootskompressoriga on võimalik saavutada ettenähtud võimsust, kuid kuna tegu on Euroopas vähe levinud süsteemiga, siis antud mootorile sobivat kompressorit on väga raske leida.

Alljärgnevas tabelis (Tabel 3) on välja toodud lahendused, millega on võimalik saavutada etteantud võimsus.

Tabel 3

Võimsuse tõstmiseks võimalikud valikud [6],[5]

	Keemiline ülelaadimine	Turbokompressor	Tsentrifugaal-kompressor
Plussid	Uuena saadaval tellimisel	Saadavus hea	Uuena saadaval tellimisel
	Pihustite suurendamisega lihtne võimsuse lisamine	Võimsuse tõstmine ülelaaderõhu tõstmisega	Võimsust saad tõsta rihmaratta läbimõõdu muutmisega
	Lihtne paigaldus	Reduktsiooniklapp tihti integreeritud	Ühtlane võimsusgraafik
	Võimsuse rakendumine süsteemi aktiveerimisel	Lihtne ülelaaderõhu juhtimine	Ei ole viivitust, kiirendusgraafik on ühtlane
	Võtab vähe ruumi	Suurim võimalik võimsuse kasv.	Lihtne paigaldus
	Kütusekulu ei muutu, kui ei ole süsteem aktiveeritud	Turbokompressor kasutab energiat mis muidu jääks kasutamata	Pole VL-torustikuga seotud
			Parem käivitus
			Ühtlane võimsusgraafik
Pole VL-torustikuga seotud			
Miinused	Mahuti/ballooni täitmine	Kulutused suuremad tänu lisadetailidele	Sobiva agregaadileidmine
	Piiratud reserviga	Ruumipuudus paigaldusel	Võimsuskaod seadme käitamiseks
			Võimsuskaod kõrgematel pööretel
			Kasutatult halb saadavus
			Kulukas soetada

Kaaludes erinevaid süsteeme valitakse turbokompressori kasutamise. Valiku peamiseks põhjuseks on hea saadavus ning ümberehituse soodsam hind võrreldes teiste süsteemidega.

2.2. Turbolaaduri valik

Vajaliku õhukoguse leidmine etteantud võimsuse saavutamiseks (9) [5];

$$Q = P \times \frac{A}{F} \times BSFC, \quad (9)$$

kus	Q [kg/s]	-õhukogus saavutamaks etteantud võimsust;
	A/F	-kütusesegu;
	$BSFC$ [g/kWh]	-kütusekulu konstant (365g/kWh);
	P [kW]	-võimsuse vajadus.

Valemi (9) põhjal tuleb soovitud õhu koguseks;

$$Q = 418,37 \times 12,5 \times 365 = 0,530 \frac{kg}{s} = 31,81 \frac{kg}{min}. \quad (10)$$

Absoluutse rõhu sisselaske kollektoris leidmine (11) [7];

$$p_{abs} = \frac{Q \times R(273 + T_m)}{V_e \times N \times V_d}, \quad (11)$$

kus	p_{abs} [Pa]	-absoluutne rõhk sisselaskekollektoris;
	R	-gaasikonstant;
	T_m [K]	-sisselaskekollektori temperatuur;
	V_e	-mootori täiteaste;
	N [p/min]	-mootori pöörete arv ajaühikus;
	V_d [m ³]	-mootori kubatuur.

$$p_{abs} = \frac{31,81 \times 0,287(372 + 328)}{1,1 \times 7200 \times 0,004172} = 112836,13 Pa = 1,13 bar \quad (12)$$

Eesmärgiks saadud võimsuse saavutamiseks on vaja mootori sisselaskekollektoris 1,13bar ülerõhku.

Esmalt tuleb selgeks teha mõned algtõed- mis on rõhutõusuaste (*pressure ratio*), õhuvoolu suhtarv (*airflow ratio*), õhutiheduse suhtarv (*density ratio*) ja kompressori efektiivsus (*compressor efficiency*).

Eelnevalt arvatud absoluutse rõhu järgi on vajalik teada õhurõhk mootorisse. See näitab, et soovitud võimsuse saavutamiseks peab mootorisse jõudma 113% rohkem õhku, kui mootor seda originaalis tarvitab.

Õhutiheduse koefitsiendiga näeme, kui tihedaks surub kompressor atmosfäärist saadud õhu. Mida tihedamalt suruda õhku mootorisse, seda rohkem saab silindrisse õhu ja kütuse segu. Õhku kokku ja läbi ülelaadeseadmete surudes, aga õhu temperatuur tõuseb. Õhu temperatuuritõus tähendab seda, et õhumolekulid on õhumassis hõredamalt, mis vähendab omakorda silindri täiteastet. Võimalik on õhu temperatuuri madalamaks saada kasutadesõhu vahejahutit (*intercooler*).[5]

Õhuvoolu suhtarvu on võimalik arvutada järgnevalt. Esmalt arvutatakse, kui suur on õhuvoolu suhtarv normaallaadimisega mootoril. Valitakse pööretearvud nii, sest 7200p/min on tehastest antud mootori pööretepiiraja ja 3600p/min on see jagatud kahega (14) [5];

$$q_a = L \times N \times 0,5 \times E_v, \quad (13)$$

kus	q_a [l/min]	-mootori õhutarve
	L [l]	-mootori töömaht liitrites;
	N [p/min]	-pööretearv
	E_v	-silindri täiteaste;
	0,5	-on neljataktilisel mootoril näitaja, mis näitab, et silindrisse lastakse õhk üks kord kahe täisringi (720° jooksul).

$$q_{a7200} = 4,172 \times 7200 \times 0,5 \times 0,85 = 12766,321/\text{min}, \quad (14)$$

$$q_{a3600} = 4,172 \times 3600 \times 0,5 \times 0,85 = 10283,981/\text{min}.$$

Nüüd on võimalik arvutada turbokompressoriga ülelaetud mootori õhutarve, kasutades ära eelnevad tulemused. Mõlemad arvutakse jälle kahel erineval pöördel (15) [5];

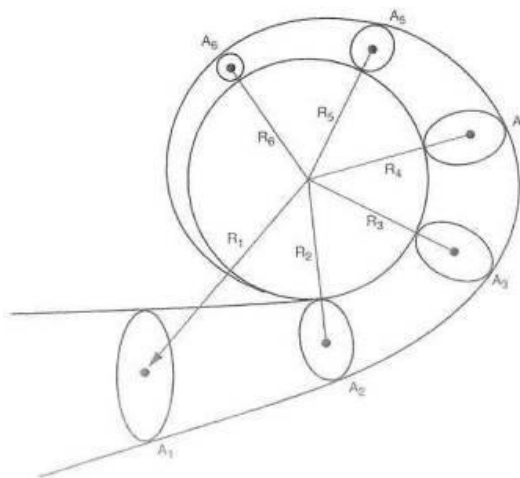
$$q_{at} = q \times \text{rõhutõusuaste} \quad (15)$$

$$q_{at7200} = 12766,32 \times 2,13 = 27064,591/\text{min},$$

$$q_{at3600} = 10283,98 \times 2,13 = 13532,29 \text{ l/min}.$$

Kompressori efektiivsus näitab, kui efektiivselt suudab kompressor pumbata õhku, ilma seda liigselt määral soojendamata, vastasel juhul kaotatakse hõreda kuumenenud õhu tõttu mootori võimsuses. Mida kõrgem on kompressori efektiivsus, seda madalam on tema poolt surutud õhu temperatuur. Üldiselt peaks vahejahutita turbokompressori efektiivsus olema vähemalt 60%, vahejahuti olemasolul võib see olla ka veidi madalam.[5]

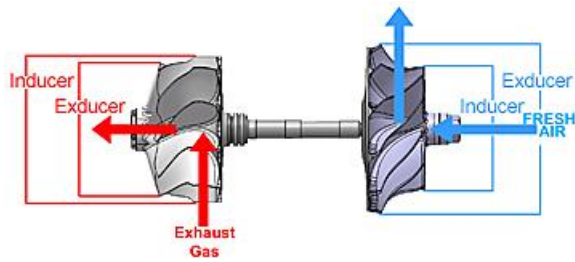
Kui kompressori osa on valitud, tuleb leida veel sobiv turbiini osa. Tähtsamad näitajad, mida jälgida on pindala-raadiuse suhe (*A/R ratio*), mis on turbiini ristilõike pindala jagatud raadiusega turbiini keskmest(Sele5).



Sele5. Turbokompressori turbiini pindala-raadiuse suhe [5]

Kehtib üldine seadus nii- kui on suur pindala-raadiuse suhe, siis rakendub turbokompressor aeglasemalt ehk nõ „*spoolib kauem*”, see-eest aga toodab rohkem rõhku, väiksema suhtega rakendub ülelaadeseade varasematel pööretel. Miinuseks sellisel juhul on see, et kõrgetel pööretel avaldab turbiin juba nii palju vastusurvet ja eraldab kuuma, et kompressori kasutegur langeb.

Veel tuleb jälgida *Trim*-i, see on võlli labade kitsama osa (*inducer*) ja laiema osa (*exducer*)suhe. Trim on nii turbiini osal, kui ka kompressori osal (Sele6. Trim Sele6).



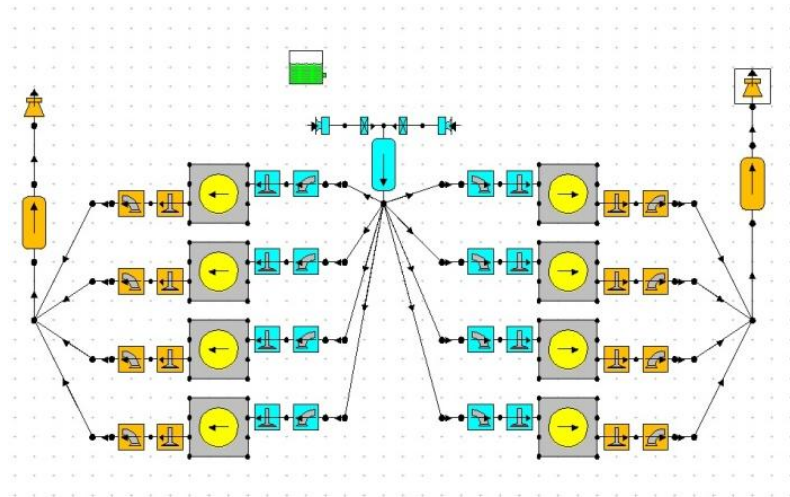
Sele6. Trim [8]

Kõrgem *trim* on parema voolavusega kui väike, mis omakorda tähendab, et hea voolavusega rakendub turbokompressor kiiremini.

2.3. Mootorisimulatsioon

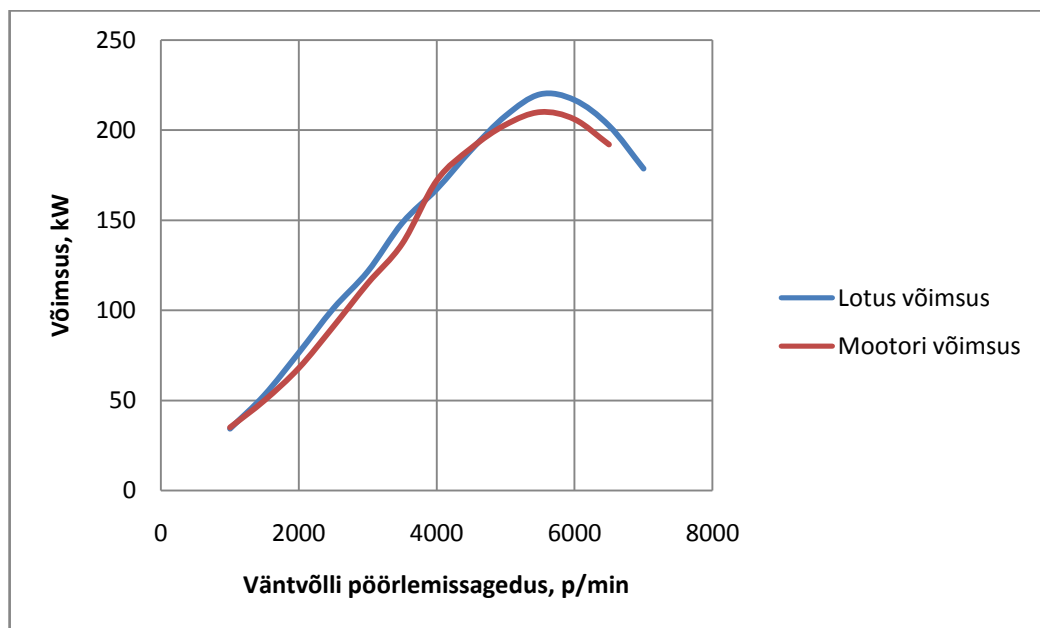
Lotus on loonud simulatsiooniprogrammi nimega Lotus EngineeringSoftware, mis hõlmab endas Lotus EngineSimulation-it. Programm on välja töötatud nii, et sellega on võimalik ennustada mootorite tööd ja võimekust. Sisestades programmi vajatavad parameetrid, arvutab antud programm muuhulgas mootorite võimsust ja pöördemomenti erinevatel pööretel, plokikaante voolavust, sisselaske- ja väljalaskesüsteemide muutusi ja palju muud. Erinevaid parameetreid on võimalik muuta kümnetuhandiku täpsusega. Antud tööd kirjutades kasutati versiooni v5.06.

Esimene simulatsioon tehti kasutades mootori originaaldetaile mõõdistades saadud mõõtudest ja kirjandusest saadavatest andmetest. Nii sai sisestada vajalikud parameetrid ja panna programmi vastavaid väärtuseid arvutama. Originaalmootori näitajad olid vajalikud selleks, et saaks võrdlusmomendi simulatsiooni ja tehaseandmete vahel ning arvutada võimaliku vea. Viga võib tulla ebatäpsest mõõtmistulemusest arvutusmetoodika erinevustest või materjalide erinevusest.



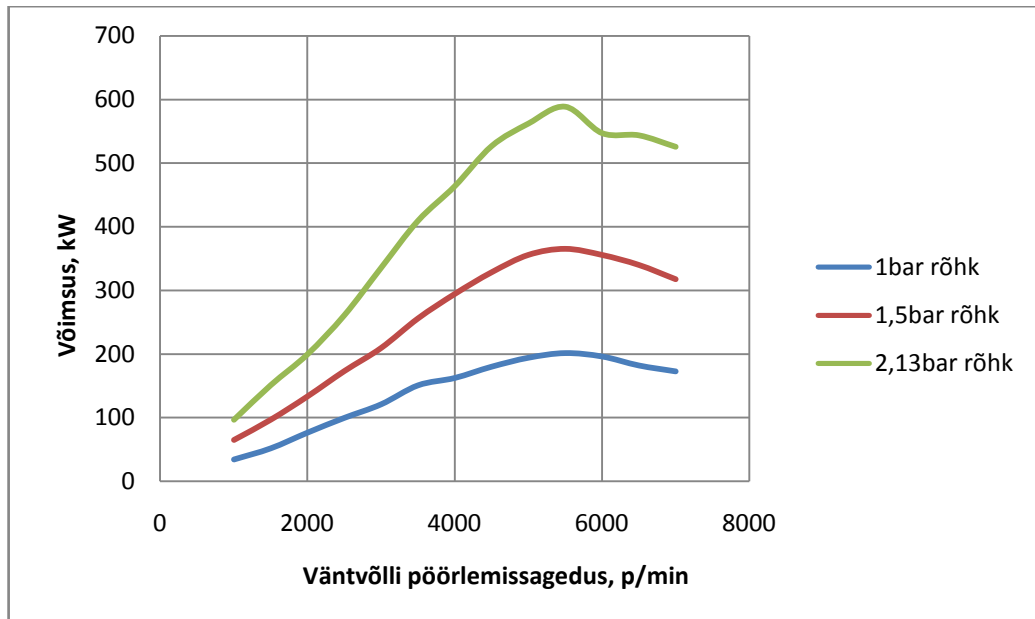
Sele7. Virtuaalne mootori mudel

Tulemuste põhjal olev graafik tuli sarnase kõveraga nagu originaal võimsusekõver, kuid maksimum oli 5kW kõrgem mis on 3,3% erinevus (Sele8).

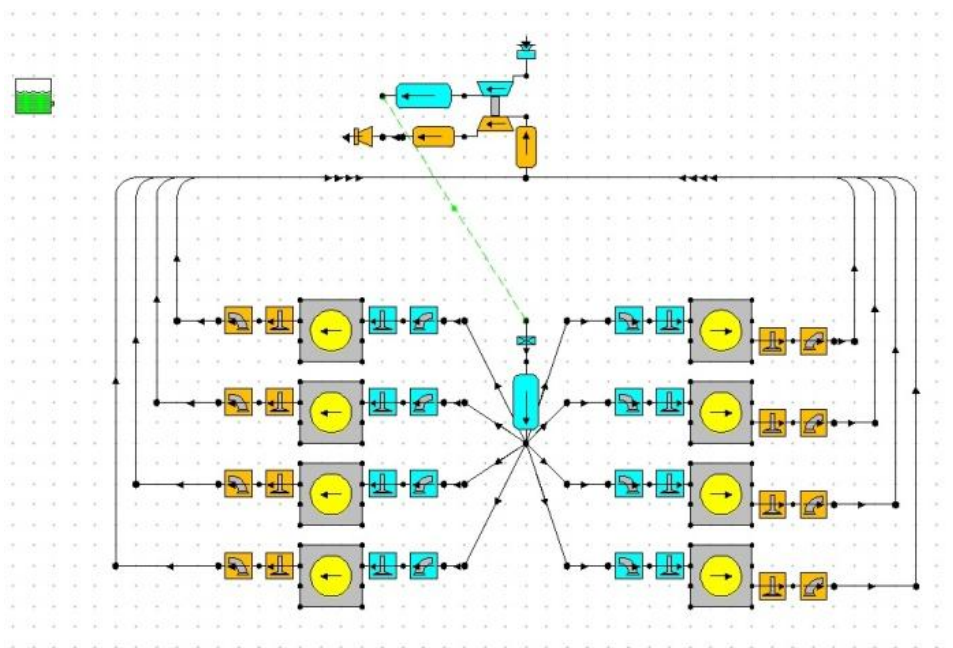


Sele8. Simulatsiooni ja mootori võimsusgraafiku erinevus

Enne simulatsioonile turbolaaduri lisamist, katsetatakse sisselaskes rõhutõstmist. Seda toimub vahemikus 1-2,13bar.



Sele9. Virtuaalmootori võimsusgraafikud erinevate sisselaskerõhkude juures



Sele10. Virtuaalmootor turbolaaduriga

2.3.1. Turbokaart

Turbokompressorite valikus on järgnevad turbolaadurid: Holset HX40, Garrett GTX 4294R ja kaks KKK K24/7000. Kaks KKK turbolaadurit on mõeldud kasutada nii, et kumbki oleks ühel mootoripoolel ehk tegu oleks kahe ülelaadeseadmega kontseptsiooniga. Alljärgnevalt selgitatakse välja, milline neist lahendustest neist oleks sobivam valik. Valitud turbokompressorid on esialgu valitud välja kubatuuri arvestades ja nende poolt saavutatava võimsuse näitajate pärast. Kuna Holseti kaardil on vaja õhumassi, siis arvutatakse see vastavalt, sammuti teisendatakse tulemus vastavatesse ühikutesse (16) [5];

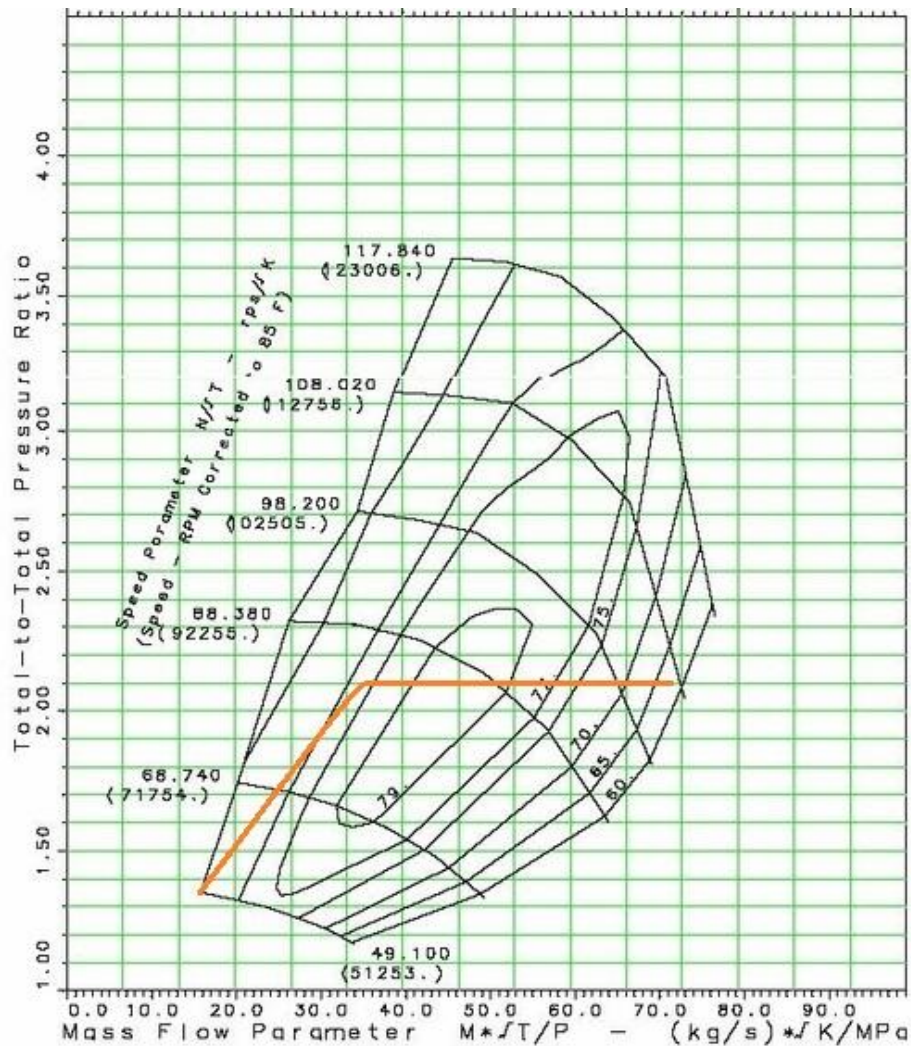
$$m_{at} = q_a \times \rho_{\delta hk}, \quad (16)$$

kus m_{at} [kg/s] -turbomootori õhutarbe mass;
 q_a [l/min] -turbomootori õhutarve;
 $\rho_{\delta hk}$ [kg/m³] -õhutihedus 1,29kg/m³.

Tabel 4.

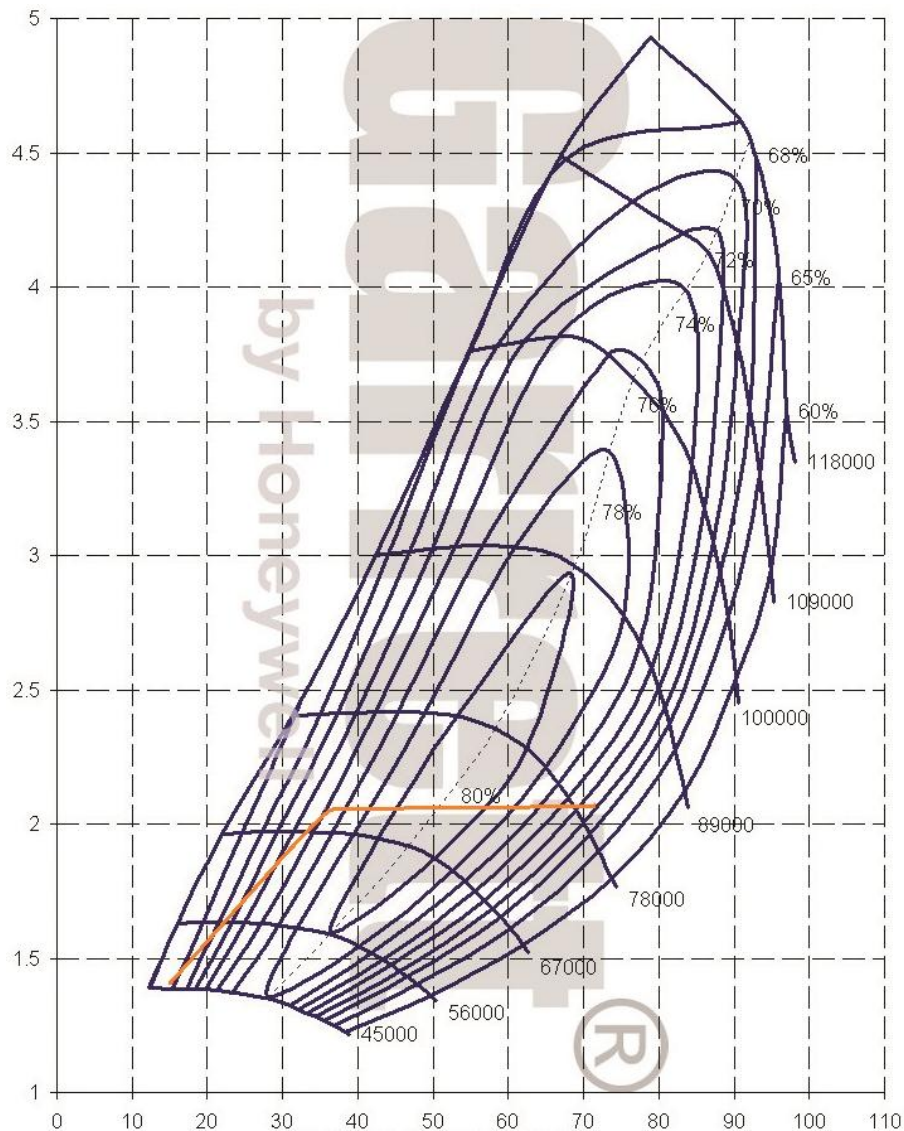
Õhumassi kogused temperatuuri korrigeerimisega

	7200p/min	3600p/min	Ühikud
20°C	32,43	16,22	kg/s
30°C	31,38	15,69	kg/s
20°C	71,50	35,75	lbm
30°C	69,18	34,59	lbm
K24 (20°C)	0,270	0,135	kg/s
K24 (30°C)	0,262	0,131	kg/s



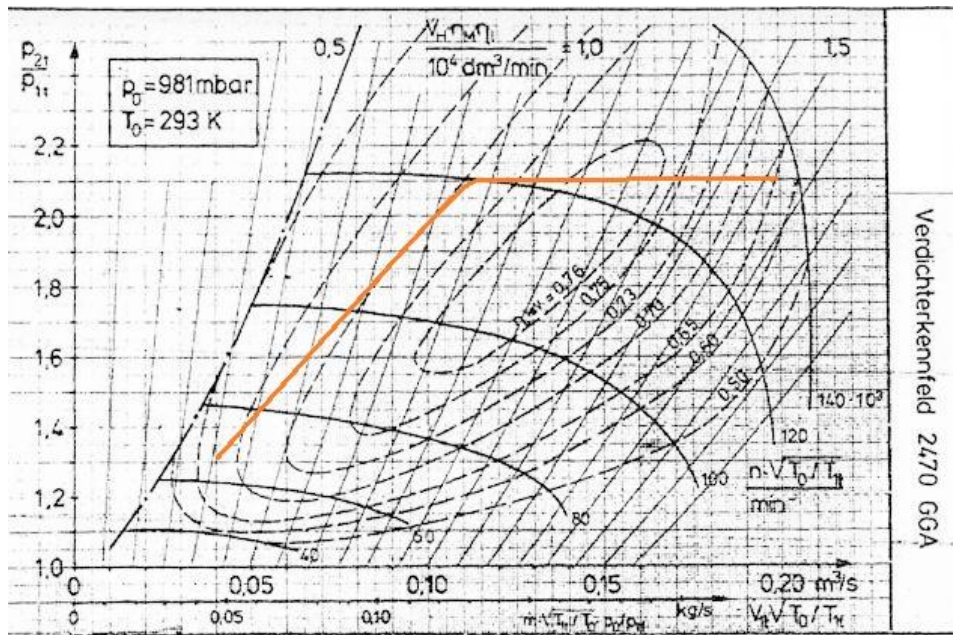
Sele11: HX-40 kompressori kaart [9]

Holseti turbolaadur on 3600p/min juures 70% alas, kuid piirajani jõudes on ta juba 60% alas. Kuna graafikult välja õhumassi joon ei ulatu, siis ei teki probleeme ka sellega, et laadur hakkaks mootorit kõrgel pöördel "pooma". Võlli pöördesagedus 92255 ja 127755 vahel



Sele12: GTX4294R kompressorikaart [8]

Turbokaartide järgi vaadatakse, milline lahendus on sobivaim. Kõigil graafikutel on tähtsaim sõhutusastme ja mootori pöõretepiiraja juures oleva õhumassi joonte ristumiskoht. See näitab kõrgel pöõrdel turbokompressorid efiõktivõsust. Garretti turbokompressor on 70-74% alas, turbovõlli pöõrded on ka paremad kui Holsetil. Aeglasemad võlli pöõrded ei aja õhu temperatuuri nii kõrgele. Efiõktivõsuse koha pealt on kaardi järgi parem turbolaadur GTX4294R, sellel on ka rohkem varu kui peaks olema soovi turborõõhku tõõsta.



Sele13. K24/7000 turbiini karakteristika [10]

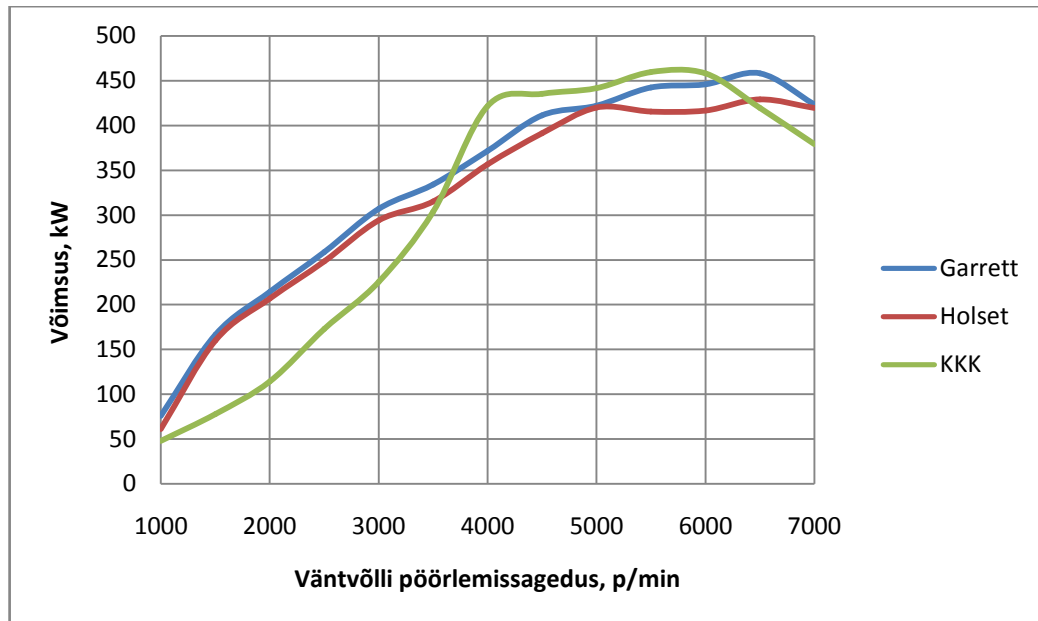
Kasutades kahte KKK turbolaadurit, on nende seadmete efektiivsus 73% ja 65% vahel. Kuna kasutusel on võrdlemisi kõrge ülerõhk, ollakse turbiini võllikiirusega suhteliselt kõrgel, milleks antud juhul oleks 120000-140000pööret minutis.

Turbokompressorite kaartidelt saab võtta vajalikud parameetrid virtuaalmootori turbolaaduri jaoks ja selgitada välja, milline sobib antud kontseptsiooni kõige paremini.

Tabel 5.

Turbokompressorite andmed

Kompressor				Turbiin			
	<i>Inducer</i> D[mm]	<i>Exducer</i> D[mm]	<i>Trim</i>	Pindala- raadiuse suhe	D [mm]	<i>Trim</i>	Pindala- raadiuse suhe
Garrett	70,3	94	56	0,6	82	84	
Holset	59,5	86	47	0,7	76	71	0,7
KKK	42,7	46	86	0,48	43	60	0,48



Sele 14. Erinevate turbolahenduste virtuaalmootorite karakteristikud

Võrreldes virtuaalturbomootorite karakteristikuid, näeb seda, kui sarnased on Garretti ja Holseti turbokompressorite võimsusgraafikud. Kahe KKK turbolaaduri kasutamisel on erinevus eelnevatega suur, ülelaadeseadmed rakenduvad kõrgematel pööretel, kuid võimsusekasv on järsem kui kahel teisel süsteemil. Kahe ülelaadeseadmega on parim võimsus 4000-6000p/min mootritipöörete vahemikus. Arvutuslikule tulemusele on kõige lähedasem karakteristika kasutades Holset HX-40 turbokompressori andmeid. Kasutades ühte suurt turbokompressorit mootori reageerimine gaasipedaali vajutusele kiirem, kuid kahe väiksema seadmega saab rohkem võimsust.

Tabel 6.

Turbokompressorite võrdlustabel[5]

Ülelaade seade	Holset HX-40	Garrett GTX4294R	KKK K24/7000 (2tk)
Hind	300-700€	900-2300€	200-500€
Eesti järelturu saadavus	Hea	Vähe levinud	Korralike vähe
Plussid	Hea efektiivsus	Hea efektiivsus,	Väljalaske lihtsam
	Hea hind ja saadavus	Hea võlli	projekteerimine,
	Tihti kasutusel integreeritud reduktsiooniklapp	pöörlemissagedus,	Rõhutõus stabiilsem
		Hea võimsusvaru	Täpsem juhtimine
	Lihtsam häälestus	Lihtsam häälestus	Sõidudünaamika
Miinused	Keerulisem väljalaskekollektor	Keerulisem väljalaskekollektor	Kahekordne lisadetailide kogus
		Kõrge hind ja kehv saadavus	Keerulisem juhtimine
			Väike varu
			Kõrge kulu tingituna lisadetailidest

Kuna eesmärgiks on mahtuda 2000€ piiridesse, siis tuleb teha kompromiss mugavuse arvelt ja valida Holseti turbolaadur. Garrett on liiga kulukas soetada ja KKK seadmed annavad suure lisakulu kahekordse detailihulga pärast.

3. TURBOKOMPRESSORIGA SEONDUVAD MUUDATUSED MOOTORILE

3.1. Surveaste

Normaallaadimisega mootorit ülelaadides on üheks suurimaks mureks detonatsioon. Detonatsiooni vastu on kütusekoguse tõstmise võimalus hoides kütusesegu rikkana ja teine võimalus on langetada surveastet. Konkreetsetel mootoril on nagu eelnevalt mainitud surveastmeks 10,6:1. Turbomootorite surveasteks loetakse erinevatel andmetel kuni 9,4:1 või madalam. Seega on vaja surveastet langetada. Eesmärgiks sai võetud 9,4:1 surveaste või madalam ning tehtud vastavad arvutused.

Simulatsiooniga erinevaid surveastmeid katsetades suuri erinevusi pole. Suurimaks erinevuseks on see, et kõrgema surveastmega on on veidi kõrgem võimsus.

Selleks, et surveastet muuta on võimalus kasutada paksemaid plokikaane tihendeid või töödeldakse kolbe. Käsitleva mootoril kolbe töötlemine ei hakata, kuna suureneb risk riketele.

Selle arvutamine on järgnev: kõigepealt arvutatakse ühe silindri kubatuuri milleks on $521,5\text{cm}^3$, siis silindri ülemise osa ruumala on $54,32\text{cm}^3$. Kuna eesmärgiks olev surveaste on 9,4, siis sama arvutusega saab uueks ruumalaks (17) [4];

$$V = \frac{521,5}{9,4 - 1} = 60,08\text{cm}^3. \quad (17)$$

Nüüd on vaja teada nende vahet milleks on $7,76\text{cm}^3$. Siit saame läbi silindri ruumala valemi tuletada kõrguse ehk tihendi paksuse milleks on 1,38mm.

Internetikaubamajades on müüa metalltihendid paksusega 1,5mm. Samu arvutusi kasutades tuleb meil selle tihendiga surveastmeks 9,31:1. See surveaste on veidi parem, kui eesmärgiks seatud surveaste.

3.2. Väljalaske kollektor

Turbokompressori jaoks on parim asukoht valik on kaasreisija poolsele mootoriküljele, (Sele15) juhipoolel mootoriküljel on märgatavalt kitsam seal asuvate hüdraulikavoolikute, kliimaseadme ja pidurilievendi asukoht pärast. Tuleseina pool on juhipoolel küljel segavaks teguriks ABS-moodul. Lisaks turbolaaduri mahutamisele, tuleb ümber ehitada ka väljalaskekollektorid nii, et need saaksid kokku kaasreisijapoolse küljel. Viimane on soovitatav ehitada nii, et mõlemal mootoripoolel oleks võrdne vastusurve turboseadme poolt.



Sele15. Võimalik turbokompressori asukoht.

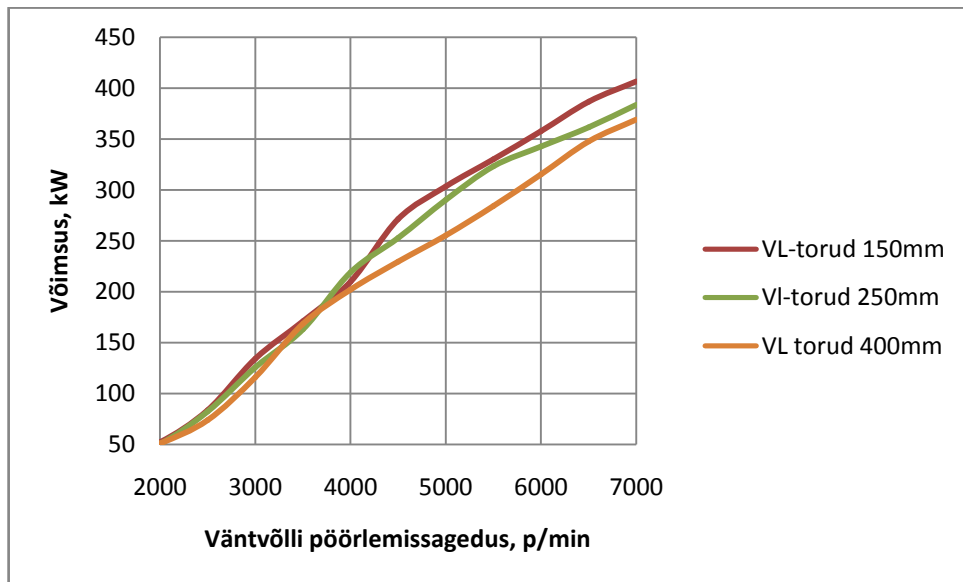
Väljalaske kollektor tuleb disainida nii, et mõlemad mootori pooled avaldaksid kompressorile võrdväärset survet. Samuti peaks olema turbolaadurini jõudev väljalaske gaas võimalikult sarnase temperatuuriga. Väljalaske kollektori puhul on veel oluline jälgida torude pikkusi. Väljalaskekollektoreid on kahte tüüpi: valu- ja torukollektorid.

Turbomootori väljalaskesüsteemi juures tuleks silmas pidada järgnevat:

- torupõlvede raadiused olgu võimalikult suured, et mitte kaotada gaasi inertsjõudu,
- väljalaske primaartorud võiks olla võimalikult ühtlase pikkusega, et ühtlustada mootori silindritele mõjuvat vastusurvet,
- Parimaks ülelaaderõhu rakendusajaks tuleb hoida väljalastetorude maht miinimumis. [8]

Antud disaini juures oleks kõige mõistlikum kasutada 8-2-1 konfiguratsiooni, kus kaasreisija poolne torude lahendus oleks ühtlustatud mootori teise poole väljalaske torustiku pikkusega. Antud lahendust on võimalik teha viies 4-1 konfiguratsiooni toru mootoriruumi alumisse ossa ja seal tagasi keerates liita teise mootoripoole torustikuga. Väljalaskekollektor tuleb tõenäoliselt ise fabritseerida kasutades näiteks erinevaid torupõlvesid või vastavalt väänatud torusid. Kuigi antud mootorile ei ole võimalik kauplusest sellist kollektorit tellida, on võimalik kasutada mõnele teisele mootorile mõeldud kollektoreid ja neid vastavalt vajadusele modifitseerida.

Virtuaalmudeli põhjal saab öelda, et kui kasutatakse pikemaid primaartorusid, on võimsus madalam, kui lühemate torudega. See on tingitud sellest, et pika toruga gaasid kaotavad oma inertsi ja temperatuuri, mis on turbolaadimisega mootorile vajalik. Erinevus 150mm ja 400mm toru vahel on 9%. Vahe erinevate torupikkuste vahel tuleb alates mootori 4000p/min.



Sele16. Väljalaskekollektori torude pikkuse ja võimsuse omavaheline sõltumine

3.3. Vahejahuti

Vahejahuti on süsteemile soovituslik, et jahutada turbolaadurist välja surutud õhku. Vahejahuti paigutatakse nii, et sellele oleks hea õhu pealevool. Tehaselahendustel on väga populaarne õhu vahejahuti paigutamine esimese pörkeraua taha. Ka sellel ümberehitusel võiks panna vahejahuti just pörkeraua taha. Vahejahutile on ruumi pörkeraua taga olemas nii, et jääks alles ka teised jahutuselemendid auto ninas. Kasutada plaanitakse õhk-õhk tüüpi vahejahutit, selle lihtsuse ja

kättesaadavuse pärast. Vahejahuti valikul tuleb jälgida selle sisemist õhuvoolu vala, kui suur on vastusurve õhu läbi surumiseks. Kui vahejahuti voolavus on väike, siis selle efektiivsus langeb ja võib suurendada turbokompressori rakendumise viivis. Vahejahuteid müües panevad tootjad andmetesse kirja ka vahejahuti efektiivsuse, kas suhtena või kasuprotsendina. [5]

Ruumile mõeldes saaks kasutada vahejahutit suurusega 600x250x45mm, nii jääks vahejahuti pörkeraua taha peitu. Selle lahenduse teeb halvaks see, et vahejahuti saab vähe välisõhku oma eesmärgi täitmiseks, kuna avad stanges on väikesed. Alternatiiv on tõsta vahejahuti kõrgust umbes 100mm, saavutades nii 40% suurema otsese õhu pealevoolu. Kuna paljud tootjad toodavad aga vahejahuteid 65mm paksusest kärkest, siis ei pinda nende vahejahutitega suurendada ei saa, kuna need ei mahu meie etteantud mõõtudesse. Keerulisem on aga õhutorustikuga turbo-vahejahuti vahel ja vahejahuti sisselaskekollektori vahel, kuna ette jäävad hüdraulikavoolikud.



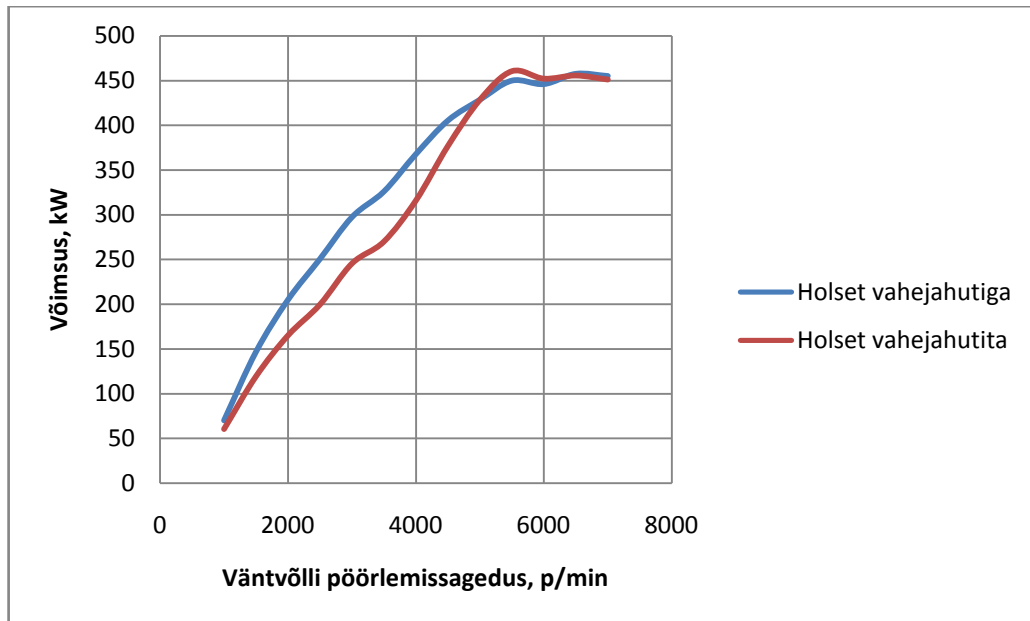
Sele17. Pörkeraua taha olev sobilik ruum vahejahutile



Sele18. Kliimaseadme vahejahuti ees olev sobilik ruum vahejahutile

Vahejahutit soetades tuleb ilmselt leida kompromiss selle suuruse ja kasuteguri vahel. Kui kasutatud jahutuselemendid maksavad alates 30€ kuni 100€, siis poehinnad algavad 130€.

Simulatsiooni põhjal saadud graafikult näeb vahejahuti kasu mootori madalatest pööretest kuni reduktsiooniklapi rakendumiseni. Suurim võimsusevahe on u 3000p/min juures, kus vahejahutiga kontseptsioonil on 50kW rohkem, kui ilma vahejahutita. Antud simulatsioonis olid veel sisendites 400mm pikkused sisselaske kollektori primaartorud, 6,3l mahuga pleenum, Holset HX-40 parameetrid, reduktsiooniklapp. Kasutati standard õhk-õhk tüüpi 6,75l mahuga vahejahutit mille efektiivsus oli kuni 75%.



Sele19. Holset turbokompressori parameetritega virtuaalmootori võimsuskarakteristika vahejahutiga ja ilma.

3.4. Toitesüsteem

Kuna turbolaadimisega mootor tarbib rohkem õhku, on mootoris saada ka rohkem kütust. Selleks on vaja muuta auto toitesüsteemi, mis hõlmab kütusepumpa, kütuse pihusteid ja kütuselatte.

Pihustid tuleks leida tootlikumad, kui originaalmootoril, sest originaalmootori pihustite tootlikus on $180\text{cm}^3/\text{min}$ 3bar tööõhu juures. Suuremad pihustid on vajalikud selleks, et kuna originaalpihustid ei suuda ära toita turbokompressorist tulevat suurenevat õhuhulka, siis jääb nendega kütusest puudu ja tekib detonatsioon mittesobiliku kütusesegu pärast.

Pihustite tootlikust saab arvutada järgnevalt (18) [5];

$$q = \frac{P \times BSFC}{n} = \frac{418,37 \times 365}{8} = 454,48 \frac{\text{cm}^3}{\text{min}}, \quad (18)$$

kus: q [lb/h] - pihustite tootlikus;
 P [kW] - eeldatav mootorivõimsus;
 $BSFC$ - kütuse kütteväärtus;
 n - pihustite hulk.

Antud arvutus andis pihusti maksimumväärtuse ehk kui pihusti on 100% avatud. Soovitav on lisada ka varu umbes 20%, sest siis on võimalik pihustiga kütusekogust paremini reguleerida. Kasutada võiks 545,5cm³/min tootlikkusega pihusteid. Kütuselati muutma või vahetama esialgu ei hakata ja kasutatakse originaali, kuid kütusepump vahetub tootlikumavastu, kuna originaali tootlikus on ainult 120l/h. Kasutada võiks näiteks Boschi 044 Motorsport kütusepuma, mille tootlikus on 300l/h ning hind uueana on umbes 260€, aga järelturul võib leida neid 150€. Pihustid võiks valida näiteks Boschi toodangust.

3.5. Süütelahendused

Kuna mootori originaaljuhtmoodulile ligipääs on piiratud ja selles uute süüte- ja segukaartide kirjutamine seda enam, siis ei ole kuidagi mõistlik seda alles jätta. Mõistlik on ka kaotada süütejaagajad ja minna eraldiseisvate süütepoolide süsteemile. Kui kasutada OEM (tehase originaal) süütepoole, siis on vajalik ka vahetada klapiambrikaas. AEC mootorile sobib peale ka ABZ mootorikoodiga mootorilt klapiambrikaas. Viimane mootor on kasutusel Audi A8 ja osadel Audi A6 mudelitel, see on laialt levinud ja seda on järelturul mõistlike hindadega saada (15-20€ tk). Kui antud lahendust kasutada tuleb arvestada, et süütejaagajate asemele tuleb lasta valmistada spetsiaalne muhv. Kui kasutada ABZ klapiambrikaasi, siis saaks kasutada näiteks Audi 1.8T mootorite süütepoole või 2.2T AAN mootorikoodiga mootori süütepoole. Soovitav on kasutada tugevama sädemega süütepoole kindlustamiseks kindlat kütusesegu süttimist põlemiskambris. Süütepoolide hind on kasutatult u 100€ 8tk.

Juhtarvuti valik on hinnaklassi vaadates lihtne. Turul kõige odavamad lahendused on MegaSquirt juhtarvutid ja uue mooduli saab soetada ümmarguselt 250€ eest. Selle komplekti miinus on see, et see tuleb ise kokku joota ja iga lisaks vajaminev moodul tuleb juurde osta. Teiseks miinuseks antud juhtarvuti puhul on tema süüteväljundite vähesus. Vanemad MegaSquirt juhtmoodulid suudavad juhtida kuni kuute silindrit eraldi. Antud süsteemi saaks kasutada, kui kasutatakse "*wastedspark*" süütelahendust, kus paaris töötavaid silindreid juhitakse ühe impulsiga. See lahendus on halb kuna kaotatakse efektiivsuses ja mootorijuhtimis võimalustes. Arvestades lisasid tuleb vanema põlvkonna juhtarvuti hinnaks 290€. Uuemad, millel on juba rohkem arv sisendeid ja väljundeid maksab küll rohkem, aga selle eeliseks on Eestis lai kasutajaskond ehk leidub palju inimesi, kes oskavad seda seadet seadistada.

Teine valik on kasutatud VEMS juhtarvuti, mis on pea poole kallim. Eelis sellel on see, et erinevalt Megasquirt juhtarvutist ei ole vaja seda kokku joota. Miinuseks lisaks hinnale on suurem voolutundlikus ehk kui kõike ise teha võiks eelistada töökindlamat süsteemi. Veel miinusteks on seadme remont, mis käib ainult läbi tootja tehase, Eestis on vähe mehi, kes oskavad korralikult seadistada.

3.6. Sisselaskekollektor

Sisselaskekollektori kuju sõltub suurel määral sellest, mis otstarbeks ta disainitud on. Kui hakata sisselaskekollektorit projekteerima, tuleks jälgida primaartoru (*runner*) kuju ja pikkust. Tähtis on see, et kõigile silindritele oleks võimalikult ühtlane ja ühe kiirusega õhuvool. Turbolahenduste puhul eelistatakse pigem pikemaid primaartorusid tagamaks tugevat joont madalatel pööretel kuni turbolaaduri rakendumiseni, mis hoiab jõukõvera ühtlaselt tugeva kuni kõrgete pööreteni. [5]

Kui vaadata pleenumite disaine, siis on olemas ühe- ja kaheanumalised pleenumid. Kui tegu on üheanumalise pleenumiga, siis muutub pleenum viimaste silindriteni jõudes koonuseliseks. See on selleks, et viimased silindrid saaksid sama palju õhku, kui esimesed. Selleks tuleb gaasi kiirust tõsta pleenumi läbilõike pindala vähendades. Nii gaasi kiirust tõstes on võimalik kõik silindrid ühtlaselt täita. Teine valik on kaheanumaline pleenum. Selle põhimõte on sama- saada kõikidesse silindritesse samapalju õhku. Need on projekteeritud nii, et on suur pleenum, mis on otseühenduses primaartorudega ja see on avaga seotud eelpleenumiga. Selle lahenduse puhul on suur pleenum ühtlase läbilõike pindalaga, aga õhuliikumise kiirendajaks on eelpleenum, mille ristlõike pindala väheneb. Sellisel juhul läbib õhk läbi kahe anumava vahelist ava (Sele21).

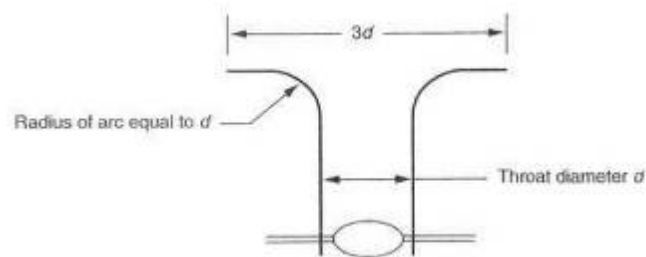


Sele20. Ühe anumaga sisselaskekollektor [11]



Sele21. Kahe anumaga sisselaskekollektor [12]

Disainides tuleks tähelepanu pöörata ka primaartoru pleenumi poolsetele otstele ehk trompetitele. Jälgida tuleb nende suudme asetust, kuju ja suurust. Trompeti suudme ideaalseks kujuks loetakse trompeti suudme diameetriks primaartoru sisediameetrit. [5]



Sele22. Trompeti arvutamine [5]

Parim õhuava ehk trompeti suudme asukoht oleks pleenumi keskel. Tihti on seda lahendust aga ruumi puudumisel raske täita. Et pleenumis õhk võimalikult ühtlaselt jaotuks võiks nende disainides olla järgnevad eripärad:

- Pleenumi suurus peaks enne esimest silindrit järsult kasvama.
- Kui kasutatakse koonuselist pleenumit, siis ei tohiks pleenumi lõpu läbimõõt olla väiksem, kui primaartorude 1,5kordne diameeter.
- Pleenumi ots peaks ulatuma kaugemale, kui viimane silinder. [13]

Primaartorul on oluline jälgida lisaks pikkusele ka läbimõõtu. Läbimõõdul on otsene suhe sisselaskeklappidega. Naturaalse hingamisega autol on primaartoru läbimõõt 80% sisselaske klapi diameetrist, kui on tegu mootoriga millel on silindri kohta 2 klappi. Kui on kasutusel 4 klappi, siis on kanali läbimõõt võrdne kogu klapi läbimõõduga. Ülelaetud neljaklapilistel mootoritel on selleks suhteks 110%. [13]

Sisselaskekanali läbimõõdu saame ülaltoodud seosest, kus see diameeter on 110% sisselaske klapi läbimõõdust (19) [13];

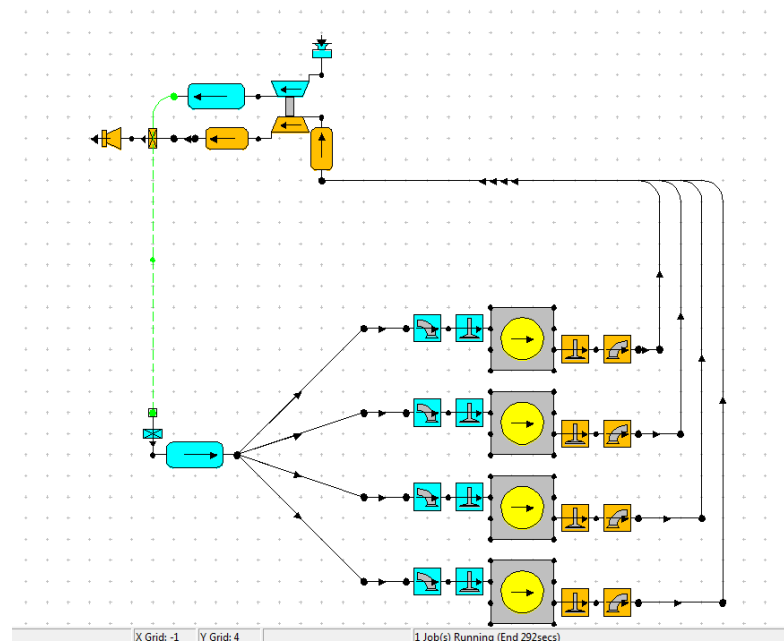
$$D_r = d_k \times 110\% = 32,6 \times 110\% = 35,86\text{mm} \quad (19)$$

kus D_r [mm] -primaartoru läbimõõt;
 d_k [mm] -sisselaskeklapi läbimõõt.

Sisselaske torustiku pikkus sõltub sellest, mis pöördele soovitakse maksimum võimsust. Üldiselt kõrgemapöördelistel mootoritel lühemad sisselaske kanalid, tavaliselt 200-300mm. Madalamal pöördel asuv kõrge võimsus on mootoritel, mille primaartoru pikkus on 300-400mm. Primaartoru

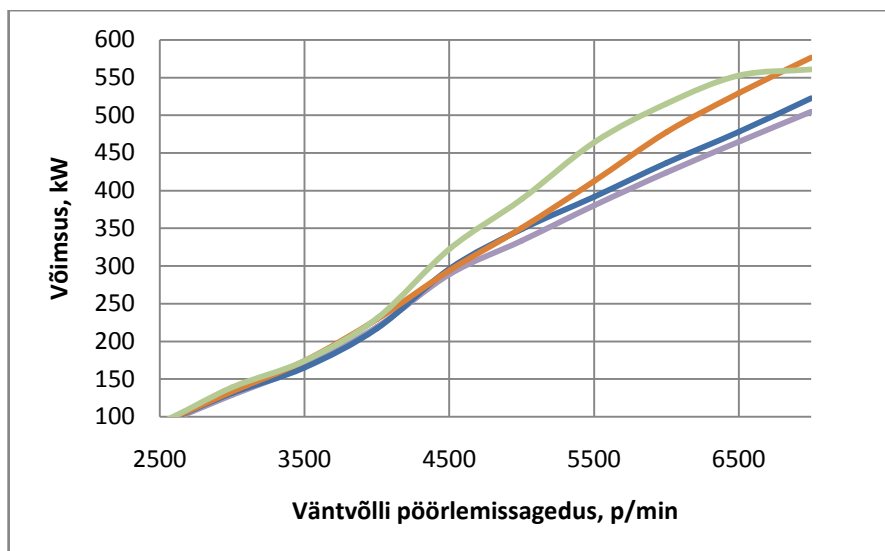
pikkust arvestatakse klapiseljast, kuni trompeti suudmeni. Ülelaetud mootoritel toru pikkus väga suurt rõhku ei oma. [13]

Simulatsioonis kasutati samasid mootori parameetreid, kuid töö efektiivsemaks tegemiseks kasutati ainult 4 silindrit ehk ühte mootori poolt. Turbokompressori parameetriteks on Holset HX-40 parameetrid ja reduktsiooniklapi ei kasutatud, kuna võimsuse- ja pöördemomendigraafik pidid näitama muutusi õhu teekonna pikkuse muutustest.



Sele23. Simulatsioon neljasilindrilise turbomootoriga

Simulatsioonis muutsin primaartoru pikkust 10mm kaupa alustades 200mm. Muudatused toimusid kõrgetel mootoripööretel, kuni 4000p/min olid graafikud minimaalsete erinevustega. Graafikul toon välja neli muutust 100mm-400mm primaartoru pikkusega võimsuskõverat. Tulemused V8 mootori puhul on näha alloleval graafikul (Sele24). Pikem toru pikkus annab alates 4000p/min järsema võimsuse tõusu, kui lühema puhul. Samuti on tõusnud maksimumvõimsus 462kW-ni.



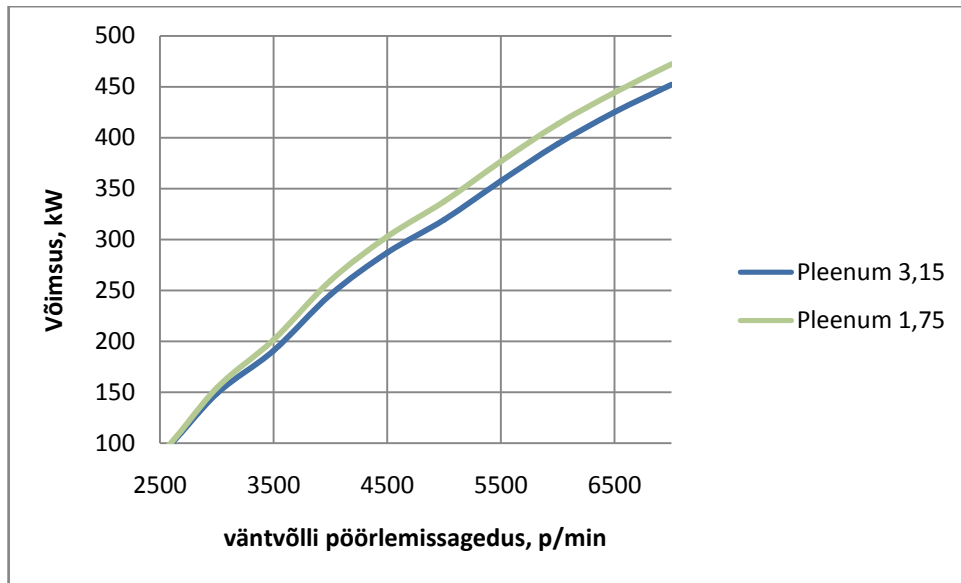
Sele24. Sisselaske primaartorude pikkuse ja võimsuse suhe

Pleenumi mahuga ja primaartorude pikkuseid muutes saame maksimum pöördemomendi mootoripöörete skaalal. Kui naturaallaadimisega mootoril on pleenum 50-80% mootori töömahust, siis ülelaetud mootoritel on pleenumi maht 150% mootori töömahust [13]. Modifitseeritud mootori uus pleenumi suurus on

$$V_p = L \times 150\% = 4172 \times 150\% = 6258 \text{ cm}^3, \quad (20)$$

kus V_p [cm³] -pleenumi ruumala;
 L [cm³] -mootori töömaht.

Simulatsioonis kasutatakse taaskord vähendatud mudelit ehk 4-silindrilist turbomootorit AEC mootori parameetritega. Pleenumi suuruse muutmisega võimsuse kasvamist märgatavalt ei ole. Samuti ei ole suuri muutusimaksimumi asukoha muutusega väntvõlli erinevatel pööretel.



Sele25. Pleenumi suuruse muutmise ja võimsuse suhe taandatud virtuaalmootoril

Originaal drosselklapp on kahe 55mm avaga ja erineva ajastusega õhuklappidega. Arvestades AEC mootori tehase drosselklapi ristlõike kogupindala on mõistlik kasutada antud drosselklappi. Järgneva arvutusega tehakse kindlaks drosselklapi sobivus arvestades õhu liikumiskiirust läbi klapi.(21) [5]

$$v_{\delta} = \frac{Q_t}{S_d}, \quad (21)$$

kus Q_t [l/min] -turbomootori õhutarve;
 v_{δ} [m/s] -drosselklappi läbiva õhu kiirus;
 S_d [m²] -drosselklappi pindala.

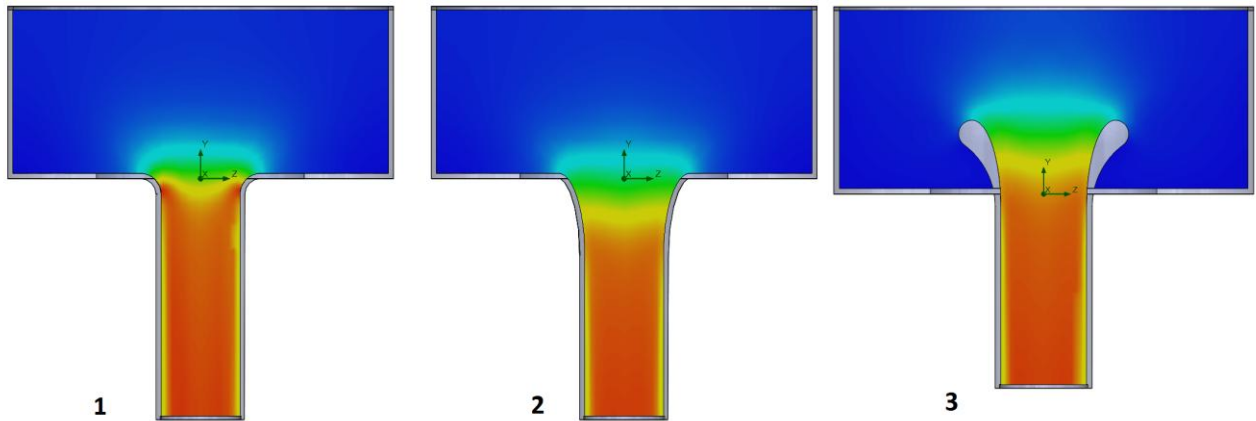
$$v_{\delta} = \frac{27,604}{0,009503} \times \frac{1}{60} = 48,41 \text{ m/s.}$$

Originaal drosselklapp on kahe 55mm avaga ja erineva ajastusega õhuklappidega. Arvestades AEC mootori tehase drosselklappi ristlõike kogupindala on mõistlik kasutada antud drosselklappi. Kuna õhukiirus ei ületanud 91m/s, siis pole vajadust suuremale drosselklapile [5].

Mida Lotuse simulatsioonis muuta ei saa on primaartorude asetus pleenumis. PerformancebyIntegratedEngineering on teinud simulatsioonid näitamaks õhutiheduse erinevusi erinevate lahendustega. 2. ja 3. pilt (Sele26) on võrdsete väärtusega raadiustega, kuid kolmandal on trompet pleenumi põhjast veidi tõstetud. Tulemustelt on viimane parima silindri täituvusega, kuid

vahe on väga minimaalne. Esimene samas oli väiksema raadiusega tootmiskulude lihtsuse poolest ja sellel variandil oli pea poole väiksem silindri täituvus. [11]

Kõigi nende versioonidega on aga võimsuse võit väga väike, seda umbes 1% ehk kuni 3-4kW. See number võib ka veidi erineda olenevalt tehnilistest lahendustest, aga väga see enam ei suurene. [11]



Sele26. Erinevate trompetite õhusurved [11]

Analüüsis sisselaskekollektoriga seonduvaid muudatusi, siis suurimat erinevust võimsusegraafikul näitab primaartoude pikkuse muutmine. Kasutades võimalikult pikki torusid hakkab võimsus varasematel pööretel kasvama. Pleenumi mahu suurendamine võimsusegraafikut oluliselt ei muutnud.

4. KULUANALÜÜS

Kulusid analüüsidest võib järeldada seda, et esialgne 1500-2000€ eelarve saavutatakse ainuüksi suuremate osade pealt. Arvestatava summa annavad kokku väiksed detailid mis maksavad palju ja mida ei ole mõistlik järelturult soetada. Kulude tabelisse on detailide hinnad võetud peamiselt internetisturboclub.ee foorumi turu osa alt, kus detailid vahetavad kiiresti omanike ja mõned hinnad pärinevad ka näiteks ebay.com interneti leheküljelt. Kannatlikult jälgides võib järelturu osadega ehitada mõistliku hinnaga turbolahenduse ehk jäädes algülesandes seatud summa sisse. Sellise tegevuse miinus on see, et õiget vahejahutit, turbolaadurit või muud detaili, mis lahendusele kõige paremini sobib võid kohata paar korda aastas. Selline meetod venitab meeletult auto ümberehitusprotsessi, kui ei hakata tegema kompromisse.

Tabelisse ei ole arvestatud pisikesi detaile, kuluosi ja kulutatavaid töötunde.

Tabel 7.

Detailide hinnad eurodes

Detailid	Hind
Holset HX-40	400
Vahejahuti	80
Pihustid Bosch EV14 (8tk)	350
Mootori juhtmoodul	290
Süütepoolid 8tk	100
Kütusepump	150
Silikoon lõdvikud	250
Väljalaskekollektori materjal	80
Torud	23
Kaanetihendid	140
Klapikambri kaaned	40
Flantsid	45
Õlitoru	55
Kokku	2003

5. JÄRELDUS

Selle autoga on võimalik antud võimsus saavutada kasutades turbokompressorit. Turbolaaduri lisamisega saavutatakse arvutuslikult 418kW ja simulatsiooniga 457kW. Selle võisuse saavutamiseks on vaja kasutada mootori ülelaadimissüsteemi. Valikus oli kolm suuremat erinevat võimalust, millega on võimalik saavutada antud võimsust. Valikut analüüsid tehti valik kasutada ühte suurt turbolaadurit. Vajalike arvutustega selgitati välja turbokompressori suurus ja ülerõhu suurus sisselaske kollektoris. Sobivaks võimalikuks ülelaadeseadmeks sai valitud Holseti tootjalt HX-40 mudelinimetust kandev seade. Kui antud agregaadiga toodetakse 1,13bar ehk 113000Pa ülerõhku, saavutatakse soovitud tulemus. Selle kinnitamiseks sai kasutatud simulatsiooniprogrammi võimalust.

Töös analüüsitakse ka ülelaadeseadmega seonduvaid modifikatsioone mootorile. Osad nendest muudatustest on kohustuslikud kuna nendeta ei saa ümberehitust teha ja osad on soovituslikud. Parimate tulemuste mootorikarakteristik võrreldes naturaallaadimisega mootoriga on esitatud graafikul Sele26. Kohustuslikest modifikatsioonidest esimesel kohal on väljalaskekollektori sobitamine turbokompressoriga süsteemile. Töös analüüsitakse kollektori torude pikkuse ja võimsuse omavahelist seost mis toob välja lühemate primaartorude eelise. Valitud ühe turbolaaduriga kontseptsioonil on seda aga väga keeruline saavutada.

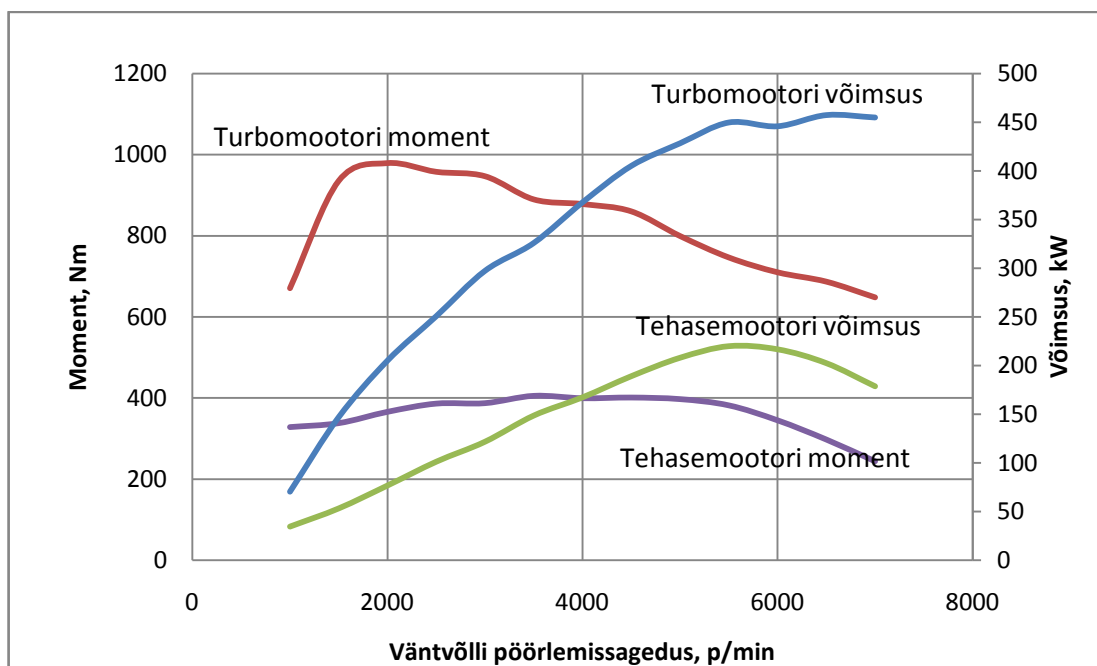
Rangelt soovituslik on muuta ka toitesüsteemi paigalduses suutlikumad kütuse etteande seadmed.

Soovituslik osa, mida võib muuta on õhu jahutamine enne sisselaset, süütelahendusi ja sisselaske kollektorit. Kui süütelahenduste muutmine on eeldus paremaks mootori juhtimiseks, siis vahejahuti ja muudetud sisselaskekollektor omavad reaalseid kasuteguri tõusuprotsente. Sisselaskes on 100mm ja 400mm primaartorusid kasutades maksimum võimsuse vahe 15,9%. Vahejahuti maksimumvõimsuses antud kontseptsiooni puhul võimsust ei lisa, kuna reduktsiooniklapp piirab kõrgetel pööretel maksimumrõhku.

Antud töös seati eesmärgiks ka jääda kuni 2000€ suuruse eelarve sisse. Viimasest kinni pidamine on võimalik, kuid väga aega nõudev, kuna tuleb oodata "õiget" pakkumist. Kui teha kompromiss projektile kulutatud aja suhtes, siis on see eesmärk saavutatav, kui aga ümberehitusega mitte venitada ja tarnida vajalikud detailid vastaval ajahetkel, siis 2000€ suurune eelarve kindlasti ületatakse. Antud eelarves püsimine eeldab ka paljude detailide ise fabritseerimist. Lisaks lööb eelarve lõhki sisselaskekollektori tegemine ja seda just tootmiskulude pärast.

Antud ülesannet seades oli ka piirang, et väntmehhanism jääks puutumata. See eesmärk sai võetud eelkõige saavutamaks eelarve piiri. Vastavalt teiste inimeste kogemusele, kes on sama mootorit ülelaadimisega modifitseerinud, ei soovitata võimsusega ületada 410kW piiri. Seda põhjusel, et peale selle võimsuspiiri ületamist, hakkasid mootoritel tekkima kestvusprobleemid. Probleemid esinesid nendel mootoritel, millel oli muutmata kepsud, kolvid ja väntvõlliga seonduvad detailid. Arvestades antud probleemi, ei ole mõistlik viia ümberehitatud süsteemi viimase piirini. Olgugi, et kW vahe on kõigest 8kW, ei saa ülesannet nimetada õnnestunuks, kuna soovitud tulemus jääb saavutamata töökindluse eesmärgil.

Kui eesmärgiks oleks ainult võistlemiseks mõeldud kiirendusauto, oleks mõistlik vahetada auto kere mõne teise ja kergema mudeli vastu. Sellisel juhul ei peaks võimsuse kasv olema nii suur ja saaks kasutada valitud mootorit.



Sele27. Normaallaadimisega ja ülelaadimisega virtuaalmootori karakteristikud

6. KOKKUVÕTE

Eesoleva tööga selgitati välja võimsusevajadus, et Audi V8-ga sõita 402m 12,5 sekundiga ning nõutavaks võimsuseks on 418,37kW. Selleks tehti sõiduki dünaamika kohta vastavad arvutused, mis kokkuvõttes andsid vastava tulemuse. Kui eesmärk oli seatud analüüsi erinevaid lahendusi selle võimsuse saavutamiseks. Valikus oli neli peamist lahendust, milleks lõpuks valiti ühe turbokompressori kasutamine. Töö käigus on kasutusel Holset HX-40 turbokompressori põhjal tehtud arvutused. Hiljem selgitati välja suuremad sõlmpunktid, millega võiks mootori modifitseerimisega kokku puutudasaavutamaks etteantud võimsust. Olgugi, et eesmärk jäi töökindluse eesmärgil napilt saavutamata, on mootoril siiski potentsiaali edasiarendamiseks. Kontrollimiseks ja tõestamiseks kasutati Lotus EngineSimulation programmi, millega saab koostada virtuaalseid mudeleid.

Töös analüüsi erinevate seadmete kasutegurit kogu kontseptsioonis ning hinnati nende kulu ning kasutegurit. Et mootorite jõudluse parandamine on kulukas, sai seatud eesmärgiks jääda modifikatsioonide lisamisega 2000€ eelarve juurde. Antud eesmärgi täitmine on võimalik, kuid eeldab järelturu pidevat jälgimist ja kompromisside tegemist. Töös, välja toodud detaile ja seadmeid on kasutatud näitena, mida sellise muutmise kasutada saaks. Detailide hinnad on tihti pakkumise põhised ja seega muutuvad

Tuues välja erinevaid muudatusi mootorile, selgitati töös ka seda, miks antud muudatus vastavalt ringi teha tuleb. Sellega seoses sai rohkem ja täpsemaid teadmisi nende süsteemide töö kohta. Muutuvad parameetrid on välja toodud graafikutena või tabelitena, et anda selge visuaalne ettekujutus, miks midagi tehti. Iga tabeli või graafiku juures on ka seletus, mida sellega näidata üritatakse.

Enne, kui selline ettevõtmine käsile võtta, tuleb arvestada, et kuludesse võib juurde tulla mitmeid erinevaid detaile, mille vajalikust enne näha ei osanud. Samuti tuleb silmas pidada, et ajakulu on selliste ettevõtmistega suur, eriti kui oled väheste kogemustega.

7. SUMMARY

With this final paper, the author found out, what the engine power output of an Audi V8 must be, to run 402m in 12,5 seconds. After vehicle dynamics calculations on the given subject were made, it was found, that the engine must produce 418,37 kW.

When target power was set, different options were considered before final decisions were made. From four main options, one large turbocharger was the final choice. Most of the calculations and simulations were made by using Holset HX-40 turbocharger specifications.

Although the targetpower was achived, it is not recomendable to use this tuning, beacause of the engine durability issues in the longrun. Engine durability is a concern, beacause due the limited 2000€ cost, engine internals could not be upgraded. For checking and proofing calculations, Lotus Engine Simulator was used to build virtual enginemodels. Within the final paper there are many different graphs with notes to illustrate how changing one part effects the preformance of the engine.

With chosen performance upgrades, it was also explained why those modification were needed to be done. That gave the author more knowledge of the working principles of those systems and how to manufacture them.

The cost of the project was limited to 2000€. It is possible to stay within the budget, but it means that different aftermarket part sites and vendors must be closely watched to get a good deal. Parts chosen in the fina paper are used as an example to see what applictions can beused. It also turned out that undertaking a project of this magnitude takes more time than was presumed before.

8. VIITED

- [1] „auidiv8.com,“ 2010. [Võrgumaterjal]. Available: <http://auidiv8.com/>. [Kasutatud 2. Mai, 2015].
- [2] I. Audi of America, Audi100, A6: 1992-1997 (Including the S4, S6, quattro and wagon) Repair Manual, Cambridge: Bentley Publishers, 1997, p. 3875.
- [3] I. Audi of America, Audi V8 Service manual, Microfilm Service Information System, 1991, p. 1782.
- [4] Konrad Reif, Karl-Heinz Dietsche, Automotive Handbook 8th Edition, Plochingen: Robert Bosch GmbH, 2011, p. 1265.
- [5] C. Bell, Maximum boost: designing, testing and installing turbocharger systems, Cambridge: Bentley Publishers, 1997, p. 233.
- [6] tqhq.ee, „Roots kompressor,“ [Võrgumaterjal]. Available: <http://www.tqhq.ee/dir.php?id=42>. [Kasutatud 25. Aprill, 2015].
- [7] T. Juga, „Turbosüsteemi projekteerimine kiirendusvõistluse auto tarbeks,“ Tallinna tehnikakõrgkool, Tallinn, 2009.
- [8] H. I. Inc, „Garrett Performance Products,“ Honeywell International Inc, [Võrgumaterjal]. Available: <http://www.turbobygarrett.com/turbobygarrett/turbocharger#GTX4294R>. [Kasutatud 17. Aprill, 2015].
- [9] Donnie, „Holset Compressor Maps,“ 10 07 2009. [Võrgumaterjal]. Available: <http://sixthsphere.com/showthread.php/67400-Holset-Compressor-Maps>. [Kasutatud 17. Aprill, 2015].
- [10] „Turbo/Supercharger Maps,“ [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.rbracing-rsr.com/turbosupermaps.html>. [Kasutatud 17. Aprill, 2015].
- [11] pete, „<http://www.performancebyie.com/>,“ 28. Mai 2012. [Võrgumaterjal]. Available:

- <http://www.performancebyie.com/blog/the-right-bellmouth/>. [Kasutatud 16. Aprill, 2014].
- [12] www.bufkinengineering.com, „bufkinengineering.com,“ [Võrgumaterjal]. Available: <http://www.bufkinengineering.com/intake%20manifolds.htm>. [Kasutatud 25. Aprill, 2015].
- [13] D. H, „Custom-car.us,“ 26. Märts 2013. [Võrgumaterjal]. Available: <http://www.custom-car.us/intake/intake-manifold.aspx>. [Kasutatud 29. Aprill, 2015].
- [14] Michael Delaney, „Intake Manifold Tech: Runner Size Calculations,“ 30. September 2002. [Võrgumaterjal]. Available: <http://www.team-integra.net/forum/blogs/michaeldelaney/130-intake-manifold-tech-runner-size-calculations.html>. [Kasutatud 17. Aprill, 2015].
- [15] R. J. P. Desmond E Winterbone, Design Techniques for Engine Manifolds, Warrendale: Society of Automotive Engineers, Inc, 1999.