

Andrei Tamp

**ÕPPEVAHEND „AUTO
MOOTORI JA
JÕUÜLEKANDE
JUHTIMINE“ SÕIDUAUTO
LEXUS BAASIL**

LÕPUTÖÖ

Transporditeaduskond

Autotehnika eriala

Tallinn 2014

Tõendan, et lõputöö on minu, Andrei Tamp poolt kirjutatud. Töö koostamisel kasutatud teiste autorite, sh juhendaja loome- ja teadustööde seisukohad on viidatud.

Lõputöö koostamine, kaitsmine ja selles sisalduv informatsioon on *prima facie* õppeotstarbeline ja töö on kaitstud autoriõiguse seadusega, mille kohaselt on autoril töö suhtes mittevaralised õigused.

Juhul, kui seda lõputööd kasutatakse muudel põhjustel kui reprodutseerimine õppe- ja teaduslikel eesmärkidel, mis ei ole ajendatud ärilistest huvidest, siis laienevad lõputöö autorile lisaks mittevaralistele õigustele ka varalised õigused.

Lõputöö autor: Andrei Tamp
(allkiri ja kuupäev)

Üliõpilase kood 100820683

Õpperühm AT82

Lõputöö vastab ülesandele ja kehtivatele nõuetele.

Juhendajad: Aimar Lukk
(allkiri ja kuupäev)

Kaitmisele lubatud “.....” 20....a

Transporditeaduskonna dekaan

Aimar Lukk
(allkiri)

SISUKORD

Sisukord.....	4
Sissejuhatus	6
1. Mootori ja käigukasti alusraami projekteerimine	8
1.1. Materjali valik ja hankimine	10
1.2. Alusraami eskiis	11
1.3. Tugevusarvutused	11
1.4. Vibratsioon	15
2. Jahutussüsteem.....	16
2.1. Veemahude arvutamine	20
2.2. Mootori jahutamine vesi-õhk radiaatoriga.	25
2.3. Energiabilanss.....	26
2.4. Otsus	29
3. Toitesüsteem	30
3.1.1. Ventilatsioon	32
3.2. Kütusesüsteem	37
3.2.1. Kütusepaak	38
4. Väljalasesüsteem.....	39
4.1. Heitgaaside koguse arvutamine:	40
4.2. Väljalasketorustiku ümberhitamine	41
4.3. Müra ja temperatuur	41
5. Ohutusnõuded	42
Kokkuvõte	43

Summary	44
Kasutatud kirjandus.....	46
Lisa 1. Stendi koostejoonis. Leht 1/2	48
Lisa 2. Stendi koostejoonis. Leht 2/2	49
Lisa 3. Soojusvaheti arvutusnäide nr. 1	50
Lisa 4. Soojusvaheti arvutusnäide nr. 2.....	51
Lisa 5. Soojusvaheti arvutusnäide nr. 3.....	52
Lisa 6. Soojusvaheti arvutusnäide nr. 4.....	53
Lisa 7. Paagi raami joonis	54
Lisa 8. Paagi kork.....	55

SISSEJUHATUS

Autotehnika areng on kaasa toonud süsteemide elektroonilise juhtimise. Tänu sellele on võimalik kontrollida ning juhtida sõiduki erinevaid agregaatide ja saada teavet juhtimise parameetritest. Kaasaegsetel sõidukitel võib olla kuni 60 erinevat mikroprotsessorit alates mootori juhtimisest kuni juhi istme seadete salvestamiseks.

Kuidas remontivat personali õpetada? Teoreetiliste teadmiste kinnitamiseks on mõttekas õppeseadmel genereerida juhtimissüsteemi vigu ja lasta õppuritel neid vea allikaid otsida kasutades valmistajatehaste poolt ettevalmistatud tehnoloogiat.

Sõiduautode tavakasutusel esinevad igasugused rikked ja need, millega on seotud elektroonika jätvavad oma jälge ka auto juhtplokki veakoodidena. Veakoodide saab lugeda nii tehasearvutiga kui ka universaalse OBD testriga. Veakoodide lugemine on kõige kiirem tee võimaliku vea asukoha määratlemiseks.

Viga kujutab ennast kokkulepitud numbrite ja tähtede kombinatsiooni ja mis saadakse süsteemi juhtarvuti elektriliste mõõtmistega ning saadud väärtuste kõrvutamisel juhtarvutisse salvestatud piirväärtustega.

Diagnostika on protsess, mille käigus uuritakse sõiduauto tehnilist seisundit nii arvutiga kui ka mehaaniliste võtetega, mille tulemus on diagnoos. Diagnostikat teostab väljaõpetatud inimene kelle elukutseks on diagnostik.

Diagnostik on inimene, kes teab autode süsteemide ehitust ja mõistab nende tööpõhimõtet. Sammuti oskab diagnoosida erinevate süsteemide seisundit, teostada vajalikud kontrolltestid, mõõta kõike elektrilisi signaale. Kui auto enesediagnostika ei suuda vea tuvastada aga ikkagi näitab, et midagi on valesti süsteemis või auto käitub imelikult, siis tuleb pöörduda remonditöökotta.

Edasi kõik sõltub remonditöökoja varustusest ning kui suurte kogemustega töölised seal on. Väga palju sõltub tööliste väljaõppest. Üks tähtis osa väljaõppest on teoreetiline osa, kus inimene peab ennast näitama, et ta on sellest erialast huvitatud, aga teine osa on praktiline pool. Teise osa juures

saab rakendada oma oskusi ning saab esimest kogemust töökeskkonnaga. Kui inimene on juba varakult kohtunud ja tutvunud oma tuleviku keskkonnaga saab ta tegutseda kordagi kiiremini ning ei ole hirmu oma tegevuste ees.

Üha rohkem kasutatakse õpingute juures igasuguseid õppevahendeid, mis on oma ehitusega sarnased autoga või on täielikus mahus võetud auto pealt. Niimoodi on kõige lihtsam näidata elus esinevaid rikkeid. Sõltuvalt õppevahendi varustusest saab imiteerida igasuguseid situatsioone kasutades väiksemaid vigu või rakendades tõsisemaid tõrkeid süsteemide töös. Mõjutab õpingutele ka ümbritsev ruum. Kas tegemist on väikse klassiruumiga või suure katselaboriga. Isegi see mõjutab tuleviku töö tajumist.

Õppevahend on objekt, mis on loodud inimese poolt õppeprotsessi eesmärgil, mida kasutatakse hariduse alast teave ja tegevuse kandjana. Need võivad olla paberkandjana, elektroonilised, visuaalsed, demonstratiivsed ning seadmetena.

Ma arvan, et kõige paremini inimene õpib demonstratiivsete õppevahendite ja seadmete pealt. Siis inimene saab rakendada ennem õpitut, tutvuda elus tulevate objektidena ning saab paremat kujutist oma erialalt. Nagu ütleb Tallinna Tehnikakõrgkooli tunnuslause – „Praktika on parim õpetaja.“

Antud lõputöö teema eesmärgiks on luua keskkond diagnostikute välja õpetamiseks, kus kasutame demonstratiivse õppevahendina Lexus sõiduauto mootorit koos automaatkäigukastiga. Mille peal saame näidata ja imiteerida elus esinevaid rikkeid ja tõrkeid ning demonstreerida mootori ja automaatkäigukasti teiste süsteemide tööd. Stendi teeb eriliseks mootori ja käigukasti koostöö reaalse jälgimise võimalus. Koormamiseks kasutatakse firma ZF poolt loodud veoauto pidurdamiseks konstrueeritud hüdroidurit intarder.

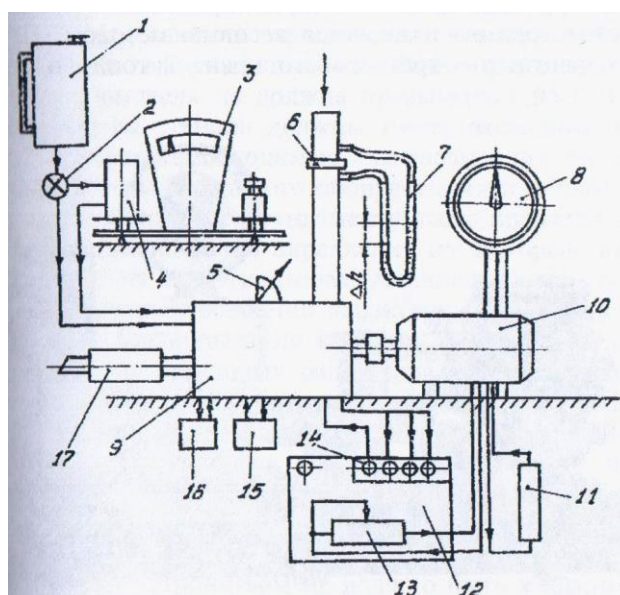
Edasi saate tutvuda saavutatud tulemustega ning erinevate probleemide lahendustega.

1. MOOTORI JA KÄIGUKASTI ALUSRAAMI PROJEKTEERIMINE

Rajatis mootori või jõuseadme katsetamiseks on kompleks masinaid, seadmeid ja süsteeme, mis on majutatud hoonesse, on adapteeritud või spetsiaalselt ehitatud sellele eesmärgile. Sellise rajatise õigeks ja efektiivseks töötamiseks palju elemente peavad olema omavahel sobitatud ning sammuti täitma kasutaja ja asjakohaste määruste nõudeid.

Stend mootori või jõuseadme testimiseks kujutab endast spetsiaalset paigaldist, mis on varustatud vajalikke seadmetega, süsteemidega ja aparatuuriga. Need peavad tagama:

- mootori ühtlast tööd;
- võimalust määratlema ja mõõtma kõik vajalikud parameetrid ja näitajad tingimustes, mis on lähedased ekspluatatsioonilistega;
- mugavust mootori hooldamiseks;
- minimaalne ajakulu mootori monteerimiseks ja demonteerimiseks stendil;
- ohutuse, tuleohutuse eeskirju ja tööstushügieeni nõudeid.



Sele 1. Katsestendi skeem [1] lk 219

(Sele 1) tutvustab katsestendi (printsiiibilise põhimõtte) skeemi, kus 1 – kütusepaak, 2 – kolmikkraan, 3 – kaalud, 4 – mõõtepaak, 5 – käepide, 6 – diafragma, 7 – manomeeter, 8 – kaaluseade, 9 – mootor, 10 – koormusseade, 11 – reostaat, 12 – juhtpult, 13 – reostaat, 14 – näidikut, 15 – veejahuti, 16 – õlijahuti, 17 – summuti.

Minu ülesandeks on mootori, käigukasti ja mootorit koormavale hüdropidurile kandva alusraami projekteerimine ning valmistamine. Kuna stendi luuakse diagnostikute jaoks, siis peaks stend olema lihtsa ehitusega, kus kõik komponendid on ohutult juurdepääsetavad. Samas stend peaks olema kompaktne kuna ruumi võimalused on piiratud. Tuleb arvutada läbi konstruktsiooni tugevust ja vastupidavust.

Õpepestend hakkab paiknema Tallinna Tehnikakõrgkooli laboris aadressil Siidisaba 8, Tallinnas. Katseseadeks on sõiduauto Lexus 3GR-FSE mootor (mootori andmed toodud tabeli kujul (Tabel 1)) koos automaatkäigukastiga. Mootori koormamiseks kasutame hüdropidurit, mis on kasutusel veoautodel auto pidurdamiseks.

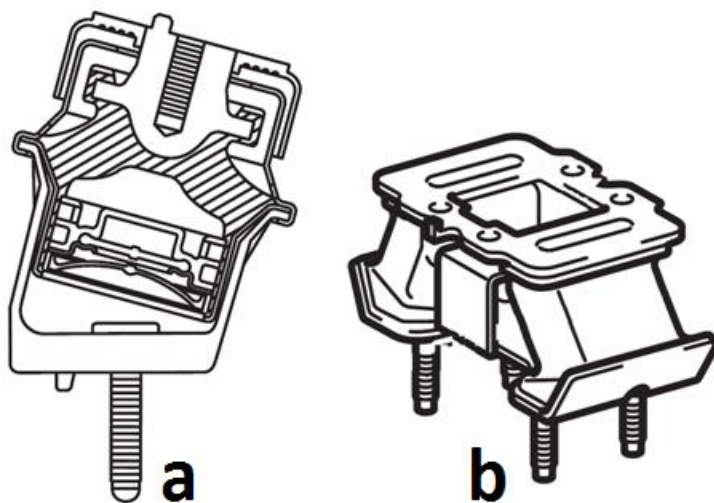
Tabel 1

3GR-FSE mootori andmed	
Töömaht	2995 cm ³
Silindrite arv ja paigutus	6 silindriline, V tüüp
Kolvi läbimõõt x käik	87,5 mm X 83,0 mm
Surveaste	11,5
Kütusesüsteem	EFI D-4
Tühikäik	650 p/min
Kaal	174 kg
Võimsus	183 kW @ 6200 p/min
Moment	300 Nm @ 3500 p/min

Autol mootor ja käigukast paikneb kolmel elastsel toel nn patjadel, mis summutavad tekkivaid vibratsioone ja takistab mootori liikumist auto suhtes. Kasutan sama lahendust stendi puhul ja paigaldan jõuseaded raami peale samamoodi kolmele toele kasutades originaalseid mootoripatju (Sele 2).

Mootori võimsuse ülekandmiseks pidurile kasutame sama auto kardaanilühikest osa. Selleks tuli lahti pressida kaks kardaanilühikendit ja peaülekanne flants uuesti külge ühendada. Kardaaniristi täpseks fikseerimiseks määrati indikaatorkella abil risti kausside sügavus flantsi suhtes ja fikseeriti

keevituspunktidega stopperseibid. Selline ümberehitus oli põhjustatud tõsiasiast – tehase poolt valmistatav tervikkardan remontimisele ei kuulu.



Sele 2. a - mootoripadi, b - käigukasti padi

1.1. Materjali valik ja hankimine

Raami alumise osa materjaliks valisin riskülikukujuga terastoru 70x50x3 S355J2H. Mootori toetamiseks kasutan U-profiiliga terast 50x50x4 S235JRG2. Mootori ja käigukasti toetamiseks kasutan plaate terasest S235JR paksusega 15 mm. Juhtpuldi aluse jaoks valisin võrdsete nurkadega terasprofiili 30x30x3 S235JR+AR.

Valisin neid materjale kuna nende füüsikalised ja mehaanilised omadused vastasid vajalike nõuetele ja neid saab lihtsalt töödelda.

Võtsin ühendust erinevate firmadega, et teha hinnavõrdlust. Saatsin päringuid järgmiste kohtadesse:

1. Enimor Met OÜ

Vastus tuli kiiresti, aga seda materjali ei saanud nad pakkuda.

2. Ruukki Products AS

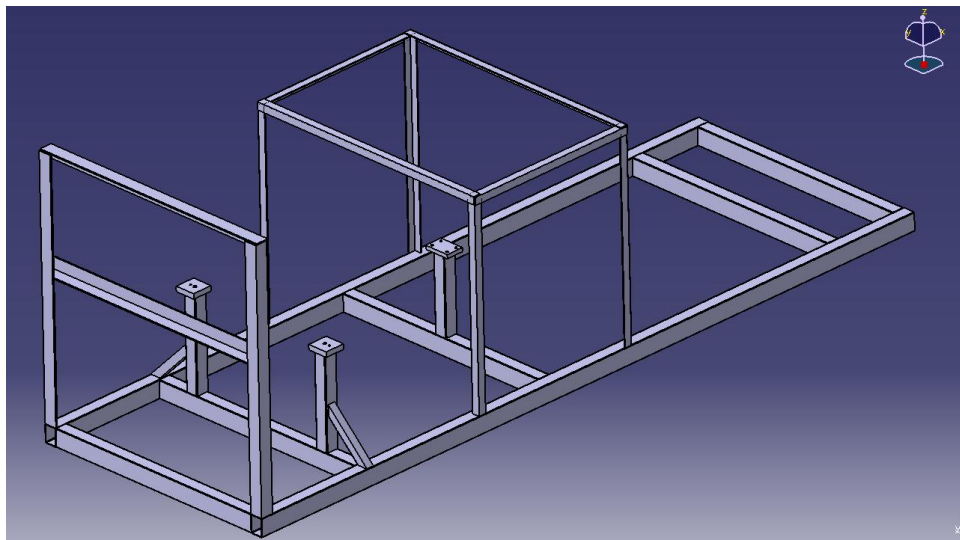
Vastust sain järgmisel päeval. Pool soovitatavast materjalist oli pakkuda. Aga ebamugavus oli selles, et firma müüb standart pikkustega ja kõik jäägid peale lõikamist müüakse kaasa. Pakuti 50x50x3 U-profiil S235JRG2 – 4,02.- EUR/m. Ning plaatide asemel - külmaltsleht 2x1000x2000 DC01AM ja kuumaltsleht 2x1000x2000 Laser 355 PE, mis minu juhul ei sobinud.

3. AKM Metall OÜ

Vastuse sain kohe ning soovitud materjal oli olemas. Firma pakkus ka lõikamise teenust, mis hoidis minu aega kokku. Pakuti riskülikukujuga terastoru 70x50x3 S355J2H – 5,87.- EUR/m; U-profiil teras 50x50x4 S235JRG2 – 9,18.- EUR/m; võrdsete nurkadega terasprofiili 30x30x3 S235JR+AR – 1,8.- EUR/m; leht teras 15 mm – 237,6.- EUR/m²; võrdsete nurkadega terasprofiili 50x50x5 S235JR+275+AR – 1,8.- EUR/m.

1.2. Alusraami eskiis

Jõuseade paigaldan kolmele toele. Kuna mootor on koos käigukastiga, siis kolmest toest piisab, et hoida jõuseaded oma tööasendis. Esimesed toed on külgedelt toetatud. Mootori ette tuleb ohutustehniline kaitsekilp. Juhtpult tuleb raami keskele käigukasti peale, kuna sealt on mugavam juhtida seadet ning operaatori jaoks on ohutum koht. Kõige suurem ohuallikas stendi keskosas on mootori väljalasketorustik temperatuuriga kuni 600 kraadi. Stendi kuju saab näha allpool (Sele 3).



Sele 3. Raami projekt

Stendi gabariit mõõtmed on 3000x1000x1000 mm. Kaal jõuseadme ja hüdroidurita on umbes 100kg. Et takistada raami liikumist põranda suhtes, kinnitame seda ankrupoltidega.

Alusraami joonistega saab tutvuda lisades (Lisa 1 ja Lisa 2).

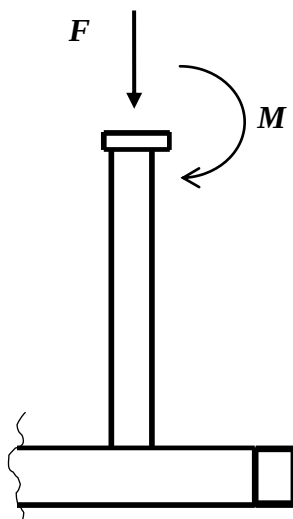
1.3. Tugevusarvutused

Tähtis osa on tugevusarvutused. Kindlasti tuleb teada, kas konstruktsioon peab antud koormustele vastu ning palju varu on. Mootori kaal on 174 kg ja käigukast kaalub 74,7 kg. Kokku on 248,7 kg. Mootori toodetav moment on 314 Nm. Jõuseade on toetatud kolmes punktis: kaks on mootori külgedel ja üks on käigukastipadja all. Arvutame läbi survepingeid ja paindepingeid, mis tekkivad ühes punktis (Sele 4).

Survearvutuse jaoks meil on vaja teada, mis jõud F mõjutab seda punkti ning tala ristlõikepindala A . Tuleb ka meeles pidada, et tegemist on U-profiilse talaga.

$$\delta_S = \frac{F}{A}, \quad (1.3.1)$$

kus δ_S - survepinge MPa;
 F - jõud N;
 A - ristlõikepindala mm^2 .



Sele 4. Mootori toetamise punkt

Jõud F on mass m korda kiirendus a . Kuna mootor seisab, siis kiirenduse asemel arvestame raskuskiirendust g , mis võrdub $9,8 \text{ m/s}^2$. Saame:

$$F = m \cdot g, \quad (1.3.2)$$

kus m - mootori mass kg;
 g - raskuskiirendus m/s^2 .

$$F = 124,35 \cdot 9,8 = 1218,63 \text{ N}$$

Kuna tegemist on U-profiilse talaga (Sele 5), siis tegemist on kahe kujuga – ruut ja ristkülik. Ruudu ristlõikepindala A arvutamiseks kasutame valemit:

$$A_{ruut} = a^2, \quad (1.3.3)$$

kus a - ruudu külje pikkus mm.

Ristküliku ristlõikepindala arvutamiseks kasutame valemit

$$A_{ristkülik} = a \cdot b, \quad (1.3.4)$$

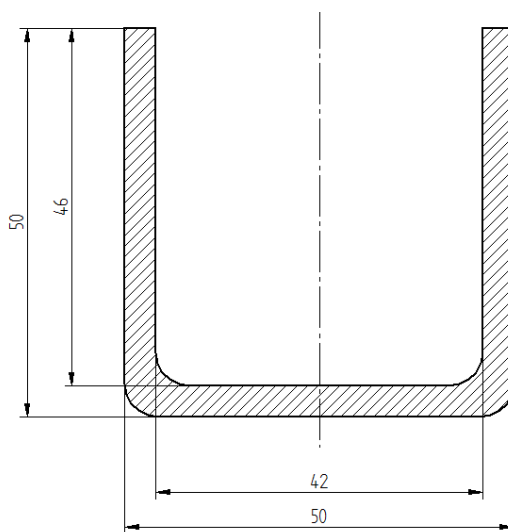
kus a - ristküliku pikkus mm,

b - ristküliku laius mm.

$$A_{ruut} = 50^2 = 2500 \text{ mm}^2$$

$$A_{ristkülik} = 42 \cdot 46 = 1932 \text{ mm}^2$$

$$A = A_{ruut} - A_{ristkülik} = 2500 - 1932 = 568 \text{ mm}^2$$



Sele 5. U-profiilse tala ristlõige

$$\delta_s = \frac{1218,63}{568} = 2,15 \text{ MPa}$$

Paindearvutuse jaoks kasutame valemit:

$$\delta_p = \frac{M}{W}, \quad (1.3.5)$$

kus δ_p - paindepinge MPa;

- M - mootori moment N·m;
W - vastupanumoment mm³.

Vastupanumomendi leiame valemiga:

$$W = \frac{b \cdot h^2}{6}, \quad (1.3.6)$$

- kus b - tala laius mm;
h - tala kõrgus mm.

$$W_1 = \frac{b \cdot h^2}{6} = \frac{50 \cdot 50^2}{6} = 20833,33 \text{ mm}^3$$

$$W_2 = \frac{b_1 \cdot h_1^2}{6} = \frac{42 \cdot 46^2}{6} = 14812 \text{ mm}^3$$

$$W = W_1 - W_2 = 20833,33 - 14812 = 6021,33 \text{ mm}^3$$

$$\delta_p = \frac{314 \cdot 10^3}{6021,33} = 52,15 \text{ MPa}$$

Nüüd saab välja arvutada ohutusteguri, mille valem on:

$$s = \frac{\delta_T}{\delta}, \quad (1.3.7)$$

- kus s - ohutustegur;
 δ_T - materjali voolavuspiir MPa;
 δ - pingete summa, mis mõjutavad tala peale MPa.

Materjaliks on teras S235JRG2, mille voolavuspiir on 235 MPa.

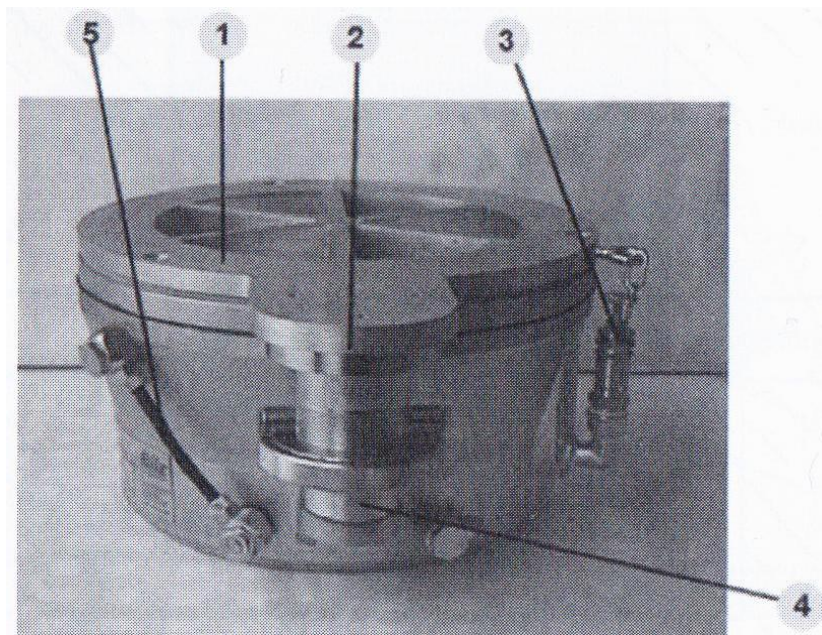
Pingete summa on $\delta = \delta_p + \delta_s = 52,15 + 2,15 = 54,3 \text{ MPa}$.

$$s = \frac{235}{54,3} = 4,33$$

Saadud ohutegur näitab, et konstruktsioon on piisavalt tugev ja omab varu.

1.4. Vibratsioon

Kuuesilindrilise mootori ning käigukasti töös tekkivate vibratsioonide summutamiseks ühendatakse jõuagregaat stendi raamile läbi autol kasutatavate patjade. Küll aga vajab uurimist mootori piduri poolt toodetavad vibratsioonid. Lõputöö kirjutamise hetkel stendi ei ole käivitatud ning puuduvad teadmised selles vallas. Tehniliselt saab vibratsiooni ruumi edasikandumist piirata tööstuslike õhk-vedru alusplaatidega (Sele 6). Odavaim lahendus oleks armeeritud kummiribade asetamine stendi raami ja põranda vahele.



Sele 6. Õhk-vedru alusplaat, kus

1 – ülemine plaat, 2 – juhtklapp, 3 – surve kaitseklapp, 4 – tase reguleerimine, 5 – õhu voolik [2] lk
216

2. JAHUTUSSÜSTEEM

Mootoristendi töölerakendamise suurim väljakutse on kütuse põlemisel tekkiva soojusenergia ärajuhtimine stendiruumist. Lõputöös uuritakse jahutamise erinevaid lahendusi. Jahutussüsteemi ülesanne on ära juhtida mootoris ja mootoripiduris tekkiv soojus. Mootori ja käigukasti töötamisel eraldub jahutussüsteemi umbes kolmkümmend protsenti toodetud energiast ehk umbes 183 kW ja 183 kW mootori poolt toodetud mehhaanilist võimsust, mida pidurdame maha retarderiga. Retarderil jahutamiseks on eralduv soojus vaja „kokku koguda“ ja jahutada. Kokku on 366 kW. Teades, et 1 W on 1 J/s, saame jahutamist vajava soojuse hulga – 366 kJ/s.

Lisaks eraldub ruumi mootori ning käigukasti poolt toodetud kiirgusenergia ja väljalasketorustiku kiirgusenergia. Lihtsa rusikareegli järgi jaotub kütuse põletamisest tekkiv energia seose „30-30-30-10“ kohaselt. Näidisega saab tutvuda alljärgnevas tabelis (Tabel 2).

Tabel 2

Näidis reeglist "30-30-30-10"	
Mootoris tekib kütuse põlemisel	Mootorist on vaja eemale viia
Kütus 600 kW	Mehhaaniline võimsus 180 kW e 30%
	Väljalase süsteem 180kW e 30%
	Jahutussüsteem 180kW e 30%
	Kiirgus 60 kW e 10%

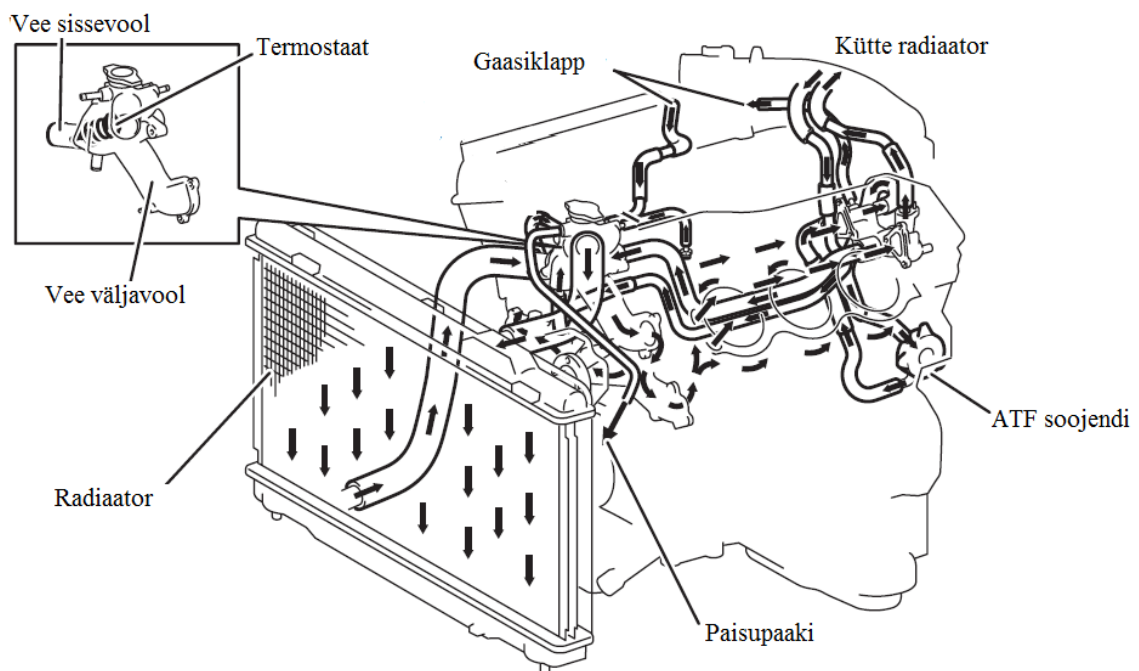
Kõige levinumad jahutussüsteemid on kas vedelik-vedelik või vedelik-õhk jahutussüsteemid. Nii auto mootori ja käigukasti kui ka mootoripiduri jahutamiseks kasutatakse vedelikjahutust. Eelpool väljatoodud jahutamist vajava soojuse hulk sõltub mootori pöörete arvust ja mootori koormamise ulatusest. Mõistlik on arvutused teha maksimaalse toodetud võimsuse alusel.

Esmalt kirjeldatakse Lexus autol kasutatavat tehnilist lahendust. Mootor ja käigukast on vedelikjahutusega (Sele 7). Jahutussüsteemi põhiosad on jahutusventilaator, veepump, lõdvikud, radiaator, salongi kütteradiaator, termostaat, külmakorgid, jahutusvedeliku paak, rõhuregulaator, jahutussärk. Tähtis on, et mootor saavutaks kiiresti oma töötemperatuuri ning seejärel jahutussüsteem hoiaks temperatuuri stabiilsena. Kui mootor ei saavuta õiget töötemperatuuri, siis:

- Mootoriõlid on viskoossemad, mille tõttu mootori mehhaaniline kasutegur langeb;
- Mootori komponentide töölohtud ei saavuta optimaalseid väärtusi ja kulumine suureneb;
- Töösegu ei põle täiesti ära ning kondenseerub.

Aga kui mootor kuumeneb üle, siis:

- Mootoriõlid on vedelamad, millega võib langeda mootori töökindlus;
- Mootori komponendid paisuvad ning kõige halvemal juhul kiiluvad kinni;
- Töösegu võib varem süttida ning sellega kaasneb ka detonatsioon.



Sele 7. Mootori 3GR-FSE jahutussüsteem

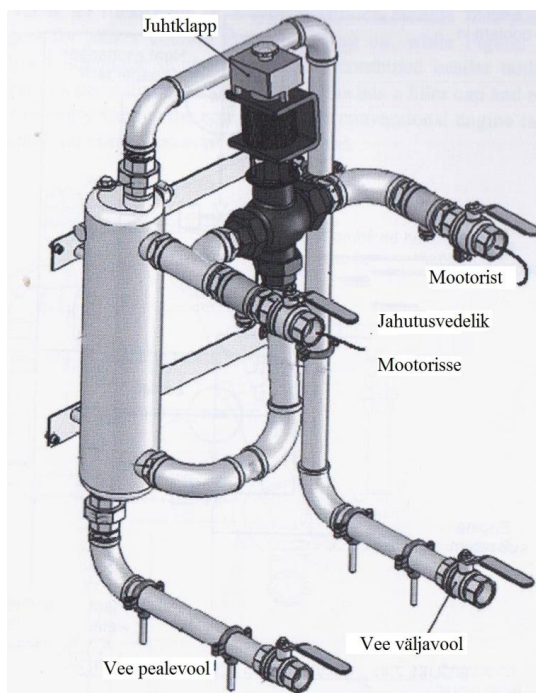
Selleks, et kiiremini saavutada töötemperatuur, on süsteemi paigutatud termostaat, mis ei lase jahutusvedeliku suure jahutusringile ehk läbi auto esiossa paigaldatud radiaatori. Seni ringleb jahutusvedelik väikeses jahutusringis ehk mootoris ja salongi kütteradiaatoris. Temperatuuri tõusmisel üle konstruktori poolt ettemääratud temperatuuri hakatakse jahutusvedelikku osaliselt juhtima läbi suure ringvoolu. Lexuse mootori puhul on termostaadi avamise temperatuur vahemikus 80-84 °C. Meie kliimavöötmes piisab mootori jahutamiseks auto liikumisel tekkivast õhu liikumisest läbi suure radiaatori. Auto seismisel lülitakse vajadusel sisse jahutusventilaatorid .

Jahutusvedeliku keemistemperatuur määratakse survega jahutussüsteemis. Lexuse jahutussüsteemi surve on 1,2 bar. Teades jahutusvedeliku keemispunkti ja surve vahelist sõltuvust, saame maksimaalseks lubatud mootori temperatuuriks umbes 105 °C. Teisalt peab süsteem olema

„elastne“ ehk vedeliku temperatuuri muutused kaasavad vedeliku mahu muutuse. Otstarbekas on selleks kasutada suletud paisupaagi süsteemi. Kui jahutussüsteemis tekkib rõhk jahutusvedeliku aurustamise tõttu, mis ületab 1,2 bar-i, siis rõhukork avaneb ja jahutusvedelik voolab paisupaaki.

Stendi jahutamiseks on valida kas vesi-vesi jahutussüsteemi või vesi-õhk jahutussüsteemi vahel. Ka kolmas ehk kombineeritud võimalus säilib. Kolmanda variandi kohaselt sobiks mootorit ja käigukasti jahutama vesi-õhk jahutussüsteem ning mootoripiduri jahutamiseks vesi-vesi jahutussüsteem.

Vesi-vesi jahutussüsteemi energiavahendajaks on soojusvaheti (Sele 8). Soojusvaheti on seade, millega kantakse soojust üle kõrge temperatuuriga keskkonnast madalama temperatuuriga keskkonda. Mootori poolt vaadatuna on primaarahela töötemperatuuriks $82 \pm 2^\circ\text{C}$ kuni 105°C . Sekundaarahela ehituse arvutamiseks kasutati soojussüsteemide arvutusmetoodikat.



Sele 8. Soojusvaheti [2] lk 164

Vesi-vesi jahutussüsteemis kasutame töökehana vett nii mootoris kui ka soojusvahetis. Maksimaalsel koormusel mootorist välja juuva jahutusvedeliku temperatuuriks eeldame 100°C ja sisenev on 82°C .

Esimese arvutuslahendi kohaselt kasutame sekundaarpoolel ehk mootori suure ringvoolu kontuuris 3 seinaradiaatorit pindlaga $1,17\text{ m}^2$, mille kütte (jahutus) võimsus kokku on 21 kW .

Nende parameetrite juures saime üle kanda mootorilt ainult 21,03 kW võimsust. Lisandub oht, et veevoolu kiirus antud võimsuse ja temperatuuride juures läheb radiaatoril olevates DN15 ühendustes liiga suureks ja tekkivad kohaliku takistuse rõhukaod, mis ole soovitatav. Võrreldes jahutusvõimsust ja kütuse põletamisel tekkiva energia kogust ca 600 kW on lihtne tuletada, et jahutusvõimsusest ei piisa. Soojusvaheti andmetega saab tutvuda lisades (Lisa 3).

Teises arvutuskäigus muudeti soojusvaheti sisend ja väljundtemperatuure: 80°C – mootorist väljuv temperatuur ehk mootor töötabki termostaadi avanemistemperatuuri piirkonnas ja sekundaarpoole töötemperatuur on toatemperatuur ehk 20°C. Sekundaarpoole jahutamisevõimsuseks saadakse oluliselt parem tulemus - 165,6 kW. Kahe arvutuskäigu analüüs osutab kahele olulisele parameetrile. Esmalt on vaja hoida sekundaarkontuuri temperatuur võimalikult madal ja sellest tulenevalt on vaja saavutada maksimaalne sekundaarpoole vee maht.

Teise arvutuskäigu tulemus on lähedane mootori nimivõimsusele 183 kW. Aga siin tekkis kahtlus sekundaarpoole sisendtemperatuuri suhtes, kas liiga suur temperatuuride vahe ei riku pikas perspektiivis soojusvaheti. Selle soojusvaheti parameetridega saab tutvuda lisades (Lisa 4). Selles variandis arvutasime ka soojusvaheti ringluskontuuri pumba parameetrid. Pumba tootlikkus peab olema sama nagu mootori veepumbal – 46 l/min. See on sagedusjuhtimisega „TARK“ pump, millele saab ette anda kui palju ta peab pumpama ning millise rõhuga. Katsestendile vajalik omadus. Pumba andmetega saab tutvuda sammuti lisades. Lõpus on ka märgitud selle pumba maksmus.

Kolmandas katses proovisin muuta temperatuuri nii, et tagada mootori stabiilset tööd. Mootori väljuv temperatuur - 84°C ja mootorit sisenev temperatuur - 70°C. Maksimaalne ülekantav võimsus nende parameetrite puhul on 39,17 kW. Sellest ei ole piisavalt kui mootor töötab tükk aega keskmistel pööretel. Sekundaarpoole torude ja sulgarmatuuri vajalik tinglähimõõt on DN 40. Probleemiks on see, kuhu seda soojusenergiat kulutada ehk ära juhtida. Selle variandi arvutustega saab tutvuda lisades (Lisa 5). Sekundaarpoolel on kõrged temperatuurid, mille tõttu on vesi liiga lähedal keemispunktile.

Viimasel katsel temperatuurid primaarpoole peal jäid samadeks aga sekundaarpoole peal alandasime siseva ja väljuva temperatuuri ja mille tõttu tuleb suurendada pumba tootlikkust, et tagada temperatuuri vahemiku. Tulemustega saab tutvuda lisades (Lisa 6).

Kuna soojusehulk, mis eraldub mootorist on päris suur, siis kiiresti ja kompaktselt toimivat vesi- vesi sekundaarkontuuri konstrueerida ei ole mõtet. Küll aga võib sekundaarahelas oleva vedeliku

mahtu suurendada nii palju, et stendis töötava mootori jahutus oleks tagatud. Järgevalt sooritame vastavad arvutused.

2.1. Veemahude arvutamine

Vedelikjahutuse teises arvutuslahendis selgus vajadus hoida soojusvahetisse suubuva jahutusvedeliku temperatuur võimalikult madal ja sealt johtuvalt vedeliku maht süsteemis võimalikult suur. Käesolevas peatükis keskendutakse vajaliku veesüsteemi mahu arvutamisele. Mahu määrab vedelikupaakide paigutamiseks vajalik ruum.

Selleks, et vee vooluhulga välja arvutada tuleb teisendada soojusliku võimsuse valemi:

$$Q = C \cdot m \cdot \Delta T, \quad (2.1.1)$$

kus Q - soojuslik võimsus kJ/s;
 C - erisoojus $\frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}}$;
 m - vooluhulk kg/s;
 ΔT - temperatuuride vahe $^\circ\text{C}$.

Teisendame:

$$m = \frac{Q}{C \cdot \Delta T}.$$

Kus m on otsitav vee maht; Q on maksimaalne stendist ära juhitava soojuse kogus, C on vee erisoojus $4,2 \text{ kJ/kg } ^\circ\text{C}$ 90°C juures ja ΔT on veemassi temperatuuri muutus.

Sekundaarahela jahutussüsteemi vee temperatuur saab muutuda vahemikus toatemperatuur (20) kuni mootori väljundtemperatuur.

Näide 1. Täiskoormusel töötava stendi poolt jahutamist vajav soojushulk on 366 kJ/s . Temperatuurideks võtame $T_1 = 20^\circ\text{C}$ ja $T_2 = 82^\circ\text{C}$. Vee tiheduseks võtan $\rho = 1,00 \frac{\text{kg}}{\text{l}}$.

$$m_1 = \frac{366}{4,2 \cdot (82 - 20)} = 1,4 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \text{ e } 1,4 \frac{\text{l}}{\text{s}} \text{ vee puhul}$$

Sama arvutus, kui agregaat töötab 20 min:

$$m_2 = \frac{366}{4,2 \cdot (82 - 20)} \cdot 20 \cdot 60 = 1686,6 \text{ kg e } 1686,6 \text{ l vee puhul}$$

Sama arvutus, kui stend töötab 20 min ja vedeliku temperatuuri vahe on 20 kraadi:

$$m_3 = \frac{366}{4,2 \cdot (82-62)} \cdot 20 \cdot 60 = 5228,6 \text{ kg e } 5228,6 \text{ l vee puhul}$$

Näide 2. Jahutusvedeliku mahu arvutused kahe erineva töökehaga, kui ka antifriisiga (50% veelahus). Vee erisoojus on $C_w = 4,187 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}}$ ja vee tiheduseks on $\rho_w = 1,00 \frac{\text{kg}}{\text{l}}$

Antifriisi 50% vesilahuse erisoojus aga $C_A = 3,38 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}}$ ja tihedus on $\rho_A = 1,082 \frac{\text{kg}}{\text{l}}$. Temperatuuri vahemikuks valitakse $10 ^\circ\text{C}$.

$$m = \frac{Q}{C \cdot \Delta T}$$

$$m_w = \frac{366}{4,187 \cdot 10} = 8,74 \text{ kg/s}$$

$$m_A = \frac{366}{3,38 \cdot 10} = 10,83 \text{ kg/s}$$

Mugavuseks teisendame l/min arvestades tihedust, siis $m_w = 524,4 \text{ l/min}$ ja $m_A = 600,6 \text{ l/min}$.

Kui mootor töötab 10 minutit maksmaalse koormuse juures, siis jahutamiseks vajame 5244 l vett ja 6006 l antifriisi 50% vesilahust ehk vajaliku antifriisi maht on ca 15% suurem.

Näide 3. Arvutan ka eraldi vooluhulga mootori ja retarderi jaoks sama temperatuuri vahemikuga.

$$m_w = \frac{183}{4,187 \cdot 10} = 4,37 \text{ kg/s}$$

$$m_A = \frac{183}{3,38 \cdot 10} = 5,41 \text{ kg/s}$$

Teisendame mugavuseks l/min: $m_w = 262 \text{ l/min}$ ja $m_A = 300 \text{ l/min}$

Kui mootor töötab 10 minutit maksimaalse koormuse juures, siis läheb vaja 2620 l vett või 3000 l antifriisi 50% veelahust.

Sooritatud piirtingimuste arvutustest selgub, et vajamineva vedeliku maht kasvab kiiresti temperatuuride vahe vähenemisel. Laboratooriumi tingimustes on mahutatavad mahutid 2000 l

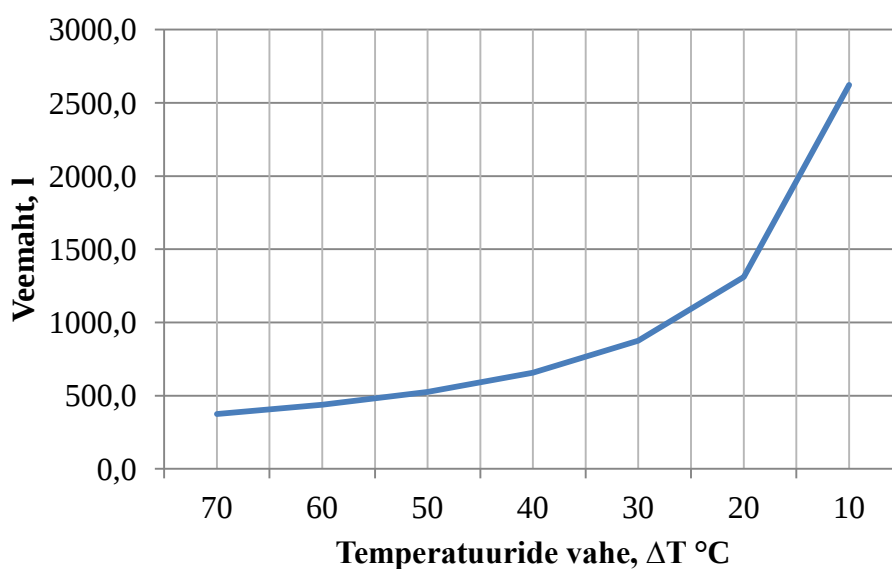
jahutusvee paigutamiseks. Temperatuuri vahemiku ja veemahu andmed vee puhul on esitatud tabeli kujul (Tabel 3). Aja periood on 10 min. Sõltuvust saab esitada ka graafilisel kujul (Sele 9).

Etüleenglükooli ja vee lahuse e antifriisi eeliseks on kõrgem keemistemperatuur. Mootor saab töötada vajalikus töötemperatuuri vahemikus. Aga kuna tema soojusjuhtivus on halvem kui veel, siis suureneb vajalik maht samasuguse soojusehulga jahutamiseks 15% ulatuses. Sammuti suur eelis on madal külmumistemperatuur. Kuna meie ruumi võimalused on piiratud, siis selle eelise tõttu saame tõsta mahutit stendi ruumist välja õue. Vajalike koguste suurused on esitatud tabeli kujul (Tabel 4). Sammuti esitan andmed graafilisel kujul (Sele 10).

Tabel 3

Temperatuuri vahemiku ja veemahu suurused

Temperatuur väljumisel, °C	Temperatuur sisenemisel, °C	Vee vooluhulk, kg/s	Vee vooluhulk, l/min	Veemaht, l
90	20	0,62	37,46	374,6
90	30	0,73	43,71	437,1
90	40	0,87	52,45	524,5
90	50	1,09	65,56	655,6
90	60	1,46	87,41	874,1
90	70	2,19	131,12	1311,2
90	80	4,37	262,24	2622,4

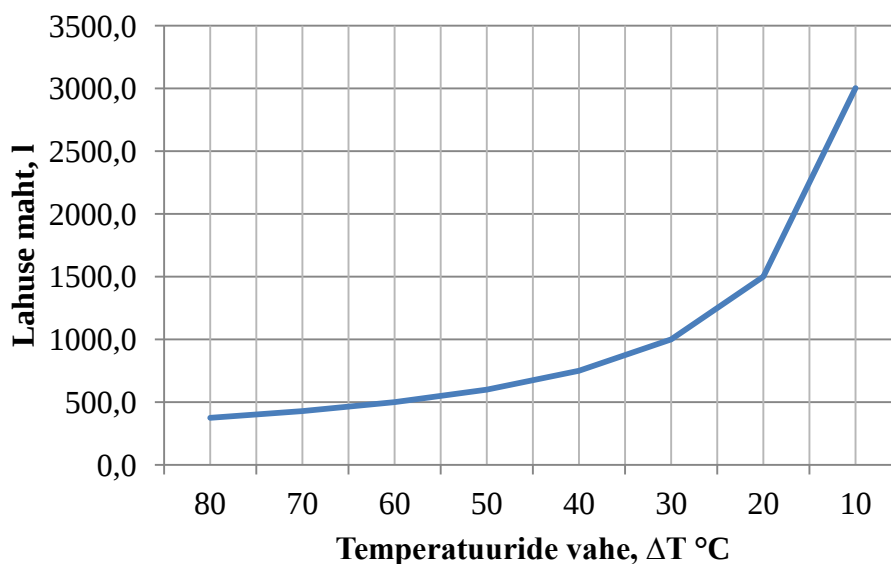


Sele 9. Temperatuuri vahemiku ja veemahu sõltuvus

Tabel 4

Temperatuuri vahemiku ja antifriisi veelahuse mahu suurused

Temperatuur väljumisel, °C	Temperatuur sisenemisel, °C	Antifriisi veelahuse vooluhulk, kg/s	Antifriisi veelahuse vooluhulk, l/min	Antifriisi veelahuse maht, l
100	20	0,68	37,53	375,3
100	30	0,77	42,89	428,9
100	40	0,90	50,04	500,4
100	50	1,08	60,05	600,5
100	60	1,35	75,06	750,6
100	70	1,80	100,08	1000,8
100	80	2,71	150,12	1501,2
100	90	5,41	300,23	3002,3



Sele 10. Temperatuuri vahemiku ja antifriisi veelahuse mahu sõltuvus

Mootoristendi jahutussüsteemi kontrollarvutused. Süsteemi kirjeldus:

- Mootori jahutussüsteemis on antifriis ja kasutusel on tehase termostaat. Suures ringvoolus ehk sekundaarkontuuris on vesi-vesi soojusvaheti.
- Soojusvaheti on ühendatud jahutussüsteemiga, kuhu kuulub tsirkulatsioonipump ja 2100 liitrit jahutsuvedelikku. Jahutusvedelikuks valitakse kaks töökeha parameetritega.
 - Variant 1. Vesi algtemperatuuriga 20 °C.
 - Variant 2. Antifriis algtemperatuuriga 8 °C (mahuti on maasse kaevatud).

Variant 1. Vee algtemperatuuriks on 20°C. Kuna süsteem on surve all, siis seda saame soojendada kuni 100°C. Temperatuuride vahe on $\Delta T = 80^\circ\text{C}$. Arvutuse teeme piirvõimsuse juures e 183 kW. Vee erisoojus on $C_w = 4,187 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}\cdot^\circ\text{C}}$ ja vee tiheduseks on $\rho_w = 1,00 \frac{\text{kg}}{\text{l}}$. Kasutades valemi (2.1.1) leiame vooluhulga:

$$m = \frac{Q}{C \cdot \Delta T} = \frac{183}{4,187 \cdot 80} = 0,546 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

Massi teisendame liiterkuluks arvestades tihedust kasutades valemi:

$$m = \rho \cdot V, \quad (2.1.2)$$

kus m - mass kg;
 ρ - tihedus kg/l;
 V - maht l.

$$V = \frac{m \cdot 60}{\rho} = \frac{0,546 \cdot 60}{1,00} = 32,76 \text{ l/min}$$

Veemaht on 2100 l. Seda jätkub $2100 : 32,76 = 64,1$ minutit.

Variant 2. Antifriisi algtemperatuur on 8°C. Saame seda soojendada kuni 100°C. Temperatuuride vahe on $\Delta T = 92^\circ\text{C}$. Antifriisi erisoojus on $C_A = 3,38 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}\cdot^\circ\text{C}}$ ja tihedus on $\rho_A = 1,082 \frac{\text{kg}}{\text{l}}$. Kasutades valemi (2.1.1) leiame vooluhulga:

$$m = \frac{Q}{C \cdot \Delta T} = \frac{183}{3,38 \cdot 92} = 0,589 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

Teisendame liiterkuluks arvestades tihedust:

$$V = \frac{m \cdot 60}{\rho} = \frac{0,589 \cdot 60}{1,082} = 32,66 \text{ l/min}$$

Antifriisi maht on 2100 l. Seda jätkub $2100 : 32,66 = 64,3$ minutit

Ajaliselt vahe ei ole märgatav 0,2 min e 12 sek. Temperatuuride vahe, vee puhul $\Delta T = 80^\circ\text{C}$ ja antifriisi puhul $\Delta T = 92^\circ\text{C}$, on tegur, mis sunnib eelistama maasse kaevatud vedeliku mahutit. Lisaväärtusena on pinnase õhust suurem soojusmahutavus.

2.2.Mootori jahutamine vesi-õhk radiaatoriga.

Vesi-õhk radiaatori jahutamise efektiivsus sõltub radiaatori pindalast ja temast läbivoolava õhu temperatuurist ja kiirusest. Näitena kasutame radiaatorit mõõtmetega: 700 mm - laius, 380 mm - kõrgus, 30 mm – paksus. Radiaatroi kõrg koosneb 77 nelikanttorust paksusega 6 mm. Radiaatori ristlõike pindala on 0,266 m². Õhu tiheduseks võtame $\rho = 1,185 \text{ kg/m}^3$. Õhu erisoojus on $C_0 = 1,01 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}}$. Temperatuuri vahe on $\Delta T = 10 \text{ }^\circ\text{C}$.

Saadava soojusehulga abil võib proovida kütta kõrval oleva ruumi. Kõrval asuva ruumi ruumala on 305 m³

Kasutades valemi (2.1.1) leiame õhukoguse 183 kW jahutamiseks temperatuuri vahega 10°C:

$$m = \frac{Q}{C \cdot \Delta T} = \frac{183}{1,01 \cdot 10} = 18,1 \text{ kg/s}$$

Arvestades õhu tihedust saame õhu mahuks 15,3 m³/s.

Kasutades valemi (2.2.1) saame leida, mis kiirusega peab õhk läbima radiaatori maksimaalse koormuse juures:

$$Q = V \cdot A, \tag{2.2.1}$$

kus Q - õhu vooluhulk m³/s;
 V - õhu kiirus m/s;
 A - radiaatori ristlõikepindala m².

$$V = \frac{Q}{A} = \frac{15,3}{0,266} = 57,5 \text{ m/s}$$

Mooori jahutamiseks täisvõimsusel ventilaator peaks puhuma kiirusega 57,5 m/s.

Saab määrata ka sõltuvust õhu vooluhulga ja temperatuuride vahemiku vahel. Andmed on esitatud tabeli kujul (Tabel 5) ning graafiliselt (Sele 11).

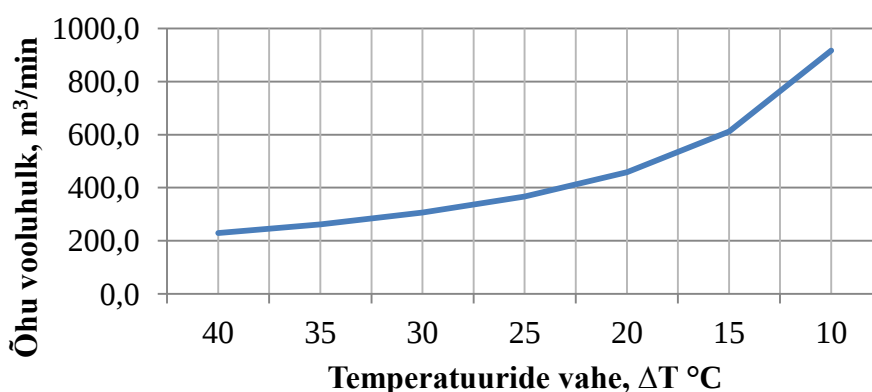
Tabel 5

Temperatuuri vahemiku ning õhu koguse suurused

Temperatuuride vahe, °C	Õhu vooluhulk, kg/s	Õhu vooluhulk, m ³ /min
40	4,5	229,4
35	5,2	262,1
30	6,0	305,8
25	7,2	367,0
20	9,1	458,7
15	12,1	611,6
10	18,1	917,4

Näiteks kui temperatuuride vahe on 20°C ja õhuvool on 458,7 m³/min täidame ruumi ruumalaga 305 m³ 0,66 minutiga e umbes 40 sekundiga.

Seega, vedelik-õhk jahutamine kahjuks ei sobi, sest sellise tehnilise lahenduse juures ei ole võimalik kõrvalruumis tööd teha.



Sele 11. Temperatuuri vahemiku ja õhuvooluhulga sõltuvus

2.3. Energiabilanss

Energiabilanss on väga tähtis osa katse rajatiste projekteerimisel. Juba algstaadiumis peab olema ettekujus, mis energiate ja soojuse kogustega tegu on. Muidu ettearvamatute tagajärjed võivad välja ilmuda hilisemal etapil. Allpool on toodud arvutus jõuseadme energiabilanssi kohta. See on üks osa energiabilansist.

Mootori võimsus on $P = 183 \text{ kW}$ maksimaalse koormuse juures. Alumine kütteväärtus bensiinil on $C_L = 43,8 \text{ MJ/kg}$. Vee erisoojus on $C_W = 4,18 \text{ kJ/kg}$. Õhu tihedus on $\rho = 1,2 \text{ kg/m}^3$. Kütuse tihedus on $\rho = 0,71 \text{ kg/l}$. Oletame, et kütuse erikulu on $sfc = 0,247 \text{ kg/kWh}$ ja õhu/kütuse suhe täis koormusel on 13:1.

Kütuse vooluhulga arvutamiseks kasutame valemit:

$$m_f = \frac{P \cdot sfc}{\rho}, \quad (2.3.1)$$

kus m_f - kütuse vooluhuk l/h;
 P - võimsus kW;
 sfc - kütuse erikulu kg/kWh;
 ρ - kütuse tihedus.

$$m_f = \frac{183 \cdot 0,247}{0,71} = 63,7 \text{ l/h või } 45,2 \text{ kg/h}$$

Kütuse põletamisest saadud energiat saab arvutada valemiga:

$$P_f = \frac{m_f \cdot C_L \cdot 1000}{3600}, \quad (2.3.2)$$

kus P_f - kütusest saadud energia kW;
 m_f - kütuse vooluhuk kg/h;
 C_L - alumine kütteväärtus bensiinil MJ/kg.

$$P_f = \frac{45,2 \cdot 43,8 \cdot 1000}{3600} = 550 \text{ kW}$$

Nüüd saame välja arvutada koefitsientide kaudu (Tabel 6) kuhu see energia kaob.

Tabel 6

Soojusbilanssi umbkaudset koefitsiendid bensiini mootori puhul

Allikad	Koefitsient	%	kW
Energia	3		550
Võimsus	1	33	183
Soojus jahutusvedelikku	0,9	30	165
Soojus heitgaasidesse	0,9	30	165
Kiirgus	0,2	7	37

Siseneva õhu vooluhulga saame arvutada valemiga:

$$m_a = P \cdot sfc \cdot AFR, \quad (2.3.3)$$

kus m_a - siseneva õhu vooluhulk kg/h;

AFR - õhu ja kütuse suhe.

$$m_a = 183 \cdot 0,247 \cdot 13 = 587,6 \text{ kg/h}$$

Kui arvestame õhu tihedust, siis $587,6/1,2 = 489,68 \text{ m}^3/\text{h}$ maksimaalse koormuse juures.

Oletame, et temperatuuti tõus on 10°C läbi mootoriplokki. Jahutusvedeliku vooluhulga saab leida valemiga:

$$m_c = \frac{P_c \cdot 60}{C_w \cdot \Delta T} \quad (2.3.4)$$

kus m_c - jahutusvedelikku vooluhuk l/h;

P_c - soojuse hulk, mis läks jahutusvedelikku kW;

C_w - vee erisoojus kJ/kg;

ΔT - temperatuuride vahe $^\circ\text{C}$.

$$m_c = \frac{165 \cdot 60}{4,18 \cdot 10} = 236,8 \text{ kg/min või } 236,8 \text{ l/min}$$

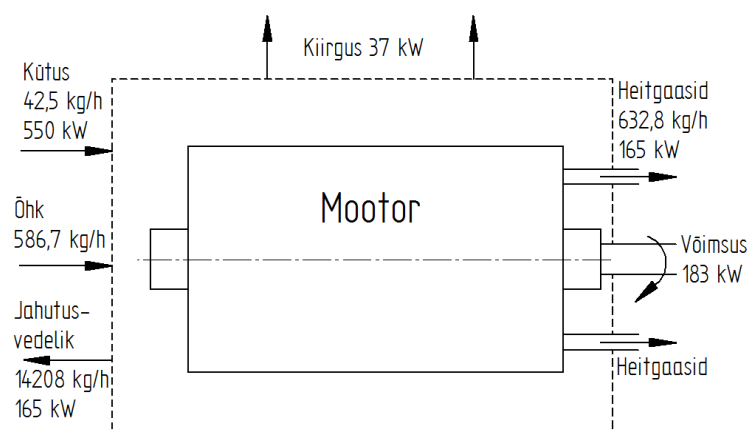
Heitgaaside vooluhulga leiame valemiga:

$$m_E = m_f + m_a, \quad (2.3.5)$$

kus m_E - heitgaaside vooluhulk.

$$m_E = 45,2 + 587,6 = 632,8 \text{ kg/h}$$

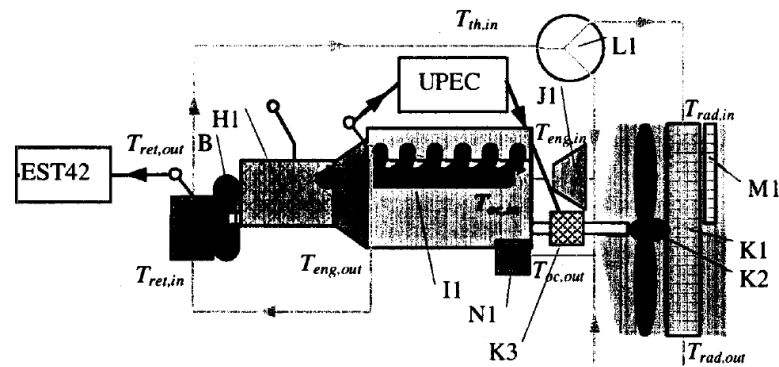
Kõik saadud andmed saab esitada graafiliselt (Sele 12).



Sele 12. Energia ja vedelike liikumine

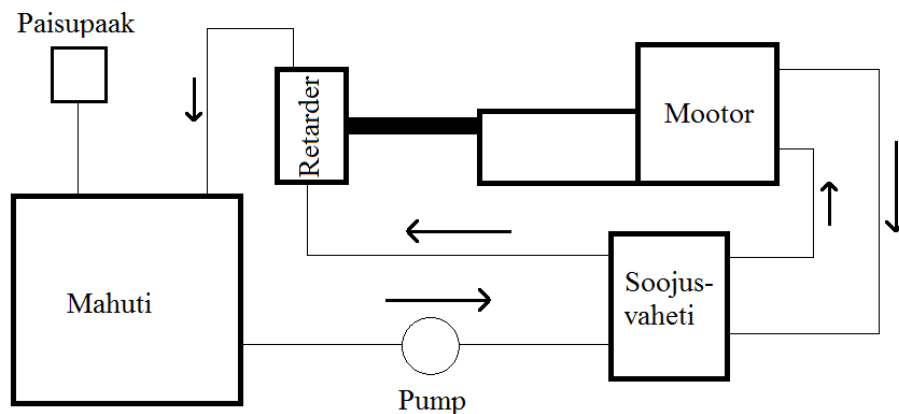
2.4.Otsus

Veoautol on kasutusel selline lahendus (Sele 13), kus nii mootorit kui ka retarderit jahutatakse sama ringvooluga kui mootorit ehk jahutusvedelik ringleb mootori ja retarderi jahutussüsteemis.



Sele 13. DAF jahutussüsteem, kus: *B* – retarder, *H1* – käigukast, *I1* – mootor, *J1* – veepump, *K1* – radiaator, *K2* – ventilaator, *K3* – ventilaatori ajam ja sidur, *L1* – termostaat, *M1* – vahejahuti soojusvaheti, *N1* – õlijahuti [3] lk 21

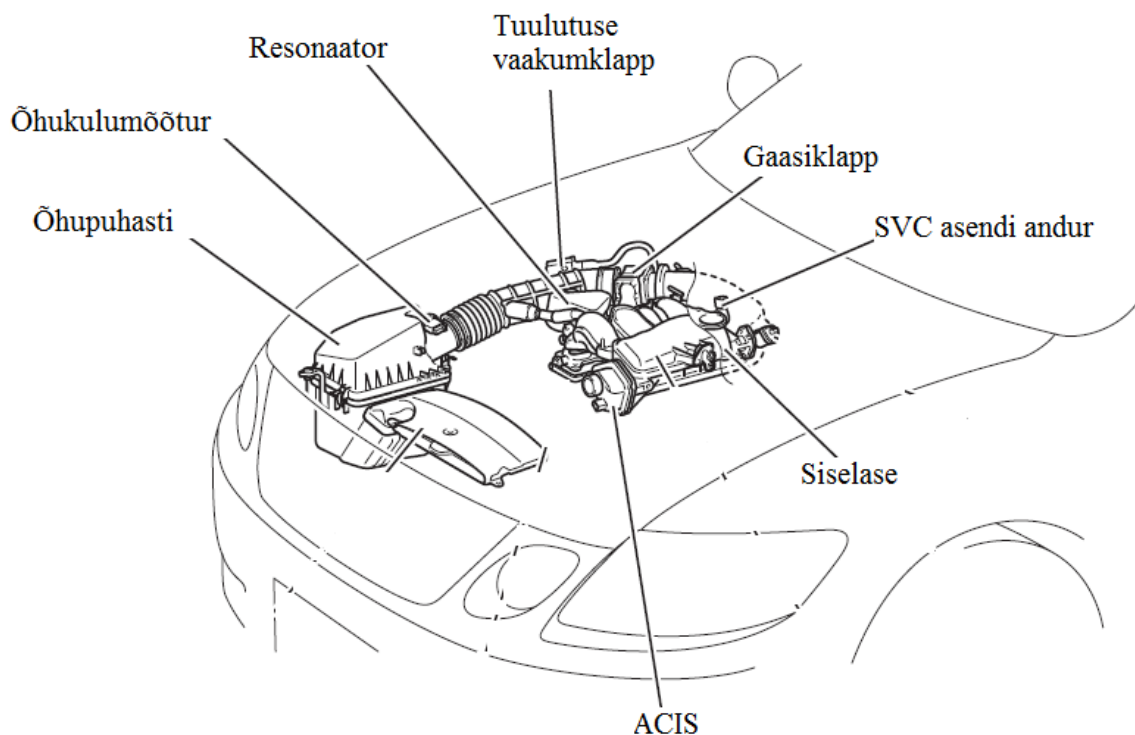
Diagnostikastendis tekkiva soojuse eraldamiseks pakun välja sellise tehnilise lahenduse. Mootori ja käigukasti jahutamiseks ja ettenähtud töötemperatuuri tagamiseks säilitatakse mootori väike ringvool. Originaalses suures ringvoolus asuv vesi-õhk radiaator asendatakse vesi-vesi soojusvahetiga (pindala 0,245m²). Soojusvaheti sekundaarpoole kontuuri ühendatakse ka ZF retarderi originaalne õli-vesi soojusvaheti. Sekundaarse kontuuri töökeha, antifriisi, maht peab olema 2000 liitrit ja mahutid tuleb paigaldada laboriruumi välisseina taha maa sisse. Autos möödapääsmatu soojendusradiaator tuleb jahutussüsteemis välja lülitada. Skeemiga saab tutvuda allpool (Sele 14). Jahutussüsteemi sekundaarpooles vedeliku ringluse tagamiseks tuleb kontuuri paigaldada nn tark veepump mille tootlikkus sõltub jahtusvedeliku temperatuurist.



Sele 14. Stendi jahutus skemaatiliselt

3. TOITESÜSTEEM

Toitesüsteemi ülesanne on õhu ja kütuse etteandmine, puhastamine, töösegu moodustamine ning seda silindrisse edestamine, kus seda süütakse ning tulemuseks on energia. Antud mootori siselasesüsteemi (Sele 15) osad on õhufilter, õhukulumõõtur, tuulutuse vaakumklapp, sisselaskekollektor, resonaatorkamber, gaasiklapp, torud, SCV asendi andur, ACIS süsteem.



Sele 15. Lexus GS300 sisselasesüsteem

Mootori sujuva töö jaoks tuleb tagada värske õhu juurdevoolu ning sooja ja saastatud õhu eemaldamist. Ventilatsiooni arvutamisel tuleb kindlasti arvestada soojust, mis tekib ruumis töötava jõuseadmest, väljalasketorustikust, mootori pidurist ja jahutussüsteemi torustikust. Mootori õhuga varustamiseks tuleb talle tagada värske õhu pealevool stendi ruumi väljast. Lihtsaim lahendus on pealevool tuua mootori kohalt läbi lae. Võimaliku toru läbimõõdu väljaselgitamiseks arvutatakse mootori poolt maksimaalsel koormusel tarvitatava õhu kogus.

Mootori töömaht: 2994 cm^3 ja täiteaste: 0,9. Ühe pöördega mootoris sattub $\frac{2994}{2} * 0,9 = 1347,3 \text{ cm}^3$ e 1,35 l õhku. Õhu koguse saame teada korrutades oma vahel pöördeid ja koguse, mida mootor võtab ühe pööramise eest. Tulemused kantakse tabelisse (Tabel 7).

Tabel 7

Mootoris siseneva õhu kogus	
Mootori pöörded p/min	Sisseimetav õhk l/min
500	673,7
1000	1347,3
1500	2021,0
2000	2694,6
2500	3368,3
3000	4041,9
3500	4715,6
4000	5389,2
4500	6062,9
5000	6736,5
5500	7410,2
6000	8083,8
6500	8757,5

Mootor tarbib maksimaalsel võimsusel umbes $8750,3 \text{ l/min}$ ehk $0,14 \text{ m}^3/\text{s}$. Kui mootori tööks vajaliku õhu juurdevoolutoru läbimõõt valida 150 mm , siis torustikus voolava õhu kiirus on $7,9 \text{ m/s}$, mis on leitud valemiga:

$$Q = V \cdot A,$$

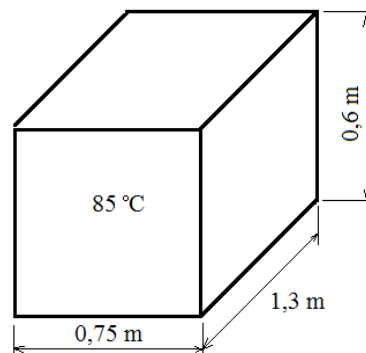
kus Q - vooluhulk m^3/s ;
 V - õhu kiirus m/s ;
 A - toru ristlõikepindala m^2 .

$$V = \frac{Q}{A} = \frac{0,14}{\pi \cdot \left(\frac{0,15}{2}\right)^2} = 7,9 \text{ m/s}$$

See on 4,5 korda väiksem autole konstrueeritud imemistorustikus liikuva õhu kiirusest.

3.1.1. Ventilatsioon

Laboriruumi ventileerimiseks on vaja õppuritele nõuetekohane ruumi temperatuur ja õhuvaetus. Selleks on vaja teada ruumi soojendav energia kogus. Õhk ei ole kõige parem aine soojuse üleviimiseks: tal on madal tihedus ja väike erisoojus; ta on läbipaistev soojuskiirguse jaoks ning võime jahutada sooja elemente on väiksem kui vedelikul. Õhu erisoojus $C_A = 1,01 \text{ kJ/kg}$ on võrreldes vee erisoojusega, mis on $C_W = 4,187 \text{ kJ/kg}$ ainult üks neljandik sellest. Tuleb arvestada kokku soojuse hulk, mis tekitab stendilt kiirguse ja konvektsooni teel. Arvesse on vaja võtta jõuseadme üld mõõtmed (Sele 16). Oletame, et jõuseadme ja torustiku temperatuur on 85°C ja seinade temperatuur 25°C .



Sele 16. Lihtsustatud mudel jõuseadmest

Soojusehulk, mis tuleb konvektsooni teel vertikaalsest pinnast tuulevaikuses saab leida valemiga:

$$Q_v = 1.9 \cdot (t_s - t_a)^{1.25}, \quad (3.1)$$

kus Q_v - soojusehulk W/m^2 ;
 t_s - pinna temperatuur $^\circ\text{C}$;
 t_a - ümbritsev temperatuur $^\circ\text{C}$.

Vertikaalpindade summa on $((0,75 \cdot 0,6) \cdot 2) + ((1,3 \cdot 0,6) \cdot 2) = 2,46 \text{ m}^2$. Siis kaod konvektsooni kaudu on:

$$Q_v = 2,46 \cdot 1.9 \cdot (85 - 25)^{1.25} = 780 \text{ W}$$

Soojusekaod horisontaal pinnalt, mis on suunatud ülespoole on leitav valemiga:

$$Q_h = 2.5 \cdot (t_s - t_a)^{1.25}$$

(3.2)

Selle pinna pindala on $0,75 \cdot 1,3 = 0,975 \text{ m}^2$ ja siis soojuse kogus on:

$$Q_h = 0,975 \cdot 2,5 \cdot (85 - 25)^{1,25} = 407 \text{ W}$$

Kaod horisontaal pinnalt, mis on suunatud põranda pole on umbes 50% ülespoole suunatud hulgast e umbes 203,5 W.

Soojusehulk, mis eraldub kiirguse kaudu väljendub valemis:

$$Q_r = 5,77 \cdot \varepsilon \cdot \left[\left(\frac{t_s + 273}{100} \right)^4 - \left(\frac{t_w + 273}{100} \right)^4 \right], \quad (3.3)$$

kus ε - kiirgusteguri väärtus, masina pindade puhul on 0,9;

t_s - pinna temperatuur °C;

t_w - ümbritsev temperatuur °C.

$$Q_r = 5,77 \cdot 0,9 \cdot \left[\left(\frac{85 + 273}{100} \right)^4 - \left(\frac{25 + 273}{100} \right)^4 \right] = 443,5 \text{ W/m}^2$$

Jõuseadme kogupindala on $4,41 \text{ m}^2$, siis kiirguse soojuskaod on 1955,8 W.

Sama arvutus on vaja teostada ka väljalaske torustiku puhul. Oletame, et väljalaske torustik on ekvivalentne silindriga läbimõõduga 0,15 m ja pikkusega 1 m, pinna temperatuuriks on 500 °C. Silindri täispindala on leitud valemiga:

$$S = 2\pi r(r + h), \quad (3.4)$$

kus, S - täispindala m^2 ;

r - silindri raadius m;

h - silindri kõrgus.

$$S = 2 \cdot 3,14 \cdot 0,075(0,075 + 1) = 0,5 \text{ m}^2$$

Kasutades vameid (3.1) ja (3.3) saame, et konvektsooni kaod on 2106,6 W ja kiirguse kaod on 18131,6 W. Kõik saadud andmed kannan tabelisse (Tabel 8).

Tabel 8

Kehade soojusekaod		
Allikas	Konvektsiooni kaod kW	Kiirguse kaod kW
Jõuseade	1,4	1,9
Väljalaske torustik	2,1	18,1

Nüüd saab välja arvutada ventilatsiooni koormust, mida avaldab valem:

$$Q_A = \frac{H_L}{C_A \cdot \rho \cdot \Delta T},$$

(3.5)

kus Q_A - õhu vooluhulk m³/s;
 H_L - soojuskoormus kW;
 C_A - õhu erisoojus kJ/kg·°C;
 ρ - õhu tihedus kg/ m³;
 ΔT - temperatuuride vahe °C.

Õhu tihedus tüüpiliste tingimuste juures ($t_a = 25$ °C ja standardne atmosfäärirõhk) kasteruumis on $\rho = 1.185$ kg/ m³. Õhu erisoojus on $C_A = 1.01$ kJ/kg·°C. Mõistlik temperatuuri vahemik on 15°C. Kaod võrreldes eelnevalt arvutatud oleks vaja suurendada kindluse mõttes.

Oletame, et konvektsiooni ja kiirguse kaod on:

• Mootor	20 kW
• Väljalaskesüsteem	40 kW
• Hüdripidur	10 kW
• Elektriseadmed	15 kW
Vahesumma	85 kW
• Miinus kaod ruumist seina juhtivusega	5 kW
Kokku	80 kW

Seega õhu vooluhulk võrdub:

$$Q_A = \frac{80}{1.01 \cdot 1.185 \cdot 15} = 4,5 \text{ m}^3/\text{s}$$

Täiskoormuse saamiseks vajab mootor õhku ehk 0,14 m³/s. Kokku on 4,64 m³/s e 16074 m³/h. Ruumi mõõdud on 9,7 m x 3,8 m x 3,85 m, mille ruumala on 142 m³. Õhuvahetuste koguse saab leida valemist:

$$Q = n \cdot V, \quad (3.6)$$

kus Q - värske õhu juurdevool m³/h;
n - õhuvahetuste number tunnis;
V - ruumi ruumala m³.

$$n = \frac{Q}{V} = \frac{16074}{142} = 118 \text{ korda tunnis}$$

Selleks, et vältida üleliigset müra ventilatsioonis tuleb valida torude läbimõõtu vastavate standardite järgi arvestades kiirust selles torus. Soovituslikud maksimaalsed kiirused on toodud tabelis (Tabel 9).

Tabel 9

Soovituslikud maksimaalsed kiirused ventilatsiooni torudes		
Vooluhulk, m ³ /s	Maksimaalne kiirus, m/s	Kiiruse rõhk, Pa
< 0.1	8-9	38 - 55
0.1-0.5	9-11	55 - 73
0,5-1.5	11-15	73 – 135
> 1.5	15-20	135 - 240

Õhu vooluhulga järgi optimaalne kiirus langeb vahemiku 15-20 m/s. Meie ruumis oleva toru läbimõõt on 145 mm. Kasutades järgmist valemit saab välja arvutada kiirust olemasolevas torus:

$$Q = V \cdot A, \quad (3.7)$$

kus Q - vooluhulk m³/s;
V - õhu kiirus m/s;
A - toru ristlõikepindala m².

$$V = \frac{Q}{A} = \frac{4,64}{\pi \cdot \left(\frac{0,145}{2}\right)^2} = 281,2 \text{ m/s}$$

Kiirus on ebareaalne e olemasoleva toru ei saa kasutada. Kasutades valemi 3.7 optimaalse kiiruse järgi ristlõikepindala jääb vahemiku 0,23 - 0,31 m². Järgmisel graafikul (Sele 17) on toodud standardid kandiliste torude kohta.

Antud juhul sobiks 500 mm x 600 mm, mis annab valemi (3.7) järgi õhu kiirust 15,5 m/s. Kiiruse rõhku saab välja arvutada kasutades valemi:

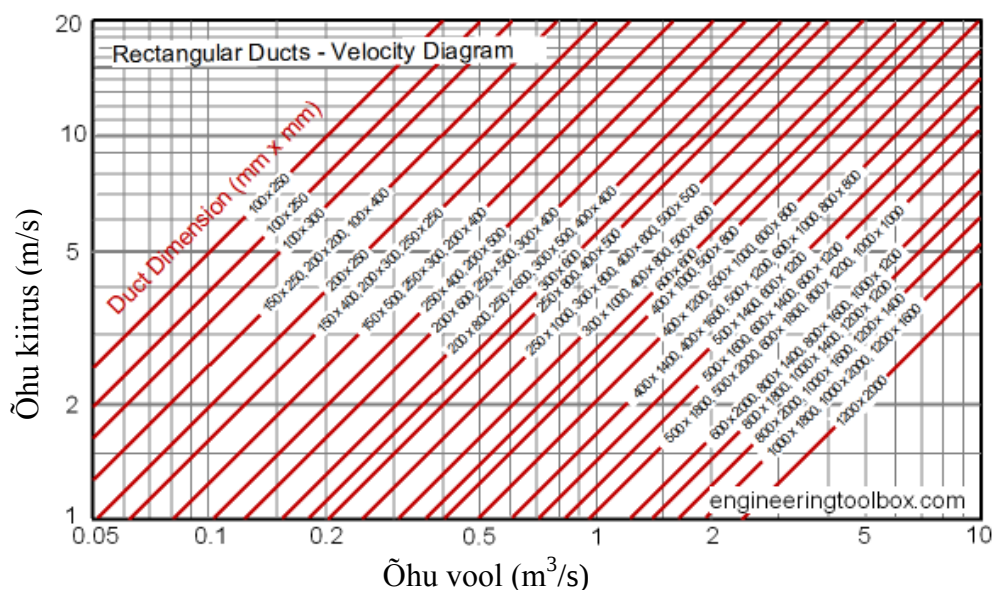
$$p_v = \frac{\rho \cdot V^2}{2},$$

kus p_v - kiiruse rõhk Pa;

ρ - õhu tihedus kg/m³.

Õhu tiheduse tüüpiline väärtus on 1,2 kg/m³, siis kiiruse rõhk on:

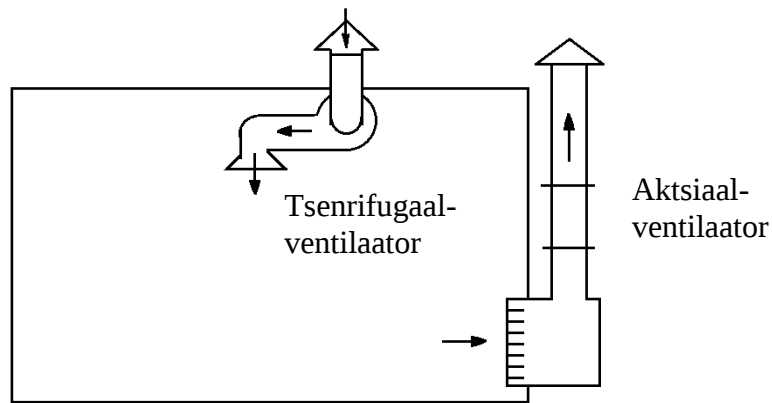
$$p_v = \frac{1,2 \cdot 15,5^2}{2} = 144 \text{ Pa}$$



Sele 17. Kandiliste torude standardsed mõõdud [4]

Järgmiste arvutuste jaoks on vaja teostada mõõtmised laboris. Peale mõõtmist saab arvutada rõhukaod ning arvutada ventilaatorite võimused.

Kõige parem lahendus on kasutada juurdevoolu poolel tsentrifugaalventilaatori kuna ta on odav ja omab hea kasuteguri. Väljavoolu poole peal on otstarbeks kasutada aktsiaalventilaatorit. Samuti peab ruumi paigaldama sissepuhkeventilaatori. Süsteemi saab kujutada lihtsustatud skeemiga (Sele 18).

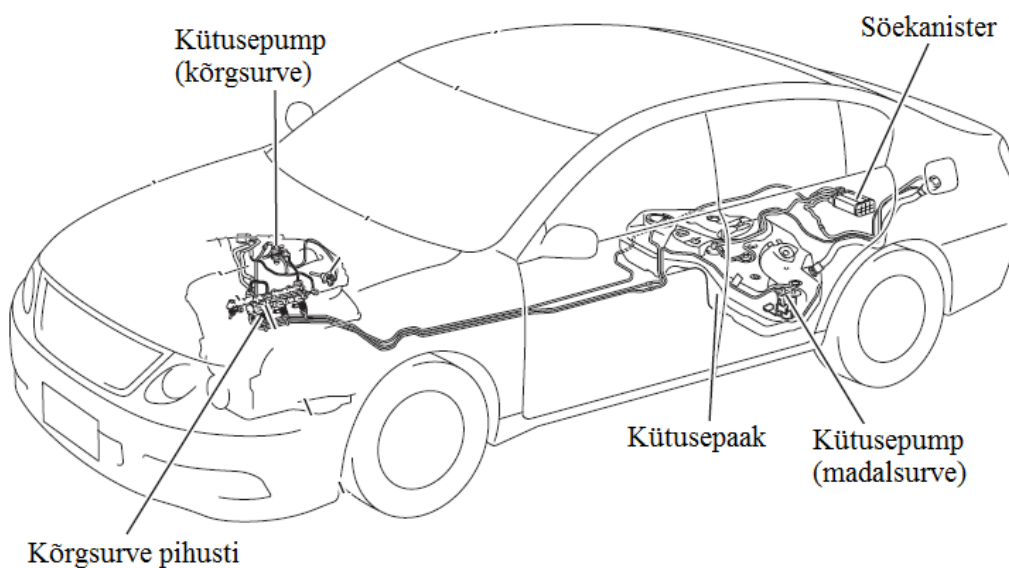


Sele 18. Ventilatsiooni lihtsustatud skeem

Praegune seis eeldab ventilatsiooni süsteemi ümberehitamist ning mootori katsetamine piirvõimsuse juures hetkel ei ole võimalik.

3.2.Kütusesüsteem

Kütusesüsteemi (Sele 19) komponendid on kütusepaak, etteandepump, kõrgsurvepump, pihustid, kütuselatt, kütusefilter, söekanister, torustik ning andurid. Madala rõhu (kuni neli bar) pump edestab kütust torude kaudu kõrgsurve pumbale, mis on paigutatud plokikaane sisse. Seal surve tõstetakse neljakümnest kuni ühe saja kolmekümneni MPa vastavalt mootorikoormusele ning kütust saadetakse kõrgsurve pihustitele. Madala rõhu pumba rõhku reguleeritakse rõhuklappiga, mis on paigaldatud paaki sisse. Üleliigse kütuse kõrgsurvepumbalt tagastatakse torude kaudu tagasi paaki.

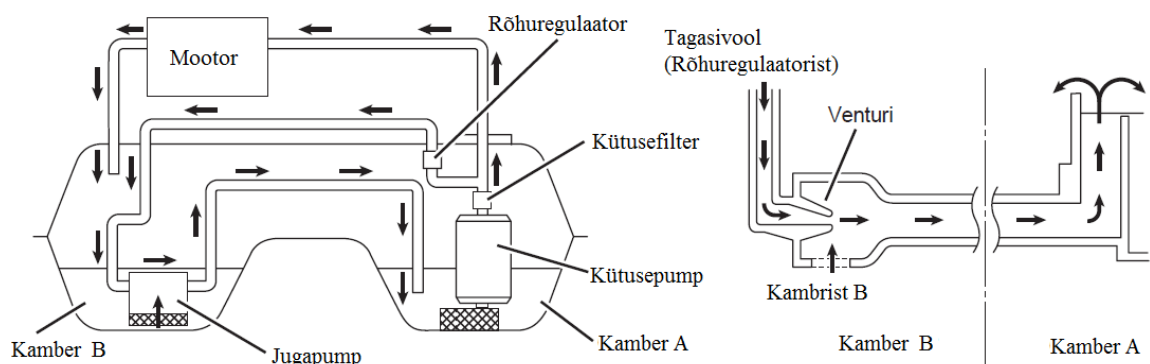


Sele 19. Lexuse GS300 kütusesüsteem

3.2.1. Kütusepaak

Kütusepaak omab omapärase kuju (Sele 20) kardaanivõlli pärast. Ta on jaotatud kaheks kambriks. Ühes kambris on madalasurve pump sees ja teises kambris on jugapump. Kasutades kütusevoolu tekitakse vaakumi, mis imeb kütust kambrist B ja torude kaudu edestatakse seda kambrisse A. Paak on tehtud plastikust ja kaalub 71 kg.

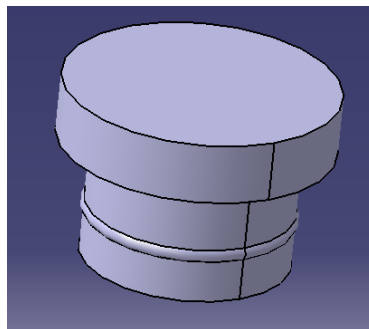
Kasutame sõiduauto originaalset paaki kuna sellel saab näidata kuidas töötab paagisisene ülevoolamise süsteem ning kuidas paagi kalle mõjutab mootori tööd. Teise eesmärgi saavutamiseks paigaldame paaki spetsiaalse raami peale.



Sele 20. Kütusepaak ja jugapumba põhimõtte

Raami peal saame kallutada paaki põiki autoga suhtes. Siis saavutame tulemuse, kus kütus asub ühes kambris. Paaki saab ära fikseerida ning muudetes mootori töörežiimi jälgida, kas pump suudab oma tööd täita.

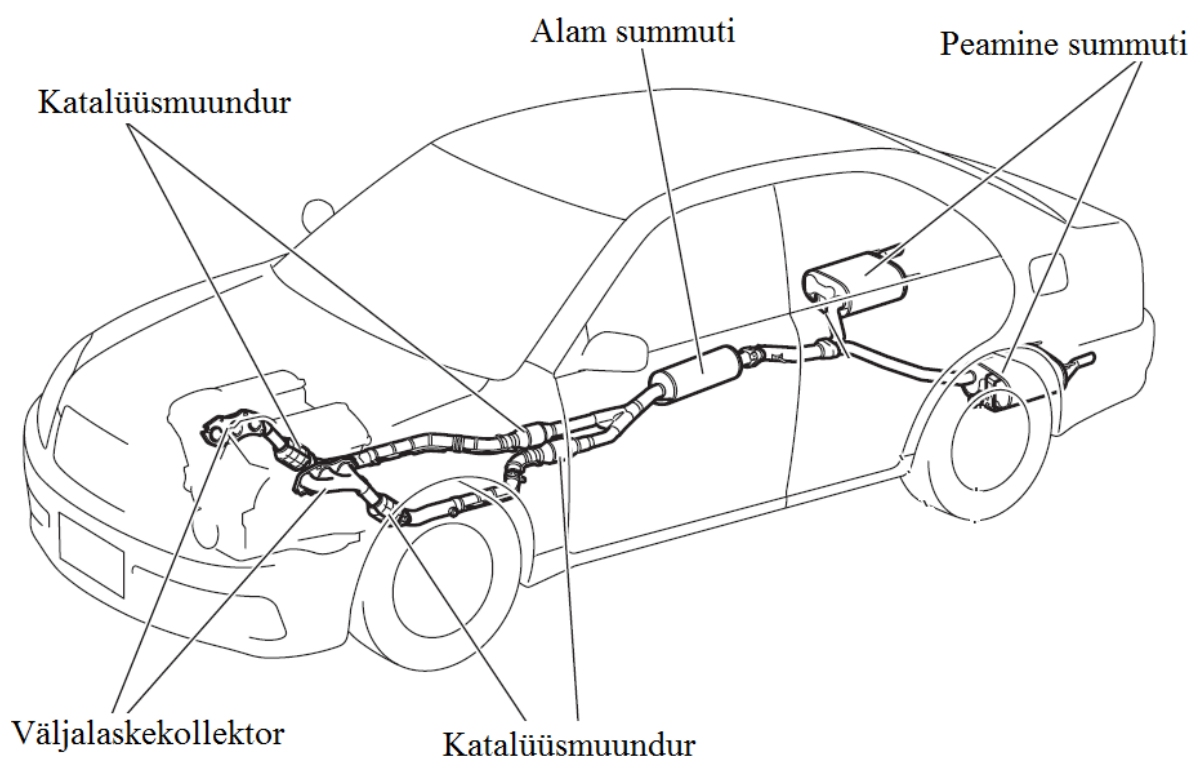
Kuna meil on puudu pealevalamise torustik, siis tuleb kasutada tihendatud korki (Sele 21) kütuse lekke vältimiseks. Joonised on lisades (Lisa 7 ja Lisa 8).



Sele 21. Kütusepaagi kork

4. VÄLJALASESÜSTEEM

Väljalaskesüsteemi (Sele 22) ülesanne on välja viia töösegu põlemisest jäänud gaasid ja neutraliseerida ohtlikud ained, vähendada mootorimürad. Selle mootori väljalaskesüsteem koosneb järgmistest osadest: väljalaskekollektor, katalüsaatorid (4tk), hapnikuandurid, õhu ja kütuse suhe andur, müra summutajad, torustik.



Sele 22. Lexus GS300 väljalaskesüsteem

Süsteem on varustatud nelja katalüsaatoriga, mis annab väga väikse heitmete koguse väljalaskegaasides. Õhu ja kütuse suhet andurid on paigaldatud enne katalüsaatoreid ja hapniku andurid on paigaldatud peale katalüsaatoreid. Need võimaldavad täpselt reguleerida kütuse ja õhu koguse töösegu. Väljalasketorustik on läbimõeldud niimoodi, et heitgaasid eemaldatakse tõhusalt ning paraneb pöördemoment madalatel ja keskmistel pööretel.

4.1.Heitgaaside koguse arvutamine:

Tegutsedes väikses ruumis tuleb kindlasti teada palju heitgaase tuleb torustikust. Koguse arvutamiseks kasutame valemi (4.1.1). Saadud andmed on esitatud tabeli kujul (Tabel 10).

$$V_{vlk} = V_{sk} \cdot 4,185, \quad (4.1.1)$$

kus V_{vlk} - heitgaaside kogus l/min;

V_{sk} - sisseimetava õhu kogus l/min

Tabel 10

Heitgaaside kogus	
Mootori pöörded p/min	Heitgaaside kogus l/min
500	2819,2
1000	5638,5
1500	8457,7
2000	11276,9
2500	14096,1
3000	16915,4
3500	19734,6
4000	22553,8
4500	25373,0
5000	28192,3
5500	31011,5
6000	33830,7
6500	36649,9

Heitmete normid on seaduse poolt normitud ja neid tuleb jälgida ka katsete ajal. Nende järgi saab hinnata mootori tööd ning näha katsete mõju. Lubatud normid on toodud tabelis allpool (Tabel 11).

Tabel 11

Heitkoguste lubatud normid						
Mootori tüüp	Tühikäigul			Väntvõlli pöörlemissagedusel 2000 p. min		
	CO	CH	λ	CO	CH	λ
Kolmikkatalüüsmuundriga ja lambda anduriga töötavad mootorid (alates 01.07.2002)	0,30%	100 ppm		0,20%	100 ppm	1+/-0,03

Stend tuleb varustada heitgaaside analüsaatoriga.

4.2. Väljalasketorustiku ümberehitamine

Stendil kasutame originaal summutit koos katalüsaatoritega. Probleem seisneb selles, et torustik jookseb täpselt retarderi sisse. Ettepanek on summuti katalüsaatorite juures lahti lõigata ja ümber keerata ning enne müra summutajat panna kas üks või kaks 30° põlva. (Sele 23) vasakul pool originaal summuti ja parem pool arvutis ümbertehtud. Tulemuseks saame rohkem ruumi ja säilib suurem osa süsteemist stendi küljes. Kuna jääb ka üks müra summutaja, siis müratase peaks olema madalam.



Sele 23. Summuti ümberehitamine

4.3. Müra ja temperatuur

Müratase on normitud seadusandlikult. M1 kategooria oma ehk sõiduauto müratase ei tohi ületada 77 dB. Kuna originaal torustikul on 2 mürasummutajat puudu tase on kõrgem. Müra summutamiseks võib kasutada mürasummutus matte. Andmete täpsustamiseks tuleb taset ära mõõta katsete ajal.

Peab olema väga ettevaatlik väljalasketorustikuga. Gaaside temperatuur on väga kõrge ja kergesti saada põletada. Temperatuuri vähendamiseks võib kasutada kuumust isoleeritavat teipi. Juhtmestiku kuumuse eest saab kaitsta soojusekraanidega.

5. OHUTUSNÕUDED

Kõik katserajatised peavad vastama standardile EVS-EN ISO 13849-1:2008 ning seadusele „Masina ohutuse seadus“. [5] ja [6]

Stendi käsitlemisel võimalike ohtude allikad on:

- stendi pöörlevad ja liikuvad osad;
- mürgised ja kergestisüttivad materjalid, mida kasutatakse toite-, määride- ja jahutussüsteemis;
- väljalaske- ja jahutussüsteemi kuumad osad;
- kõrgepinge mootori süütesüsteemis;
- mootori toksilised heitgaasid;
- mootori poolt tulev müra ja vibratsioon.

Katsestend peab olema varustatud tõhusa tuletõrjesüsteemiga, tulekustutitega, liivakastidega. Stendi ümbruses ei tohi olla kergestisüttivaid objekte (nt paber, kile) ja vedelikke.

Ruum peab olema varustatud mitme hädaseiskamise nuppudega.

Terviseriski vältimiseks või vähendamiseks peavad olema kaitse-, pääste- ja esmaabivahendid, ohutusmärgid ning muud ohutusvahendid. [7]

Ilma isikukaitsevahendeid ja varustusega müratase ei tohi ületada:

- päevane kokkupuute tase 85 dB,
- tipphelirõhk 137 dB.

Kasutades kergesti lenduvaid kütuseid ruum peab olema varustatud läbipuhumisventilaatoriga.

Stendi ümber peab olema igal pool vähemalt üks meeter ruumi, et saaks vabalt ümber käia. Ainuke koht, mis ei lähe arvesse on summuti läbimise pool. Aga summuti peab olema ära kaitstud, et vähendada riske.

KOKKUVÕTE

Lõputöö eesmärgiks oli luua keskkond diagnostikute õpetamiseks mootori stendi abil. Keskkonna loomine oli jagatud ülesanneteks.

Allakirjutanu ülesanne oli välja töötada stendi raam, et see oleks kompaktne ja vastupidav ning kõik komponendid olid juurdepääsetavad. Järgmine samm oli stendi valmistamine.

Teiseks ülesandeks oli jahutussüsteemi väljatöötamine. Arvutuslikult kontrolliti vedelik-vedelik soojusvahetite kasutamise võimalusi, kontrollarvutus sooritati vedelik-õhk jahutussüsteemile. Mootori poolt toodetud energia jahutamiseks on vaja kasutusele võtta vedelik-vedelik soojusvaheti ja maapinda on vaja uputada vedeliku mahuti mahuga 2000 liitrit.

Järgmine osa sisaldas toite- ja väljalaskesüsteemi läbitöötamist. Oli vaja selgeks teha palju jõuseade tarvitab õhku ja toodab heitgaase. Tuli põhjalikult uurida ventilatsiooni ehitust ning võimalusi.

Väljaõpetamise keskkond peab olema väga turvaline õppurite jaoks ning kõik ohutustehnika reeglid peavad olema täidetud. On olemas kindlad standardid ja seadused, millele vastavad sellised asutused.

SUMMARY

The thesis topic “The learning tool for a vehicle engine and powertrain management based on a Lexus passenger car”. Automotive industry developments have brought electronic control of the systems. This makes it possible to control and manage a variety of aggregates and to obtain information about the vehicle condition.

In normal use of cars, faults are occurring and those which are related to the electronics leave their track in the electronic control unit as an error code. Error code is the combination of numbers and letters. It is obtained by measurements of the electrical system and comparing results with values stored in the computer.

Diagnostics is the process in which car technical condition is being analyzed with use of the computer and mechanical methods. The result of this is the diagnosis. Diagnostics is performed by the trained person whose profession is the diagnostician.

Diagnostician is a person who knows and understands the structure of car systems. He is able to diagnose the condition of the various systems, perform necessary control tests and measure every electrical signal.

Learning tool is an object that has been created by man for the purpose of the learning process. It is used for the education and professional information operations as a carrier. They can be as paper files, electronic documents, visual or as demonstrative devices.

The aim of this thesis is to create an environment for training diagnostician in which is used the demonstrative teaching tool based on Lexus passenger car. Learning tool consists of the engine with the automatic transmission combined with the ZF interarder.

Creation of that environment is divided in to tasks. The first was to develop a test bed for the engine and transmission. It must be compact, sturdy and all components would be accessible.

Second task was development of the cooling system. This is very important and volumetric part. The amount of heat that is moving in internal combustion engines is a peculiar science, which is affected by all surrounding factors. It was necessary to calculate a variety of options to cool the test stand and make an important choice. After calculating and long discussion the decision was to use combined system, where we are using ambient air as well as water for cooling test bed.

The next part includes processing of the supply and exhaust system. It is necessary to know how much fresh air is consumed and emissions produced by the engine. Also it was necessary to investigate ventilation system. At the moment this part remains open because some of the parameters are missing in order to make a final decision.

The environment must be very safe for the learners. All safety regulations must be met. There are certain standards and laws to which correspond such institutions.

KASUTATUD KIRJANDUS

- [1] Ю. Пахомов, Основы научных исследований и испытаний тепловых двигателей, Москва: ТрансЛит, 2009.
- [2] A. J. Martyn and M. A. Plint, Engine Testing, Fourth Edition: The Design, Building, Modification and Use of Powertrain Test Facilities, Oxford; Waltham: Butterworth-Heinemann, 2012.
- [3] M. Pesgens, *Modelling of the ZF-Intarder for HIL simulations*, Eindhoven, 2002.
- [4] "Engineering ToolBox," [Online]. Available: <http://www.engineeringtoolbox.com/>. [Accessed 14 Mai 2014].
- [5] E. Standardikeskus, "EVS-EN ISO 13849-1:2008/AC:2009," Eesti Standardikeskus, [Online]. Available: <http://www.evs.ee/tooted/evs-en-iso-13849-1-2008-ac-2009>. [Accessed 14 Mai 2014].
- [6] *Masina ohutuse seadus*, 2009.
- [7] *Töötervishoiu ja tööohutuse seadus*, 1999.
- [8] R. G. M. H. R. K. F. N. S. O. H. P. A. S. U. Fischer, Mehaanikainseneri käsiraamat, Tallinn: Tallinna Tehnikaülikooli Kirjastus, 2012.
- [9] H. Tamm, Mootori algõpe, Tallinn: Kirjastus Ilo, 2002.
- [10] J. Rohusaat, Tugevusõpetuse näidisülesanded, Tallinn: Tallinna Tehnikakõrgkool, 2008.

- [11] H. Heisler, *Advanced engine technology*, London: Butterworth-Heinemann, First published by E. Arnold 1995.
- [12] D.-I. K.-H. D. Prof. Dr.-Ing. Konrad Reif, *Автомобильный справочник BOSCH*. 3-е издание, Москва: Книжное издательство "За Рулем", 2012.
- [13] T. M. Corporation, *Lexus GS 430 / GS 300 Manual*, Toyota Motor Corporation, 2005.

LISA 1. STENDI KOOSTEJOONIS. LEHT 1/2

LISA 2. STENDI KOOSTEJOONIS. LEHT 2/2

LISA 3. SOOJUSVAHETI ARVUTUSNÄIDE NR. 1

LISA 4. SOOJUSVAHETI ARVUTUSNÄIDE NR. 2

LISA 5. SOOJUSVAHETI ARVUTUSNÄIDE NR. 3

LISA 6. SOOJUSVAHETI ARVUTUSNÄIDE NR. 4

LISA 7. PAAGI RAAMI JOONIS

LISA 8. PAAGI KORK

