



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL

INSENERITEADUSKOND

Elektroenergeetika ja mehhatroonika instituut

SÕIDUKI VÄLJALASKESÜSTEEMI KLAPI JUHTIMISSEADE

CAR EXHAUST SYSTEM VALVE CONTROL MODULE

BAKALAUREUSETÖÖ

Üliõpilane: Raido Õnne

Üliõpilaskood: 185239

Juhendaja: Martin Jaanus, vanemlektor

Tallinn 2023

AUTORIDEKLARATSIOON

Olen koostanud lõputöö iseseisvalt.

Lõputöö alusel ei ole varem kutse- või teaduskraadi või inseneridiplomit taotletud. Kõik töö koostamisel kasutatud teiste autorite tööd, olulised seisukohad, kirjandusallikatest ja mujalt pärinevad andmed on viidatud.

"....." 20.....

Autor:

/ allkiri /

Töö vastab bakalaureusetöö/magistritööle esitatud nõuetele

"....." 20.....

Juhendaja:

/ allkiri /

Kaitsmisele lubatud

"....."20.....

Kaitsmiskomisjoni esimees

/ nimi ja allkiri /

Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks¹

Mina Raido Õnne

1. Annan Tallinna Tehnikaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose
SÕIDUKI VÄLJALASKESÜSTEEMI KLAPI JUHTIMISSEADE,

mille juhendaja on Martin Jaanus,

1.1 reprodutseerimiseks lõputöö säilitamise ja elektroonse avaldamise eesmärgil, sh
Tallinna Tehnikaülikooli raamatukogu digikogusse lisamise eesmärgil kuni autoriõiguse
kehtivuse tähtaja lõppemiseni;

1.2 üldsusele kättesaadavaks tegemiseks Tallinna Tehnikaülikooli veebikeskkonna kaudu,
sealhulgas Tallinna Tehnikaülikooli raamatukogu digikogu kaudu kuni autoriõiguse
kehtivuse tähtaja lõppemiseni.

2. Olen teadlik, et käesoleva lihtlitsentsi punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka
autorile.

3. Kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega
isikuandmete kaitse seadusest ning muudest õigusaktidest tulenevaid õigusi.

_____ (kuupäev)

¹ Lihtlitsents ei kehti juurdepääsupiirangu kehtivuse ajal vastavalt üliõpilase taotlusele lõputööle juurdepääsupiirangu kehtestamiseks, mis on allkirjastatud teaduskonna dekaani poolt, välja arvatud ülikooli õigus lõputööd reprodutseerida üksnes säilitamise eesmärgil. Kui lõputöö on loonud kaks või enam isikut oma ühise loomingu tegevusega ning lõputöö kaas- või ühisautor(id) ei ole andnud lõputööd kaitsvale üliõpilasele kindlaksmääratud tähtajaks nõusolekut lõputöö reprodutseerimiseks ja avalikustamiseks vastavalt lihtlitsentsi punktidele 1.1. ja 1.2, siis lihtlitsents nimetatud tähtaja jooksul ei kehti.

LÕPUTÖÖ LÜHIKOKKUVÕTE

Autor: Raido Õnne

Lõputöö liik: Bakalaureusetöö

Töö pealkiri: Sõiduki väljalaskesüsteemi klapi juhtimisseade

Kuupäev:
17.05.2023

44 lk (lõputöö lehekülgede arv koos lisadega)

Ülikool: Tallinna Tehnikaülikool

Teaduskond: Inseneriteaduskond

Instituut: Elektroenergeetika ja mehhatroonika instituut

Töö juhendaja(d): vanemlektor Martin Jaanus

Töö konsultant (konsultandid): Henrik Eeltee

Sisu kirjeldus:

Lõputöö kirjeldab Raketibaasile ehitatud väljalaskesüsteemi klapi juhtimise seadet ning võrreldakse väljalaskesüsteemi klappe. Kirjeldatakse seadme põhimõtet, komponentide valikut ning juhtimisloogikat. Lisaks võrreldakse seadet turul olemasolevate lahendustega.

Märksõnad: väljalaskesüsteem, sisselaskesüsteem, automaatne, vaakum, mootorsõiduk.

ABSTRACT

Author: Raido Õnne

Type of the work: Bachelor Thesis

Title: Car exhaust system valve control module

Date: 17.05.2023

44 pages (the number of thesis pages including appendices)

University: Tallinn University of Technology

School: School of Engineering

Department: Department of Electrical Power Engineering and Mechatronics

Supervisor(s) of the thesis: Senior Lecturer Martin Jaanus

Consultant(s): Henrik Eeltee

Abstract:

The thesis describes the exhaust system valve control module for the Raketibaas and compares different exhaust system valves. Explains the principle of the device, the choice of components and describes control logic. In addition a comparison of the device to existing solutions on the market.

Keywords: exhaust system, intake manifold, automatic, vacuum, vehicle.

LÕPUTÖÖ ÜLESANNE

Lõputöö teema:	Sõiduki väljalaskesüsteemi klapi juhtimisseade
Lõputöö teema inglise keeles:	Car exhaust system valve control module
Üliõpilane:	Raido Õne, 185239EAAB
Eriala:	Mehhatroonika
Lõputöö liik:	Bakalaureusetöö
Lõputöö juhendaja:	Martin Jaanus
Lõputöö kaasjuhendaja: (ettevõtte, amet ja kontakt)	
Lõputöö ülesande kehtivusaeg: (kehtivusaja annab juhendaja)	2022/2023 2022/2023 Sügis
Lõputöö esitamise tähtaeg:	18.05.2022

Üliõpilane (allkiri)

Juhendaja (allkiri)

Õppekava juht (allkiri)

Kaasjuhendaja (allkiri)

1. Teema põhjendus

Seade on mõeldud sõidukite väljalaskesüsteemi vaiksemaks või valjemaks tegemiseks vastavalt omale soovile, kasutades olemasolevat või disainides uut väljalaskesüsteemi, mis omab vaakumklappi. Lihtsus seisneb selles, et tuleb teha vähem süsteemi ümber ning tänu sellele on väiksem ajakulu. Töö annab ülevaate elektroonika abil lihtsamast sõiduki modifitseerimisest.

2. Töö eesmärk

Töö eesmärgiks on luua sõidukile eraldiseisev esüsteem, mis kasutab elektromehhaanilist seadet ning mis vajab minimaalselt sõiduki muude süsteemide modifikatsioone. Sealhulgas kirjeldada antud seadme ülesehitust, põhjendada komponentide valikut ning võrrelda olemasolevate seadmete ja klassikalise ümberehitusega.

3. Lahendamisele kuuluvate küsimuste loetelu:

1. Süsteemi ülesehitus
2. Nõuded süsteemi toimimiseks

3. Komponentide valik
4. Eelised ja puudused klassikalise väljalaskesüsteemi modifitseerimise ja teiste sarnaste seadmete ees
5. Valjususe reguleerimine

4. Lähteandmed

1. Seadme komponentide loetelu ja parameetrid – teabelehest
2. Vaakum sõiduki sisselaskekollektoris – Henrik Eeltee, Raketibaas
3. Andmed klassikalise väljalaskesüsteemi modifitseerimise kohta – Henrik Eeltee, Raketibaas

5. Uurimismeetodid

1. Olemasolevate süsteemide kohta uurimine ning erinevuste analüüs(maksumused ja võimalused, Excel)
2. Võrdlus komponentide vahel
3. Komponentide valiku põhjendus
4. Seadme ülesehituse kirjeldus(mudel SolidWorksis)

6. Graafiline osa

1. Tabel võrreldavatest komponentidest ja olemasolevate seadmetega erinevuste võrdlus
 2. Joonised süsteemi toimimise põhimõttest
 3. Pildid valitud ja võrreldavatest komponentidest
- Graafiline osa on peamiselt põhiosas.

7. Töö struktuur

1. Sõiduki sisse- ja väljalaskesüsteem
 - 1.1. Õhu liikumine ja helilained väljalaskesüsteemis
2. Sarnaste süsteemide analüüs ja võrdlus
 - 2.1. Võrdlus VAV-i ja sarnaste seadmete vahel
 - 2.2. Võrdlus VAV-i ja klassikalise modifitseerimise vahel
3. VAV süsteemi ülesehitus
 - 3.1. Komponentide valik
 - 3.2. Seadme põhimõte ja funktsioonid
4. Seadme juhtimisloogika
 - 4.1. Programmikoodi ülesehitus
5. Kokkuvõte

8. Kasutatud kirjanduse allikad

1. "Arduino – Arduino Leonardo". *Arduino.cc*, 2021. [Võrgumaterjal]. Saadaval: https://www.arduino.cc/en/Main/Arduino_BoardLeonardo. Vaadatud 30.10.2021.
2. "MPX4250AP Pressure Sensor, Absolute, 20 mV/kPa, 20 kPa, 250 kPa, 4.85 V, 5.35 V" ee.farnell.com, 2021. [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://www.farnell.com/datasheets/3360923.pdf>. Vaadatud 30.10.2021
3. Rein Uulma. (1996). Pneumaatika alused: õpik.

9. Lõputöö konsultandid

1. Henrik Eeltee – Süsteemi ülesehituse ja seadme eesmärgi põhimõtted, väljalaskesüsteemi modifitseerimine
2. Martin Jaanus – Elektroonika ja programmi alased teadmised

10. Töö etapid ja ajakava

1. Seadme põhiline eesmärk ja tööpõhimõte(10.12.2021)
2. Saadaolevate lahenduste uurimine, võrdlus(13.05.2022)
3. Võrdlus seadme ja saadaolevate lahendustega(30.09.2022)
4. Teoreetilise osa kirjapanek(04.11.2022)
5. Töö kontrollimine, korrektuuride ja täiustuste tegemine(20.03.2023)
6. Juhendajale läbilugemiseks saatmine(10.04.2023)
7. Paranduste sisseviimine(15.04.2023)
8. Lõputöö valmisolev versioon(10.05.2023)

Tegevuste kuupäevad on eeldatavad ja võivad erineda reaalsusest

SISUKORD

LÕPUTÖÖ LÜHIKOKKUVÕTE	4
ABSTRACT	5
LÕPUTÖÖ ÜLESANNE	6
EESSÕNA	10
Lühendite ja tähiste loetelu	11
SISSEJUHATUS	12
1. SÕIDUKI SISSE- JA VÄLJALASKESÜSTEEM.....	14
1.1 Õhu liikumine ja helilained väljalaskesüsteemis	16
2. SARNASTE SÜSTEEMIDE ANALÜÜS JA VÕRDLUS	20
2.1 Võrdlus VAV-i ja sarnaste seadmete vahel	21
2.2 Võrdlus VAV-i ja klassikalise väljalaskesüsteemi modifitseerimise vahel	24
3. VAV SÜSTEEMI ÜLESEHITUS	27
3.1 Komponentide valik	27
3.2 Seadme põhimõte ja funktsioonid	31
4. SEADME JUHTIMISLOOGIKA.....	36
4.1 Programmikoodi ülesehitus	36
KOKKUVÕTE	38
SUMMARY	39
KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU	40
LISAD	43

EESSÕNA

Lõputöö teema mõtte saadi OÜ Batman-ilt(kaubamärk Raketibaas), huvi tekkis tänu isiklikule kokkupuutele sõidukitega. Põhiliselt aitas nende poolt mind idee omanik Henrik Eeltee. Seade on koostatud TalTechis ning Raketibaas-is. Käesolev töö kirjeldab lähemalt sellise süsteemi ülesehitust ning annab hea ülevaate selle erinevatest aspektidest, mida saab kasutada hilisemas tootearenduses. Võrdlusandmed ning komponentide kirjeldused pärinevad põhiliselt internetist, osati Henrik Eeltee-lt ning vanemlektor Martin Jaanuselt, kes konsulteeris elektroonika osas.

Lühendite ja tähiste loetelu

ABS - *acrylonitrile butadiene styrene*, 3D printimiseks kasutatav materjal

dBA - A-korreksiooniga helirõhutase, mida kasutatakse heli ja müra valjususega mõõtmistel[15]

kPa - kilopaskal

KΩ - kilo-oom

mA - milliamper

Rpm - pööret minutis

VAV - väljalaskesüsteemi automatiseeritud vaakumklapp

DC - alalisvool

SISSEJUHATUS

OÜ Batman, kaubamärgina Raketibaas tegeleb igapäevaselt mootorsõidukite ümberehitustega ning remonditöödega. Üks osa sellest on väljalaskesüsteemide modifitseerimine vastavalt klientide huvidele ning ümberehituse eesmärkidele. Seoses sellega käsitleb antud bakalaureusetöö ühte uuenduslikumat süsteemi antud vallas. Selleks on seade, mis võimaldab muuta väljalaskesüsteemi avatust ja sellest väljuva heli valjusust vastavalt kasutaja soovile. Nimelt paigaldatakse väljalaskesüsteemi vaakumklapp, mis võimaldab selle avades näiteks väiksemat mürasummutust. Antud töös käsitletakse seda seadet ühtseks mõistmiseks väljalaskesüsteemi automatiseeritud vaakumklapina (edaspidi VAV).

Teatud sõiduvahendite hulgas, näiteks tänavalegaalsetel võidusõiduautodel või sportautodel on levinud olukord, kus soovitakse teatud hetkedel kasutada väljalaskesüsteemi helitugevuse valjemaks muutmist ja suuremat õhu voolavust. Antud probleemiga saab süsteemi täielikult ümber modifitseerida või kasutada alternatiivse elektri- või pneumoklapi näol.

Olemas on erinevaid süsteeme, mille maksumused ning kasutajamugavused on väga varieeruvad. Lõputöö kirjeldab seadet, mille eesmärk on lugeda vaakumi suurust, seda koguda vaakumpuhvrise, kontrolleri informatsiooni edastamine ning vastavalt seadistusele kontrolleri väljundsignaaliga väljalaskesüsteemis oleva klapi avamine. Süsteemis kasutatakse vaakumklappi, sest see tundus esialgu kõige vastupidavam ja sobivam variant sõiduki alusesse keskkonda.

Süsteemi kasutatakse sõiduki lihtsamaks väljalaskesüsteemi modifitseerimiseks, millega saavutatakse võimalus vastavalt juhi soovile sõiduki väljalaskesüsteemist väljuvat häält muuta.

Töö eesmärgi saavutamiseks võrreldi erinevaid võimalikke lahendusi ning seadme programmeerimiseks kasutati Arduino programmeerimistarkvara. Prototüüp on mudeldatud modelleerimisprogrammis SolidWorks.

Tegemist on seadmega, mille sarnased tooted on juba olemas, seega võrreldi alternatiivmeetodeid - nende maksumust, tehnoloogiat ning disaini olemasolevate lahendustega.

Kuna toode on arendusjärgus, on antud töö eesmärgiks kirjeldada süsteemi toimimist ning komponentide valikut, teha kindlaks nõuded süsteemi toimimiseks, selgitada

valjususe reguleerimise mõtte. Lisaks kirjeldatakse sisepõlemismootoritega sõidukite sisse- ja väljalaskesüsteemi ülesehitust.

Töö on jaotatud neljaks peatükiks, millest esimeses püstitakse ülesanne. Teises peatükis võrreldakse süsteemi teiste sarnaste ostutoodetega ning tavalise väljalaskesüsteemi ümberehitusega. Kolmandas on kirjeldatud süsteemi ülesehitust ning komponentide valikut. Neljandas peatükis on kirjeldatakse seadme juhtimisloogikat.

1. SÕIDUKI SISSE- JA VÄLJALASKESÜSTEEM

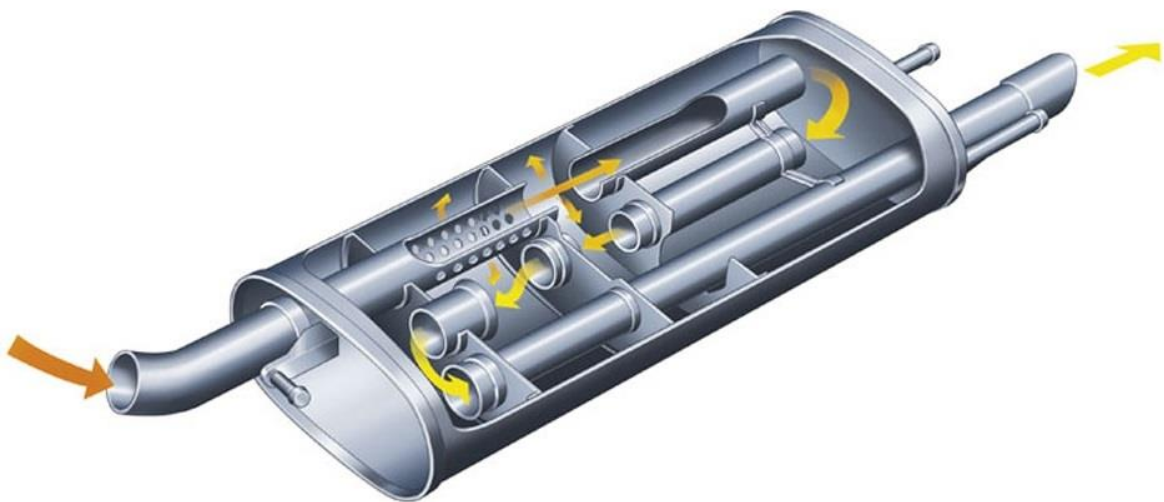
Sisepõlemismootori sisselaskekollektor on mootori osa, mis jaotab silindrite vahel õhuvoolu (joonis 1.1). Tavaliselt on sisselaskekollektori küljes ka drosselklapp [21]. Sisselaskekollektori tööpõhimõte on selline, et sissetulev õhk liigub läbi õhufiltri sisselaskeavasse. Sisselaske avast suundub õhk edasi drosselklappi, millega reguleeritakse õhu pealevoolu ning sellest sõltuvad mootoripöörded. Seejärel liigub õhk kogumiskambrisse, millest edasi juhitakse see läbi suunavate kanalite silindrisse. Tavaliselt on sisselaskekollektori küljes ka karburaator või kütuselatt, millest silindritele kütust peale antakse. Sisselaskekollektoris tekib kolvi alla liikumisel ruumi hõrendus, millega tõmmatakse silindrisse õhu ja kütuse segu [1]. Mootoripöörete tõstmisel vaakum suureneb, sest ruumi hõrendatakse kiirema tempoga ehk siis sisselaskekollektorisse suudetakse saavutada suurem alarõhk.



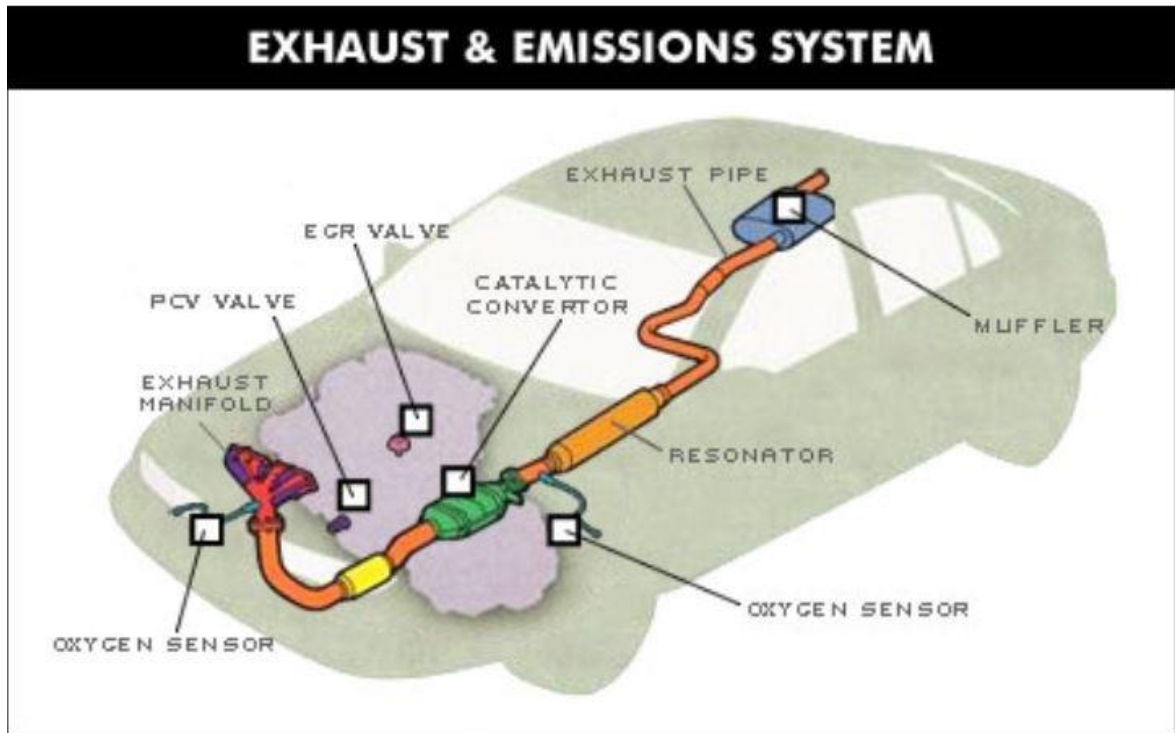
Joonis 1.1 Sisselaskekollektor [2]

Väljalaskesüsteem saab mootori poolt alguse väljalaskekollektoriga, mis on kinnitatud silindripeade kohale ehk plokikaante külge ning koondab kõikidest silindritest väljuvad heitgaasid ühte kesksesse torusse. Kõikidel tänapäevastel autodel on väljalaskesüsteemis olemas lambda- ehk hapnikuandur, et mõõta kui palju hapnikku sisaldab auto heitgaas. Heitgaasi hapnikusisaldusest arvutatakse välja ja korrigeeritakse kõige optimaalsem hapniku ja kütuse suhe põlemiskambris. Vanematel autodel selline andur puudub, mille tõttu on vanemate mootorite efektiivsus väiksem, sest ei saada informatsiooni väljuvate heitgaaside kontsentratsioonist. Järgmine komponent on katalüsaator ehk heitgaaside muundur, mis muundab mootorist väljuva kahjuliku süsinikmonoksiidi ja süsivesiniku veeauruks ja süsihappegaasiks. Sellele

järgnevaks komponendiks on summuti, mis selles tähenduses võib olla nii resonaatoriga koos, kui ka eraldi. Summuti on komponent, mis summutab mootori müra ja kogub tahma(joonis 1.2). Resonaator on komponent, mis elimineerib mittetahetud resonantsi ja värinad, mis tekivad teatud mootoripöörete vahemikus. Parima tulemuse ehk puhas heli saavutatakse nende kahe komponendi koostööl [22]. Mootori müra on vaja summutada, sest mootoris tekivad järjestikkused plahvatused, mis on valjud ja mürarikkad. Müra summutamiseks väljalaskesüsteemis kasutatakse summutis heli hajutavaid seinu või süsinikkiudu ning spetsiaalset tehnoloogiat, mis on lahti seletatud järgnevas peatükis. Kõiki komponente ühendab omavahel väljalasketoru, mis ulatub väljalaskekollektorist kuni auto taga oleva nähtava väljalasketoruni, mis on näha joonisel 1.7 [9]. Sõiduki tervikliku väljalaskesüsteemi näidis on joonisel 1.3.



Joonis 1.2 Summuti [9]



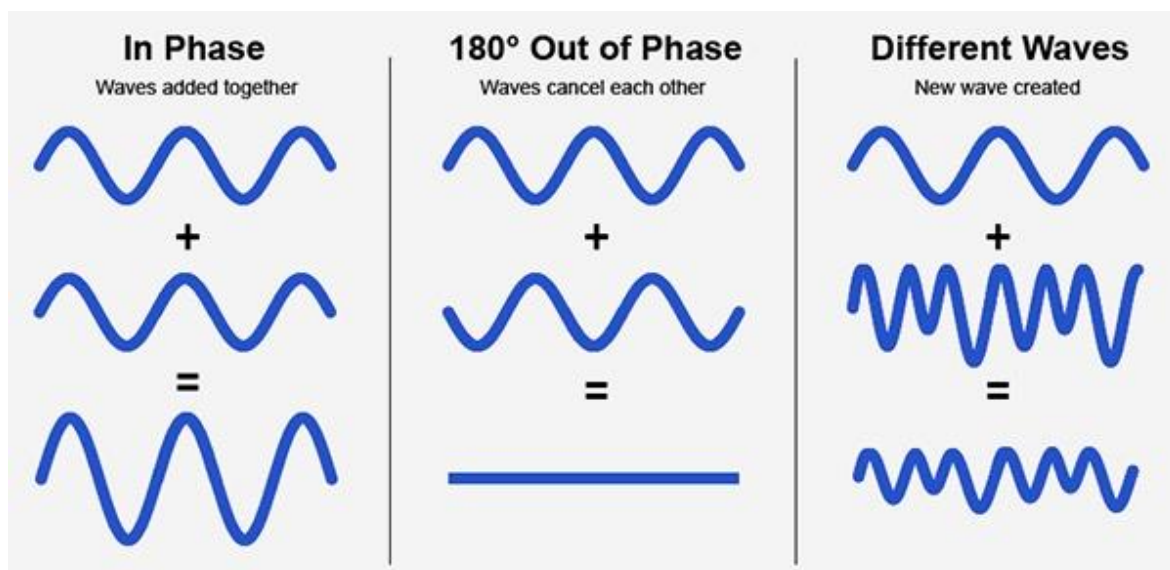
Joonis 1.3 Mootori väljalaskesüsteem [3]

1.1 Õhu liikumine ja helilained väljalaskesüsteemis

Sõiduki müra taseme muutmiseks on vaja teada väljalaskesüsteemi põhimõtet ehk mis müra tekitab ning kuidas üldiselt mootorist tulenev heli tekib. Iga kord kui mootori väljalaskeklapp avaneb, tekib suur põlenud gaaside purse või plahvatus väljalaskesüsteemi. Tänu sellele tekivad võimsad helivõnked, mida tuleb hiljem valjususe vähendamiseks summutada väljalaskesüsteemis. Mootori võimsuse poolelt oleks ideaalolukord, kui mootorisse sisse ja välja minevat õhku ei takistata. Aga selle tulem oleks see, et sisse minev õhk ei liigu läbi filtri ehk seda ei puhastata ning väljuvaid gaase ei töödelda väljalaskesüsteemis ning need tekitavad reostust ja müra [10].

Helilaine on osade võnkumisest moodustunud rõhulained ehk impulsid vahelduvatest kõrgetest ja madalatest õhurõhkudest. Iga kord kui väljalaskeklapp avatakse, väljuvad kõrge rõhuga gaasid väljalaskesüsteemi, kus nad põrkuvad madala rõhuga molekulidega, mille tõttu tekib kuuldav müra. Heli on võimalik ideaalselt summutada täpselt vastupidise faasiga ehk nagu kirjeldatud (joonis 1.5), kui põrkuvad teineteisega suhtes 180 kraadise erinevusega helilained, siis need sumbuvad. Madalama

sagedusega heli levib paremini, kui kõrge sagedusega helilaine, sest selle faas on madalam ehk siis saab tekkida paremini difraktsioon ehk lainete paindumine.



Joonis 1.5 Õhulainete liitumine [19]

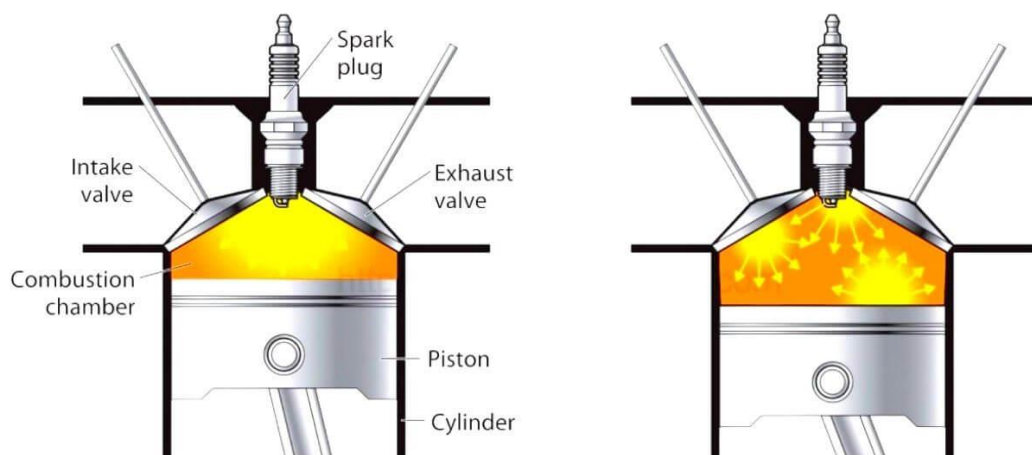
Väljalaskesüsteemis on teoorias summutavateks elementideks kõik komponendid, sest kõikide torude seinad ei ole ideaalselt siledad ehk siis müra sumbub seintesse. Sellest ka järeldus, et mida suurem on väljalaskesüsteemi pikkus, seda vähem müra süsteemist väljub. Samas on mõni komponent süsteemist konkreetset mürasummutamiseks mõeldud või summutab ehitusliku põhimõtte pärast teiste funktsioonide hulgas. Näiteks katalüsaator, mille põhiline eesmärk on väljuvaid gaase puhastada, sisaldab endas tavaliselt kärje moodi sisu, mis eemaldab efektiivselt kõrgema sagedusega heli.

Summuti summuti sees on perforatsiooniga torud, mis suunavad helilained läbi summuti ja seejärel sellest välja. Ehk helilained sisenevad läbi ümmarguse toru, pörkuvad vastu seinu ning väljuvad läbi järgmise augu keskkambrisse. Seejärel liigub helilaine läbi keskkambri resonaatorkambrisse, mis paikneb jällegi summuti esiosa pool, kust sisenesid esialgsed lained. Resonaatorkambril on kindel pikkus, et tekitada helilained, mis summutavad teatavad sissetulevad lained. Resonaatorkambrist väljuvad helilained samast august, kust need sisenesid, mille tõttu vastastikkused lained pörkuvad. Samas on kõik summuti seinad projekteeritud selliselt, et need on võimelised kindla lainepikkusega helilained neelama ehk seinad on kaetud müra summutava materjaliga. Kokkuvõttes on summuti loodud selliseks, et juhtida helilainete pörkumist nii, et need üksteist summutaks, põhimõtte nähtaval (joonis 1.5) [10].

Väljalaskesüsteemi modifitseerides arvestatakse tavaliselt ka mootori jõudluse muutumisega. Kumbki äärmus pole hea – liialt väikese läbimõõduga väljalaskesüsteem

tekitab liialt suurt vastusurvet, sest gaasid ei saa piisavalt vabalt väljuda ning osa neist jääb põlemiskambrisse. See on ka põhjus, miks tänapäeval sportlikumatel autodel ehk suurema kubatuuriga mootoritel kasutatakse väljalaseksüsteemis klappe – kui väljalasesüsteem oleks täielikult mõõtmetelt väiksem, siis piirataks sellega mootori võimsust. Samas polegi kogu aeg vaja kasutada mootorit täieliku potentsiaaliga, seega seda saab piirata klapiga. Põlemiskambri tööpõhimõtte ning osad on näidatud joonisel 1.6. Kui väljalasesüsteemi läbimõõt on liiga suur, siis jääb väljumisel rõhk liiga madalaks, et heited süsteemist välja lükata ning tekib niiöelda gaaside ummistus [11]. Väljalasesüsteemi modifitseerides tehakse erinevaid valikuid – võetakse mõni element, näiteks resonator vahelt ära, vahetatakse summuti pütt sportlikuma heli jaoks mõeldud püti vastu või vahetatakse ainult süsteemi lõpuotsas olev toru ehk summuti ots(joonis 1.7) ära.

Combustion Chamber



Joonis 1.6 Põlemiskambri tööpõhimõtte ning osad [18]



Joonis 1.7 Summutitoru ots ehk väljalasesüsteemi kõige tagumine osa [3]

Tavalise auto väljalaske müra on maksimaalselt umbes 70 dBA [13]. Võidusõidu autode puhul on kõrgematel pööretel maksimaalselt müratase umbes 100 dBA [14]. Eestis lubatud mürataseme piirväärtus tavalisel ehk M1 kategooria sõidukil on 77 dbA. Võrdluseks, et saada paremat ettekujutust – tavaliselt hinnatakse kontorimüra umbes 70dBA suuruseks ning mootorsaagi kasutades on müratase umbes 110 dBA suurune.

2. SARNASTE SÜSTEEMIDE ANALÜÜS JA VÕRDLOS

Turul olevaid lahendusi on mitut sorti – *on/off* lahendusi, elektrilise- ning pneumoklapiga variante. Lisaks ehitatakse väljalaskesüsteeme täielikult ümber vastavalt kliendi soovidele. Levinumad on elektrilise klapiga variandid, sest nende süsteem ei vaja sisselaskesüsteemis tekitatavat vaakumit opereerimiseks ning kogu süsteem on ülesehituselt lihtsam, sest kasutatakse ainult ühte energiatüüpi – elektrit, mis tähendab vähemaid komponente nagu näiteks vaakumi jaoks vajalikud voolikud ja rõhuandur.

Hetkel turul olevatel klapiga väljalaskesüsteemidel on puuduseks see, et neid on võimalik juhtida nupust vaid täielikult avatud või täielikult suletud asendisse. Väljalaskesüsteemi osaliselt või täielikult ümber ehitamise puuduseks on see, et kui süsteem muudetakse valjemaks siis ongi alati nii vali ehk sama süsteemiga pole võimalik sõita vaikselt või valjult. Tavakasutaja jaoks valjema ning sportlikuma heli soovimise tõttu on taolised süsteemid integreeritud ka uuematele sport- ning ka mõningatele tavalistele tänavaautodele. Tehasest pakutakse sellist süsteemi näiteks uuele(2019-2023) Ford Mustangile, kus on variant kasutada nelja seade vahel – vaikne-tavaline-, sport- ja rajarežiim[16].

Fordi poolt arendatud süsteemi puhul on eesmärgiks, et sportlik auto nagu on Ford Mustang, peaks omama sellele vastavat häält. Samas on paljude kasutajate jaoks probleemiks see, et näiteks linnaliikluses sõidukit kasutades ei soovita kaasliiklejaid häirida ning pikematel maantee sõitudel on vali väljalaskesüsteem kasutaja enda jaoks häiriv ja ebatervislik. Seetõttu on nad loonud väljalaskesüsteemi klappidega summuti, et oleks võimekus klappe juhtida vastavalt kasutaja soovile. Kindlasti oli nende jaoks oluline ka seaduslik aspekt [18]. Vaikses režiimis on klapp madalamatel(kuni 3000 rpm) mootoripöoretel praktiliselt kinnises asendis, sellest suurematel mootoripöoretel avatakse klapp umbes 75%, selle tulemusena on maksimaalne müratase umbes 72dBA. Tavalises režiimis on madalamatel mootoripöoretel klapp umbes 25% avatud ning kõrgematel pöoretel avaneb klapp umbes 75%. Sportrežiimis on madalamatel mootoripöoretel klapp umbes 75% avatud ning kõrgematel pöoretel täielikult avatud. Rajarežiimis on kogu aeg klapp täielikult avatud ehk müratase on umbes 86 dBA [17]. Selline väljalaskesüsteemi klappide kasutus annabki võimaluse linnaliikluses vaikselt sõita ning näiteks ringrajal käies auto sportlikust nautida.

Nagu eelnevalt kirjeldati, on kasutajamugavus ning süsteemi mitmekülgsus kesine, sest müügil olevate toodete kasutajamugavuse puhul pole mõeldud automaatsele süsteemile. Hetkel müüdivad tooted on tüütud, kuna need avanevad vaid käsitsi lüliti

või juhtpuldi kasutamisega. Seetõttu on tekkinud idee edasi arendada olemasolevaid lahendusi.

2.1 Võrdlus VAV-i ja sarnaste seadmete vahel

Tabel (tabel 2.1) põhjal on tehtud kokkuvõttev võrdlus VAV-i ja sarnaste seadmete vahel. Erinevustena käsitleti klapi avamise võimalusi, süsteemi maksumust, vastupidavust, temperatuuri- ja niiskuse taluvust kiirust ja töötsüklike arvu. Andmed on saadud andmelehtedest [12] ja [20].

Avatavus

Lõputöös käsitletav edasiarendus seadmest avaneb sarnaselt pneumo- ning elektriklapiga versioonidele, aga lisafunktsiooniks on avamine vastavalt sisselaskekollektoris tekkivale vaakumi hulgale. Praegused süsteemid on mõeldud kasutamiseks vaid kahes asendis, kas ainult täielikult lahtise klapi või täielikult kinnise klapi [12].

Maksumus

Hetkel müügil olevatest toodetest on kõige odavam vaakumklapi variant, mille maksumus on umbes 100 € [12]. Järgmine on elektriklapiga versioon, mille maksumus jääb vahemikku 120-150 € [12], samasse vahemikku jääb ka lõputöös käsitletav seade. Kõikidele eeltoodud summadele lisatakse tööraha, mis on nende kolme puhul sarnane, seega seda ei ole antud töös täpsemalt käsitletud ning süsteemi maksumusse seda ei lisatud.

Eluiga

Vastupidavus on vaakumklapi kasutataval VAV-il sarnane selle pneumoklapi, mis on võrdluses kasutatud. Kui võrrelda pneumo- ning elektriklapi süsteemi, siis nagu järgnevalt temperatuuri- ja niiskuse taluvuse punktis kirjeldatud, saab teha järelduse, et elektrimootor ei pruugi vastu pidada sõiduki põhja all olevale mustusele ning niiskusele. Tänu sealsele mustusele tekib klapi liikuvate osade vahele takistus, mis suurendavad nendevahelist hõõrdumist ning seeläbi takistavad mootori tööd. Lisaks on sellel tunduvalt lühem eluiga, kui vaakumklapi (tsüklike arv umbes 5 korda väiksem).

Elektrimootoriga klapi puhul on parem liikumise stabiilsus, sest see saavutatakse mehaaniliste ülekannete abil. Selle abil on võimalik klappi kasutada ka vahepealsetes asendites. Pneumoklapil ei ole liikumise stabiilsus niivõrd hea, sest gaas on kergesti kokkusurutav.

Kuna pneumoklapp on olemuselt ja ehituselt lihtsam, siis kannatab see ka suuremat temperatuuri, mis sõiduki väljalaskesüsteemis pikemal kasutusel tekib. Elektrimootoritel on samuti kõrgemaid temperatuure taluvaid variante, aga kuna süsteemis on vaja klapi liigutamiseks väiksemate hammasratastega ülekannet, siis pikemal kasutusel ja temperatuuri kõikumisel ei pea siiski mootor pikalt vastu. Väljalaskesüsteemi esimeses osas võib tänavautoel summuti välipind tõusta kuni temperatuurini 600 °C. Väljalaskesüsteemi lõpuosas on temperatuur tavaliselt ca 100-160 °C. Elektrimootori kõrgema temperatuuri taluvusega versiooni turvaliseks töötemperatuuriks on umbes 100-150 °C [20]. Vaakumklapil arvestatakse tavaliselt maksimaalseks temperatuuriks 175 °C [20].

Võrdluses kasutatav elektrimootoriga klapp on niiskuse taluvuse osas nõrgem, sest elektroonika peaks olema ideaalselt isoleeritud, aga tänu temperatuuri kõikumisele ning juhtmete läbiviikudele on seda raske teostada.

Teoreetiliselt on pneumoklapi vastupidavus tsüklite poolest ca 1,000,000 tsüklit ehk 5 korda pikem, kui elektrimootoriga klapil. Praktikas on ilmselt vahe veel suurem tänu varasemalt kajastatud määrumisele, mis elektrimootorit kiiremini kahjustab. Lisaks määrumisele mõjub tänu klapi liigutamise pingetele koormus elektrimootori võllile, mis perspektiivis tekitab mootori mittetöötamise või efektiivsuse kaotamise. Rikete puhul on samuti pneumoklapp vastupidavam. Elektrimootori pikalt liigne koormamine (näiteks klapi kinni jäämise puhul), mõjub see halvasti mootori elueale.

Jõuallikas

Kuna ainult sisepõlemismootorite puhul on sisselaskekollektoris pneumoklapi jaoks vajalik vaakum, siis sellist klappi pole võimalik teiste mootoritüüpide puhul kasutada. Elektriklapil on selles osas eelis, sest see ei vaja avamiseks vaakumit vaid saab toite auto 12 V akult ning avatakse lihtsalt nupust lülitades ning saab kasutada kõiksuguste mootoritüüpide puhul. Võrreldes pneumoklapiga on võimalik elektriklappi lihtsam vahepealsetes asendites käsitleda, sest klapi pööramist saab õigel hetkel peatada. Pneumoklapi puhul selliseks funktsiooniks tuleb väga täpses vahemikus klappi minevat vaakumit reguleerida, mis pole nii lihtne. Samas üldises arenduses kasutatakse põhimõtet, et oleks kasutatud võimalikult vähe erinevad energiaallikaid. See soodustab vähemate probleemide teket energiat üle kandes. Kuna VAV klapis kasutatakse

kontrollerit, mis töötab elektrienergia pealt, oleks mõistlik siiski mitte vaakumklappi kasutada.

Klapi avamise ja sulgemise aeg

Üks suurimatest eelistest vaakumklapi puhul on klapi avamise ja sulgemise kiirus võrreldes elektrimootoriga versiooniga. Kiiruse vahe täielikult suletud asendist täielikult avatud asendisse on ca 5 sekundit ja pneumoklappi on võimalik tagastada eelnevasse asendisse vedru abil ehk tagastus on kiirem, kui elektrilisel klakil. Võrdluses kasutatud elektriklapi liikumine täielikult avatud asendist täielikult suletud asendisse võtab aega umbes 6 sekundit [20].

Tabel 2.1 Võrdlus käsitletava seadme ja sarnaste seadmete vahel

	Käsitletav seade	Vaakumklapiga versioonid	Elektriklapiga versioonid
Avatavus	Muudetav/avatud-suletud	Avatud/suletud	Avatud/suletud
Maksumus	150 €	Umbes 60 €	Umbes 100 €
Vastupidavus	Peab paremini põhja all olevale määrdumisele vastu	Peab paremini põhja all olevale määrdumisele vastu	Ei talu nii hästi niiskust ning suurt temperatuuri ja määrdumist
Vedruga tagastus	Olemas	Olemas	Puudub
Temperatuuritaluvus	-30 kuni +175 °C	-30 kuni +175 °C	+5 kuni +150 °C
Niiskuse taluvus	Talub niiskust	Talub niiskust	Talub vähesel määral niiskust
Vaakumi vajadus	Üle 70 kPa	Üle 70 kPa	-
Kiirus	0.5 sek kuni 1 sek	0.5 sek kuni 1 sek	ca 6 sek
Tsüklite arv	Umbes 1,000,000	Umbes 1,000,000	Umbes 250,000
Mootoritüüp	Bensiinimootor	Bensiinimootor	Kõik mootoritüübid

Võrreldes tavalise pneumoklapiga variandiga on VAV-i eelis see, et klapi avamine saab toimuda ka mootori pöörete järsust tõusmisest ning vaakumpaagiga on loodud lisapuhver, et süsteem oleks kogu aeg kasutatav. Lisaks on võimalik kontrolleri abil lisada lisafunktsioone, näiteks puldist klapi avamine. Tavalise vaakumklapiga ostetava süsteemi eeliseks on vähesem maksumus.

Elektrimootoriga juhitud klapp ei suuda konkureerida mitmes aspektis – vastupidavus, avamise aeg, avamise tingimus. Eeliseks on kasutamine ka teiste mootoritüüpidega ning enamasti väiksem maksumus. Lisaks on eeliseks see, et elektrimootoriga juhitud klappi on võimalik vahepealsetes asendites lihtsalt juhtida, mis võib olla üks positiivse funktsionaalsuse aspektidest.

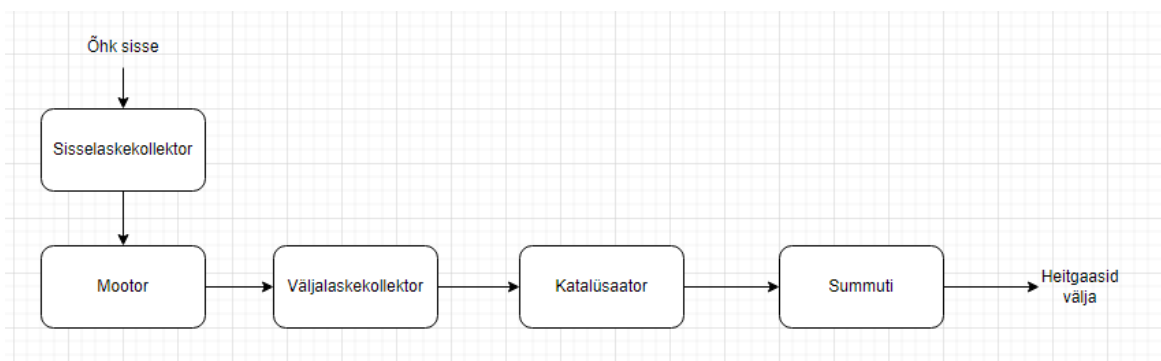
2.2 Võrdlus VAV-i ja klassikalise väljalaskesüsteemi modifitseerimise vahel

Klassikaline väljalaskesüsteemi modifitseerimine on käsitletava seadmega võrreldes kas ainult täielikult avatud või täielikult suletud asendis. Pole võimalik kuidagi saavutada olukorda, et vajadusel on süsteem valjem või vaiksem. Kvaliteetset ümberehitust tehes on see isegi kulukam, kui paigaldada süsteemi avatav klapp. Samas on tänavaliikluses autosid, millele paigaldatakse niiõelda otsetoru ehk ilma vahepealsete summutavate pütideta väljalasketoru. Tervet väljalaskesüsteemi on veidi keerukam ümber ehitada, sest autol on põhja all kindlad kohad, mida mööda tavaliselt summuti toru veetakse. Eelisteks on see, et ei pea muretsema klapi mittetöötamise pärast, sest nagu varem mainitud, siis nende puhul on teatud temperatuuri- ning niiskuse taluvused. Samuti saab valjemaks ümber ehitada ka diiselmootoriga sõidukeid, mitte ainult bensiinimootoriga autosid.

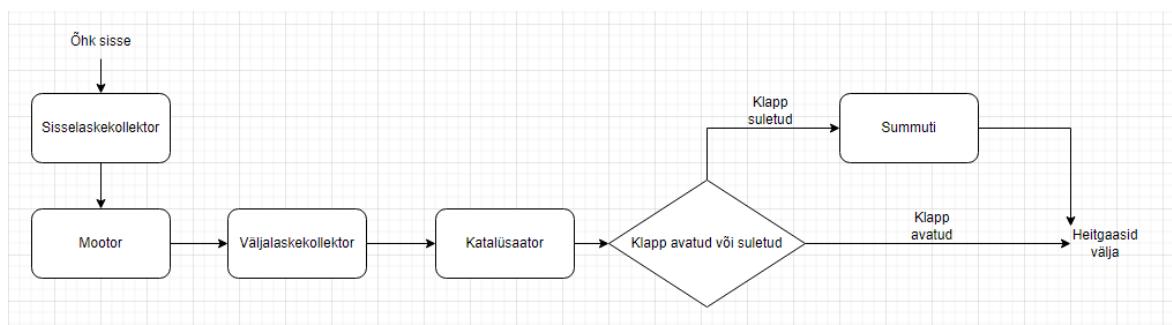
VAV-i kasutamiseks väljalaskesüsteemis on vaja soovitud kohta paigaldada Y-ühendus(joonis 2.1). Esialgne mõte sellisel seadmel on täielikult summutava *cut-out* ehk laskmine müral väljuda enne summutit. Samas vastavalt kliendi soovile on võimalik tekitada näiteks teine valjem väljalaskesüsteemi ots ehk peale *cut-out*'i lisada näiteks vähem heli summutav summutipütt. *Cut-out* oleks kõige valjem antud variantidest, mida rohkem komponente peale klappi alles jätta, seda vaiksemaks jääb väljalaskesüsteem. Võrreldavad skeemid seonduva infoga on joonistel 2.2 ja 2.3.



Joonis 2.1 Y-ühendusega elektrimootoriga klapp [4]



Joonis 2.2 Klassikaline väljalaskesüsteemi skeem



Joonis 2.3 Väljalaskesüsteemi skeem koos reguleeritava klapiga

Võrreldes klassikalise ümberehitusega on üldiselt VAV süsteemil eeliseid, aga samas ei pea tegema selle jaoks lisa Y-ühendust. Lisaks on ümberehituse eelis omada vähem lisaseadmeid, millega võib tekkida lisarikkeid. Kui klapi versiooni kasutada näiteks täielikult avatult ainult võidusõiduradadel, siis jääb võimalus jääda tavatingimustel ehk näiteks linnateedel seaduslikesse mürapiiridesse, mis võiks olla siiski üks põhilisi

võrdlusalaspekte linnapildi mürataseme mõttes. Väljalaske toru täielikult ümber ehitades võib tekkida probleem lubatud müra piiridesse jäämisega.

3. VAV SÜSTEEMI ÜLESEHITUS

VAV süsteem koosneb järgnevatest komponentidest: rõhuandur, mis jälgib sisselaskekollektoris tekkivat alarõhku, potentsiomeeter seadme seadistamiseks ja reguleerimiseks, vaakumpaak, tekkinud alarõhu säilitamiseks, TIP transistor kontrolleri signaali võimendamiseks, kontrolleri süsteemi juhtimiseks, rõhu juhtimiseks kasutatakse solenoid klappi ning vaakum- või elektrikliapi juhtimiseks väljalaskesüsteemi avatavust. Seadme kergemaks juhtimiseks on lisatud juhtpult ning kontrolleri külge vastuvõtja. Selle abil on võimalik valida sõiduki salongis olles süsteemi töörežiim. Sisselaskekollektorist tekitatava vaakumi väärtust loetakse rõhuanduriga ning alarõhk kogutakse seadme vaakumpaaki. Kolmandale prototüübile lisati DC-DC pingemuundurid, et kasutada väiksema sisendpingega kontrollereid.

3.1 Komponentide valik

Esimeses ja teises versioonis oli kontrolleri jaoks valitud Arduino Leonardo, sest sellega sai kasutada kõiki vajalikke funktsioone prototüüpimiseks ning see omas piisavalt funktsionaalsust süsteemi juhtimiseks. Selle kontrolleri eelis oli, et toiteks sai kasutada auto akust tulevat 12 V pinget. Täpsemad andmed on välja toodud joonisel 3.1. Kolmandas prototüübis kasutati STM32 mikrokontrolleriga arendusplaati, et järgmise etapina oleks võimalik teha trükkplaat, et viia kõik komponendid ühele plaadile ning tagada sellega kompaktsus ja lihtsam tootlikus. Arendusplaadiks valiti STM32F103C8T6 mikrokontrolleriga nii-öelda *Bluepill*. Sellise lahenduse puhul tuleb lisada süsteemi DC-DC pingemuundur, et oleks võimalik akust tulevat 12 V pinget võimalik ümber muuta mikrokontrolleri sisendiks 5 V. Samas annab lisatud pingemuundur pisut stabiilsust kontrolleri jõudvale pingele ning eralduvat soojusenergiat kasutatakse elektroonikakarbis niiskuse eraldamiseks soojendamiseks. Esimestes prototüüpides ei pandud rõhku sisendpingele, sest Arduino sisendpingeks võib kasutada vahemikku 6-20 V[5]. Siiski võib kaasneda sisendpinge kõikumisega kiirem komponentide riknemine ning signaalide ebastabiilsus.

Lisaks olid ülemineku põhjuseks maksumus, kontrolleri jõudlus ning väiksemad mõõtmed. Maksumus oli uuel kontrolleri umbes 3 korda väiksem, kui eelmisel ehk 4 eurot varasema 14 euro asemel. Uuel kontrolleri oli kiirem protsessor, rohkem analoog

ja digitaalseid *pin*-e ning rohkem mälu. Samas jäi võimalus programmeerida kontrolleriit Arduino programmeerimise tarkvaraga. Kontrolleri mõõtmed olid varasema 68.58 x 53.34 mm[4] asemel 23 x 53 mm[27] ehk see aitas parandada kogu elektroonikakarbi mõõtmeid. Täpsemad tehnilised andmed on välja toodud joonistel 3.1 ja 3.2.

TECH SPECS:

MICROCONTROLLER ATMEGA32U4	DC CURRENT PER I/O PIN 40 MA
OPERATING VOLTAGE 5V	DC CURRENT FOR 3.3V PIN 50 MA
INPUT VOLTAGE (RECOMMENDED) 7-12V	FLASH MEMORY 32 KB (ATMEGA32U4) OF WHICH 4 KB USED BY BOOTLOADER
INPUT VOLTAGE (LIMITS) 6-20V	SRAM 2.5 KB (ATMEGA32U4)
DIGITAL I/O PINS 20	EEPROM 1 KB (ATMEGA32U4)
PWM CHANNELS 7	CLOCK SPEED 16 MHZ
ANALOG INPUT CHANNELS 12	

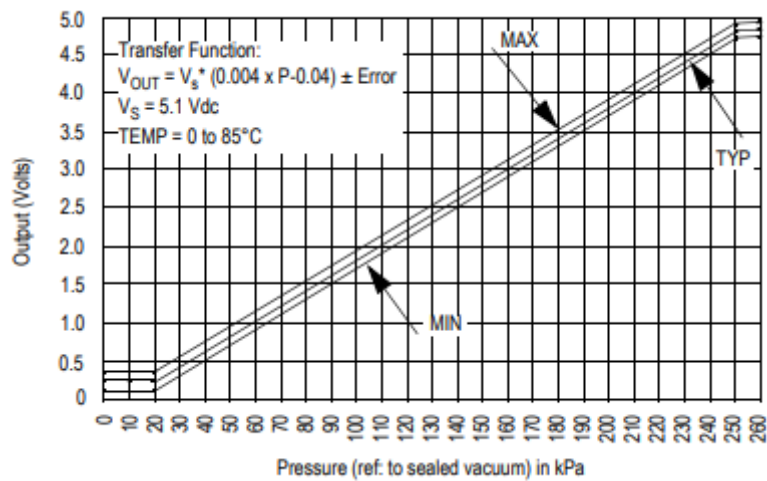
Joonis 3.1 Arduino Leonardo tehniline spetsifikatsioon [5]

Parameter	STM32F103C8T6 (Blue Pill)
Processor	STM32F103C8T6
Operating Voltage	3.3V
CPU Speed	72 MHz
Analog pins	10
Digital I/O or PWM	37
EEPROM/SRAM (KB)	NA/20
Flash Memory	64/128 KB
USB Connector	Micro
UART	3
SPI	2
I ² C	2

Joonis 3.2 STM32 *Blue Pill* tehniline spetsifikatsioon [27]

Esimese ja teise prototüübi rõhuanduri valik tuleneb sellest, et MPX4250AP sensor oli lihtsasti kättesaadav ning ühildus hästi kasutatava Arduino kontrolleriiga, sest toitepinge pidi jääma vahemikku 4.85-5.35 V ning Arduinol on selleks umbes 5 V. Lisaks vastas anduri rõhuvahemik süsteemi nõudmistele, nimelt oli vahemikuks 20-250 kPa. Sisselaskekollektoris on tavaliselt mootori tühikäigupööretel umbes 30 kPa alarõhku. Sensor vajab toitevoolu vaid 7 mA [6]. Samuti oli seadme temperatuuritaluvus piisavalt

suur, et vastu pidada juhul, kui see paigaldatati sõiduki mootoriruumi. Rõhuandur konverteeris survet tunnetava kiibi Arduino jaoks vajalikku väärtusesse ehk voltidesse. Täpsem kirjeldus funktsioonist on välja toodud joonisel 3.2.



Joonis 3.2 Rõhuanduri MPX4250AP väljundpinge sõltuvus mõõdetavast rõhust [6]

Süsteemi seadistamiseks ning reguleerimiseks kasutati potentsiomeetrit maksimaalse takistusega 100 K Ω , sedavõrd suure maksimaalse takistusega variant, et tagada erinevate sõidukite puhul ilma programmikoodi muutmata võimalus toodet kasutada. Seda seetõttu, et olenevalt tekkiva alarõhu suurusest, peab potentsiomeetriga määratavat väärtust olema võimalik piisavalt muuta. Juhtloogikat on täpsemalt kirjeldatud peatükis 4. Potentsiomeeter ei pea olema integreeritud, nagu on esimeses prototüübis(joonis 3.5), sest seda kasutatakse ainult seadistamiseks.

Vaakumklapp või elektriklapp on hetkel ostutoode ning vaakumpaak on spetsiaalselt arendatud Raketibaasi poolt, et mahutavus oleks piisavalt suur nimetatud klapi avamiseks. Vaakumpaagi mahutavus on ca 250 cm³. Kasutatav vaakumklapp peab olema *normally closed* tüüpi. Joonisel 3.3 nähtava klapi parempoolses osas asub pneumosilinder, millest väljuv lattu on liigendiga ühendatud väljalaskesüsteemi toru külge paigaldatava klapiga. Alarõhu korral silinder liigub sisse ning avab joonise vasakus osas olevat klappi. Klapi avamiseks on vaja umbes 1 bar alamrõhku.



Joonis 3.3 Vaakumklapp [7]

TIP122 NPN transistor sai valitud, sest see oli antud funktsiooniks kõige lihtsam ning odavam variant. Alternatiivina oleks võimalik olnud kasutada releed, kuid see on suuremate mõõtmetega ning ei sobi toote väikeste soovitud mõõtmete saavutamiseks. Relee ei ole mõeldud kiireteks lülitusteks, mida võib automaatse süsteemi puhul ette tulla. NPN transistori puhul on probleemiks selle kuumenemine, kui seda püsivalt suurel koormusel kasutada. Süsteemi ülesehitusel on arvestatud sellega ning transistori ei kasutata püsivalt. Samuti pole koormus sellele suur (solenoidi tarbivus ca 5 W) Transistori eesmärgiks süsteemis on lülitada 12 V-st solenoidi.

Normally closed 12 V solenoidklapp (tootekood DS-1306(8099)) sai valitud sellepärast, et see oli ainuke koheselt kättesaadav variant töö tegemise hetkel. Klapp omab võimekust juhtida lihtsalt vaakumit, nagu süsteemis soovitud. Solenoidklapil on kaks väljundit ja üks sisend. Üks väljunditest on üleliigse rõhu väljutamiseks.

Juhtimiseks kasutati teises prototüübis IR sensorit ja pulti, sest selline lahendus oli käepärast võtta. Kolmandaks prototüübiks kaaluti üleminekut RF süsteemile, sest selle eeliseks on tugevam signaalikaugus, parem signaali läbivus ning kiirem signaali liikumine. Lisaks kasutatakse autode puhul ka signalisatsiooni puldiga raadiosagedus signaali. Samas on RF süsteemil konkreetsed regulatsioonid, millega tuli sellisel puhul arvestada [28]. Maksimus on raadiosagedusega puldil natukene kõrgem (umbes 1.5 korda) kuid sellest sõltumata tehti üleminek, sest see andis vabamad käed elektroonikakarbi paigutusel sõidukis. Kasutati RX480-E raadioside vastuvõtjat, sest see oli üks odavamaid lahendusi turul.

3.2 Seadme põhimõte ja funktsioonid

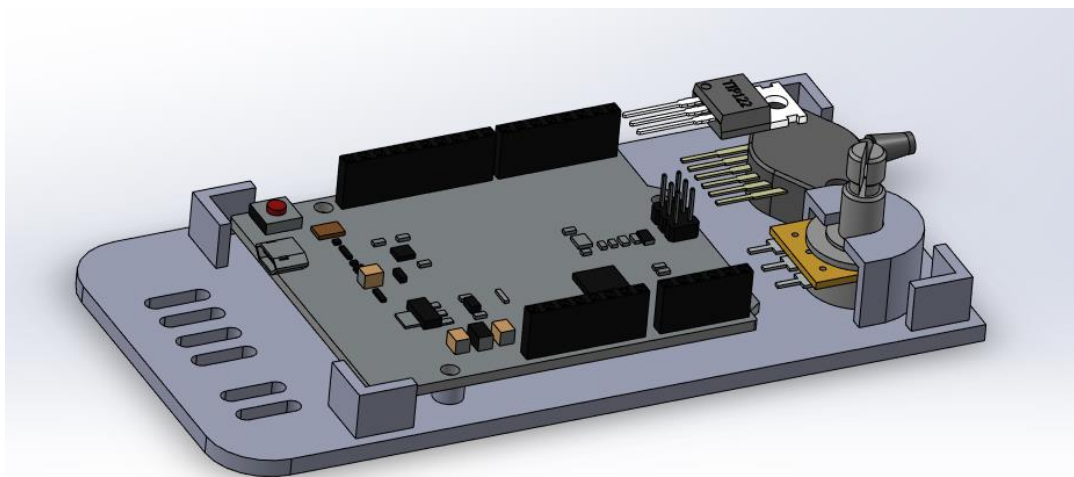
Esimese(käesolevas töös käsitletav) ning teise prototüübi puhul on seadme karbid 3D prinditud ABS materjalist, sest see oli töö teostamise hetkel kõige kiirem ja odavam viis. ABS-i on kasutatud, sest see materjal on odav ning piisavalt pehme ehk valmistamise täpsus ei pea olema ideaalne ning hilisem detaili modifitseerimine on kergem. Samas on sellel materjalil võrreldes teiste enamlevinud materjalidega hea temperatuuritaluvus(kuni 100 °C) ehk prototüübi paigutuse kohta ei ole vaja täpsemalt analüüsida.

Esimene prototüüp

Seadme põhimõte oli liigutada väljalaskesüsteemis olevat klappi vastavalt signaalile, mis tulenes sisselaskekollektoris tekkiva vaakumi hulgast, mida mõõdeti rõhuanduriga. Esialgu ei hakatud vaakumpaaki integreerima ning kasutati eraldiseisvat alumiiniumist paaki. Seadet sai sisse lülitada pealülitist, mille järel hakkas süsteem tööle ning hakati klappi juhtima vastavalt rõhuanduri väärtusele.

Esimese prototüübi eesmärk oli kontrollida komponentide koostööd ja idee funktsionaalsust. Selle abil sai valmis välja töötatud esialgne süsteemi juhtimisloogika. Prototüübi komponendid on paigutatud 3D prinditud korpusesse ning on antud esialgne kaubanduslik välimus, mis on näha lisas 1. Esialgne prototüüp sai valmistatud peamiselt süsteemi tööprintsibi kontrollimiseks ning arvestati, et juhtkarp võiks olla võimalikult väikeste mõõtmetega. Üldiselt on üritatud hoida disaini võimalikult kompaktsena ning lihtsana. Esialgu ei arvestatud korpuse sõiduki salongi või mootoriruumi paigaldamisega, sest testimiseks ei pidanud olema see korrektset kinnitatud ning taluma karmimaid tingimusi ehk näiteks vibratsioone ja kõrgeid temperatuure.

Esimese prototüübi eesmärk sai saavutatud, sest komponentide koostöö sai kontrollitud ning seadme põhimõte toimis. Eraldiseisva vaakumpaagi tõttu ei olnud see siiski väga kompaktne ning seda ei olnud võimalik jäädavalt kuskile paigutada. Lisaks tuli välja, et potentsiomeeter ei pea olema paigaldatud seadme korpusesse.



Joonis 3.4 Esimene prototüüp süsteemi testimiseks

Teine prototüüp

Teine prototüüp oli funktsionaalsuste lisamiseks. Selle põhimõte on liigutada väljalaskesüsteemis olevat klappi vastavalt signaalile, mis tuleneb kas puldist või sisselaskekollektorist tekkiva vaakumi hulgast. Toote minimalistliku disaini eesmärgil eemaldati süsteemist suur alumiiniumist vaakumi mahuti ning integreeriti see 3D printitud korpuse külge.

Seadmele lisati ka infrapunaga vastuvõtja ning juhtpult. Seega seadet sai kontrollida sõiduki salongist, kasutades juhtpulti.

Süsteemi eesmärk oli toode lõpuni arendada ning ära testida teise prototüübiga lisatud funktsioonid. Korpus oli printitud ABS-ist, mille puhul jäävad kohati printimisel kihtide vahele praod, mis põhjustavad rõhu kadumist reservuaaris. Selle vältimiseks töödeldi pärast printimist korpust atsetooniga ning kaeti spetsiaalse halva viskoossusega värviga. Selle tulemusel saavutati reservuaari piisav õhutihedus. Korpuse disainimisel oli peamiseks sisendiks selle võimalikult väikeste mõõtmete säilitamine. Antud versioonil tuli arvestada ka niiskusetaluvust, sest esialgu plaaniti juhtimissüsteemiga karp auto salongi paigaldada, aga sellel versioonil oli võimekus paigaldada see salongist välja.

Üldiselt on praeguseni teine prototüüp eesmärki täitnud, sest lisafunktsioonid töötavad koos uuendatud programmikoodiga. Lisaks sai lisatud elektroonika skeemi kaitsedioidid süsteemi stabiliseerimiseks ja ohutuse eesmärgil.

Kolmas prototüüp

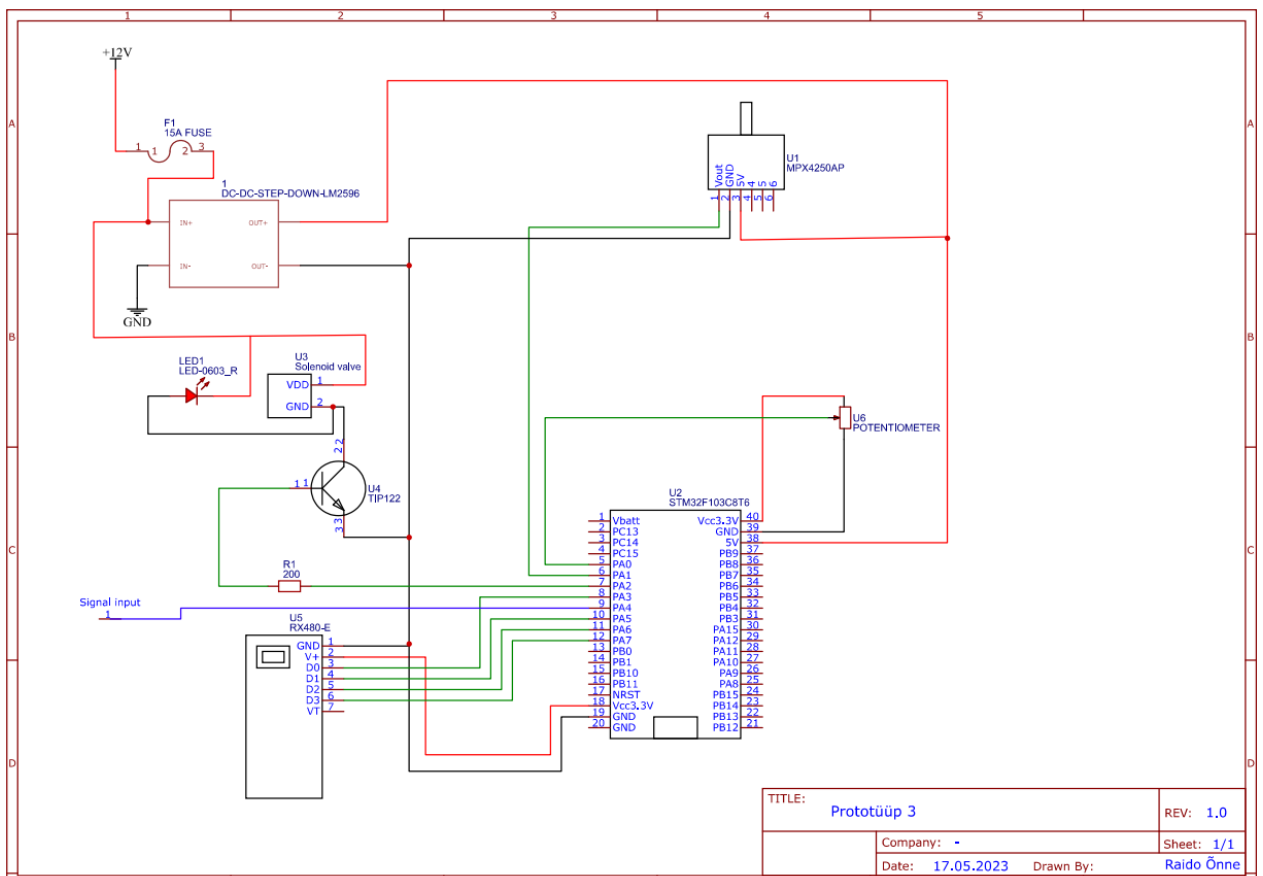
Kolmas prototüüp tehti selleks, et minna üle Arduino platvormilt STM32 mikrokontrollerile, et saaks sellest omakord edasiarenduse teha PCB plaadile ühe

süsteemina. Lisaks võimaldab see versioon kontrollida nii vaakum- kui ka elektriklappi ehk annab lisavõimalusi ühe seadmena. Vahetati välja infrapunaga puldisüsteem raadiosagedusega süsteemi vastu, et liigutada elektroonikakarpi vastavalt vajadusele. Tänu STM32-le üleminekule tuli lisada süsteemi *step-down* pingemuundur, et toita kontrolleriit õige pingega. Elektroonikakarp disainiti ümber uute komponentide jaoks. Lisati ohutuse eesmärgil ning sõiduki elektrisüsteemist eemaldamist võimaldav kaitse elektriskeemi. Kaitsme maksimaalseks läbilaskeks on arvutuste põhjal 15 amprit. Ning toitejuhtmeks kasutati 2 meetri pikkust 2.5 mm² läbimõõduga kaablit[23]. Kuna lisati valmidus kontrollida ka elektriklappi, siis eraldati uuesti vaakumpaak elektroonikakarbi küljest, kuid seda oli võimalik siiski kinnitada elektroonikakarbi külge, kui kasutatakse vaakumklappi.

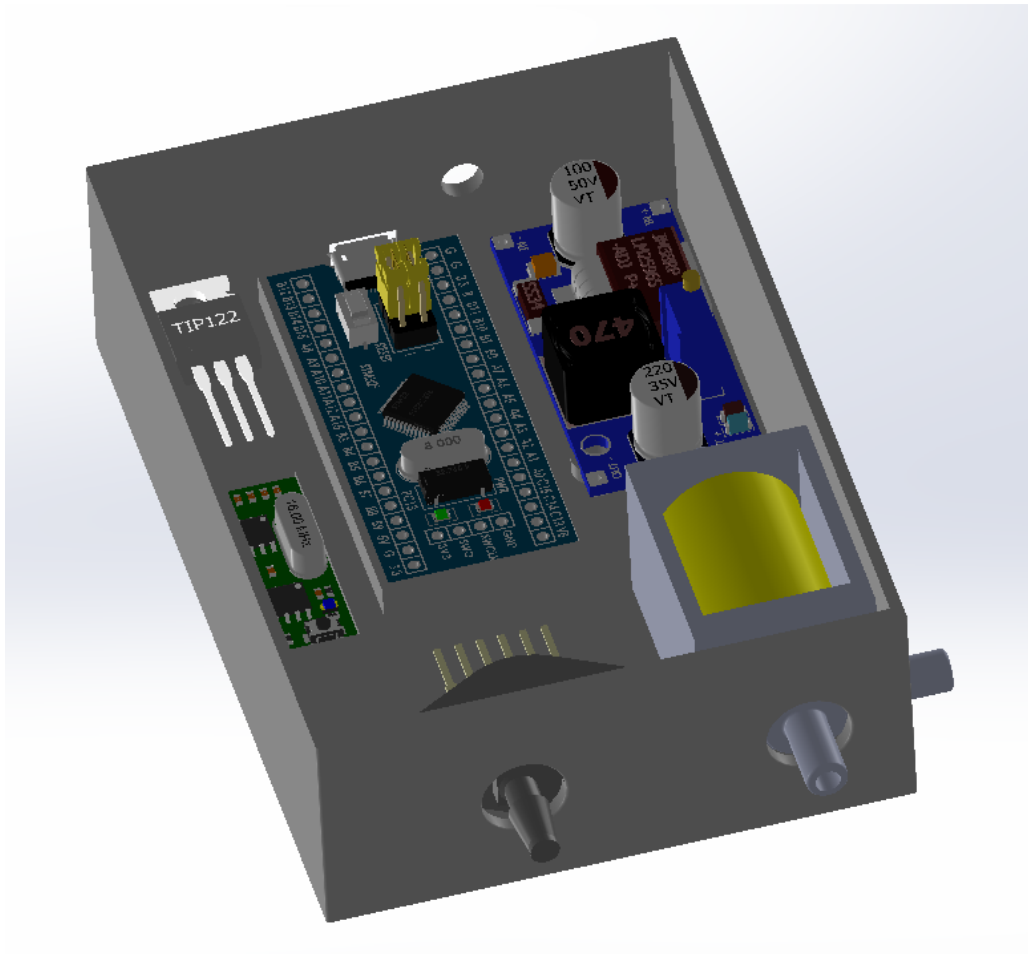
$$I_{KOGU} = (I_{KLAPP} + I_{KONTROLLER} + I_{SOLENOID} + I_{RÖHUANDUR} + I_{RÖHUANDUR} + I_{RF}) * k$$

$$= (5 + 0.01 + 0.5 + 0.001 + 0.001) * 2.5 \approx 13.8 A$$

k – ülevoolu tegur muutuva vooluga seadmete puhul[24].



Joonis 3.5 Kolmanda prototüübi elektriskeem



Joonis 3.6 Kolmanda prototüübi elektroonikakarp uuendatud komponentidega

Edasiarendus

Edasiarenduse poolt on veel plaanitud teha ise summuti, mis võimaldab klapi paikneda summuti sees ning samas jääb alles variant kasutada summutatud väljalaskesüsteemi. Sarnaselt on lahendatud väljalaskesüsteem ka uutel sõidukitel, millel tehasest selline võimalus olemas. Sellise summuti eeliseks oleks veel see, et ei ole vaja eraldi Y-ühendust vaid see oleks juba integreeritud selle detaili sisse.

Klapi osas tuleks analüüsida, kas oleks mõistlik toota ise väljalaskesüsteemiklapp, mida liigutatakse elektrilise solenoidiga. Sellel peaks olema võimalus paremini konkureerida pneumoklapiga, sest liikumised on kiired ning vastupidavus ei ole ka probleemiks. Selline klapp annaks võimaluse integreerida süsteemi ka näiteks diiselmootorile ning kogu süsteem oleks üles ehitatud ainult elektritoitel.

Veel oleks võimalik süsteemile lisada funktsioone, nagu näiteks Fordi süsteemil on erinevad eelseadistused, mille vahel valida. Võib-olla oleks võimalik klappi õigesti seadistades saada paremaid mootori võimsuse tulemusi ning neid analüüsida.

Lisaks tuleb kõikide eesmärkide täites teha prototüübist reaalne tootmismudel ning teha vajadusel komponentide osas muudatusi, et seadet odavamaks ning lihtsamalt toodetavaks teha.

Seadme lihtsustamiseks oleks võimalik kasutada lihtsalt lülitit, millega kas klapp avada või sulgeda, aga see võtaks ära peamise lisafunktsiooni ehk klapi avamise vastavalt mootori kõrgematele pööretele, sest rõhuanduri tulemuste hindamiseks tuleks teha lisajuhtimine.

Kuna autotööstuses on kindlad nõuded ohutusel, siis tuleks lõpp-produktis kasutada õigetele standarditele vastavaid elektripistikuid ning õigesti valmistatud seadme korpust. Ühenduste standardiks on määratud „jõudluse“ standardiks USCAR-20[25]. Standardi sisuks on, et pistikute kontaktid peavad olema vastupidavad ja stabiilsed, pinge ja voolu ahelad peavad olema stabiilsed, temperatuuri kõikumised on õigetes vahemikes, kaasaarvatud pistiku kuumenemine, pistik peab olema võimeline taluma raskeid tingimusi (soolad, vesi, temperatuurikõikumine, niiskus jne), temperatuuritaluvus peab olema vahemikus -40 kuni 120 °C[25]. Viimases prototüübis oli kasutatud ainult standardile vastavat toitepistikut, teistele ühendustele ei olnud õiget pistikut lisatud. Lisaks tuleks kontrollida pikemalt kasutades elektroonikakarbi temperatuuri ning lisada süsteemile vastav temperatuurikaitse.

4. SEADME JUHTIMISLOOGIKA

Seadme programmikood on lihtsa ülesehitusega ning kirjutatud C++ programmeerimiskeeles. Kontrolleri programmeerimiseks kasutati Arduino programmeerimistarkvara, sest see on mõeldud Arduino ning ka STM32 programmeerimiseks (STM32 jaoks vaja eraldi *debugger*-it). Süsteemi sisendiks on vaakumjuhtimise puhul rõhuandurist tulenev vaakumi väärtus või elektriga juhtimise puhul näiteks gaasipedaali andurist tulenev väärtus, juhtpuldi signaal ning potentsiomeetri väärtus. Väljunditeks on signaal TIP122 transistori ning selle väljund on solenoid klapi juhtimiseks vajalik pinge.

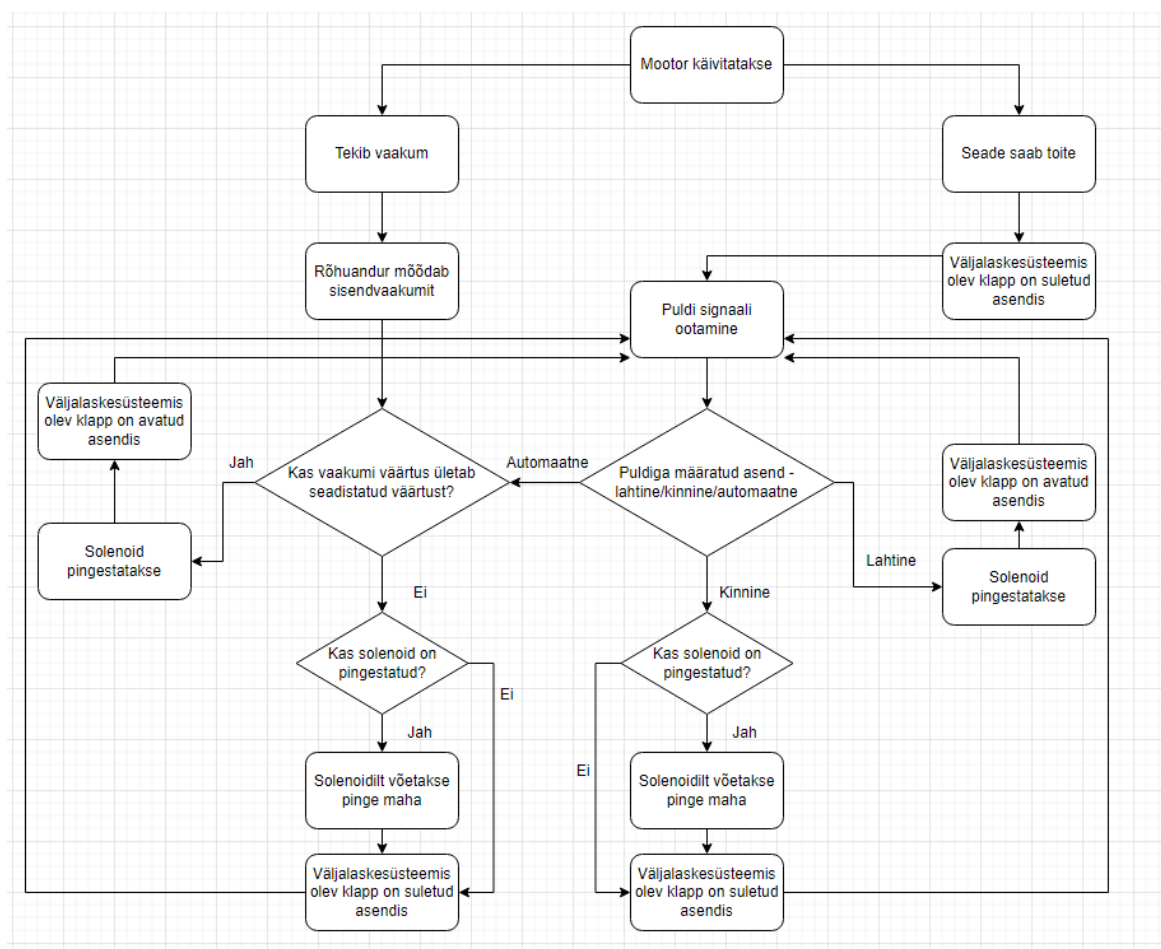
Potentsiomeetriga määratakse klapi avamise piirväärtus. Rõhuandur mõõdab sisselaskekollektoris olevat vaakumit, selle teabe järgi juhitakse solenoidklappi juhul, kui süsteem töötab „töötavas“ funktsioonis. Potentsiomeetri poolt seadistatava piirväärtuse mõte seisneb selles, et kui sisselaskekollektoris teatud aja jooksul tekkiva vaakumi amplituud on suurem kui potentsiomeetriga määratud piirväärtus, siis on klapi avamiseks tingimus täidetud. Potentsiomeetriga määratakse vastavalt kliendi soovile konkreetne väärtus miinimum- ja maksimumväärtuse vahel. Vaakumi väärtuse vahemikuks on sõidukite puhul tavaliselt 30-80kPa[26]. Kui süsteem toimib puldiga kasutamise režiimis, siis kasutatakse sisendiks juhtpuldi signaali.

Juhtpuldi vaikimisi väärtuseks on kinnine asend vältimaks seda, et klapp poleks niioelda kogemata avatud asendis. Juhtpuldiga on võimalik seade täielikult kinnises või lahtises asendis hoida, et klapp ei avaneks olukordades kus seda ei soovita. Samas on võimalik valida automaatne režiim, kus hakkab klapp avanema vastavalt sisendrõhu väärtusele ehk kas ületatakse seadistatud piirväärtust või mitte.

4.1 Programmikoodi ülesehitus

Joonisel 4.1 on kirjeldatud VAV-i töö loogika. Esimene samm on käivitada mootor, tänu millele saab seade toite süütevoolust ning sisselaskekollektoris tekib alarõhk, sellega hakatakse koheselt täitma vaakumpaaki. Esialguses olekus on väljalaskesüsteemis olev

klapp suletud asendis, sest solenoid ei ole pingestatud. Seejärel oodatakse puldi signaali – kui puldi signaal tekib ning selleks on lahtine asend, siis pingestatakse solenoid ning vaakumi abil avatakse väljalaskesüsteemi klapp. Kui puldi signaaliks on kinnine asend, siis kontrollitakse solenoidi pingestatust ning lõpptulemusena on klapp suletud asendis. Kui puldi signaaliks on automaatne asend, siis kontrollitakse kas vaakumi- või gaasipedaali asendi väärtus ületab seadistatud väärtust. Kui jah, siis pingestatakse solenoid ning avatakse väljalaskesüsteemis olev klapp või avatakse elektriline klapp. Kui ei, siis kontrollitakse solenoidi pingestatust ning sulgetakse klapp. Peale igat klapi liigutamist oodatakse uuesti puldi signaali, kuigi vahepealses olukorras jääb klapp samasse asendisse. Rõhuandur mõõdab tegelikult kogu aeg sisendvaakumit, aga kasutatakse seda informatsiooni ainult automaatses režiimis.



Joonis 4.1 Teise prototüübi süsteemi loogikaskeem

KOKKUVÕTE

Töö käigus analüüsi kolme erinevat ümberehitusetüüpi – elektrimootori ja pneumoklapiga juhitud ning täielikult ümber ehitatud sõiduki väljalaskesüsteemi. Viimane neist on kõige klassikalisem, elektriklapiga tänapäeval rohkem levinud ning pneumoklapiga süsteem, mis on kõige vastupidavam. Kõikide seadmete eesmärk on sama ehk väljalaskesüsteemi mürataseme ja voolavuse muutmise, kuid kõigi tehnoloogia on erinev.

Lõputöös käsitletud süsteem on eesmärki täitnud, sest Raketibaasile vajalikud tingimused on täidetud ning välja toodud, et on vastu pidamise mõistes eelised teiste teist tüüpi klappidega valikute ees või sama vastupidavad. Seadmel on võimalik vastavalt kasutajale muuta süsteemi valjusust vastavalt nupuvajutusele või sõidustiilile. Lisaks säilib võimalus hoida klappi kinnises või lahtises olekus ja vastavalt sellele kasutada stabiilselt vaiksemat või valjemat režiimi. Lisatud on funktsionaalsus kasutada erinevat tüüpe väljalaske süsteemi klappe.

Seade on hetkel kallim, kui teised sama eesmärki täitvad klapid või väljalaskesüsteemid, kuid see-eest on sellel rohkem funktsioone. Lisaks tuleb kasutada kas Y-ühendust või muud meetodit, et süsteem toimiks erinevate väljalaskesüsteemide puhul.

Seadme programmikoodi ülesehitus on lihtne ning seda on võimalik seadistada potentsiomeetri abil. Potentsiomeeter ei pea olema osa juhtkarbist vaid selle jaoks on võimalik lisada pistik, sest seadistada on vaja ainult süsteemi sõidukisse paigaldades.

Käsitletud süsteemil võiks proovida üleminekut elektrilisele solenoidklapile, kuid see vajab täiendavat uurimist ja arendamist, sest hetkel turul sellist varianti ei ole.

SUMMARY

Three different types of conversion were analyzed in the thesis – the exhaust system valve of a vehicle controlled by an electric motor valve, pneumatic valve and completely rebuilt exhaust system. The latter one is the most classic, the most common today is the electric motor valve and the most durable is the pneumatic valve. The purpose of all these devices is to change the noise level and fluidity of the vehicles exhaust system but the technology is different.

The system described in the thesis has fulfilled the goal, because the conditions for the Raketibaas have been completed. The system advantages and disadvantages compared to other valve systems on the market are pointed out. The device can change the system noise level according to the button state or user driving style. In addition, it is possible to keep the valve closed or open and to use quieter or louder mode according to that. The system had some drawbacks – it could not be used for all engine types as in the case with complete rebuild of the exhaust system. But in the newer version of the product, it is possible. The device is more expensive than other valves or exhaust systems for the same purpose, but it has more features. In addition, either a Y-connection or other method must be used for the system to operate on different exhaust systems.

The structure of the device program code is simple and can be set using potentiometer. The potentiometer does not have to be part of the control box since it can be plugged in for setting up at the beginning and then it can be unplugged.

The system can be further developed in terms of vacuum tank leaks and design. However, the usage of an electric solenoid valve may be considered, but it needs further research and development as no such option was currently available on the market.

KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU

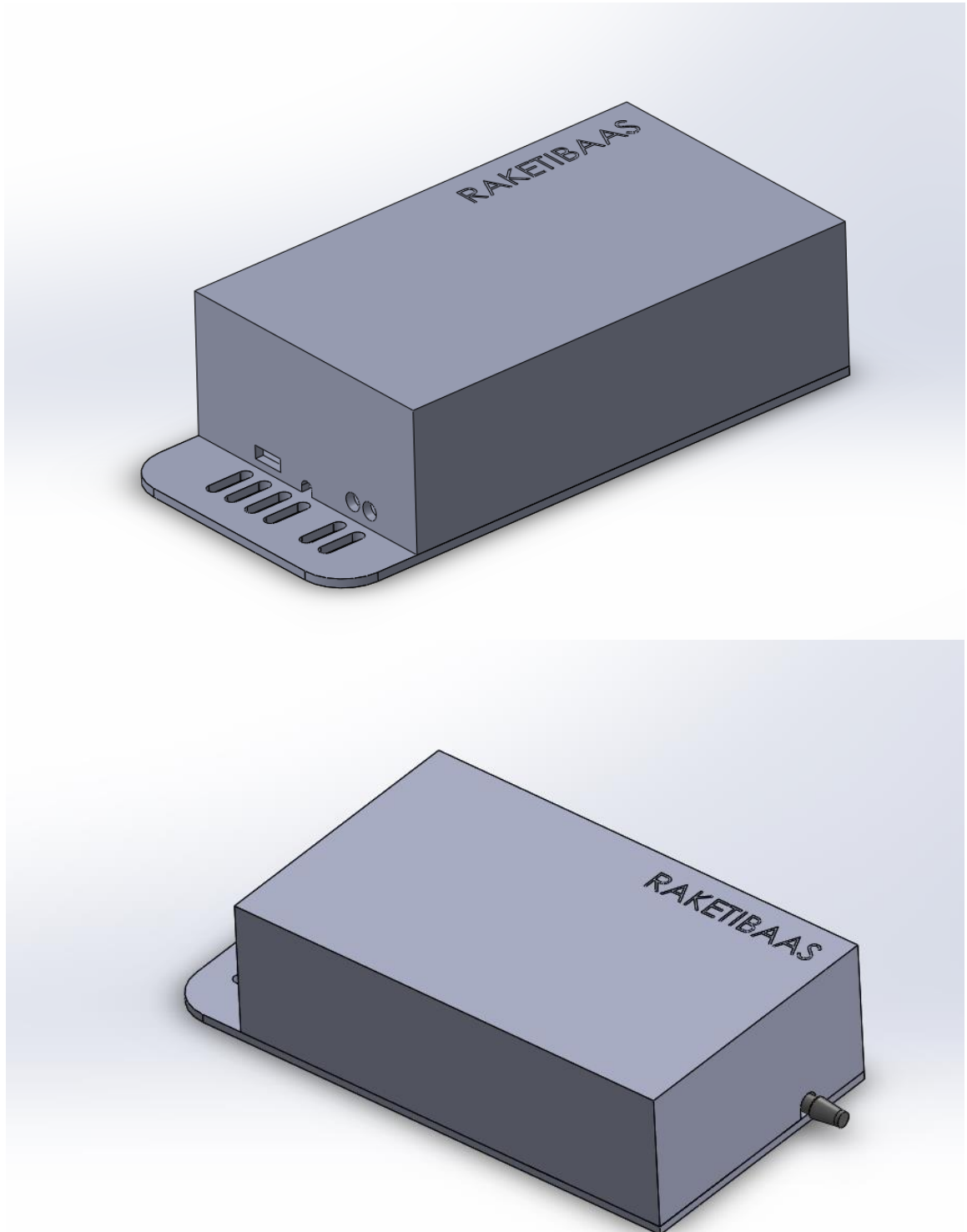
1. [1] „Intake manifold, how it works, problems, replacement cost,” Samarins, 2021. [Võrgumaterjal]. Saadaval: https://www.samarins.com/glossary/intake_manifold.html. Kasutatud: 17.05.2022
2. [2] „Hypertune – Mitsubishi 4G63 intake manifold,” Platinum racing products, 2022 [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://platinumracingproducts.com/products/hypertune-intake-manifold-mitsubishi-4g63>. Kasutatud: 25.04.2022.
3. [3] „Car exhaust system – Important things you need to know,” Sandgate autoelectrics, 2022. [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://www.sandgateautoelectrics.com.au/car-exhaust-system-important-things-you-need-to-know/>. Kasutatud: 14.05.2022.
4. [4] „Race-Shop - ELECTRONIC EXHAUST Y-PIPE CUTOUT VALVE,” Races-shop, 2022 [Võrgumaterjal]. Saadaval: https://races-shop.com/129573-thickbox_default/electronic-exhaust-y-pipe-cutout-valve.jpg. Kasutatud: 25.04.2022.
5. [5] „ARDUINO LEONARDO W/O HEADERS,” *tme.eu*, 2022. [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://www.tme.eu/en/details/a000052/arduino-solutions/arduino/arduino-leonardo-w-o-headers/>. Kasutatud: 15.05.2022.
6. [6] „MPX4250AP Pressure Sensor,” Absolute, 20 mV/kPa, 20 kPa, 250 kPa, 4.85 V, 5.35 V” *ee.farnell.com*, 2021. [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://www.farnell.com/datasheets/3360923.pdf>. Kasutatud: 25.04.2022.
7. [7] „EXHAUST CUTOUT MODULE PNEUMATIC (OPEN),” Races-shop, 2022 [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://races-shop.com/exhaust-flaps/166671-exhaust-cutout-module-pneumatic-open.html>. Kasutatud: 14.05.2022 .
8. [8] „TIP122,” Semic, 2022. [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://www.semic.ee/tip122-10/>. Kasutatud: 13.05.2022.
9. [9] „Auto väljalaskesüsteem – töökord ja tüüpilised probleemid,” Carfox, 2016. [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://carfox.ee/blog/väljalaskesusteem-tookord-ja-tuupprobleemid/>. Kasutatud: 17.05.2022
10. [10] „Exhaust system,” Able Tire and Brake, 2022. [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://www.abletireandbrake.com/Automotive-Q-A/mode/detail/knowledgeitemid/2669>. Kasutatud: 17.05.2022

11. [11] „Are bigger exhaust pipes louder?,” Car performance boss, 2020. [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://carperformanceboss.com/are-bigger-exhaust-louder/>. Kasutatud: 17.05.2022
12. [12] „Race-Shop – EXHAUST FLAPS,” Races-shop, 2022 [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://races-shop.com/2720-exhaust-flaps>. Kasutatud: 25.04.2022.
13. [13] „How many decibels is a normal car engine?,” McNally Institute, 2022. [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://www.mcnallyinstitute.com/how-many-decibels-is-a-normal-car-engine/>. Kasutatud: 17.05.2022
14. [14] „Mootori heitgaasis sisalduvate saasteainete heitkoguste, suitsususe ja mürataseme piirväärtused,” Riigiteataja, 2004. [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://www.riigiteataja.ee/akt/803291>. Kasutatud: 17.05.2022
15. [15] „Detsibell,” Wikipedia, 2021. [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://et.wikipedia.org/wiki/Detsibell>. Kasutatud: 17.05.2022
16. [16] „Active exhaust modes for mustang,” CJ PonyParts, 2022. [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://www.cjponyparts.com/resources/active-exhaust-modes>. Kasutatud: 17.05.2022
17. [17] „How active exhaust valves work with 2018 Ford Mustang GT,” EnginePowervideos, 2022. [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://www.enginepowervideos.net/active-exhaust-valves-work-2018-ford-mustang-gt/>. Kasutatud: 18.05.2022
18. [18] „What is Combustion Chamber?-Function, and types,” Engineering choice, 2022. [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://www.engineeringchoice.com/combustion-chamber/>. Kasutatud: 18.05.2022
19. [19] „What is phase cancellation? Understand & eliminate it in your audio,” LedgerNote, 2021. [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://ledgernote.com/columns/mixing-mastering/phase-cancellation/>. Kasutatud: 18.05.2022
20. [20] „Gemini valve – Pneumatically vs. Electrically Actuated Ball Valves: Which Should You Use?,” Gemini valve [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://www.geminivalve.com/pneumatically-vs-electrically-actuated-ball-valves-which-should-you-use/>. Kasutatud: 25.04.2022.
21. [21] „Inlet Manifold,” Wikipedia, 2022. [Võrgumaterjal]. Saadaval: https://en.wikipedia.org/wiki/Inlet_manifold. Kasutatud: 15.05.2022.

22. [22] „Mufflers vs resonators,“ CJ PonyParts, 2022. [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://www.cjponyparts.com/resources/mufflers-vs-resonators>. Kasutatud: 18.05.2022
23. [23] „Wire size chart,“ MGI SpeedWare, 2022. [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://mgispeedware.com/wire-size-chart/>. Kasutatud: 17.05.2023
24. [24] „Fuse breaker size calculator,“ MGI SpeedWare, 2022. [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://mgispeedware.com/guides-documentation/fuse-breaker-size-calculator/>. Kasutatud: 17.05.2023
25. [25] „Automotive Connectors Basic and Performance Standards Overview,“ Kynix, 2022. [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://www.kynix.com/Blog/Automotive-Connectors-Basic-and-Performance-Standards-Overview.html>. Kasutatud: 17.05.2023
26. [26] „FUEL INJECTION DIAGNOSIS: IT'S ALL ABOUT THE AIR,“ MOTOR, 2008. [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://www.motor.com/magazine-summary/fuel-injection-diagnosis-july-2008/>. Kasutatud: 17.05.2023
27. [27] „Blue Pill,“ STM32-base, 2023. [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://stm32-base.org/boards/STM32F103C8T6-Blue-Pill.html>. Kasutatud: 17.05.2023
28. [28] „Remote Controls – Radio Frequency or Infrared,“ Infineon Technologies AG, 2010. [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://stm32-base.org/boards/STM32F103C8T6-Blue-Pill.html>. Kasutatud: 18.05.2023

LISAD

Lisa 1 Esimese prototüübi 3D mudel kaanega



Lisa 2 Teise prototüübi 3D mudel

