



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
MEHAANIKATEADUSKOND

TTÜ mehhatroonika instituut
Mehhatroonikasüsteemide õppetool
MAHB02/09

Ardo Kaurit

**PÜSIKIIRUSE HOIDJA PROJEKTEERIMINE JA
VALMISTAMINE MEHAANILISELT JUHITAVA
MOOTORIGA AUTOLE**

Bakalaureusetöö

Autor taotleb
tehnikateaduste bakalaureuse
akadeemilist kraadi

TALLINN
2014

AUTORIDEKLARATSIOON

Deklareerin, et käesolev lõputöö on minu iseseisva töö tulemus.

Esitatud materjalide põhjal ei ole varem akadeemilist kraadi taotletud.

Töös kasutatud kõik teiste autorite materjalid on varustatud vastavate viidetega.

Töö valmis Leo Tederi juhendamisel

“.....”201...a.

Töö autor

..... allkiri

Töö vastab bakalaureusetööle esitatavatele nõuetele.

“.....”201...a.

Juhendaja

..... allkiri

Lubatud kaitsmisele.

..... õppekava kaitsmiskomisjoni esimees

“.....”201... a.

..... allkiri

BAKALAUREUSETÖÖÜLESANNE

2014 aasta kevadsemester

Üliõpilane: Ardo Kaurit 104168
Õppekava MAHB02
Eriala Mehhatroonika
Juhendaja: assistent, laboratooriumi juhataja, Leo Teder
Konsultandid: professor Trieu Minh Vu, 620 3304

BAKALAUREUSETÖÖ TEEMA:

(eesti keeles) Püsikiiruse hoidja projekteerimine ja valmistamine mehaaniliselt juhitava mootoriga autole

(inglise keeles) Cruise control design and manufacture for mechanically controlled car engine

Lõputöös lahendatavad ülesanded ja nende täitmise ajakava:

Nr	Ülesande kirjeldus	Täitmise tähtaeg
1.	Info kogumine ja erinevate variantide analüüsimine	10.aprill
2.	Vajalike komponentide valimine	15.aprill
3.	Süsteemi valmistamine ja programmeerimine	24.aprill
4.	Süsteemi häälestamine ja testimine	30.aprill
5.	Töö vormistamine ja köitmine	7.mai

Lahendatavad insenertehnilised ja majanduslikud probleemid: ohutuse tagamine, püsiva kiiruse jaoks vastava programmi läbimõtlemine ning realiseerimine, taskukohaste komponentide valik, mehaanika komponentide projekteerimine ja valmistamine, testimisel tuleva info põhjal süsteemi häälestamine ning täiustamine,

Täiendavad märkused ja nõuded:.....

Töö keel: eesti keel

Kaitsmistaotlus esitada hiljemalt 22.05.2014.

Töö esitamise tähtaeg 22.05.2014.

Üliõpilane Ardo Kaurit

/allkiri/

kuupäev 1.04.2014.

Juhendaja Leo Teder

/allkiri/

kuupäev

Sisukord

BAKALAUREUSETÖÖÜLESANNE	3
Eessõna	6
SISSEJUHATUS	7
1. TÖÖ TEOREETILISED ALUSED	8
1.1. Püsikiiruse hoidja ehk püsikiiruse süsteem	8
1.2. Püsikiiruse hoidja tähtsamad osad	8
1.2.1. Info kogumine - sensorid, lülitid	8
1.2.2 Info töötlemine ja juhiste andmine - kontrollerr	9
1.2.3. Mootori töö juhtimine - ajam.....	10
1.3. Ajalugu	10
1.4. Positiivsed ning negatiivsed omadused.....	10
1.5. Ohutus	12
1.6. Tulevik.....	12
2. PROJEKTEERITAVA PÜSIKIIRUSE SÜSTEEMI KOMPONENDID	15
2.1. Ajam	15
2.1.1. Ajami valikuks vajalik eeltöö.....	15
2.1.2. Võimalikud variandid.....	16
2.1.3. Ajami valimine	17
2.1.4. Turnigy TGY-1270HV digitaalservo.....	18
2.2. Kontrollerr.....	20
2.2.1 Arduino Uno	20
2.3. Sensorid ja lülitid	21
2.3.1. Kiiruse sensor	21
2.3.2. Piduri signaal.....	22
2.3.3. Kasutajaliides	22
2.3.4. Toide.....	23
3. PÜSIKIIRUSE SÜSTEEMI MONTEERIMINE	24
3.1. Servomootori kinnitamine	24
3.2. Kontrollerreri kinnitus.....	25

4. KONTROLLERI PROGRAMMEERIMINE	26
4.1. Mootori kiiruse lugemine.....	26
4.2. Sisendid - väljundid.....	27
4.3. Mootori juhtimine PD - regulaatoriga	28
5. SÜSTEEMI TESTIMINE JA JÄRELDUSED	30
5.1. Mootori töö vabakäigul.....	30
5.2. Mootori töö kiirusel 90 km/h	30
5.3. Järeldused	31
6. VALMINUD PÜSIKIIRUSE SÜSTEEM	32
6.1. Majanduslik analüüs.....	33
6.2. Ohutus ja keskkonnaprobleemid	34
KOKKUVÕTE	35
SUMMARY.....	37
KASUTATUD KIRJANDUS	39
LISAD.....	40
Lisa 1. Mikrokontrolleri programmi kommenteeritud kood.....	40
Lisa 2. Bakalaurusetöö metaandmed	44
Lisa 3. Bakalaurusetöö lihtlitsentsi vorm.....	45
GRAAFILINE OSA	46

Eessõna

Lõputöö teema valik tulenes praktilisest vajadusest, isiklikust huvist ning teema heast sobivusest mehhatroonika erialaga, sidudes omavahel nii mehaanika, elektroonika ja infotehnoloogia. Projekt pakkus enim huvi just sellel põhjusel, et tegelesin ühe mehhatroonika süsteemi kõikide osade loomisega nullist kuni valmimiseni. Antud teema valik andis mulle võimaluse praktiseerida erialal õpituga, saada lisateadmisi ning lahendada probleeme insenerilikul moel.

Lõputöö valmis kodustes tingimustes tänu mitmetele abivalmitele inimestele, eelkõige tahaksin tänada Rait Udumäed, tänu kellele sain kasutada laserlõikus masinat mehaanika detailide valmistamiseks ning Matis Averini, kes konsulteeris mind elektroonika detailide valimisel ja Arduino mikrokontrolleri programmeerimisel.

See bakalaureuse lõputöö valmis Tallinna Tehnikaülikooli mehhatroonika instituudi assistendi Leo Tederi juhendamisel.

SISSEJUHATUS

Bakalaureusetöö eesmärgiks on välja töötada toimiv püsikiiruse hoidja ehk püsikiiruse süsteem konkreetsele diiselmootoriga autole, millele tehase poolt antud seadet ei pakuta. Kõnealune auto on 1985.a. Audi 90 1.6 liitrise turbodiisel mootoriga, mis kasutab mehaaniliselt trossiga juhitavat kõrgsurvepumpa.

Püsikiiruse hoidja on süsteem, mis säilitab autol autojuhi poolt etteantud kiirust ning reageerides mõjuvatele muutustele nagu näiteks tuul, tõusud ja langused, sõidutee kvaliteet jne. Kõige moodsamad süsteemid, intelligentsed ehk adaptiivsed püsikiiruse hoidjad jälgivad lisaks eelmainitud teguritele ka pikivahet eessõitva sõidukiga.

Püsikiiruse hoidja teeb autosõidu mugavamaks, mõjub hästi maantesõidu liikluskultuurile, aitab vältida tähelepanematuses tulenevaid kiiruse ületamisi ja sellest tulenevaid trahve ning vähendab maantesõidu kütusekulu, kõrvaldades ebahühtlasest sõidust tulenevaid mittevajalikke kiirendamisi.

Püsikiiruse süsteem koosneb kolmest tähtsamast osast:

1. Sensorid ja juhtnupud, mis annavad vajaliku info kiiruse ja autojuhi tegevuse kohta.
2. Kontroller, mis analüüsib infot ning annab vajalikud korraldused ajamile
3. Ajam, mis reguleerib mootori tööd.

Lõputöö põhilised osad:

1. Süsteemi läbimõtlemine, vajalikud mõõtmised, komponentide valimine.
2. Süsteemi monteerimine ja programmeerimine.
3. Süsteemi häälestamine ja testimine.

Sarnaseid universaalseid süsteeme on hetkel ka turul saadaval, valida on küll üsna väheste pakujate vahel, odavamate variantide hinnad varieeruvad 200-350 EUR[1] vahel, enamasti kasutatakse vaakumiga juhitavat ajamit. Tulenevalt nende universaalsusest näevad nad üsna robustsed välja ning nende kvaliteedis võib kahelda. Selles töös tehtud kulutused jäävad 100 EUR piiridesse.

Projekti läbiviimisel kasutasin Solidworks 2013 3D modelleerimise tarkvara mehaanika detailide joonestamiseks ning Arduino tarkvara kontrolleri programmeerimiseks.

1. TÖÖ TEOREETILISED ALUSED

1.1. Püsikiiruse hoidja ehk püsikiiruse süsteem

Püsikiiruse hoidja ehk püsikiiruse süsteem on seadeldis mootorsõidukites, mis automaatselt säilitab sõidukil ühtlase kiiruse väärtusel, mille defineerib sõiduki juht. See seadeldis on tänapäeval laialt levinud ning saadaval enamiku sõiduautode, veoautode ja busside standard või lisavarustuses. Eelkõige on tegemist mugavusvarustusega, sest autojuht ei pea pingsalt spidomeetri näitu jälgima ning saab keskenduda sõidutee jälgimisele. Püsikiiruse hoidjat kasutatakse enamasti suurematel kiirustel ja pikematel vahemaadel maantee sõidul, kus stabiilse kiiruse hoidmine vaid gaasipedaali liigutamisega on kõige raskem.

1.2. Püsikiiruse hoidja tähtsamad osad

1.2.1. Info kogumine - sensorid, lülitid

Püsikiiruse süsteem koosneb kolmest tähtsamast osast, millest esimese ülesanne on erineva info kogumine. Sensorid loevad auto olekut, kiiruse sensor mõõdab auto kiirust, enamasti loetakse infot kas ratta küljes olevast kiiruse sensorist, käigukasti integreeritud kiiruse sensorist või mõõdetakse mootori pöördeid kas süütesüsteemist või eraldiseisvast pöörete lugejast.

Juht saab soovitud kiiruse määrata juhtpuldil, mis koosneb enamasti kahest või enamast lülitist. Enamlevinud on nupud SET, mis määrab hetkekiiruse säilitatavaks kiiruseks, RESUME, mis võtab mälust viimati kasutatud kiiruse ning kiirendab/aeglustab sõiduki automaatselt selle kiiruseni, ACCELERATE, mis lisab püsikiiruse hoidja poolt hoitavale kiirusele proportsionaalse kiiruse, näiteks 1 *km/h* ning lüliti COAST, mis vähendab etteantud kiirust. Nupp CANCEL lõpetab püsikiiruse hoidja töö. Tavaliselt on ACCELERATE ja COAST lüliteid all hoides võimalik autot sujuvalt vastavalt kiirendada/aeglustada. Mõningatel mudelitel on ka võimalus salvestada rohkem kui üks kiirus, näiteks meie liikluses maanteel 90 *km/h* ja 70 *km/h* ning siis saab autojuht mugavalt nende vahel kiirust vahetada.

Samuti loetakse autojuhi liigutusi pedaalidest. Autot püsikiiruse olekus kiirendades, näiteks möödasõidul, toimib gaasipedaal nagu tavaliselt ning pärast kiirendamise lõppu auto aeglustub kuni varem kehtinud püsivale kiirusele ning püsikiiruse hoidja jätkab oma tööd. Piduripedaalile vajutades katkestab süsteem automaatselt töö ning läheb puhkeasendisse. Pärast pidurdamise lõppu on RESUME nuppu vajutades kiirendab auto kuni varem mälusse

salvestatud kiirusele ja hoiab seda. Manuaalkäigukastiga autodel on tavaliselt sarnane lüliti ka siduripedaali all.

Sele 1.1. Näide Volkswageni suunatud lülitiga integreeritud püsikiiruse hoidja kasutajaliidese.



1.2.2 Info töötlemine ja juhiste andmine - kontrollid

Kontrollid töötlevad eelnevalt kirjeldatud sensoritelt ja lülitelt saadud infot ja juhiseid ning vastavalt sellele juhivad ajamit, mis reguleerib mootori tööd. Kõige esimesed püsikiiruse hoidja laadsed süsteemid kasutasid mehaanilist tsentrifugaaljõul toimuvaid kontrollereid, kuid tänapäeval on siiski tegemist elektrooniliste mikrokontrolleritega, mis on oma töös väga täpsed ja kiired. Esimene põlvkond elektroonilisi püsikiiruse hoidjaid toimus proportsionaaljuhtimise põhimõttel, mida rohkem erines soovitud kiirus tegelikust kiirusest, seda suuremas osas muudeti gaasipedaali asendit. Siledal teel on selline süsteem võimeline kiirust hoidma, kuid siiski esinevad üsna suured kiiruse võnkumised, mis suurenevad oluliselt tõusudel-langustel.

Tänapäeval on kasutusel proportsionaalne-integraal-tuletise kontrollid ehk PID-kontrollid (*proportional-integral-derivative controller* i.k.). PID kontrollid on kontroll-tagasiside kontrollid, mis arvutab lisaks kiiruste erinevusele ka kiirenduse ja läbitud teepikkuse väärtused ning tänu sellele oskab oluliselt paremini korrigeerida gaasipedaali asendit, et soovitud kiirust hoida pea kõikides olukordades.

Lisaks peab kontrollid aru saama näiteks siduri libisemisest või käigu välja tulekust ehk lõpetama gaasi juurdeandmise kui mootori pöörded tõusevad kuid sõiduki kiirus mitte või siis tõuseb mitte lineaarses sõltuvuses. Moodsamatel autodel saab püsikiiruse süsteemi kontrollid ka infot sõiduki peaaugust ning oskab reageerida ka muudele muutustele, näiteks ülemäärasele mootoritemperatuuri tõusule, õlirõhu langusele ning katkestada püsikiiruse hoidja töö.

1.2.3. Mootori töö juhtimine - ajam

Ajami olemasolu püsikiiruse süsteemides oleneb mootori juhtimise tüübist. Tänapäeval on pea kõik autod varustatud täiselektronse sissepritse süsteemidega ning mootorit juhib ka tavaolekus arvuti. Gaasipedaal ei ole enam trossiga otseühenduses karburaatori või kõrgsurve pumbaga ning töötab põhimõtteliselt reostaadina, mis annab mootori ajule teada gaasipedaali asendist. Seda nimetatakse kui TPS ehk Throttle Position Sensor ehk drosseli/gaasipedaali asendi sensor. Sellise süsteemiga autodel annab püsikiiruse süsteemi kontroller info edasi mootori ajule ning mootori juhtimine toimub läbi viimase.

Enne elektroonilise mootori juhtimise kasutusele võttu juhiti mootorit mehaaniliselt, enamasti trossi või hoovastiku abiga, mis ühendas gaasipedaali karburaatori/kõrgsurvepumba juhtkangiga. Sellisel juhul peab püsikiiruse hoidjal olema eraldiseisev ajam, mis suudab mootorit juhtida. Selleks võib olla näiteks elektromehaaniline solenoid, vaakumiga juhitud solenoid, stepper-mootor või servomootor. Püsikiiruse hoidja ajam ühendatakse tavaliselt lisa trossi või muu sarnase vahendiga paralleelselt gaasitrossiga juhtkangi külge.

1.3. Ajalugu

Moodne püsikiiruse süsteem leiutati 1948. aastal leiutaja ja inseneri Ralph Teetori poolt [2]. Esimene seeriatootmises olev auto püsikiiruse hoidjaga oli 1958. aasta Imperial [3]. Juba 1960. aastaks oli võimalik püsikiiruse hoidjat tellida kõikidele Cadillaci mudelitele. Püsikiiruse hoidjad muutusid eriti populaarseks USA-s 1973. aasta naftakriisi aegu, kuna seda reklaamiti kui seadeldist, mis aitab kütusekulu madalamana hoida [4]. Tänapäevaks on püsikiiruse hoidja tavapärase seade ning saadaval enamiku sõidukite lisavarustuses. Luksuslikumatel sõiduauto mudelitel, pikamaa veoautodel ning bussidel võib see olla ka standardvarustuses. Hinnad varieeruvad enamasti 100-400 EUR vahel. Näiteks kiirushoidik uuele Volkswagen Golfile maksab 137 EUR, uuel Audi A6 Avant mudelil 305 EUR.

1.4. Positiivsed ning negatiivsed omadused

Püsikiiruse hoidja kuulub mugavusvarustuse hulka ning ongi mõeldud eelkõige autojuhi töö lihtsustamiseks. Maantee sõidul pikkadel vahemaadel on tülikas pidevalt spidomeetrit jälgida ja ühtlast sõidukiirust säilitada, pidev gaasipedaali paigal hoidmine võib tekitada valu ja kangust jalas.

Püsikiiruse hoidja hoiab ühtlast kiirust ning aitab vältida tähelepanematuses tulenevaid kiiruse ületamisi ja nendest tulenevaid trahve. Tavaliselt maantee sõidul pannakse

kiirusehoidja kiirusepiiranguga võrdseks või niiöelda marginaalselt üle lubatu piiri, kuid mitte piisavalt palju, et politseilt karistada saada.

Kiirushoidiku laialdasem kasutamine parandaks ka maanteeõidu liikluskultuuri, vähendaks möödaskõitide arvu ning pahaste autojuhtide hulka, kes pahandavad, kui näiteks keegi äsja mööda sõitnud autojuht nüüd varasemast aeglasema kiirusega liigub.

Püsikiiruse hoidja langetab kütusekulu [5] kuni 14 %. Tänu stabiilsele kiirusele väheneb ebavajalike kiirendamiste arv ja suurema kiirusega sõitmine, mis vähendab õhutakistust ning seeläbi ka mootori kasutatavat võimsust ja kütusekulu. Kuigi see kehtib sõiduteedel, kus puuduvad pidevad tõusud ja langused. Sellisel juhul juhtub vastupidine, püsikiiruse hoidja üritab säilitada etteantud kiiruse mäest üles minnes ning kasutades sellega palju mootori võimsust ning mäest alla sõites laseb autol tühikäigul veereda. Ökonoomsem oleks lasta autol veidi mäest üles minnes aeglustada ning mäest alla sõites lasta kiirusel veidi. Kui tõusule eelneb langus, saab auto massi inertsit ära kasutades natukene langusel kiirust kogudes väiksema vaevaga tõusust üles saada.

Suurim negatiivsem külg on asjaolu, et autojuht võib muutuda hajameelseks ning ei hinda korrektselt kiirust. Kui tavapärast on autojuht harjunud kurvi lähenedes võtma jala gaasipedaalilt ära ja kiirust vähendama, siis püsikiiruse süsteem seda ei tee. Eriti ohtlik võib see olla talvistes tingimustes libedate teoludega.

Püsikiiruse hoidjat kasutades on suurem tõenäosus autoroolis magama jääda, seda asjaolul et kiirusehoidiku kasutamine nõuab juhilt vähem tähelepanu. Juhul kui juht peakski magama jääma, ei hakka auto kiirus vähenema ning võimalik teelt väljasõit võib toimuda suurema kiiruse juures.

Püsikiiruse hoidja võib vihmase ilmaga vesiliu tekkimise korral kiirendama hakata, sest auto kiirus tõenäoliselt väheneb ja süsteem üritab seda kompenseerida ning tekib suurem oht kaotada juhitavus sõiduki üle.

Tabel 1.1. Püsikiiruse hoidja positiivsed ja negatiivsed omadused

Positiivne	Negatiivne
Suurem mugavus	Suurem oht magama jääda
Madalam kütusekulu (tasasel pinnal)	Suurem tõenäosus libedal/märjal teel juhitavus kaotada
Aitab vältida kiiruse ületamisi	Võib hajutada autojuhi tähelepanelikkust
Parandab liikluskultuuri	
Annab juhile võimaluse rohkem sõiduteed jälgida	

1.5. Ohutus

Püsikiiruse hoidjal on omadusi, mis teevad autosõidu ohutumaks, kuid on ka juhtumeid, kus kiirushoidiku kasutamine on põhjustanud õnnetusi. Kuna autojuht ei pea enam keskenduma kiiruse hoidmisele ja jälgimisele, võib tekkida olukord, kus ta ei suuda kiirust korrektselt hinnata või unustab tähelepanu kiirusele osutada. Enamasti on juhtunud õnnetused siiski seoses üleüldise tähelepanematusena, kuid juba eelnevalt kirjeldatud olukorras, kus võib tekkida vesiliug, võib just püsikiiruse hoidja kasutamine põhjustada auto üle kontrolli kaotamise.

Väidetavalt juhtus ka õnnetus, kus püsikiiruse süsteem läks rikki ning olenemata juhi korraldustest hoidis 80 km/h sõidukiirust koguni 30 minuti vältel, mis lõpuks viis liiklusõnnetuseni [6]. Tulenevalt püsikiiruse süsteemi ühest inglise keelsest nimest "Auto-Cruise" või ka "Auto-pilot" on olnud ka juhuseid kus naiivsed autojuhid on arvanud, et auto sõidab iseseisvalt ja on roolist lahkunud ning auto on lõpetanud kraavis.

Ohutumaks muudab püsikiiruse hoidja sõidu, kuna aitab vältida kiiruse ületamist ning annab autojuhile võimaluse kogu tähelepanu suunata sõidutee jälgimisele ning teiste liiklusohtude arvestamisele.

1.6. Tulevik

Juba tänapäevaks on välja arenenud uus põlvkond püsikiiruse süsteeme, mida nimetatakse adaptiivseks püsikiiruse hoidjaks, inglise keeles adaptive cruise control ehk ACC. Selle enimlevinud lisaks võrreldes tavalise püsikiiruse süsteemiga on võime hoida konstantset pikivahet eessõitva sõidukiga, tavaliselt saab minimaalse pikivahe defineerida autojuht ning

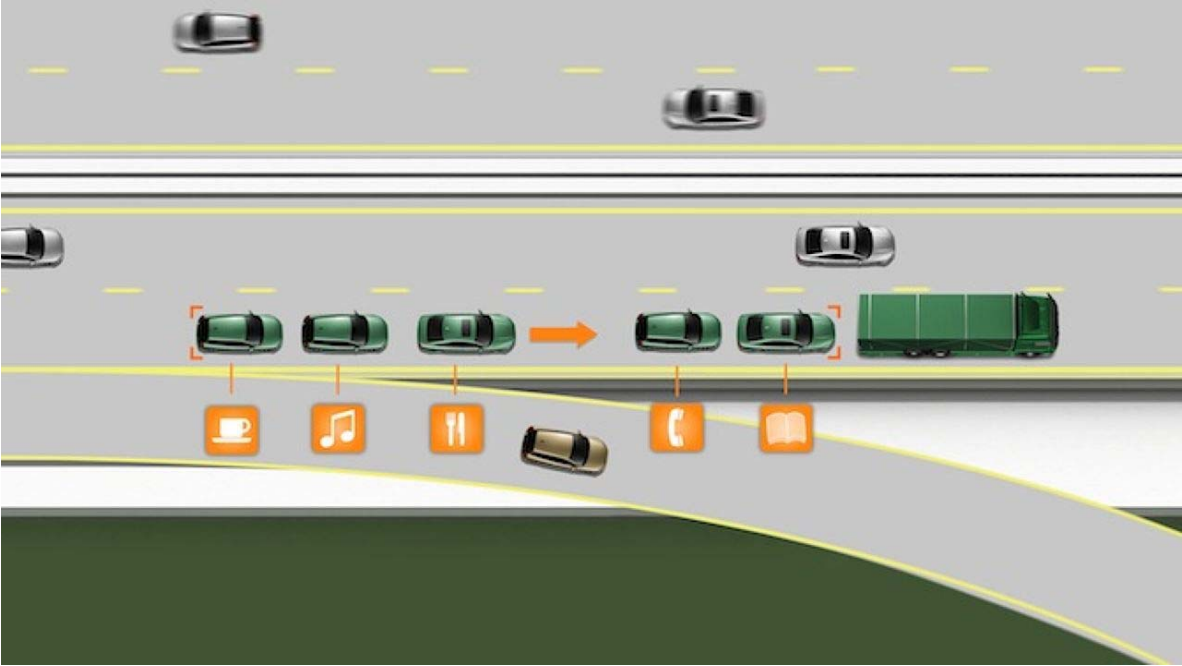
sesta mõõdetakse ajas sekundites. Süsteem mõõdab radari abil pikivahet ning reguleerib seda arvesse võttes sõiduki kiirust. Sellised süsteemid juhivad lisaks gaasipedaali asendile ka pidureid ning on võimelised pikivahe järsemal vähenemisel ka pidurdama kuni selleni välja, et oskavad ilma juhi sekkumata vältida liiklusõnnetusi.

Kuid tulevik on veelgi helgem, praegu on välja töötamisel ka sellised püsikiiruse süsteemid, mis GPSi signaali ja detailsete kaartide abiga suudavad ette arvutada sõidutee profiili ning arvestada tõusude ja langustega, et siis sõidukijuhi etteantud piirväärtuste piiris kasutada ära auto massi inertsit, et veelgi rohkem kütusekulus kokku hoida [7]. Samuti õpetatakse need süsteemid maksimaalselt efektiivselt ära kasutama mootori võimsust ja käigukasti, et hoida alati mootori pöörded maksimaalselt efektiivses vahemikus, et hoida sise põlemis mootori kasutegur võimalikult kõrgel.

Uued süsteemid võimaldavad ka jälgida ise sõiduridu ja ka liiklusmärke. Näiteks suudavad nad kaamerate abil lugeda kiiruse piirangu märke ning sõidukiirust sellele vastavalt reguleerida ja autojuhti teavitada. Teised kaamerad jälgivad veel sõiduridade jooni ning hoiatavad autojuhti kursilt kõrvale kaldumise korral ja on ka võimelised ise sõidujoont korrigeerima. Samuti jälgib auto ise ümbritsevat liiklust ja hoiatab autojuhti võimalike ohuolukordade korral. Väidetavalt on autotööstus isejuhtivatele autodele lähedamal, kui tavainimene võiks isegi arvata [8].

Üks arenduses olevaid projekte on Volvo eestvedamisel [9] autorongide idee, mis tähendab seda, et autod on omavahel juhtmeta ühenduses ning sõidavad lähedal üksteise järgi "rongis", mida veab professionaalne autojuht, näiteks mõni veoauto või bussijuht, kelle auto samuti toetab autorongide süsteemi. Sellisel juhul saab maanteel sõitev autojuht enda sihtkoha sisestades otsida endale läheduses oleva "rongi" ning sellega liituda. Rongiga liitudes läheb auto üle automaatjuhtimisele ja olles suhtluses teiste rongi "vagunitega" ning "veduriga" oskab ise sõita ja autojuht saab tegeleda hoopis muude asjadega. Kui rongi üks auto sealt vahepealt lahkub, vahetab rida ja suundub mujale, siis ülejäänud rongi tõmbab vabaks jäänud koha pealt kokku ja jätkab sõitu. Selline sõitmine vähendab oluliselt kütuse kulu, sest autod sõidavad lähestikku üksteise järgi ning vähendavad nii oluliselt õhutakistust, mis on üks suurim kadu maantee sõidu juures [9]. Samuti suureneb sõidutee läbilaske võime sest autode tihedus pindala kohta suureneb ja "rongist" mitte osavõtvatele autodele jääb maanteel rohkem vaba ruumi.

Sele 1.2. Volvo auto-rongide kontseptsioon



2. PROJEKTEERITAVA PÜSIKIIRUSE SÜSTEEMI KOMPONENDID

Komponentide valikul projekteeritavasse püsikiiruse süsteemi lähtusin mitmetest teguritest, komponendi sobivusest oma ülesandeks, kättesaadavusest, hinnast, komponendi sobivusest teiste komponentidega ja ka eelnevatest kogemustest ning mehhatroonika õppekavast.

Tähtsaim tegur oli loomulikult komponendi võime oma ülesannet täita, lähtusin algandmetest ning mõõtetulemustest ning valisin komponendi, mis ületas kõiki nõudmisi. Kuna projekti eesmärk oli eelkõige õppetöö ning töötava süsteemi valmistamine, siis lähtusin rohkem komponendi võimekusest kui tema hinnast, sest eesmärk polnud valmivat süsteemi võimalikult odava hinnaga toota.

2.1. Ajam

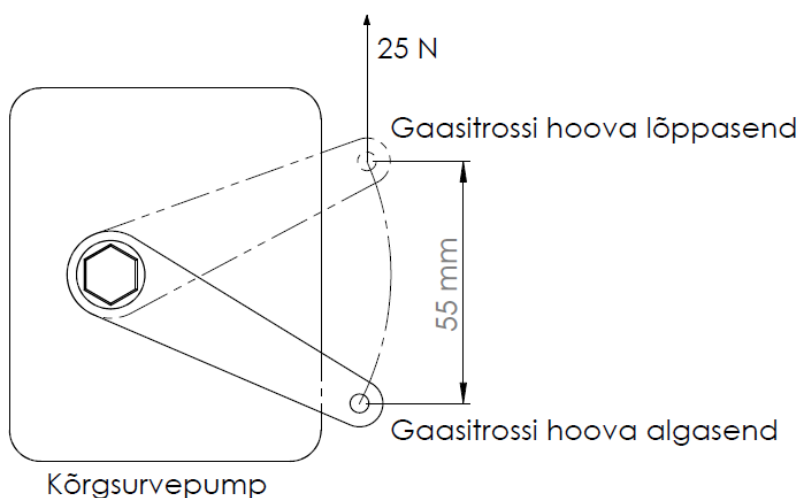
2.1.1. Ajami valikuks vajalik eeltöö

Ajami valikul lähtusin eelkõige mõõtmistulemustest ning konkreetsetest nõudmistest. Eeldused ajami sobivuseks olid väikesed mõõtmed, mõistlik ilmastikukindlus, piisavad jõuparameetrid, ajami kinnitamise lihtsus, ajami juhtimise lihtsus, hea täpsus, kiire reageerimine ja trossi vabastamine ning üsna pikk käik.

Teostasin mõõtmised konkreetse auto kõrgsurvepumba hoova liikumisele. Maksimaalne jõud hoova liigutamisel oli 25 N. Mõõtmiseks kasutasin dünamomeetrit ning kordasin mõõtmisi mitmel korral, muutes veidi nurka ning liigutamise kiirust, et kätte saada praktikas mõjuva jõu ligikaudne väärtus.

Gaasitrossi kogu käik on 55 mm.

Sele 2.1. Ajami vajalike parameetrite mõõtmine



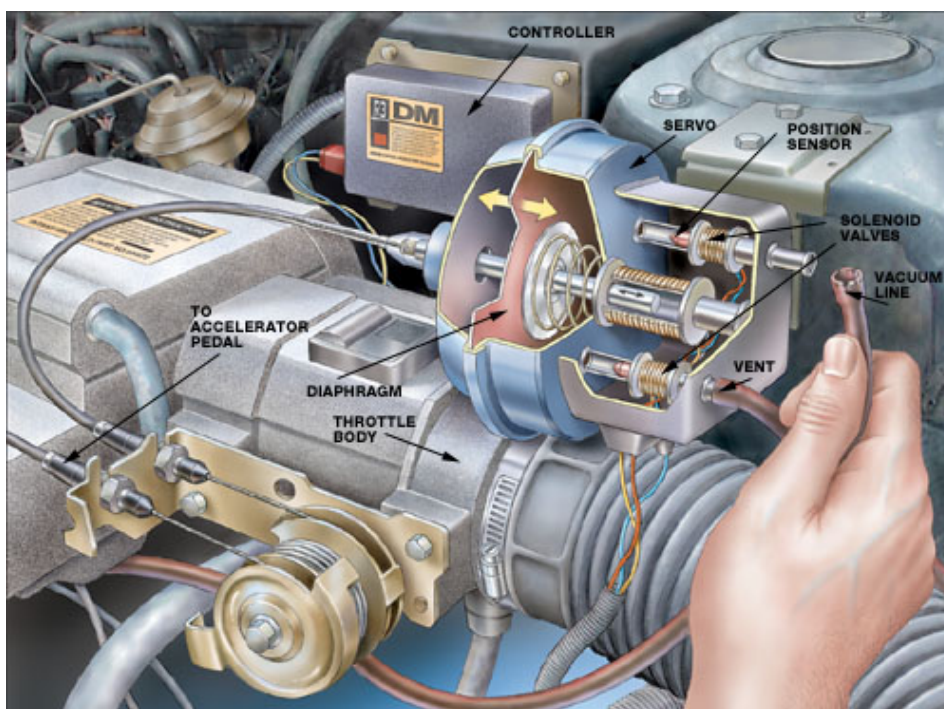
2.1.2. Võimalikud variandid

Esialgu olin välja valinud kolme eri tüüpi ajameid: Linearmootorid, vaakumajamid ja mudelismis kasutatavad servomootorid.

Linearmootorid jäid kõrvale nende aeglase kiiruse tõttu (enamasti alla 10mm/s). Linearmootorid on välja töötatud teisteks otstarveteks ning vajaliku käigu, jõu ning kiirusega mootorit ei pakutud. Enamasti olid pakutavad variandid väga suure tõmbejõuga, kuid liiga aeglased. Kiiret liikumiskiirust on püsikiiruse süsteemi ajamil vaja just siduri lahutamisel, kui püsikiiruse süsteem lõpetab oma töö ning suundub tagasi algasendisse ja mootor jätkab tööd näiteks tühikäigul. Kui aga ajam hoiab gaasitrossi liiga kaua pingul, võivad pöörded tühikäigul tõusta väga kõrgeks ning see ohustab automootorit.

Vaakumajamid olid mehaaniliselt juhitud mootoritega autodel enim levinud püsikiiruse süsteemi ajamid. Nende eelis on vaakumi kasutamine, mis annab võimaluse kasutada suuri jõude ning pea kõikidel autodel on vaakumpump ja vaakumsüsteem olemas. Vaakumajam koosneb elektrooniliselt juhitud solenoid klapist ning vaakumajamist. Vaakumi juhtimisel ajamisse tekib ühel pool membraani alarõhk, õhurõhk teisel pool surub membraanini ning tekitab liikumise [10]. Juhtimine on küll üsna ebaühtlane, kuna vaakummembraanil ei ole stabiilset kohta ning tema asendit reguleeritakse pidevalt erinevate solenoidklappide avamise ja sulgemisega ning see tekitab pideva võnkumise ideaalse asendi läheduses.

Sele 2.2. Auto püsikiiruse süsteem vaakumajamiga



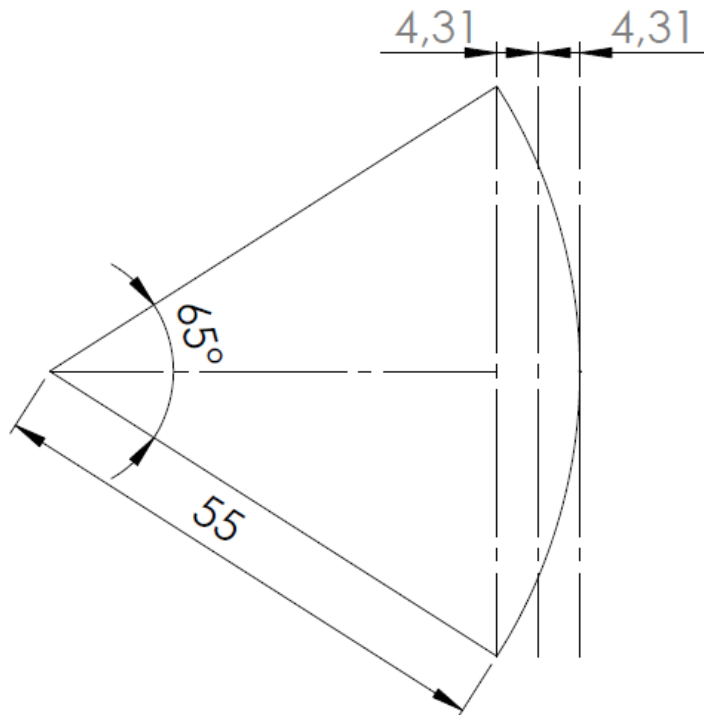
Servomootorid on samuti sõidukite püsikiiruse süsteemides laialt levinud. Servomootor koosneb elektrimootorist, jõuülekandest ning negatiivsest tagasidest asendi kohta, näiteks potentsiomeetrist. Servomootorit juhitakse PWM (Pulse-width-modulation) signaaliga, mis siis servo sisese kontrolleri poolt teisendatakse pöördenurga asendiks.

2.1.3. Ajami valimine

Tänu heale kättesaadavusele, soodsale hinnale, lihtsale programmeeritavusele ja heale sobivusele antud rakendusse otsustasin kasutada lõputöös mudelismis kasutatavat servomootorit.

Servo valimisel lähtusin mõõtetulemustest. Selleks et servo suudaks liigutada kõrgsurvepumba hooba kogu ulatuses, pean kasutama üsna pikka jõuõlga. Lähtudes servo kinnitamise asukohast, otsustasin kasutada servomootori liikumisnurka 65° . See otsus lähtus sellest, et kasutan lihtsat trossi kinnitamisviisi otse jõuõla külge ilma poolratat kasutamata. Sellist poolratta kasutamist, mida saaks kasutada selleks, et tross jookseks sirgjooneliselt, rakendandamist raskendas asjaolu, et juhul, kui püsikiiruse süsteem on väljalülitatud ja servomootor on nullasendis, jääb tross lõdvaks ning võib poolratta pealt maha joosta. 65° nurga juures oli trossi maksimaalne nihe külje peale $4,31\text{ mm}$, mis on piisavalt väike, et see muret ei valmistaks.

Sele 2.3.1. Trossi nihke joonis tavalise jõuõla ja poolratta kasutamise korral.



Et saada minimaalselt 55 mm pikkune käik (auto gaasitrossi käik), kasutades 65° ulatuses servomootori liikuvust, joonestasin Solidworks tarkvaras võrdhaarse kolmnurga ning tipunurka ja aluse pikkust teades leidsin, et optimaalne jõuõla pikkus oleks 55 mm, mille korral servomootori poolt tõmmatav käik oleks 59 mm, seega jääb mõlemale poole 2 mm suurune varu.

Nüüd pidin leidma servomootori poolt arendatava maksimaalse momendi. Mõõtmistulemustest oli teada, et vajaminev jõud on 25 N. Seega arvutan vajaliku pöördemomendi.

$$M = F \cdot l, \quad [11]$$

kus M - pöördemomendi suurus (Nm),

F - jõud (N),

l - jõuõla pikkus (m).

Järelikult on vajalik minimaalne pöördemoment:

$$M = 25 \text{ N} \cdot 0,055 \text{ m} = 1,375 \text{ Nm}$$

Servomootorit valides lähtusin eeldusest, et mootor võiks tavaolekus töötada umbes 50 % võimsusel, siis otsisin mootorit pöördemomendiga alates $2 \cdot M = 2 \cdot 1,375 \text{ Nm} = 2,750 \text{ Nm}$.

2.1.4. Turnigy TGY-1270HV digitaalservo

Lähtudes eelmainitud parameetritest osutus valituks tootja Turnigy servo mudelinimega TGY-1270HV. Antud mudelil on väga kõrge pöördemoment ($M = 40 \text{ kg} \cdot \text{cm} = 3,92 \text{ Nm}$) ning kiire liikumiskiirus ($0,18 \text{ s} / 60^\circ$). Need omadused on piisavalt head, et antud servot püsikiiruse süsteemis konkreetsele autole edukalt kasutada. Digitaalservo eeliseks analoogservo kõrval on suurem täpsus ja kiirem reageerimine [12]. Digitaalservo töötab sagedusel kuni 300 Hz.

Servo algasend on defineeritud PWM signaali laiusega 1 ms, keskasend 1,5 ms, lõppasend 2 ms. Servo on alumiiniumkorpuses, mis tagab piisava jahutuse ja üleanne on valmistatud metallist ning jookseb kuullaagritel, mis tagab piisava tugevuse ja vastupidavuse.

Sele 2.1.4.1. Turnigy TGY-1270HV servo



Sele 2.1.4.2. TGY-1270HV ilma korpuseta



2.2. Kontroller

Kontrolleri valimisel oli kõige tähtsam lihtne programmeerimine, servoga kokkusobivus, samuti kättesaadavus ja hind. Lähtusin ka eelnevatele kogemustele ning soovile isiklikult mikrokontrolleri programmeerimisega tegeleda.

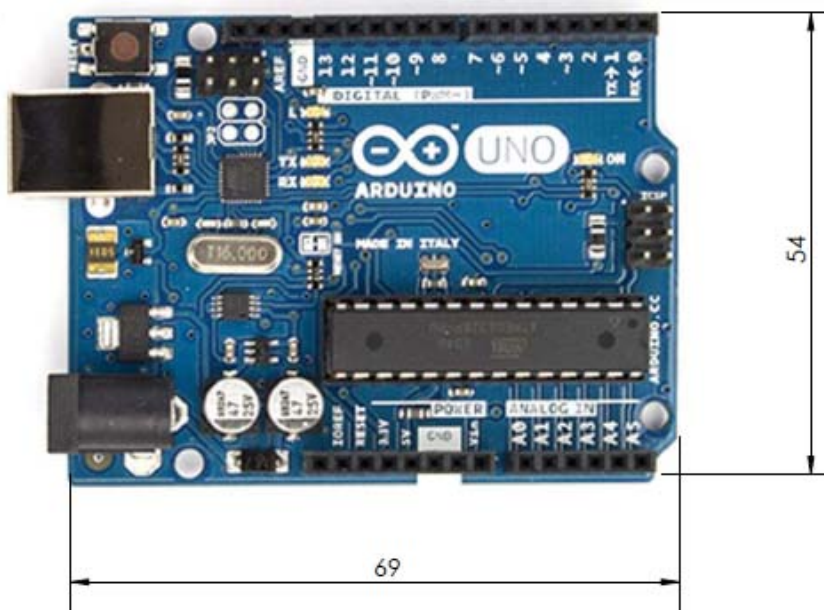
2.2.1 Arduino Uno

Valisin püsikiiruse süsteemi kontrolleriks Arduino Uno arendusplaadi ATmega328 mikrokontrolleriga. See mikrokontroller on võimeline oluliselt rohkemaks kui antud projektiks vajalik, kuid annab võimaluse tulevikus süsteemi täiendada (näiteks lisada rohkem sensoreid, GPS signaali jne) ning minule vajaliku kogemuse mikrokontrolleri programmeerimises. Arduino Uno külge saan lisada kõik vajalikud sensorid ja lülitid ning ta on võimeline väljastama vastavalt programmile PWM signaali servole. Samuti on olemas baasprogrammid PID-juhtimise kasutamiseks, mida saan siis vastavalt enda soovidele kohandada.

Kontroller on võimeline töötama pingega 6-20 V, seega saan mugavalt kasutada auto akult tulevat pinget 12-14 V. Tal on 6 analoog sisendit, et saaksin ühendada kõik vajalikud lülitid, kiiruse sensori ja piduri anduri.

Arduino Uno pikkus on 69 mm ja laius 54 mm.

Sele 2.2.1.1. Arduino Uno arendusplaat ATmega328 mikrokontrolleriga



2.3. Sensorid ja lülitid

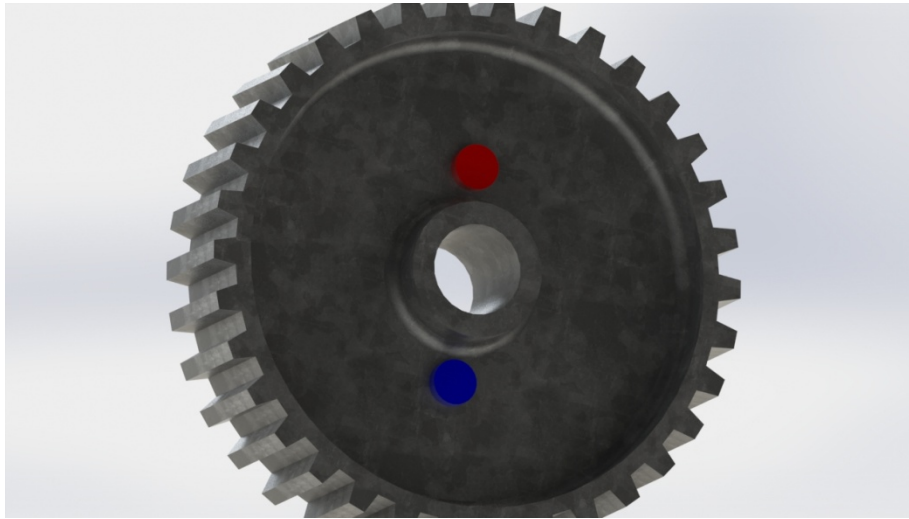
Püsikiiruse süsteemi kõige vajalikum info on tagasiside kiirusest, et kontrolleri teaks kas ta peab autot kiirendama, aeglustama või siis sama kiirust säilitama. Samuti on vaja kasutajaliidest, et juht saaks anda omad korraldused ning automaatlülitid, mis vajaduse korral püsikiiruse hoidja töö katkestaksid.

2.3.1. Kiiruse sensor

Kiiruse tagasisideks kasutan Halli efekti sensorit. Halli anduri töö põhineb Halli efektil, mis seisneb elektrivälja tekkimises magnetväljas asetsevas vooluga juhis [13]. Mõõtmiseks kinnitan halli anduri automootori nukkvõlli rihmaratta lähedusse ning kinnitan liimiga rihmarattale kaks neodüümmagnetit. Ühe magneti kinnitan N-poolusega anduri poole, teise S-poolusega. Kasutan bipolaarset halli andurit ning seega saan suure amplituudiga täpse signaali, mille järgi saan lihtsalt mootori pöörlemiskiirust arvutada. Magnetid kleebin võimalikult võlli lähedusse, et minimeerida nende mõjuvat tsentrifugaaljõudu. Halli andur koos magnetitega on hammasrihma katte all hästi väliste tingimuste eest kaitstud. Halli anduri ühendan kontrolleriiga ilmastikukindla pistikuga, et auto remontimisel oleks võimalik andur lahti ühendada.

Sellisel moel ei ole tagasisideks küll auto kiirus, vaid mootori pöörded. Püsiva käiguga sõites on mootori pöörded ja liikumiskiirus lineaarses sõltuvuses ning tulemus kontrolleri jaoks on sama, kuid käiku vahetades muutub nende vaheline suhe ning uue kiiruse peab uuesti seadistama. Samas annab see lahendus võimaluse püsikiiruse hoidjat kasutada ka kohapeal seistes mootori pöörete hoidmiseks, näiteks talvel külmaga auto mootori kiiremaks soojendamiseks saab tühikäigu pöörded ajutiselt mõnesaja pöörde võrra kõrgemale tõsta. Enamasti kasutatakse püsikiiruse hoidjat maanteeõidul viimase käiguga, seega on antud lahendus rahuldav.

Sele 2.3.1.1. Magnetid rihmarattal (CAD joonis)



2.3.2. Piduri signaal

Selleks et püsikiiruse süsteem saaks aru, millal oma töö automaatselt lõpetada, ühendan kontrolleri analoog sisendisse paralleelselt piduritule signaali. Sellisel moel ei pea eraldiseisvat lülitit kasutama ja säästan raha kui ka aega. Samuti lisan eraldi pistiku, et saaksin vajaduse korral kerge vaevaga juhtmed lahti ühendada.

2.3.3. Kasutajaliides

Kasutajaliides koosneb kolmest tagasihoidlikust OFF-(ON) lülitist ja tuhmist punasest LED-valgustist. Normaalse olekus on lülitid lahti ühendatud, vajutamisel tekib ühendus ning lahtilaskmisel läheb lüliti taas lahti ühendatud olekusse. Lülitid on integreeritud spidomeetribloki serva, et neid oleks võimalik mugavalt kasutada.

+ Lüliti toimib RES ja ACCELERATE lülitina. Esmakordsel vajutamisel lülitab see nupp püsikiiruse hoidja sisse, süsteem võtab hetke kiiruse hoitavaks kiiruseks ning alustab tööd. Lüliti järjekordsel lülitamisel lisab süsteem hoitavale kiirusele ühiku võrra kiirust juurde. Kui püsikiiruse hoidja on sõidu ajal juba hoitava kiiruse mälusse salvestanud, kuid hetkel pole süsteem aktiivne, siis nupu + vajutamine võtab mälust viimati kasutusel olnud kiiruse ning hakkab seda hoidma.

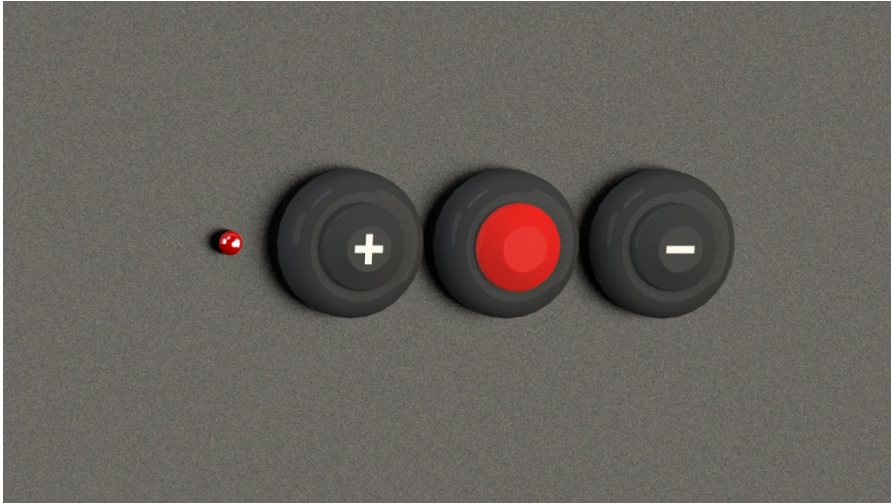
Punane nupp toimib CANCEL lülitina, mis deaktiveerib süsteemi töö ning servo läheb tagasi nullasendisse. Sama toimub ka juhul, kui aktiveerub piduri andur.

- Lüliti toimib SET ja COAST nupuna. Lüliti vajutamisel juhul, kui süsteem ei ole aktiivne, võetakse hetkel olev kiirus, kirjutatakse mälus olev väärtus üle ning püsikiiruse hoidja hakkab

määratud kiirust hoidma. Lüliti vajutamisel tööolekus vähendab süsteem hetkel hoitava kiirust ühe ühiku võrra.

LED valgusti põleb siis, kui püsikiiruse hoidja on aktiivne. Tuhm punane värv sobib kokku teiste auto armatuuris põlevate valgustitega.

Sele 2.3.3.1. Kasutajaliides kolmest lülitist ja LED valgustist (CAD joonis)



2.3.4. Toide

Kuna servomootor töötab kuni 7,2 V pingega, siis süsteemis on ka pingemuundur mis muudab akupinge (enamasti 12-14 V vahel) 6,0 V peale, mis on soovituslik pinge servole tehniliste andmete põhjal. Pingemuundur toidab servot maksimaalselt 7,5 A suuruse voolutugevusega.

Sele 2.3.4. Süsteemis kasutusel olev toiteblokk Turnigy HV UBEC



3. PÜSIKIIRUSE SÜSTEEMI MONTEERIMINE

3.1. Servomootori kinnitamine

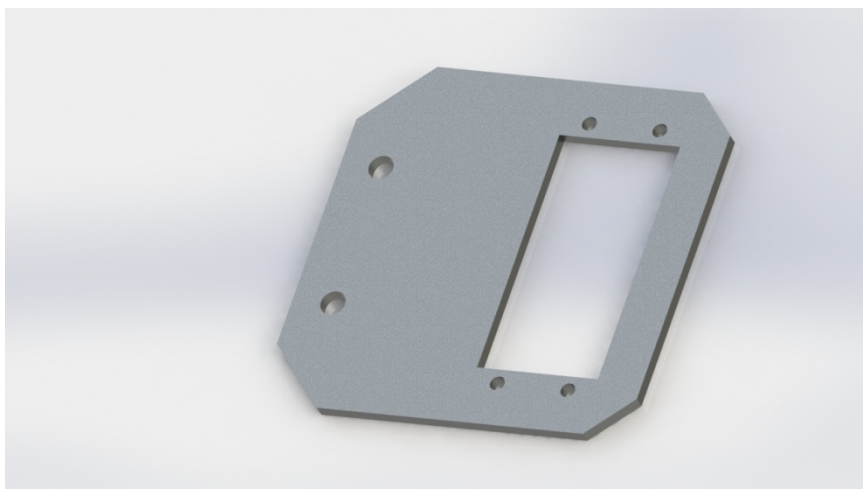
Servomootori kinnitan kõrgsurvepumba külge spetsiaalselt valmistatud õhukesest lehtmetailist kinnituse abil. Servo on plaadi külge kinnitatud nelja poldiga standardsetest servo kinnituskohtadest. Gaasitrossi hoovastiku plaadi sisse puurin kaks 6 mm ava ning kinnitan plaadi kahe M6 poldi ja mutriga kinnitusplaadi. See annab võimaluse plaati vajaduse korral kergesti eemaldada.

Servomootori jõuõla ühendamiseks kõrgsurvepumba hoovaga kasutan tugevat tamiili. Tamiil paindub väga hästi ning olukorras, kus püsikiiruse süsteem ei tööta ning mootorit juhitakse gaasipedaaliga, ei jää tamiil gaasitrossi liikumisele ette. Samas on tamiil piisavalt tugev, et mõjuvale pingele vastu pidada ja teda on lihtne kinnitada.

Sele 3.1.1. Servo ja avade plaanitavad asukohad gaasitrossi kinnituse plaadil.



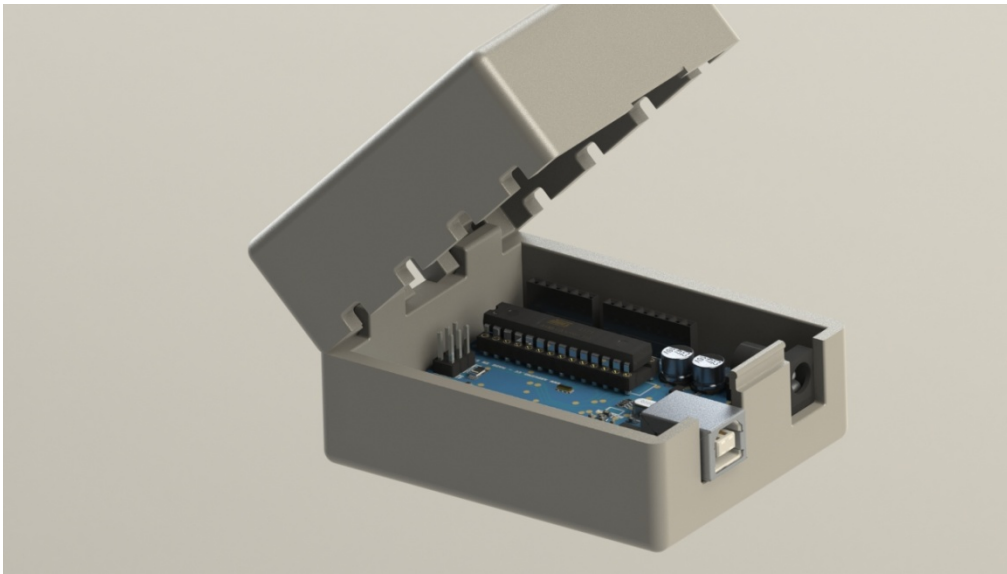
Sele 3.1.2. Servo kinnituse plaat (CAD joonis)



3.2. Kontrolleri kinnitus

Häälestamise perioodil oli kontrolleri kinnitatud armatuurile, et oleks ligipääs arvutiga ja lihtne vajalikke parameetreid muuta. Pärast testperioodi lõppu kinnitasin kontrolleri keskkonsooli taha spetsiaalselt loodud korpusesse, ühtegi juhet nähtavale ei jää. Ainus märk püsikiiruse hoidjast salongis on tagasihoidlik tuhm LED valgusti ja kolmest väiksest lülitist koosnev kasutajaliides. Kontrolleri mootoriruumi minevad juhtmed varustan lahtiühendatavate pistikutega.

Sele 6.3. Püsikiiruse süsteemi kontrolleri Arduino Uno korpus avatuna (CAD joonis).



4. KONTROLLERI PROGRAMMEERIMINE

Arduino mikrokontrollerite programmeerimiseks kasutatakse avatud koodiga vabavara tarkvara nimega Arduino, mis on mikrokontrollerite tootjapoolne tarkvara. Programmeerimiskeel on mõndade eranditena keel C ning tänu paljudele kasutajatele ja tootjapoolsele programmi näidete kogule, leidub internetis väga palju tehnilist infot, baasprogramme, õpetusi ja teiste kasutajate kogemusi ning lahendusi võimalikele probleemidele.

Arduino Uno arendusplaadi saab arvutiga ühendada USB juhtmega, Arduino tarkvara sisaldas ka draivereid plaatidele ning ühenduse saamine oli väga lihtne, kõik käis automaatselt. Arduino Uno plaadile oli juba bootloader [14] installeeritud, mis on väikene programm, mis käivitub mikrokontrolleri käivitamisel, mis edasi avab viimati plaadile alla laetud programmi. Bootloader annab ka võimaluse plaadile lihtsa USB juhtmega uusi programme alla laadida.

Täpse koodi leiate Lisast nr. 1.

4.1. Mootori kiiruse lugemine

Mootori kiiruse lugemiseks kasutan Halli andurilt tulevat signaali. Halli andur annab vahelduvas magnetväljas välja kandikujulise signaali (*square wave* i.k.). Kahe magneti korral saan igal pöördel ühe tugeva tõusva signaali, ehk signaalipinge tõusmise. Programm on varustatud funktsiooniga *millis()*, mis väljastab timeri väärtuse millisekundites alates kontrolleri käivitamise hetkest. Selline meetod annab realselt pöörete arvu ajahetkes lugemise ees, sest vastasel korral tekib astmeline väljund alati täisarv. Leides kahe tõusva signaali vahe millisekundites, saan väärtuse, mis iseloomustab mootori kiirust. See muutuja on pöörd võrdeline kiiruse kasvule, see tähendab, et mootori pöörlemiskiiruse suurenedes antud muutuja väärtus langeb. Suurema täpsuse saamiseks kasutan oversamplingut, mis korrutab saadud väärtuse läbi 1-st suurema täisarvulise kordajaga.

Lisasin programmi ka pöörete piiraja, mis aktiveerub püsikiiruse hoidja töö ajal pöoretel ligikaudu 4500 1/min, sellisel juhul lõpetab süsteem töö ja servo läheb tagasi algasendisse.

Kuna püsikiiruse hoidjat kasutatakse enamasti 5. käiguga sõitmisel, siis arvutasin välja ka konstandi, mis näitab kui palju on muutub kiiruse sensori näit 5. käiguga sõites, kui auto tegelik kiirus tõuseb 1 km/h võrra. Seda konstanti kasutasin koodi kirjutamisel, kus määrasin ACCELERATE ja COAST *setspeed* kiiruse muutumise suuruse.

Kiiruse sensori väljundi stabiilsema väärtuse loomiseks kasutan keskmistamist, iga uus mõõdetud kiiruse info mõjutab mootori hetkekiiruse muutujat 25 % ulatuses. See tagab sujuvama töö vigase info korral ning muudab ka väljundi muutumise rahulikumaks.

4.2. Sisendid - väljundid

Enamik sisendeid/väljundeid sai ühendada plaadile ilma probleemideta, jootsin juhtemele isased PIN otsikud, et ühendamine oleks lihtne ning ühendus usaldusväärne.

Piduritulest tulev signaal (akupinge ligikaudu 13,7 V) vajab pinget madaldamist, sest Arduino Uno plaadi sisendite soovitatav pinge jääb 5 V piiresse. Selleks kasutasin ühte 10 kOhm ja ühte 5 kOhm takistit, millest suurema ühendasin piduritule signaalile jadamisi vahele, ning teise ühendasin signaali maandusega. Sellise võttega saavutasin Arduino plaadi sisendisse 2/3 võrra madalama pinget, ehk umbes 4,5 V suuruse pinget.

LED valgusdiodi ühendamiseks kasutasin 5 V suurust pinget ja jadamisi ühendatud 470 Ohm suurust takistit, et toita LED-i tehnilises andmetes olnud nimivooluga 10 mA.

Suuruste arvutamiseks kasutasin Ohmi seadust vooluringi osa kohta, mis määrab, et voolutugevus juhis on võrdeline pingelanguga juhil ning pöördvõrdeline juhi takistusega.

$$I = \frac{U}{R}, \quad (14)$$

kus

I = voolutugevus (1 A),

U = pingelang (1 V),

R = juhi takistus (1 Ohm).

Tabel 4.1. Mikrokontrolleri ühendused

PIN	Sisse	Välja	Selgitus
1			
2			
3	Halli sensor (Interrupt 1)		Kiiruse sensor
4			
5	Lüliti 2 CANCEL		Stop, algasend
6			
7	Lüliti 3 SET/DEC		Salvesta kiirus, aeglusta
8	Piduri andur		Stop, algasend
9	Lüliti 1 RES/ACC		Jätka kiirust, kiirenda
10			
11		Servo PWM	Servo juhtsignaal
12			
13		LED	Sisse/välja

4.3. Mootori juhtimine PD - regulaatoriga

Selles töös kasutan PID - kontrolleri erijuhtu PD - kontrolleri, kus kontrolleri I komponent ehk integraal tagasiside parameeter võrdub nulliga. Integraaltagasiside kasutamine on keerulisem, ta tekitab olemuselt süsteemi võnkumisi, kuid aitab viia süsteemi staatilise vea nulli. Eeldusel, et suudan P ja D parameetrite muutmise saavutada rahuldava staatilise vea suurusjärgus 1 % ja süsteemi stabiilse töö, siis jätan lihtsuse mõttes I komponendi välja.

PD - kontrolleri muudab väljundi väärtust vastavalt kahele, P ehk proportsionaalsele ja D ehk tuletise komponendile. P osa regulaatorist arvutab igal tsüklil soovitud kiiruse (*setspeed*) ja hetkekiiruse (*currentspeed*) vahe ehk kiiruse vea. Saadud tulemus korrutatakse läbi P komponendi parameetriga (*comP*) ja saadaksegi PID regulaatori P komponent. Mida suurem P väärtus, seda suurem muudatus tehakse väljundis. Näiteks kui auto tegelik kiirus on suurem kui soovitud kiirus, siis vähendatakse gaasitrossi asendit.

D osa regulaatoris arvutab auto kiirendust, selleks võtab ta mälust auto liikumiskiiruse eelmise lugemise ajal ja lahutab sellest auto hetkekiiruse. Kui auto on viimase tsükli jooksul kiirust suurendanud, vähendatakse gaasitrossi asendit ja vastupidi. Parameetrid *comP* ja *comD* on kordajad, mida muutes saab süsteemi tööd häälestada.

Programmis kasutusel olev gaasitrossi asendi valem:

$$POS = pos_e + (comP * (setspeed - currentspeed)) + (comD * (lastspeed - currentspeed)), \quad (15)$$

kus

POS = gaasitrossi asend,

pos_e = gaasitrossi asend eelmises tsükli,

$comP$ = P komponendi parameeter,

$setspeed$ = soovitud kiirus,

$currentspeed$ = hetkekiirus,

$comD$ = D komponendi parameeter,

$lastspeed$ = eelmise tsükli ajal salvestatud hetkekiirus.

5. SÜSTEEMI TESTIMINE JA JÄRELDUSED

Süsteemi valmides algas süsteemi testimine ning kontrolleri häälestamine. Esmalt tuli luua ühendus arvutiga ja määrata servo alg- ja lõppasendid, kontrollida mootori kiiruse sensori tööd ning teha mõned muudatused esialgses programmis, muuta keskmistamist, et saada piisavalt stabiilne kuid ka piisavalt kiire ning täpne näit. Halli sensor andis ootuspärasest stabiilsema näidu ning sain keskmistamist vähendada, et antud näit muutuks täpsemalt.

5.1. Mootori töö vabakäigul

Järgnevalt testisin regulaatori tööd mootori vabakäigul ja häälestasin manuaalselt proovimise teel *comP* ja *comD* parameetreid muutes regulaatorit, kuni saavutasin stabiilse töö. Kuigi antud auto mootor on kohapeal väga ergas ja juhtimine peab olema äärmiselt täpne, suutis regulaator edukalt hoida stabiilseid pöördeid. Kõige stabiilsema töö sain parameetrite väärtuste *comP* = 1 ja *comD* = 3 korral. Gaasitrossi juhtimine oli üsna aeglane ning väikeste muutustega.

5.2. Mootori töö kiirusel 90 km/h

Regulaatori töö testimisel maanteekiirusel 5. käiguga selgus, et süsteem ei suuda tagada stabiilset kiirust. Regulaatori tunnetus tuulele, tõusudele/langustele ning turborõhu tõusmisele oli liiga aeglane ning tekkisid suured võnkumised.

Regulaatori tööd raskendas oluliselt automootori turbo käitumine. Sõidukiiruse 90 km/h juures on mootori pöörded ligikaudu 2500 1/min ning turbo tekitatud ülerõhk ühtlasel sõiduteel vahemikus 0,3 - 0,5 bar (1 bar = 100 000 Pa). Kui sellisel kiirusel näiteks tõusul 1/4 võrra gaasi juurde anda, tõuseb ülerõhk juba kiiresti 0,8 - 1,0 bar juurde. Kõrgsurvepump on tänu ülerõhumembraanile sisselaske gaaside rõhu tõusust teadlik ning lisab vastavalt kütust mootorisse juurde. See aga suurendab gaasipedaali asendist sõltumata mootori poolt arendatavat väändemomenti ning auto hakkab kiirendama. Seega peab regulaator kiiresti gaasipedaali asendit muutma, et kompenseerida turborõhu tõusust tulenevat kütuse lisamise efekti.

Nendest teguritest sõltuvana suurendasin oluliselt nii P kui D komponente. P komponendi suurendamine tõstis tunduvalt süsteemi reageerimise kiirust ning staatilist viga. D komponendi suurendamine stabiliseeris võnkumisi ning aitas tasakaalustada turborõhu tõusust tulevat kiirendamist.

Stabiilse automootori töö auto kiirusel 90 km/h saavutasin parameetrite väärtuste $comP = 5$ ja $comD = 12$ korral. Staatiline viga oli nullilähedane ning kiirus kõikus kuni 1 km/h piires.

Tabel 5.2.1. PD - regulaatori parameetrid erinevates olukordades.

Kiirus	$comP$	$comD$
vabakäik	1	3
90 km/h	5	12

5.3. Järeldused

Saavutasin stabiilse püsikiiruse hoidja töö 5.käiguga sõites, mis täidab süsteemi kõige tähtsamat eesmärki, teha maantee sõit ohutumaks ja mugavamaks. Auto inertsi mõju käiguvahetusel mõjutas regulaatori tööd ootuspärasest rohkem ning loodetud universaalseid PD - regulaatori parameetreid, mis oleks saavutanud rahuldava tulemuse kõikide käikudega, ma antud töös leida ei suutnud.

Tulevikus edasiarendamiseks on tõenäoliselt sellise kontrolleri saavutamiseks vaja teha koodis mõned keerulisemad lahendused, mis suudaksid tarkvaraliselt muuta PD - regulaatori parameetreid vastavalt vajadusele, lisada mõned sensorid, näiteks auto kiiruse sensor, mis aitaks kontrollerial aru saada käigu vahetusest (auto kiiruse ja mootori kiiruse suhte kaudu) ja turbo ülerõhu sensor et tasakaalustada ülerõhust tulenevat kiirendamist. Samuti ei olnud päris rahuldav auto käitumine, kui lasin kontrollerial jätkata varem salvestatud kiirust, mis erines oluliselt hetkekiirusest. Sellisel juhul tekkis veidi liiga suur ülereguleerimine ning kiiruse stabiliseerimine võttis kaua aega.

6. VALMINUD PÜSIKIIRUSE SÜSTEEM

Valminud püsikiiruse hoidja on toimiv seade. Süsteemi valitud komponendid sobisid omavahel hästi kokku ning suutsid probleemideta toimida ühtse tervikuna. Kõik valitud komponendid ületasid nõutud tingimusi ning töötasid ootuspärasest isegi paremini.

Süsteem jääb tavakasutajale peaaegu märkamatuks, süsteem lülitub sisse auto käivitamisel ning püsikiiruse hoidmiseks on vaja vajutada ainult ühele nupule. Kasutajaliides on tagasihoidliku välimusega, et mitte rikkuda klassikalise auto sisustuse stiili.

Püsikiiruse hoidja toimib maanteesõidul rahuldavalt ning annab autojuhile võimaluse puhata jalga ning rohkem tähelepanu suunata sõiduteel toimuvale.

Sele 6.1. Püsikiiruse süsteemi ajam. Servomootor loodud kinnituses.



Sele 6.2. Püsikiiruse süsteemi kolmest nupust koosnev kasutajaliides.



6.1. Majanduslik analüüs

Püsikiiruse süsteemi arendamise eesmärk oli eelkõige õppetöö, et laiendada enda teadmiste ja kogemuste pagasit, majanduslikud eesmärgid jäid pea täielikult tahaplaanile. Sellest olenemata jäi projekti eelarve varem seatud piiridesse, olles 2 - 3 korda odavam turul pakutavatest alternatiividest.

Tabel 6.1.1. Püsikiiruse süsteemi komponentide maksumus.

Tüüp	Mudeli nimi	Tootja	Tarnija	Hind
Servomootor	TGY-1270HV	Turnigy	Hobbyking	23,96 €
Pingemuundur	HV 5A - 6V	Turnigy	Hobbyking	12,82 €
Mikrokontroller	Arduino Uno	Atmel	Hobbyking	10,09 €
Halli sensor	A1203EUA-T	Allegro MS	Farnell	2,60 €
Lülitid	Off-(On)		Oomipood	3,60 €
Magnetid	NdFeB		Oomipood	2,80 €
Juhtmed ja pistikud			Oomipood	7,60 €
LED valgusti	3mm, punane matt		Oomipood	0,10 €
Muud kulutused				5,00 €
Transport	Hobbyking			12,09 €
Transport	Farnell			5,00 €
			KOKKU	85,66 €

6.2. Ohutus ja keskkonnaprobleemid

Püsikiiruse hoidja on projekteeritud kasutaja jaoks võimalikult ohutuks, programmiselt saab süsteemi välja lülitada kahest eraldiseisvast koodist, üks võimalus on vajutada piduripedaali, teine võimalus vajutada armatuuril olevale punasele nupule. Kolmas võimalus on veel peidetud lülitist lülitada välja servomootori toide ning kõrgsurvepumba vedrumehhanism tagastab servo algasendisse. Kui kõik need meetodid alt veavad, tuleb süüde välja keerata, see sulgeb kõrgsurvepumba stop-solenoidi ning mootor ei saa enam kütust kätte. Sellisel juhul tuleb olla ettevaatlik, et võtit täielikult välja ei keera, sest siis läheb ka rool lukku.

Süsteemis ei ole kasutatud eriti suure ohtlikkusega komponente ega materjale, elektroonikakomponentide jäätmekäitlus toimub vastavalt nende juhenditele.

Tänu püsikiiruse hoidja poolt kokkuhoitavale kütusekulule maanteesõidul väheneb ka keskkonda paiskatud saasteainete hulk.

KOKKUVÕTE

Püsikiiruse hoidja on seadeldis, mis säilitab sõidukil ühtlase autojuhi määratud kiiruse olenemata muudest mõjudest, näiteks tuul ning tõusud/langused maanteel. Püsikiiruse süsteem koosneb info kogumisest auto kiiruse, juhi soovide ja muude parameetrite kohta, siis selle info töötlemisest kontrolleris, mis teeb vajalikud muudatused ja otsused ning saadab need siis ajamisse, mis juhib mootori tööd. Püsikiiruse hoidja on tänapäeval laialt levinud mugavus lisavarustuse seade, millega on varustatud enamik busse ja veoautosid, kui ka suur osa sõiduautosid.

Püsikiiruse süsteem muudab maantee sõidu mugavamaks, ohutumaks, aitab vältida tähelepanematusel tingitud kiiruse ületamisi ning aitab langetada kütusekulu kuni 14 %. Autojuht saab keskenduda rohkem sõidutee jälgimisele ning ka jalg saab puhata. Püsikiiruse hoidjate tänapäev ja tulevik on adaptiivsete püsikiiruse süsteemid, mis kannavad endas ka võimalusi hoida stabiilset pikivahet eessõitjaga, vältida kokkupõrkeid, hoida sirget sõidujoont kuni peaaegu autonoomsele autosõidule.

Antud lõputöös kirjeldatud püsikiiruse süsteem on projekteeritud konkreetsele 1.6 liitrise töömahuga turbodiisel mootoriga autole Audi 90 (väljalaske aasta 1985.), mis on varustatud mehaaniliselt gaasitrossiga juhitava kõrgsurvepumbaga. Tegelikult on projekteeritud süsteemi võimalik minimaalsete muudatustega installeerida enamikule autodele, mis on mehaaniliselt juhitava mootoriga.

Projekteeritud süsteem koosneb Turnigy TGY-1270HV digitaalservost, Arduino Uno arendusplaadist Atmel ATmega328 mikrokontrolleriga, bipolaarsest halli efekti andurist, magnetitest, servomootori kinnitusest, kontrolleri korpusest, lülitist, LED - valgustist ning hulgast pistikutest, juhtmetest, poltidest, mutritest ning muust sarnasest.

Projekti maksumus komponentide ja materjalide arvelt oli 90 EUR, mis on ligikaudu 2 - 3 korda madalam turul pakutavate sarnaste süsteemide hindadest.

Mikrokontrolleril on realiseeritud PD - regulaator (proportsionaal - tuletis kontroller), mille sisendiks on mootori kiirus ning väljundiks servomootori asend. Kontrolleril on määratud limiidid servo asendi kaudu, mootori kiiruse üle ning autojuhiga suhlemine käib kolmest lülitist + piduri andurist koosneva kasutajaliidese kaudu. Juhi kasutuses on püsikiiruste hoidjatele iseloomulikud nupud, RESUME/ACCELERATE, CANCEL ja SET/COAST, mille abil saab jätkata salvestatud kiirust, kiirendada püsikiiruse hoidjat kasutades, lõpetada

süsteemi töö, määrata uus soovitud kiirus või kiirust astmeliselt vähendada. Süsteemi häälestamine toimus manuaalselt *comP* ja *comD* parameetreid PD -regulaatoris muutes.

Süsteem toimib rahuldavalt, kõik funktsioonid on realiseeritud ning toimivad, auto suudab hoida stabiilset kiirust ligikaudu 1 *km/h* suuruses koridoris ning suudab reageerida tuulele ning tõusudele/langustele. Regulaator on häälestatud maanteeõiduks 5.käiguga, käiguvahetusel muutub seoses ülekande muutusega auto inerts mõju mootori tööle ning regulaator vajaks ideaalis uuesti häälestamist. Hetkeseades töötab süsteem hästi 5.käiguga, rahuldavalt 4.käiguga, kuid madalamate käikudega tekitab auto kiiruse võnkumine üle seadesuuruse.

Tulevikus edasiarendamiseks võiks välja töötada keerulisemaid algoritme programmi töös, mis suudaksid käiguvahetusega hakkama saada ning teha süsteemi tööd veel täiuslikumaks. Samas võiks lisada näiteks auto hetkekiiruse anduri, turbo ülerõhu anduri või käikude lugemise anduri, et kontrolleri oleks võimeline mootorit veel täpsemalt juhtima ning muutuvatele oludele paremini reageerima.

Lõputöö koostajana olen tulemusega väga rahul ning soovin loodud süsteemi veelgi täiendada. Enne projekti läbiviimist oli mul väga vähe kogemusi mikrokontrolleritega töötamises ja nende programmide kirjutamises, kuid see töö oli täpselt paraja raskusastmega, et koos süsteemi loomisega ise areneda. Antud töö tegemine tekitas minus veelgi suuremat huvi mehhatroonika süsteemide vastu ning julgust nendes rohkem süveneda.

SUMMARY

Cruise control is a device that keeps constant speed set by driver on a automobile, cruise control speed is not affected by wind, slopes or hills. Cruise control system consists of sensors for collecting information from the car and from the driver, controller to process the data and send out necessary information to the actuator, the third most important component, that is able to control the engine. Cruise control systems today are commonly used extras on trucks, buses and cars.

Cruise control makes driving on highway more comfortable and safe, helps to prevent unintended speeding and reduces fuel consumption up to 14 %. Thanks to cruise driver is able to concentrate closely to the road and can have rest for his foot. The latest systems and the future for cruise control is adaptive cruise control that can also keep constant distance with a car ahead, avoid collisions, keep straight line up and have almost autonomous driving experience.

Cruise control system described in given thesis is designed for specific car, an Audi 90 with 1.6 liter turbo diesel engine from 1985, that is controlled mechanically via throttle cable. In reality this system can be installed with minor modifications to most mechanically controlled engines.

Designed cruise control system consists of Turnigy TGY-1270HV digital servo, Arduino Uno board with Atmel ATmega328 microcontroller, bipolar hall effect sensor, magnets, mount for the servo, mount for the controller, switches, LED - light and a set of different plugs, wires, bolts and similar objects.

The cost of the project including only materials and components was 90 EUR, which is about 2 -3 times less than alternative systems on the market.

The microcontroller is using PD - regulator (proportional - derivative controller) principle, with an input of engine speed and an output of position of servomechanism. There are limits in the controller for engine speed and for servomotor positions. User interface is made via LED - light and three switches similar to most of the cruise systems made. There are RESUME/ACCELERATE, CANCEL and SET/COAST switches that you can use for resuming last used speed, accelerating 1 *km/h* per click, cancelling the cruise, setting reference speed of decelerating 1 *km/h* per click. PD - regulator is tuned manually by testing with setting different values for *comP* and *comD* parameters.

Designed cruise control system is working fine, all functions are working and the vehicle is able to hold constant speed in a corridor of 1 km/h and can react to heavy winds, slopes and hills. The controller is tuned for highway use with 5th gear. Due to the effect of inertia of the car for the engine changing with changing gears, the regulator does not work well with all the gears and should be tuned for every gear separately. At the moment system works fine with 5th gear, has satisfying outcome with 4th gear, but starts to oscillate over the setpoint when using lower gears.

For improvements in the future, the system could use more sophisticated algorithms in the controller that could handle larger disturbances. With the use of advanced programming or some extra sensors, for example a sensor of vehicle speed, a sensor of turbo pressure or a gear sensor, it is possible to achieve more advanced controlling of the speed

As a writer of this thesis I am very pleased with the end-result and I am keen to improve the system even more. Before taking this project I had very few experiences with microcontrollers and programming them, but the project was with good level of difficulty for me develop myself together with the creation of the system. Writing this thesis made me even more interested in mechatronics systems and gave me courage to go into them more deeply.

KASUTATUD KIRJANDUS

1. AutoExtra, Püsikiiruse hoidja ehk kiirushoidik [WWW]
<http://www.autoextra.ee/web/cruisecontrol.phtml> (8.04.2014)
2. Teetor R., Speed control device for resisting operation of the accelerator., US-Patent 2519859 A, 1950.
3. Auto.howstuffworks.com, Auto Editors of Consumer Guide (2007-10-08). "1958 Imperial Auto-Pilot cruise control" [WWW] .
<http://auto.howstuffworks.com/1957-1959-imperial9.htm> (8.04.2014)
4. "Big capacity increase", *Ward's Auto World*, 1974
5. Reed P., What Really Saves Gas? And How Much? [WWW]
<http://www.edmunds.com/fuel-economy/we-test-the-tips.html#test3> (10.04.2014)
6. Shears, R, Driver wrestles with car for 30 terrifying minutes as it gets stuck in cruise control at 50mph on busy motorway [WWW]
<http://www.dailymail.co.uk/news/article-1236020/Horror-ride-driver-stuck-50mph-cruise-control-30-minutes-slow-traffic.html> (10.04.2014)
7. Nystrom, L, Future cruise control to have environmental, safety features [WWW]
<http://www.vtnews.vt.edu/articles/2013/02/022613-vtti-ecocruisecontrol.html> (19.04.2014)
8. Walch, T., Future cars will have super cruise control, perfect cupholders [WWW]
<http://www.freep.com/article/20140115/COL06/301150036/Tom-Walsh-NAIAS-Detroit-auto-show> (19.04.2014)
9. Schwartz, A., Road Trains--Not Driverless Cars--Are The Future Of Hands-Free Driving [WWW] <http://www.fastcoexist.com/1678130/road-trains-not-driverless-cars-are-the-future-of-hands-free-driving> (19.04.2014)
10. Harrison, T., Cruise Control Autopsy And Experiments [WWW]
<http://www.toddfun.com/2012/07/07/cruise-control-autopsy-and-experiments/> (20.04.2014)
12. Soceity of Robots, Servos [WWW]
http://www.societyofrobots.com/actuators_servos.shtml#digitalanalogservos (24.04.2014)
13. Vikipeedia, Halli tajur [WWW] http://et.wikipedia.org/wiki/Halli_andur (25.04.2014)
14. Arduino Reference, Bootloader Development [WWW]
<http://arduino.cc/en/Hacking/Bootloader?from=Main.Bootloader> (9.05.2014)
16. Arduino Reference, Servo library [WWW] <http://arduino.cc/en/reference/servo> (9.05.2014)

LISAD

Lisa 1. Mikrokontrolleri programmi kommenteeritud kood

```
#include <Servo.h> // kaasab servo juhtimise baasprogrammi [16]
#include <Serial.h> // kaasab jadapordi baasprogrammi

Servo myservo; // loob servo objekti et kontrollida servomootori asendit
int pos = 1900; // muutuja servo asendi määramiseks
unsigned long currentspeed = 7; // muutuja, hetkekiirus
unsigned long previous; // muutuja, viimati tulnud signaali ajahetk
// millisekundites alates kontrolleri sisselülitamisest
boolean holding = false; // muutuja, kas pusikiiruse hoidja on aktiivne voi mitte
unsigned long setspeed = 0; // muutuja, soovitud kiirus
int comP = 5; // muutuja, PID P - proportsionaalne - komponendi
// kordaja
int comD = 12; // muutuja, PID D - tuletis - komponendi kordaja
int comI = 0; // muutuja, PID I - integraal - komponendi kordaja
unsigned long lastspeed = 0; // muutuja, mälus eelmise tsükli hetkekiirus

void setup()
{
  attachInterrupt(1, elapse, RISING); // määrab Halli anduri töösse ja hakkab lugema
// igat tõusvat signaali
  myservo.attach(11); // ühendab väljundi pin 11 servo juhtimiseks
  Serial.begin(9600); // aktiveerib jadapordi
  previous = millis();
  pinMode(9, INPUT_PULLUP); // lüliti nr 1, RESUEME/ACCELARATE
  pinMode(5, INPUT_PULLUP); // lüliti nr 2, CANCEL
  pinMode(7, INPUT_PULLUP); // lüliti nr 3, SET/DECELERATE
  pinMode(8, INPUT); // pidurilüliti, CANCEL
  pinMode(3, INPUT_PULLUP); // aktiveerib Halli anduri sisendi, pin 3 = interupt 1
}
```


void loop()

```
{
  if(!digitalRead(5))           // lüliti nr 2, lõpetab töö
  {
    holding = false;
    delay(500);
  }
  else if(!digitalRead(9))      // lüliti nr 1
  {
    if(!holding)               // kui süsteem ei ole juba aktiivne, käivitab süsteemi
    {
      if(setspeed == 0)        // kui soovitud kiirust pole veel määratud, määrab, kui
                              // on, jätkab soovitud kiiruse hoidmist
      {
        setspeed = currentspeed;
      }
      holding = true;
    }
    else
    {
      setspeed -= 8;           // kui süsteem on juba aktiivne suurendab kiirust, kiirus
                              // tõuseb vajutusega umbes 1 km/h
    }
    delay(500);
  }
  else if(!digitalRead(7))      // lüliti nr 3
  {
    if(!holding)
    {
      setspeed = currentspeed; // kui süsteem ei ole aktiivne, käivitab selle ja
                              // kirjutab hetkekiiruse soovitud kiiruseks
      holding = true;
    }
    else
```

```

        {
            setspeed += 8;    // kui süsteem on juba aktiivne, vähendab kiirust
                             umbes 1 km/h võrra
        }
        delay(500);
    }
else if(digitalRead(8))    // pidurilüliti, katkestab töö
    {
        holding = false;
        delay(500);
    }

Serial.print(pos);        // jadapordi monitorile, et teostada diagnostikat
Serial.print(" ");
Serial.println(currentspeed);

if(holding)               // LED valgusti juhtimine
    {
        digitalWrite(13,HIGH); // LED põleb kui püsikiirus on aktiivne
    }
else
    {
        digitalWrite(13,LOW);  // LED ei põle kui püsikiirus on välja lülitatud
    }
delay(50);
}

void elapse()          // püsikiiruse hoidja kontrolleri argumendid
{
    currentspeed = (currentspeed * 3 + ((millis() - previous)*16))/4;
                             // keskmistamine, uus loetud hetkekiiruse väärtus
                             mõjutab ainult 1/4 ulatuses hetkekiiruse väärtust,
                             tekitatakse oversampling, et saada täpsem tulemus

```

```

previous = millis();           // abimuutuja kahe võnke vahelise aja mõõtmiseks

if(holding)                   // juhtimine
{
    // NB! Servo on kinnitatud tagurpidi, algasend on servo
    // jaoks lõppasend (positsiooni muutuja liigub gaasi
    // lisamisel allapoole)

    pos = pos + (comP * (setspeed - currentspeed)/32) + (comD * (lastspeed - currentspeed)/8);
    // PD regulaator - servo asendi väljund = hetkeasend - P
    // kordaja * hetkekiiruse ja soovitud kiiruse vahe (jagatud
    // on täpsuse jaoks) - D kordaja * kiiruse muutus kahe
    // tsükli vahel

    lastspeed = currentspeed; // salvestab uue hetkekiiruse mälli järgmise tsükli
    // kiirenduse arvutamiseks

    if (pos < 1000) pos = 1000; // kui servole edastatav asend ületab etteantud piirid, siis
    // ta jääb piirile pidama

    if (pos > 1900) pos = 1900;

    if (currentspeed < 400) holding = false; // kui mootor ületab kiiruse ligikaudu 4500
    // pööret/minutis, siis püsikiirus lõpetab töö

}
else
{
    pos = 1900; // kui püsikiirus ei ole aktiivne, on servo algasendis
}

myservo.writeMicroseconds(pos); // edastab servole asendi info PWM signaaliga PWM
// signaali laiusega muutuja pos microsekundites
}

```

Lisa 2. Bakalaurusetöö metaandmed

Lisa 2

rektori 27.02.2014 käskkirja nr 60 juurde

METAANDMED

Töö pealkiri (eesti keeles): Püsikiiruse hoidja projekteerimine ja valmistamine mehaaniliselt juhitava mootoriga autole

Töö pealkiri (inglise keeles): Cruise control design and manufacture for mechanically controlled car engine

Autor: Ardo Kaurit

Juhendaja(d): Leo Teder

Kaitsmise kuupäev:

Töö keel: est / eng / rus: eesti keel

Asutus (eesti keeles): Tallinna Tehnika Ülikool

Asutus (inglise keeles): Tallinn University of Technology

Teaduskond (eesti keeles): TTÜ Mehaanikateaduskond

Teaduskond (inglise keeles): TUT Faculty of Mechanical Engineering

Instituut (eesti keeles): Mehhatroonika instituut

Instituut (inglise keeles): Department of Mechatronics

Õppetool (eesti keeles): Mehhatroonikasüsteemide õppetool

Õppetool (inglise keeles): Chair of Mechatronics Systems

Märksõnad /kui on/ (eesti keeles): püsikiirusehoidja, püsikiiruse süsteem, PD-regulaator, arduino uno mikrokontroller, mootori pöörete lugemine

Märksõnad /kui on/ (inglise keeles): cruise control, PD - regulator, arduino uno microcontroller, reading RPM

Õigused: juhul kui ligipääs on piiratud, siis sellekohane märkus

Lisa 3. Bakalaurusetöö lihtlitsentsi vorm

Lisa 1
rektori 27.02.2014 käskkirja nr 60 juurde

Lihtlitsents lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks ja reprodutseerimiseks

Mina, Ardo Kaurit

(sünnikuupäev: 28.10.1990)

1. Annan Tallinna Tehnikaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose "Püsikiiruse hoidja projekteerimine ja valmistamine mehaaniliselt juhitava mootoriga autole", mille juhendaja on Tallinna Tehnikaülikooli mehhatroonika instituudi assistent Leo Teder,

1.1. reprodutseerimiseks säilitamise ja elektroonilise avaldamise eesmärgil, sealhulgas TTÜ raamatukogu digikogusse lisamise eesmärgil kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni;

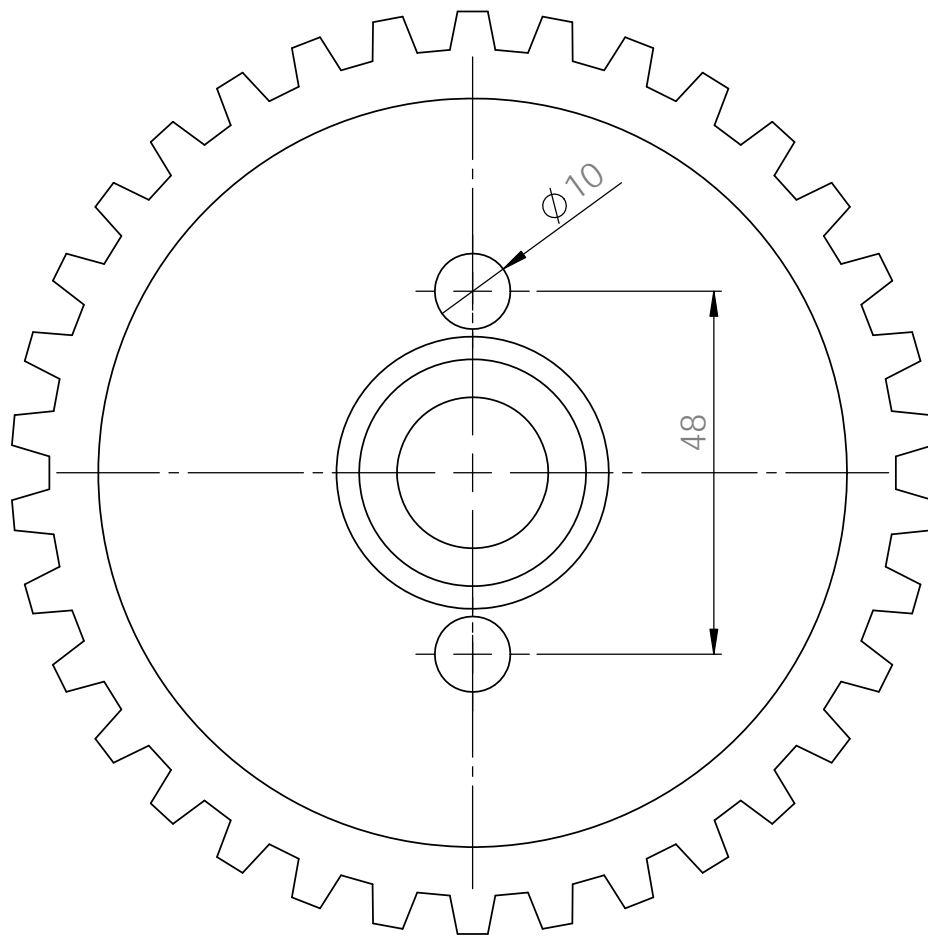
1.2. üldsusele kättesaadavaks tegemiseks Tallinna Tehnikaülikooli veebikeskkonna kaudu, sealhulgas TTÜ raamatukogu digikogu kaudu kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni.

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

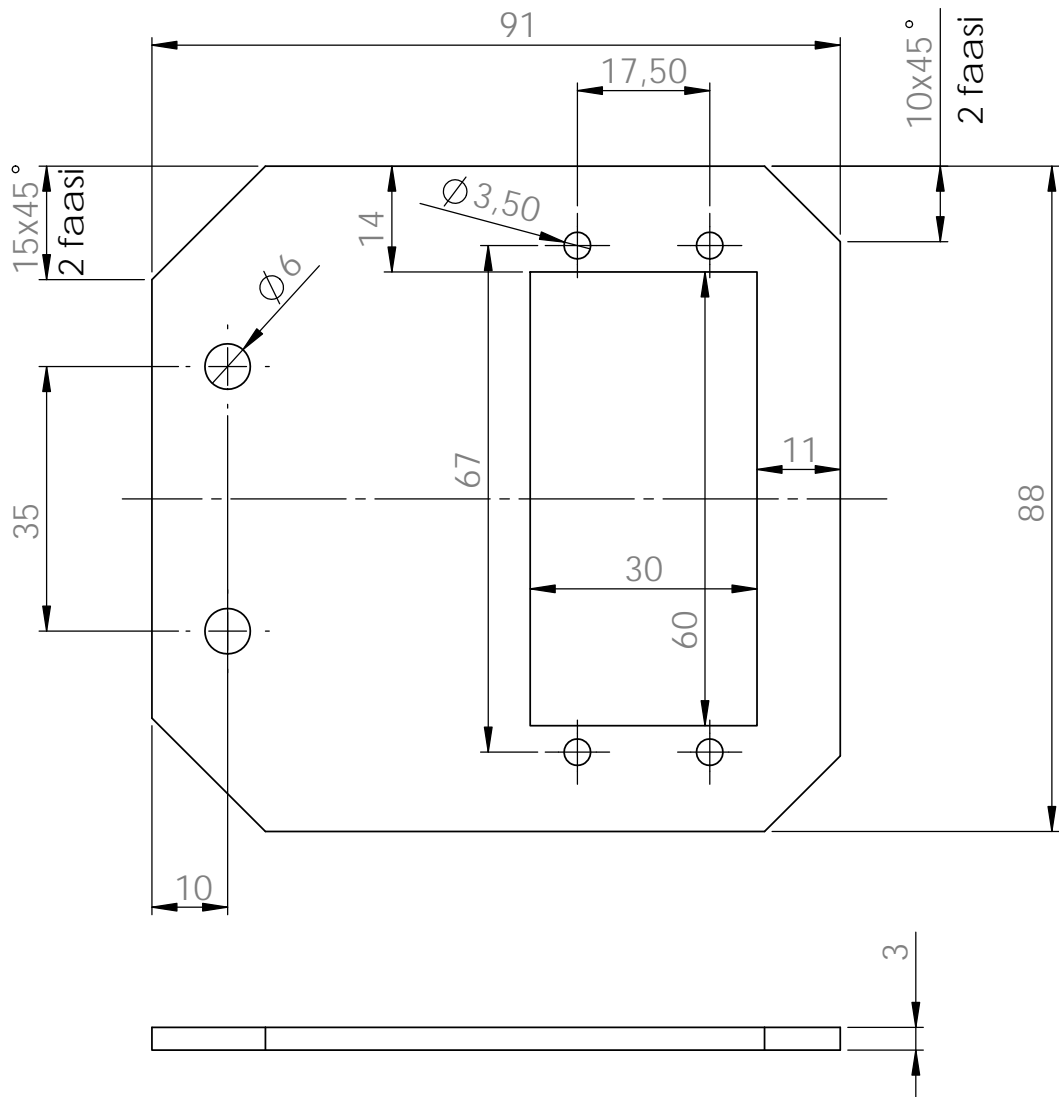
3. Kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta kolmandate isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest ja teistest õigusaktidest tulenevaid õigusi.

_____ (allkiri)

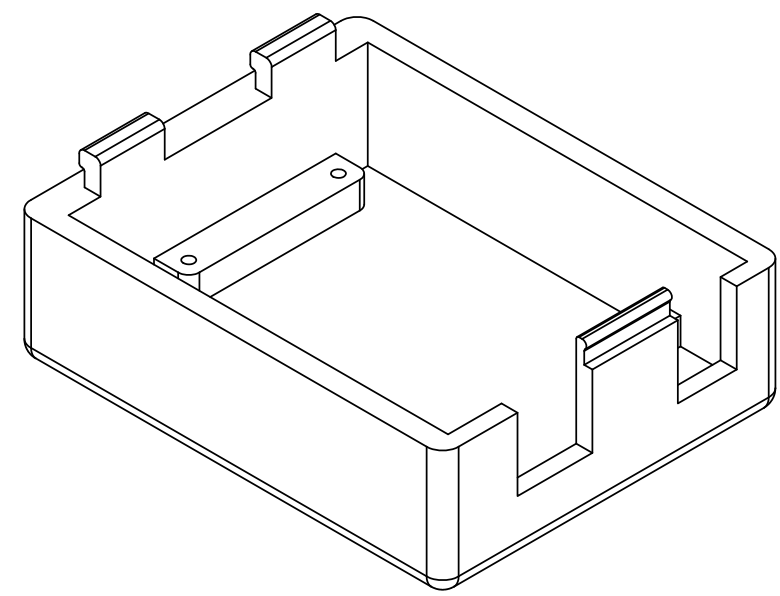
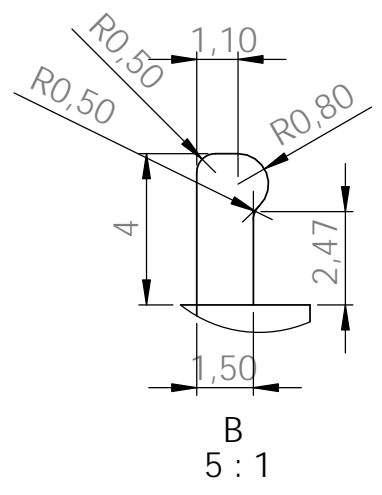
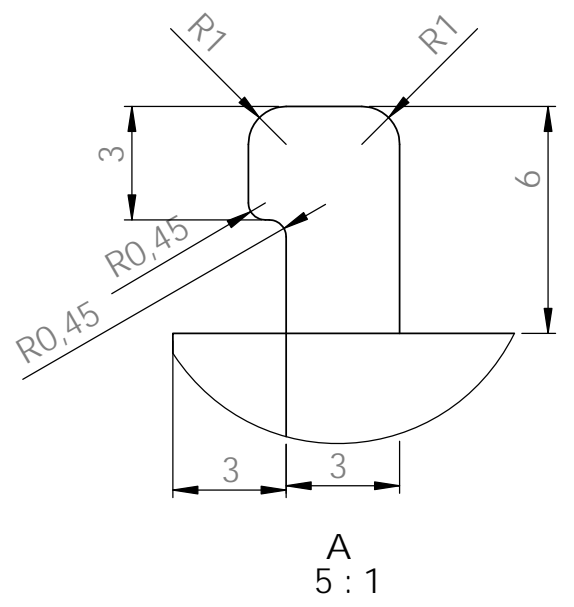
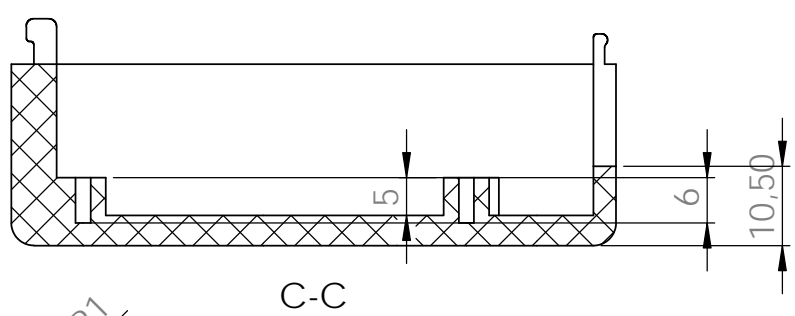
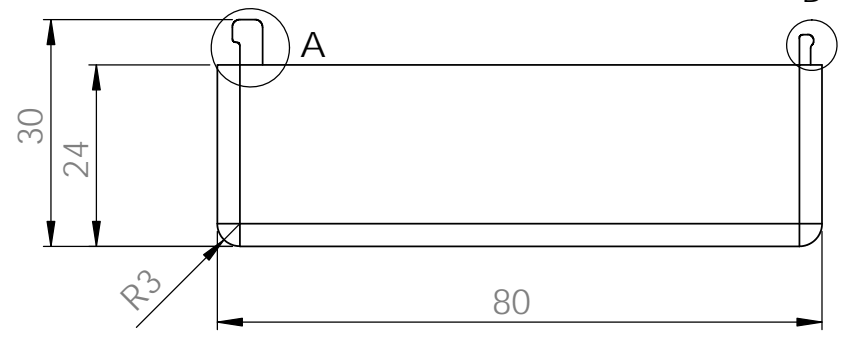
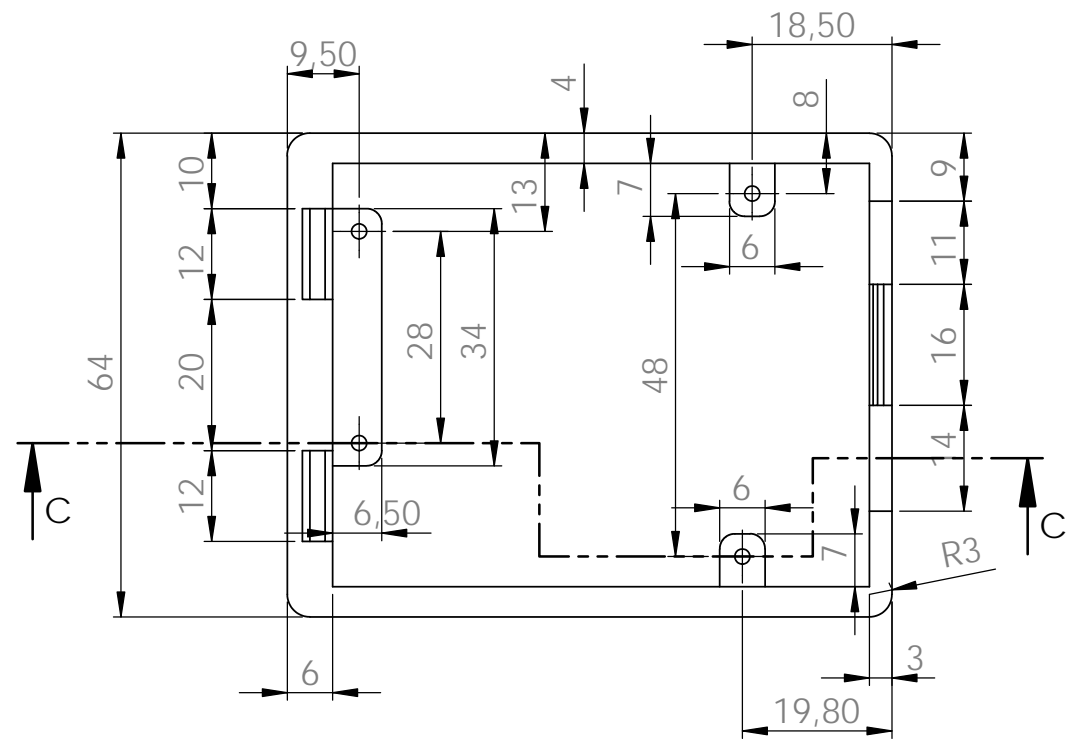
_____ (kuupäev)



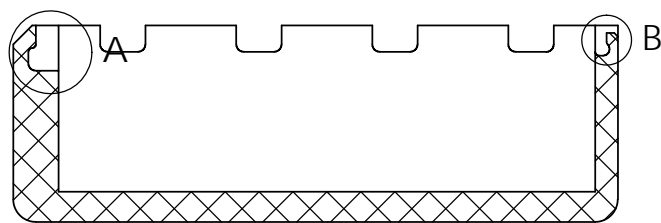
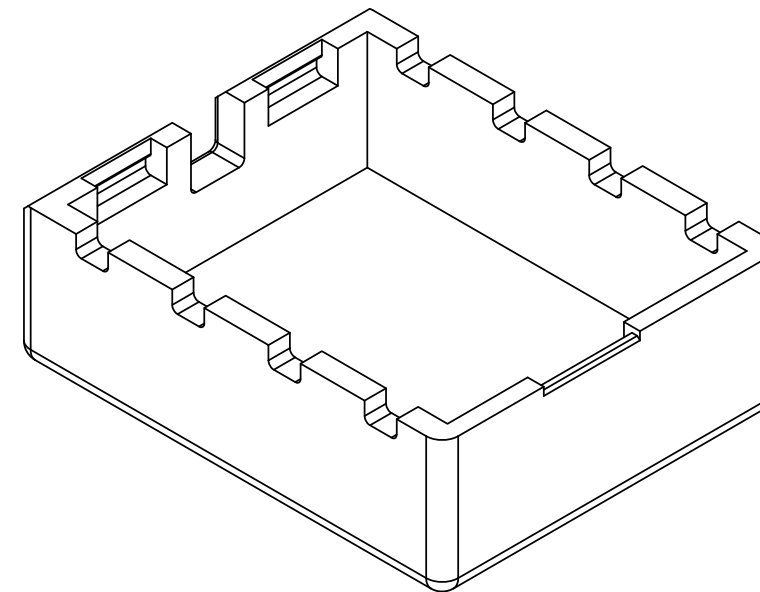
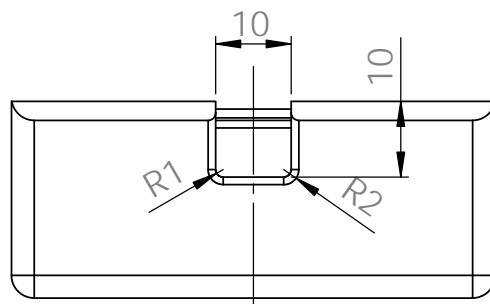
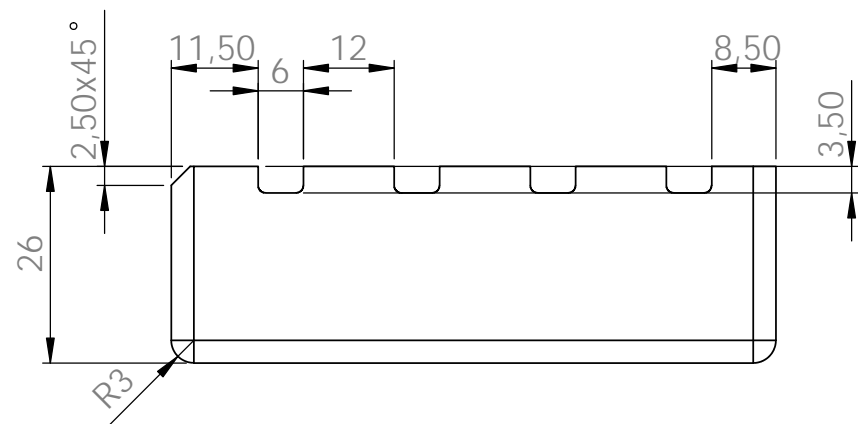
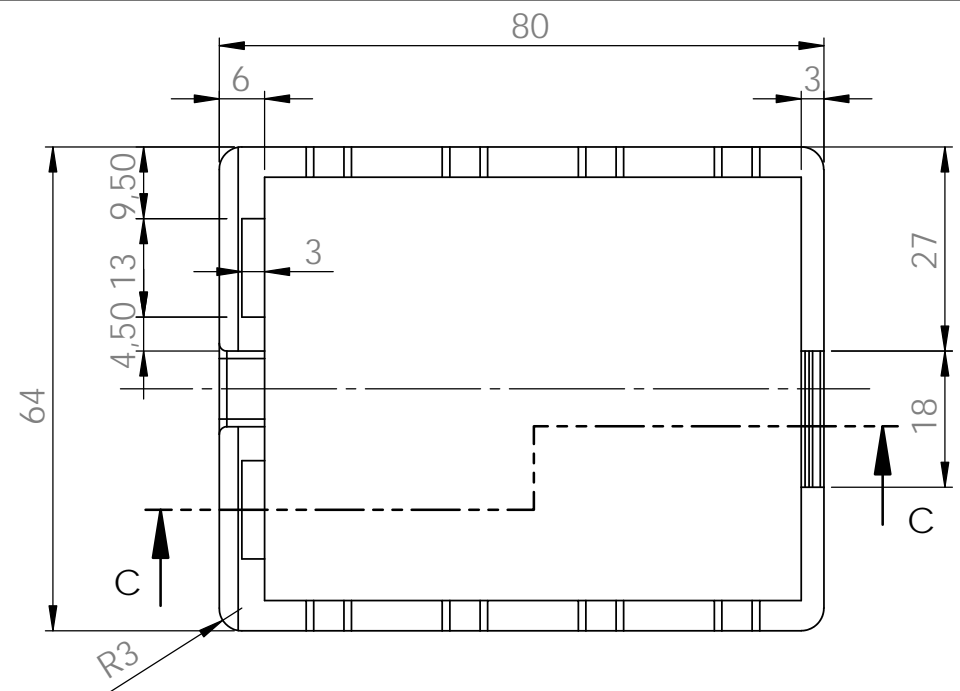
	<i>Materjal: NdFeB</i>	<i>Märkimata piirhälbed:</i>	<i>Mass:</i>	<i>Mõõt:</i> <i>1:1</i>
<i>Teostas</i>	<i>Ardo Kaurit</i>	<i>Nimetus: Magnetite paigutus nukkvõlli hammasrattal</i>		
<i>Kontrollis</i>				
<i>Kinnitas</i>				
<i>TTÜ Mehatroonika Instituut</i> <i>MAHB-61</i>		<i>Leht: 1/1</i>	<i>Tähis: 074.001.01</i>	



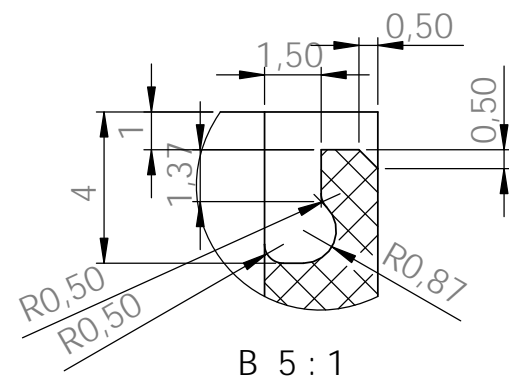
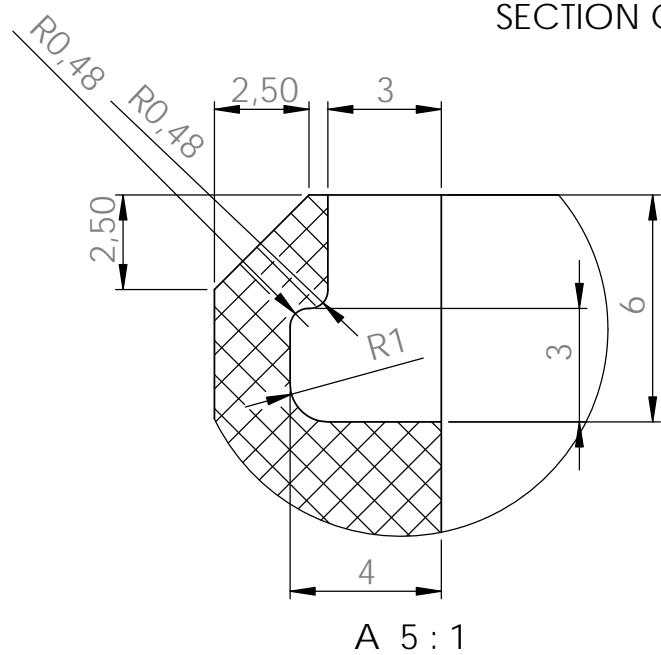
	<i>Materjal: S235JR</i>	<i>Märkimata piirhälbed:</i>	<i>Mass: 0,13 kg</i>	<i>Mõõt: 1:1</i>
<i>Teostas</i>	<i>Ardo Kaurit</i>	<i>Nimetus: Servomootori kinnitus</i>		
<i>Kontrollis</i>				
<i>Kinnitas</i>				
<i>TTÜ Mehatroonika Instituut MAHB-61</i>	<i>Leht: 1/1</i>	<i>Tähis: 074.001.02</i>		



	<i>Materjal: ABS</i>	<i>Märkimata piirhälbed:</i>	<i>Mass: 0.04 kg</i>	<i>Mööd: 1:1</i>
<i>Teostas</i>	<i>Ardo Kaurit</i>	<i>Nimetus: Korpus, alumine</i>		
<i>Kontrollis</i>				
<i>Kinnitas</i>				
<i>TTÜ Mehhatroonika Instituut MAHB-61</i>		<i>Leht: 1/1</i>	<i>Tähis: 074.002.01</i>	



SECTION C-C



	<i>Materjal: ABS</i>	<i>Märkimata piirhälbed:</i>	<i>Mass: 0.04 kg</i>	<i>Mõõt: 1:1</i>
<i>Teostas</i>	<i>Ardo Kaurit</i>	<i>Nimetus: Korpus, ülemine</i>		
<i>Kontrollis</i>				
<i>Kinnitas</i>				
<i>TTÜ Mehhatroonika Instituut MAHB-61</i>		<i>Leht: 1/1</i>	<i>Tähis: 074.002.02</i>	