



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
MEHAANIKATEADUSKOND

Mehhatroonikainstituut
Mehhatroonikasüsteemide õppetool

MHK70LT

Oliver Mets

Harri Parker

**TEISALDATAV REHVI TURVISE KÕRGUSE AUTOMAATNE
MÕÖTESÜSTEEM**

Autorid taotlevad
tehnikateaduse magistri
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 Prof. Mart Tamre juhendamisel

“.....” mai 2014a.

Töö autorid

..... allkiri

..... allkiri

Töö vastab magistritööle esitatavatele nõuetele.

“.....” mai 2014a.

Juhendaja

..... allkiri

Lubatud kaitsmisele.

Prof. Mart Tamre eriala/õppekava kaitsmiskomisjoni esimees

“.....” mai 2014 a.

..... allkiri

TTÜ mehhatroonikainstituut
Mehhatroonikasüsteemide õppetool

MAGISTRITÖÖ ÜLESANNE

2013/2014 õppeaasta kevadsemester

Üliõpilane: Oliver Mets 121992 (nimi, üliõpilaskood)
Õppekava: MAHM02/09
Eriala: Mehhatroonika
Juhendaja: Prof. Mart Tamre (amet, nimi)
Konsultandid: Maido Hiiemaa, teadur, 620 3207 (nimi, amet, telefon)

MAGISTRITÖÖ TEEMA:

(eesti keeles) Teisaldatav rehvi turvise kõrguse automaatne mõõtesüsteem
(inglise keeles) Portable automatic tire tread depth measurement system

Lõputöös lahendatavad ülesanded ja nende täitmise ajakava:

Nr	Ülesande kirjeldus	Täitmise tähtaeg
1	Põhimõttelahenduse analüüs ja probleemide kaardistamine	10.03.2014
2.	Optilise süsteemi projekteerimine	07.04.2014
3.	Mõõtemooduli konstruktsiooni projekteerimine	28.04.2014
4.	Väliskesta projekteerimine	07.05.2014

Lahendatavad insenertehnilised ja majanduslikud probleemid

Pakutav lahendus asendab rehvi turvise kõrguse käsitsi mõõtmise ning ei vaja mõõtekoha ettevalmistamist.

Täiendavad märkused ja nõuded:.....

Töö keel: Eesti keel

Kaitsmistaotlus esitada hiljemalt 12.05.2014

Töö esitamise tähtaeg 22.05.2014

Üliõpilane Oliver Mets /allkiri/ Kuupäev 27.03.14

Juhendaja Prof. Mart Tamre /allkiri/ Kuupäev 27.03.14

Konfidentsiaalsusnõuded ja muud ettevõttepoolsed tingimused formuleeritakse pöördel

TTÜ mehhatroonikainstituut

Mehhatroonikasüsteemide õppetool

MAGISTRITÖÖ ÜLESANNE

2013/2014 õppeaasta kevadsemester

Üliõpilane: Harri Parker 122057 (nimi, üliõpilaskood)
Õppekava: MAHM02/09
Eriala: Mehhatroonika
Juhendaja: Prof. Mart Tamre (amet, nimi)
Konsultandid: Maido Hiimaa, teadur, 620 3207 (nimi, amet, telefon)
Dmitry Shvarts, teadur, 620 3207

MAGISTRITÖÖ TEEMA:

(eesti keeles) Teisaldatav rehvi turvise kõrguse automaatne mõõtesüsteem
(inglise keeles) Portable automatic tire tread depth measurement system

Lõputöös lahendatavad ülesanded ja nende täitmise ajakava:

Nr	Ülesande kirjeldus	Täitmise tähtaeg
1	Sobiva riistvara ja arendustarkvara valik	01.03.2014
2.	Pilditöötluse teooria	07.04.2014
3.	Pilditöötluse realiseerimine	21.04.2014
4.	Andmete esitamise võimalused	07.05.2014

Lahendatavad insenertehnilised ja majanduslikud probleemid

Pakutav lahendus asendab rehvi turvise kõrguse käsitsi mõõtmise ning ei vaja mõõtekoha ettevalmistamist.

Täiendavad märkused ja nõuded:

Töö keel: Eesti keel

Kaitsmistaoetus esitada hiljemalt 12.05.2014

Töö esitamise tähtaeg 22.05.2014

Üliõpilane Harri Parker /allkiri/ kuupäev 27.03.14

Juhendaja Prof. Mart Tamre /allkiri/ kuupäev 27.03.14

Konfidentsiaalsusnõuded ja muud ettevõttepoolsed tingimused formuleeritakse pöördel

SISUKORD

Eessõna.....	10
Lühendite loetelu.....	11
1 Sissejuhatus	12
2 Rehvi turvise kõrguse määramise meetodid – Oliver Mets	15
2.1 Visuaalne indikaator	15
2.2 Analooqmõõteseade.....	16
2.3 Digitaalne mõõteseade.....	17
2.4 Automaatne rehvi turvise kõrguse mõõtesüsteem	17
2.5 Seadusandlus	19
3 Erinevad mõõtemetodid – Harri Parker.....	23
3.1 Ülevaade	23
3.2 Otsene mõõtmine.....	23
3.3 Kaudne mõõtmine.....	25
3.3.1 Ultraheli.....	25
3.3.2 Valgusimpulss	26
3.3.3 Interferents	27
3.3.4 Faasinihe.....	28
3.3.5 Triangulatsioon.....	29
4 Põhimõttelahenduse analüüs ja probleemide kaardistamine – Oliver Mets.....	30
5 Optilise süsteemi projekteerimine – Oliver Mets.....	33
5.1 Optilise süsteemi komponendid.....	33
5.2 Triangulatsioon.....	33
5.3 Peegelpindade valik.....	35
5.4 Kaitseklaasi valik.....	36

5.5	Laseri valik	37
5.5.1	Laser	37
5.5.2	Laseri lainepikkus	38
5.6	Joonekujulise laserkiire genereerimine	39
5.6.1	Silindrilise läätse lahendus	39
5.6.2	Vibreeriva peegli lahendus	40
5.6.3	Pöördpeeglite lahendus	41
5.7	Laseri ja kaamera optilise käigu projekteerimine ja katsetused	42
5.7.1	Kaitseklaasist tulenev murdumine	46
5.7.2	Kaamera nägemisväli	48
5.8	Alternatiivse optilise käigu lahendus	49
5.8.1	Ülevaade	49
5.8.2	Läätsed	50
5.8.3	Ribasensori lääts	52
6	Sobiva riistvara valik – Harri Parker	53
6.1	Arendusplatvormi valik	53
6.1.1	Arduino	53
6.1.2	Raspberry Pi	54
6.1.3	Personaalarvuti	55
6.2	Toide	57
6.3	Kaamera valik	58
6.3.1	USB kaamera kasutamise võimalus	58
6.3.2	Raspberry Pi kaamera	59
7	Arendustarkvara valik – Harri Parker	61
7.1	Esialgne süsteem	61
7.2	OpenCV python'is	62
7.3	OpenCV programmeerimine C++ keeles	63

8	Esialgne lahenduskeem – Harri Parker	64
8.1	Üldine süsteem	64
8.2	Rehvi kontroll	65
8.3	Pildi hõive.....	66
8.4	Pilditöötlus.....	67
9	Pilditöötluse põhivõtted – Harri Parker.....	69
9.1	Pildi hõive võimalused	69
9.1.1	Pildi jäädvustamine ühekordselt või korraga mitmeid.....	69
9.1.2	Video salvestamine ja kaaderhaaval töötlus.....	69
9.1.3	Kodeerimise tüüp	69
9.1.4	ROI paika sättimine - resolutsioon.....	70
9.1.5	RGB kanalite kasutamine	70
9.2	Lihttöötlus.....	71
9.2.1	Pildilahutus.....	71
9.2.2	Töötlemata pildi hallskaalasse viimine	72
9.2.3	Hallskaalas oleva pildi binaarsele kujule viimine	72
9.3	Erinevate filtrite kirjeldus ja valik	73
9.3.1	Müraeemaldusfiltrid	73
9.3.2	Teravustamine	74
9.3.3	Joonetuvastus filter.....	75
9.3.4	Hõrendamine	75
9.4	Tulemuse esitamine	76
9.4.1	Rehvi turvise tuvastamine töödeldud pildilt.....	76
9.4.2	Rehvi turvise kõrguse arvuline väärtus	76
9.4.3	Muude rehvi parameetrite hindamine	77
9.4.4	Numbrimärgi info lisamine	77
10	Ülevaade andemedastuse võimalustest – Harri Parker	79

10.1	Andmebaasi lahendus	79
10.2	Info saatmine üle võrgu	79
10.3	Andmete turvalisus	80
11	Klientrakendus – Harri Parker.....	81
11.1	Erinevad klientrakenduste tüübid	81
11.1.1	Arvutiprogramm.....	81
11.1.2	Mobiilirakendus	81
11.1.3	Veebipõhine kasutajaliides.....	82
11.2	Klientrakenduse ülesehitus	82
11.2.1	Baasfunktsioonid.....	82
11.2.2	Lisafunktsioonid.....	82
12	Mõõtemooduli konstruktsiooni projekteerimine – Oliver Mets.....	83
12.1	Optilise süsteemi paigutus	83
12.2	Elektronika	83
12.2.1	Laseri lülitus.....	84
12.2.2	Rehvi tuvastamine	85
12.3	Mooduli korpuse projekteerimine.....	90
12.4	Materjali valik.....	91
12.4.1	Mõõtemooduli korpuse variant 1	92
12.4.2	Mõõtemooduli korpuse variant 2	94
12.4.3	Mõõtemooduli korpuse variant 3	94
12.4.4	Mõõtemooduli korpuse variant 4	96
12.5	Mõõtemooduli korpuse valmistamine, koostamine ja katsetamine	96
12.5.1	Mõõtemooduli korpuse variant 5	99
12.6	Täiendavad nõuded mooduli korpusele	100
13	Väliskesta projekteerimine – Oliver Mets.....	102
13.1	Nõuded väliskestale	102

13.2	Väliskesta võimalikud variandid.....	104
13.2.1	Variant 1	104
13.2.2	Variant 2	104
14	Pilditöötuse esialgne reaaliseerimine – Harri Parker	106
14.1	Pildihõive	106
14.2	Pilditöötlus	107
14.3	Tulemus.....	111
14.4	Hajuvuse hindamine.....	112
15	Seadme huvirühmad – Oliver Mets.....	114
	Kokkuvõte	116
	Summary	118
	Kasutatud kirjandus.....	120
	Lisad	129

EESSÕNA

Käesoleva töö teema on välja antud Mehhatroonikainstituudi initsiatiivil. Katse andmete kogumine ja töötlemine toimus Tallinna Tehnikaülikoolis Mehhatroonikainstituudi ruumides. Probleemi püstitusega aitas tegeleda Kaur Kuurme MTÜ Rehviliit tegevjuht ja Keslinna Politsei osakond, kes võimaldas osa võtta rehvi turvise kõrguse mõõtmise operatsioonist, et saada paremat ülevaadet käesoleva probleemi olemusest.

Tahame tänada kõiki, kes andsid panuse töö valmimisse. Eelkõige tahame tänada professor Mart Tamret, teadureid Mairo Hiiemaad ja Dmitry Shvartsi.

LÜHENDITE LOETELU

TPMS – tire-pressure monitoring system (rehvirõhu jälgimissüsteem)

CCD – charge-coupled device (laengsidestusmaatriks)

PLA – polylactide (Polülaktiline hape)

PMMA – polymethyl methacrylate (polümetüül-metakrülaad)

USB – universal serial bus (universaalne järjestiksiin)

px – pixel (piksel)

FPS – frames per second (kaadrit sekundis)

LAN – local area Network (kohtvõrk)

ROI – region of interest (huvipiirkond)

SQL – structured query language (struktuurpäringukeel)

LED – light-emitting diode (valgusdiiod)

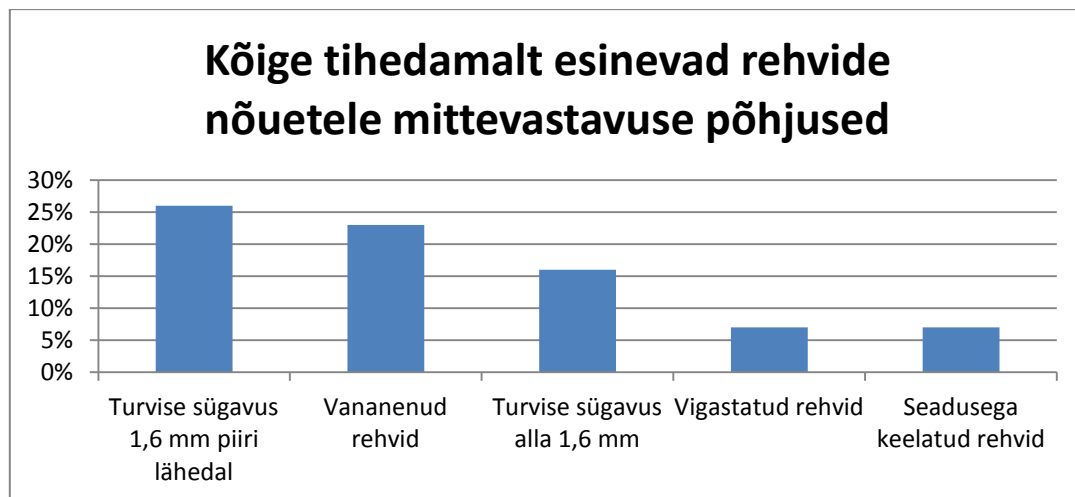
FEM – finite element method (lõplike elementide meetod)

EPDM – ethylene propylene diene monomer rubber (etüleen-propuleen-dieenkumm)

1 SISSEJUHATUS

Euroopa Liidus hukkus statistika kohaselt aastal 2012 liikluses 28 100 inimest [1], vigastada sai samal perioodil 1 432 235 [2] inimest ning kokku leidis aset 1 077 700 sõidukitega seotud õnnetust. Saksamaal läbi viidud uurimus, mis hõlmas endas kümne aasta pikkuse perioodi analüüsi, tõi välja statistika, mis annab hinnangu sõidukite rehvide seotusele liiklusõnnetuste põhjustajatena.

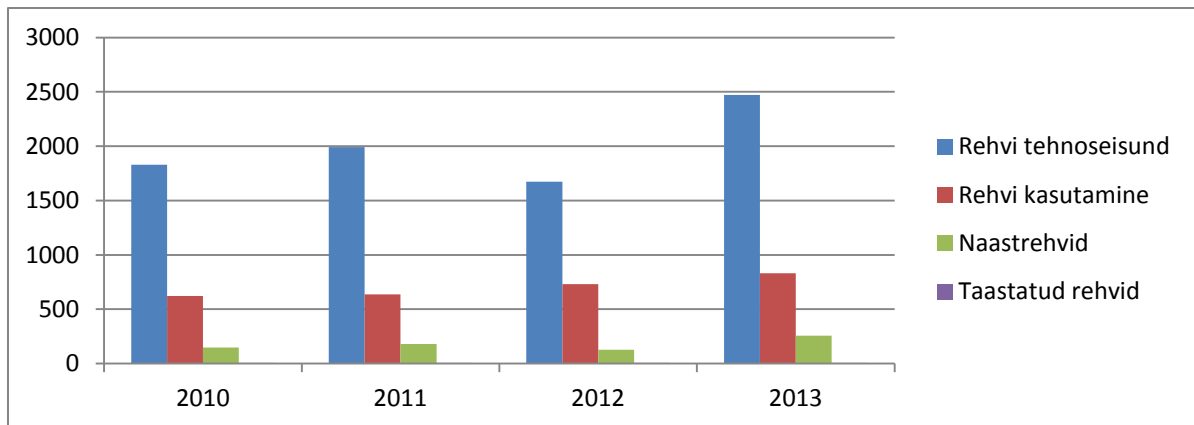
Välja toodud analüüsides on täheldatud, et samal ajal kui sõidukite erinevate tehniliste probleemide esinemise arv õnnetuste põhjustajana, on aasta-aastalt näidanud vähenemise märke, siis rehvide osakaal nendest on stabiilselt 45% lähedal [3] (Sele 1.1). Ülevaatuspunktides teostatud rehvide kontrollimise juures tuvastati 11% sõidukitel nõuetele mittevastavus.



Sele 1.1 Rehvide nõuetele mittevastavuse põhjused

Täiendavalt leiti, et 25% kontrollitud rehvidel ei olnud tagatud sõiduki valmistajapoolne ettekirjutatud rehvirõhk [3].

Maanteeameti poolt välja toodud Eesti ülevaatuspunktide statistika kohaselt, tuvastati ülevaatuspunktides probleeme rehvidega aastate lõikes järgnevalt [4] (Sele 1.2).



Sele 1.2 Eestis sõiduki tehnikontrolli käigus tuvastatud rehvidega seotud rikkumised

Rehvidega seotud probleemid moodustasid vastavate aastate lõikes 6-8% kõikidest teistest nõuetele mittevastavustest.

Viimastel aastatel on Euroopa Liit hakanud üha teravamalt tähelepanu pöörama sõiduki rehvidega seotud probleemidele, vähendamaks nendest tulenevate liiklusõnnetuste tekkimise määra ning ka keskkonna reostust läbi kütusesäästu.

2012 aasta novembris rakendus regulatsioon (EC) No 1222/2009 [5], mille kohaselt on kõikidel rehvimüüjatel kohustus tagada, et igal müüdaval rehvil on peal EU rehvimärgis. Märgis iseloomustab rehvi omadusi, hinnates igat kategooriat skaalal A (parim) kuni F (halb) [6]:

- kütuse sääst;
- pidurdamine märjal teel;
- veeremüra.

Lähtuvalt nendest hinnangutest on sõidukijuhil võimalik teha objektiivsem otsus rehvi valiku juures ja seeläbi suurendada turvalisust, sõidumugavust ning vähendada kütusekulu.

Tulevase arengusuunana näeb Euroopa Liit ette rehvirõhu monitooringu süsteemide paigaldamise (TPMS) kohustuse loomise uute autode puhul [7], mis aitab tagada rehvide optimaalsemat kasutust vähendades nende kulumist ning kütusekulu.

Vastavalt läbi viidud uuringule mõjutab rehvi rõhk selle vastupidavust järgnevalt [3]:

- alarõhk suuruses 0,2 bar põhjustab rehvi vastupidavuse vähenemist 10%
- alarõhk suuruses 0,4 bar põhjustab rehvi vastupidavuse vähenemist 25%

- alarõhk suuruses 0,6 bar põhjustab rehvi vastupidavuse vähenemist 45%.

Seeläbi soovitakse pikendada rehvide kasutusiga, mille tulemusena väheneb ka mittevastavate rehvidega liiklemine.

Täiendavalt näeb Euroopa Liit ette riikliku järelevalve kohustamist/tõhustamist [8], et tagada suurem kontroll rehvide tehnoseisundi hindamiseks. Samuti soovitakse täpsemalt määratleda veoautodel ja kaubikutel kasutatavate rehvide nõudeid.

Eelnevast tulenevalt on põhjendatud ka Eesti huvirühmade (transpordifirmad, vedajad, Liikluspolitsei, Rehviliit, sõidukite tehnoulevaatuspunktid, rehvitöökojad, rehvi vahetuspunktid, autode remonditöökojad jne) soov leida rehvide seisukorra järelevalve läbiviimiseks mugavamad ja kiiremad lahendused. Käesoleval hetkel teostatakse rehvide tehnoseisu hindamist – eeskätt rehvi turvise kõrguse määramist, rehvimustri sügavuse mõõdikute või digitaalse rehvimustri sügavuse mõõtmisseadme abil. Mõõteprotsess on osaliste sõnul ebamugav ja aeganõudev, mis tuleneb mõõtmisprotsessi tülikusest ja tulemuste fikseerimise vajadusest.

Käesolev magistritöö analüüsib rehvi mustri sügavuse mõõtesüsteemide lahendusprintsiipe ning pakub omalt poolt välja ideelahenduse, mis automatiseeriks, kiirendaks ja lihtsustaks järelevalve töömahtu.

Töö esimeses osas antakse ülevaade esimeses etapis teostatud uurimustööst antud valdkonnas, seejärel esitatakse ülevaade turul olevatest mõõteseadmetest – antakse ülevaade nende täpsusest, hinnast ja kasutusmugavusest.

Järgnevas osas analüüsitakse erinevate otseste ja kaudsete mõõtmisprintsiiptide rakendatavust antud ülesande lahendamise juures ning esitatakse põhimõte, mille baasil pakutakse välja omapoolne lahendus.

Lõpuks kirjeldatakse arendusprotsessi optika, elektroonika, tarkvara ja konstruktsiooni valdkondades ning seejärel esitatakse arendustöö tulemused ja välja pakutava lahenduse ülevaade.

2 REHVI TURVISE KÕRGUSE MÄÄRAMISE MEETODID

OLIVER METS

2.1 Visuaalne indikaator

Enamikel uutel rehvidel on nõutud juba valmistajapoolne markeering rehvimajaka näol, mille järgi saab hinnata, kas rehvil on minimaalne nõutud turvise kõrgus säilinud või mitte. Rehvimajakas on asetatud turvise blokkide vahele või vihmasoone põhja ning tähistab 1,6 mm piiri (Sele 2.1), mis lähtuvalt Euroopa Liidu ettekirjutustest on minimaalne rehvi turvise kõrgus, millega võib veel määrusest tulenevalt sõita. Rehvi sobivuse hindamine käib lihtsa põhimõtte alusel – kui rehvimajaka kõrgus on sama, mis rehvi turvise kõrgus, siis tuleb rehvi välja vahetada.



Sele 2.1 Rehvimajakate asetus [9]

Täiendavalt on rehvitootjal, Nokian Tyres, iga millimeetri tagant numbriline indikaator (Sele 2.2), kus suurim nähtav number vastab rehvi turvise minimaalsele kõrgusele. Mida suurem on number, seda madalamalt on selle väärtus turvise sisse lõigatud.



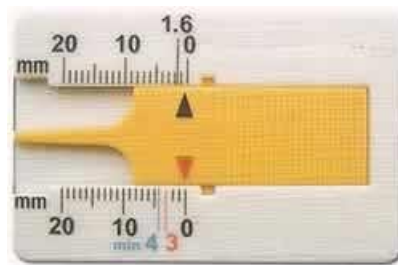
Sele 2.2 Numbriline indikaator [10]

Mõlemad eeltoodud indikaatorid on informatiivsed rehvi (sõiduki) omanikule ning neid väärtusi ei arvesta liiklusjärelvalve piisavaks määratluseks, fikseerimaks reaalset rehvi turvise kõrgust.

2.2 Analooqmõõteseade

Analooqmõõteseadmed sarnanevad peamiselt, kas nihkkaliiberile (Sele 2.3) või indikaatorkellale (Sele 2.4), mis on kohandatud paremini sobima rehvi turvise sügavuse mõõtmiseks. Neil on suurem baastasapind tagamaks täpsemat ristseisu rehvi pinnaga ning kitsam mõõtepea.

Nihkkaliiberi tüüpi analooqmõõteseadmete minimaalne jaotiseväärtus on 1 mm, indikaatorkelladel enamasti 0,1 mm.



Sele 2.3 Rehvi turvise kõrguse mõõteseade [11]

Selletüübilisi mõõteseadmeid on erinevaid ning varieeruvate täpsusklassidega. Liiklusjärelvalve kasutab oma tööks suurema täpsusega ning kalibreeritud seadmeid.



Sele 2.4 Turvise sügavuse mõõteseadmed - indikaatorkell ja nihkkaliiberi tüüpi [12]

Analoogmõõteseadmete hind ulatub kuni 15€ [13] ning võivad alata mõnekümnest eurosendist.

2.3 Digitaalne mõõteseade

Digitaalsed mõõteseadmed sarnanevad nihkkaliibri konstruktsioonile, ainsa erinevusega, et lugemi näit on digitaalne (Sele 2.5).



Sele 2.5 Digitaalne turvise kõrguse mõõteseade [14]

Sarnaselt indikaatorkellale on digitaalse mõõteseadme minimaalne jaotiseväärtus 0,1 mm.

Digitaalsete mõõteseadmete hinnad algavad alates 13€ [15] ning võivad ulatuda kuni 50€ [14].

2.4 Automaatne rehvi turvise kõrguse mõõtesüsteem

Automaatse rehvi turvise mõõtmise süsteemiga H3-D jure [16] tuldi turule aastal 2006 Saksa ettevõtte ProContour poolt. Süsteem on võimeline mõõtma rehvi sektori sügavust, määrama rehvi kulumist, rehvi tüüpi, rõhku ja ka telje koormust sõiduki liikumise pealt.

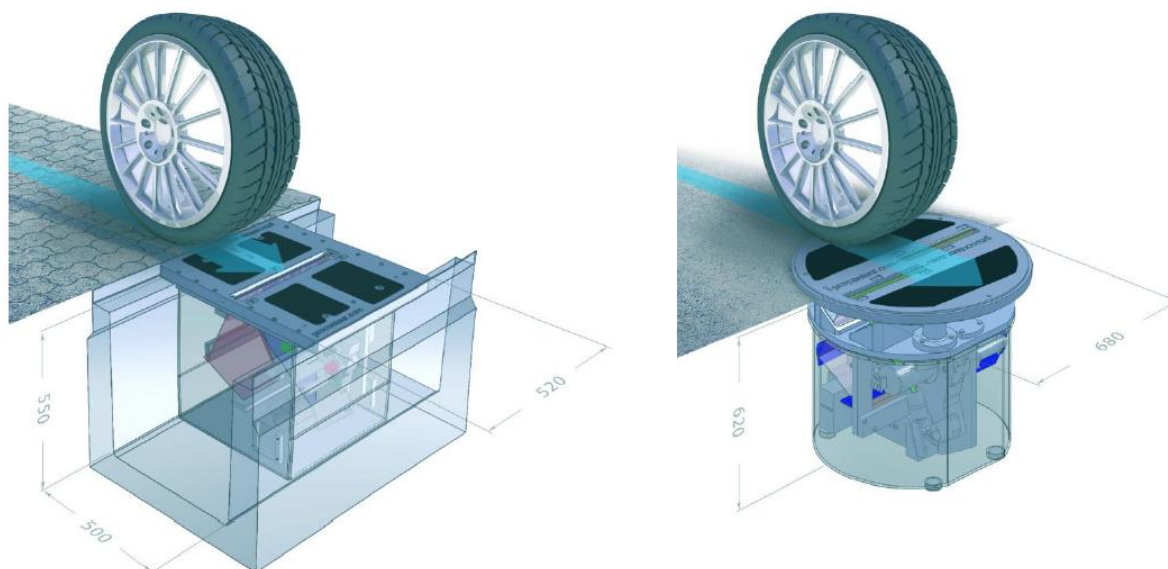
Selleks suudab süsteem võtta rehvist hinnanguliselt 400 pilti sekundis. Iga pilt koosneb 61000 pikselist ning sellega kaetakse 400 x 25 mm ala. Arvutitarkvara abil genereeritakse hõivatud infost rehvi kolmemõõtmeline kujutis ning seejärel analüüsitakse tulemust ning kuvatakse see kasutajaliidese abil operaatorile või järelvalvajale.

ProContouril on tootevalikus kaks erinevat toodet, millest üks on mõeldud maanteedele ning teine on mõeldud parklatesse, piiripunktidesse jne, kus sõidukite kiirused on väiksemad. Tootevaliku parameetrid on näha järgnevas tabelis (Tabel 2.1):

Tabel 2.1 H3-D jure versioonid

H3-D jure	Kasutusala	Maksimaalne kiirus	Funktsioonid
Versioon B	Maanteed	Kuni 120 km/h	Turvise kõrgus Kulumise ühtsus Tüüp
Versioon C	Parklad	Kuni 15 km/h	Turvise kõrgus Kulumise ühtsus Tüüp Rõhk Telje koormus

Süsteemis kasutatakse analoogselt käesolevale lahendusele kaamera ja laseri süsteemi, kuid peamiseks erinevuseks on süsteemi mõõtmed ning teisaldatavus. H3-D jure mõõtesüsteeme saab paigaldada vaid kanalisatsioonikaevu avadesse või spetsiaalselt ette valmistatud teelõikudele, kus on terve tee laiuses 500 mm pikk ja 550 mm sügav kanal (Sele 2.6).



Sele 2.6 U-kujulise süvendi versioon (vasakul) ja kaevuluugi versioon (paremal) [16]

Süsteem ei ole oma olemuselt teisaldatav ning vajab paigaldamiseks kulukaid ettevalmistusi.

Tuvastatud rehvi parameetrid salvestatakse juurdekuulvasse arvutisüsteemi ning vajadusel edastatakse kesksesse serverisse või otse politseile, kes peatab nõuetele mittevastavate rehvidega liikuva sõiduki.

2.5 Seadusandlus

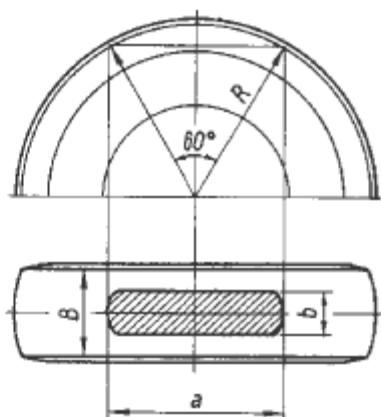
Teede- ja Sideministri poolt 18.05.2001 vastu võetud määrus „Mootorsõiduki ja selle haagise tehnoseisundile ja varustusele esitatavad nõuded“ [17] määratleb ka mootorsõidukite rehvidele esitatavad nõuded.

Määruse osas „Rakenduvad nõuded pärast 1. jaanuari 1997. a liiklusregistrisse kantud või kantavale sõidukile“, grupis 5 esitatud kood 503 määratleb rehvi kulumise ja mustri sügavuse ning kontrollimise põhimõtte.

Nõuded: 1) mustri jääksügavus peab olema vähemalt:

- *L kategooria sõidukil $\geq 1,0$ mm;*
- *M1, M2, M3, N1, N 2 ja N3 kategooria sõidukil 1,6 mm;*
- *haagisel vastavalt seda vedava veduki mustrisügavusele esitatavatele nõuetele;*

2) rehvi edasine kasutamine on keelatud, kui turvise mustri jääksügavus on punktis 1 esitatust väiksem. Sele 2.7 toodud viirutatud pinna ulatuses, mille laius b on üle $1/2$ turvise veerepinna laiusest B ja pikkus a üle $1/6$ turvise veerepinna ümbermõõdust $2R$ või kui mitme kulumislaigu korral nende pikkuste summa on nimetatud väärtusest suurem. Seel näidatud viirutatud ala ei pea asuma veerepinna keskel;



Sele 2.7 Rehvide piirkulumise määramine [17]

Piirkulumise hindamise skeemil (Sele 2.7) välja toodud parameetrid a ja b on piiritletud järgnevate tingimustega.

$$b \leq \frac{1}{2} \cdot B, \quad (2.1)$$

ja

$$a \leq \frac{1}{6} \cdot 2\pi R, \quad (2.2)$$

3) rehvil, millel puudub märge «REGROOVABLE», ei tohi mustrit sügavamaks lõigata.

Kontrollimine: nihiku, joonlaua või mõõdulindiga.

Koodi 501 nõue 3 sätestab talverehvide kasutamise perioodi ja nõutava mustri jääksügavuse.

3) sõiduautol (M_1 kategooria), veoautol, mille registrimass ei ületa 3,5 tonni (N_1 kategooria), ja haagisel, mille registrimass on üle 0,75 tonni, kuid ei ületa 3,5 tonni (O_2 kategooria), peab alates 1. detsembrist kuni 1. märtsini kasutama talverehve ($M+S$, MS , $M.S$ või $M\&S$ tähistusega), mille mustri jääksügavus on vähemalt 3,0 millimeetrit.

Teede- ja sideministri 18. mai 2001. a määruse nr 50 «Mootorsõiduki ja selle haagise tehnoseisundile ja varustusele esitatavad nõuded» muutmise, mis võeti vastu 10.12.2001 täiendab/muudab veoautodele rakendatud rehvi turvise kõrguse nõudeid.

Paragrahvi 3 lisa 1 kood 1507 muudetakse ja sõnastatakse järgmiselt [18].

«Kood 1507. Ohutu veoauto («Greener and Safe Lorry»)

3) rehvi mustri sügavus peab olema vähemalt 2,0 mm;

Kontrollimine: vastavalt direktiivile 96/96/EÜ (paranduste direktiivid 1999/52/EÜ, 2001/9/EÜ ja 2001/11/EÜ) valmistaja või tema volitatud esindaja poolt välja antud tunnistuste olemasolul.»;

«Kood 1508. EURO3 ohutu veoauto («EURO3 safe lorry»)

3) rehvi mustri sügavus peab olema vähemalt 2,0 mm;

Kontrollimine: vastavalt direktiivile 96/96/EÜ (paranduste direktiivid 1999/52/EÜ, 2001/9/EÜ ja 2001/11/EÜ) valmistaja või tema volitatud esindaja poolt välja antud tunnistuste olemasolul.»;

«Kood 1509. Ohutu veoauto või EURO3 ohutu veoauto haagis

Nõuded: 1) rehvi mustri sügavus peab olema vähemalt 2,0 mm.

Kontrollimine: vastavalt direktiivile 96/96/EÜ (paranduste direktiivid 1999/52/EÜ, 2001/9/EÜ ja 2001/11/EÜ) valmistaja või tema volitatud esindaja poolt välja antud tunnistuse olemasolul.»

Eelnevalt esitatud määrustest saab välja tuua, et sõidukitele rakendatakse järgnevaid nõudeid:

- sõidua autod, bussid ja väikekaubikud¹;
 - suvel: nõutav minimaalne turvise kõrgus on 1,6 mm;
 - talvel: nõutav minimaalne turvise kõrgus on 3 mm ning tuleb kasutada lamell- või naastrehve;
- veoautod, kaubikud ning järelkäru d;
 - aastaringselt: nõutav minimaalne turvise kõrgus on 2 mm.

Täiendavalt on Maanteeameti interneti koduleheküljel välja toodud soovitus [19], olenemata seadusandlusest tulenevast loast sõita rehvidega kuni nende mustri miinimumsügavus 1,6 mm on tagatud, kasutada ka suveperioodil rehve, mille mustri jääksügavus oleks minimaalselt 3 mm. Seda põhjendatakse märgatava ohu kasvamisega vihmaste teeoludega liigeldes, kui rehvi mustri jääksügavus jääb alla eelmainitud piiri.

¹ Sõidukite kategooriad – Maanteeamet - <http://www.mnt.ee/index.php?id=24481> (15.05.2014)

Samuti defineerib määrus rehvi turvise mõõtmiseks kasutatavad vahendid järelvalveorganisatsioonide poolt, mis hõlmavad endas nihikut, joonlauda ja mõõdulinti. Mainitud mõõtevahendeid on tutvustatud peatükis 2.2. Jõus olevast määrusest tulenevalt ei saaks kasutada arendatavat mõõtesüsteemi kontrollmehhanismina, mille tulemit saaks arvestada menetluse käigus. Süsteemi on aga võimalik kasutada statistilistel eesmärkidel, kuid ka esmase valimi tegemisel, milliste autode rehve tuleb täiendavalt kontrollida.

Reaalses rakenduses saaks asetada mõõtesüsteemi liiklusvoolu ning järelvalve saaks kõrvale suunata täiendavasse kontrolli, määruses sätestatud vahenditega, kõik sõidukid, mille puhul tuvastatakse mõõtesüsteemi poolt väiksem lubatud mustri jääksügavus.

3 ERINEVAD MÕÕTEMEETODID

HARRI PARKER

3.1 Ülevaade

Kursusetöös [20] kaaluti erinevate võimalike mõõtemetodite vahel, mida on võimalik kasutada rehvi turvise kõrguse mõõtmiseks. Välja oli toodud kaks mõõtmise põhimõttelist suunda:

- otsene mõõtmine:
 - nõelindikaatorid;
 - rullikud;
- kaudne mõõtmine:
 - ultraheli;
 - valgusimpulss;
 - interferents;
 - faasinihe;
 - triangulatsioon.

3.2 Otsene mõõtmine

Mehaanilised lülitid paigutatakse kindlale alusele, selle pealismaterjali sisse. Nende lülituspunktid oleksid täpselt paika pandud viisil, et rehvi üle sõites, aktiveeruvad need ainult sellisel juhul, kui muster on madalam, kui piirmäär; vastavalt siis suvel 1,6 mm ja talvel 3 mm. Kui neid lüliteid on palju siis oleks võimalik hinnata rehvi ristlõike piires turvise kõrguse vastavust lülite arvule vastavates punktides. Seejärel, kasutades statistilist analüüsi, oleks võimalik määrata, kas oli piisavalt suures osas rehvi turvise kõrgus tagatud. Saadaval on erineva ülesehitusega lüliteid, mis sobituksid nõutud rakenduses kasutamiseks.

- Nõelindikaatorid (Sele 3.1);
- rullikuga lüliti (Sele 3.2).

Nõelindikaatorid oleksid keskkonna suhtes vastupidavamad, kuna neile oleks võimalik lisada tihendid, mis takistaksid veel ja mustusel ligipääsu õrnadele komponentidele. Mehaaniliste löökide ja mitte-teljesisihilise koormuse rakendumisel võivad need painduda ja puruneda.



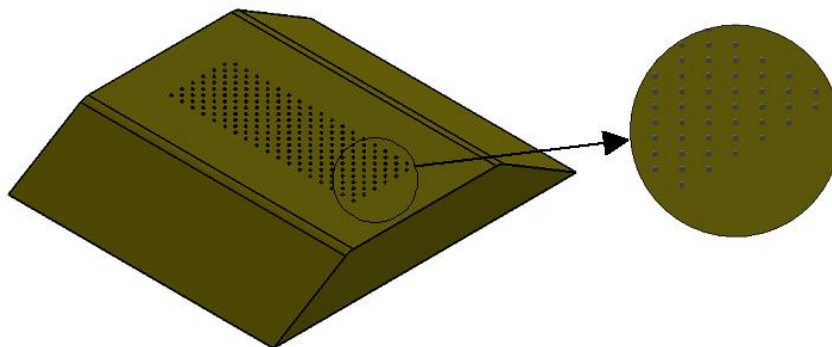
Sele 3.1 Nõelindikaator [21]

Rullikud oleksid vastupidavamad pidevale tööle, kuna neil esineks ainult vähest hõõrdejõu rakendumist rehvalt, sest rullikud hakkaksid rehviga kaasa pöörlema.



Sele 3.2 Rullikuga lüliti [22]

Lülitid peaksid paiknema kindlal alal, et katta võimalikult palju rehvi pinnast. Mida suurem ala on kaetud, seda rohkem on andmepunkte ja see suurendab tulemuse usaldatavust. Järgneval illustratsioonil on toodud võimalik nõelindikaatorite paigutus (Sele 3.3).



Sele 3.3 Nõelindikaatorite paigutus

Selliste lülitite juures on oluliseks nende mõõteotsade läbimõõt, sest see mõjutab mõõtmisi järgnevalt:

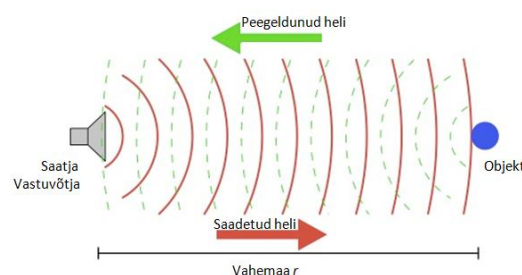
- mõõteotsik peab mahtuma turvise blokkide vahele, sest vastasel juhul reageerivad kõik lülitid rehvi veerepinnale;
- võib tekkida ka olukord, kus rehvi satub mõõteseadmele viisil, kus ükski rullik ei asetse täpselt turvise blokkide vahele, oma suurema läbimõõdu tõttu (võrreldes nõelindikaatoriga). Selle tulemusena võivad jääda kõik rullikud toetuma rehvi veerepinnale või turvise bloki servadele.

Erinevate mehaaniliste lülituste kasutamine vähendab toote vastupidavust ja eluiga. Kõik sellised lülitid kulumine ja on purunemise oht ja ajapikku võivad hakata andma valesid tulemusi. Kulumise, korrodeerumise ja purunemise oht on seda suurem kui arvestada keskkonda, mis ei ole kõige puhtam ja seda, et mõõdetavad objektid on pidevas liikumises.

3.3 Kaudne mõõtmine

3.3.1 Ultraheli

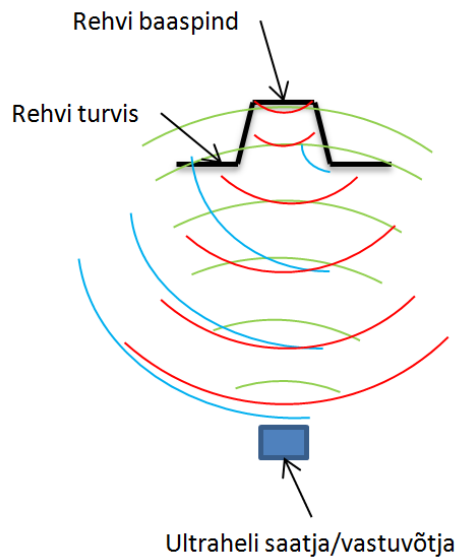
Kauguse mõõtmiseks on võimalik kasutada ultraheli (Sele 3.4). See meetod seisneb kõrgsagedusliku helisignaali välja saatmisel ja seejärel tagasi peegeldunud signaali ootamisel. Mõõdetakse aega, kui kaua kulub helisignaali liikumiseks. Teades aega ja helikiirust keskkonnas on võimalik välja arvutada läbitud vahemaa. Arvestada tuleb, et see aeg kulub edasi-tagasi liikumiseks. Selle meetodi puhul ei ole füüsilist kontakti mõõdetava objektiga, mis suurendab mõõtesademe töökindlust.



Sele 3.4 Ultraheli mõõtmise põhimõtte[23]

Antud rakenduse juures tekiks probleem turvise kõrguse tuvastamisega, kuna rehvi turvise baaspind on enamasti kitsas. Skeemil (Sele 3.5), andurist väljastatud signaali liikumisel (rohelistes jooned), turvise blokkide vahele, tekivad ka täiendavad peegeldused turvise

blokkide külgedelt (sinised jooned), mis võivad sensorile tagasi jõudes häirida soovitud signaali vastu võtmist. (Sele 3.5).



Sele 3.5 Lisapeegelduste teke ebaühtlasel pinnal

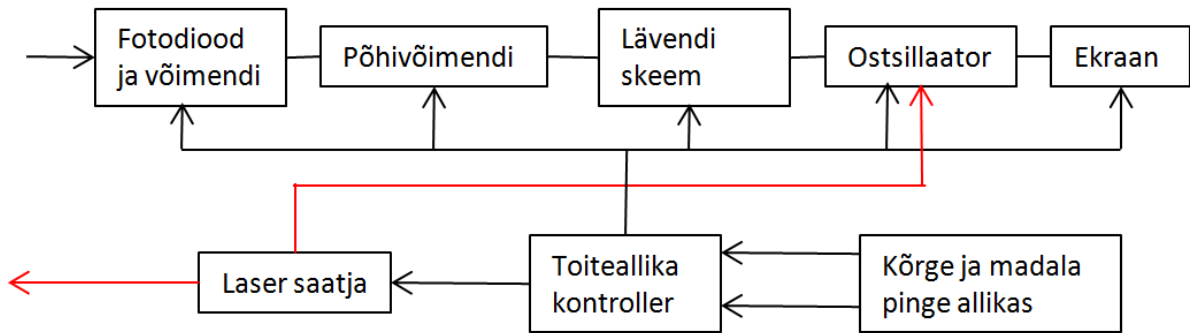
Sellest tulenevalt ei saa ultraheli andureid antud seadmes rehvi turvise kõrguse mõõtmiseks kasutada. Samas seda tüüpi sensorit oleks võimalik kasutada tuvastamiseks rehvi üleüldist olemasolu seadme juures. Kasutades seda kaugusemõõdjana ning tuvastades, mis hetkel sõiduk/rehv ilmub anduri lähedusse, sellisel juhul ei ole suurt eristusvõimet vaja.

3.3.2 Valgusimpulss

Analoogselt ultraheli anduri mõõtepõhimõttele on võimalik distantse määramiseks kasutada valguse kiirust, kus mõõdetakse valguse liikumise aega. Teades valguse levimise kiirust ning aega, mis kulus sellel objektini ja andurini tagasi liikumiseks, saab sellest välja arvutada teepikkuse.

Seade kasutab signaallikana enamasti laserit, mis saadab välja valgusimpulsi ning vastuvõtjana valgustundlikku fotodetektorit (fokuseeriva läätsuga), mis tuvastab peegeldunud valgusimpulsi. Kui signaal on tagasi peegeldunud, fikseeritakse aeg, mis kulus valgusimpulsi liikumiseks ning arvutatakse välja vahemaa.

Sellisel mõõteseadmel on väga tähtis komponent fotodetektor, mille juures on olulised parameetrid tema tundlikus ja küllastumise aeg. Arvestades soovitud täpsust tuleb valida sobiv detektor; mida täpsemat tulemust on vaja, seda täpsemalt ja kiiremini peab komponent signaalile reageerima. Järgneval skeemil (Sele 3.6) on välja toodud vastava mõõteseadme põhimõtteskeem.



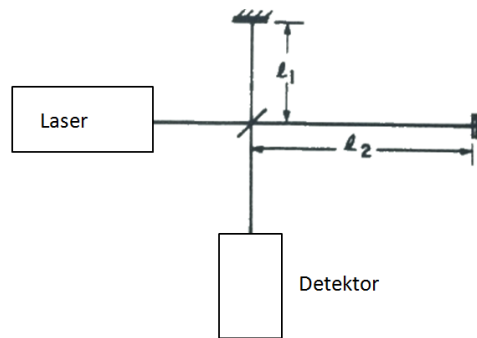
Sele 3.6 Skeem pikkuse mõõtmiseks valguskiirusega [24]

Selliseid mõõtevahendeid, mis kasutavad valgussignaali levimise aja mõõtmist, on kasutusel enamasti pikemate vahemaade mõõtmiseks, alates paarisajast meetrist ja ulatudes kilomeetritesse. Sellest tulenevalt puudub vajadus väga suure täpsuse järgi [24].

Kirjeldatud variant ei olnud projekteeritava rakenduse jaoks sobiv, kuna lühikeste vahemaade mõõtmine soovitud täpsusega (0,3 mm eraldusvõime mõõtevahemiku 0-9 mm mõõtmisel) ei ole selle meetodi eesmärk.

3.3.3 Interferents

Interferents on füüsikaline nähtus, kus kahe laine liitumisel tekib resultantlaine, mille intensiivsus võib olla suurem või väiksem olenevalt liitunud lainete faaside erinevusest. Selle põhimõtteskeem on toodud välja järgneval joonisel (Sele 3.7).



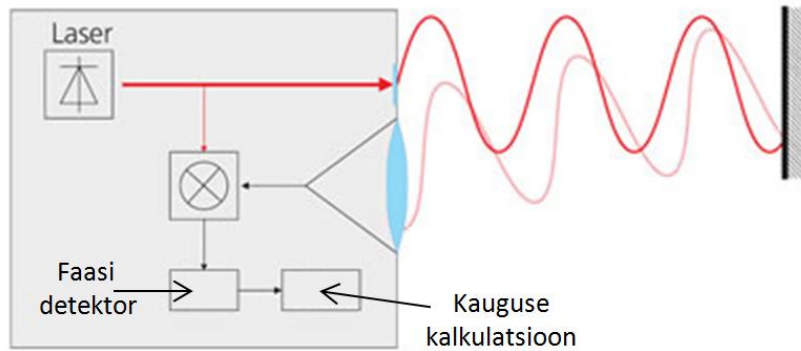
Sele 3.7 Interferentsi mõõtmise põhimõtte skeem [25]

Mõõtmisel kasutatakse kahte erinevat lainepikkust ja nende interferentspilte. Põhimõtte seisneb selles, et laserist saadetakse kiir, mis jagatakse kaheks; üks neist läheb referentspinnale ja teine mõõdetavale objektile. Tagasi peegeldunud kiired liituvad detektoris ja tekitavad interferentspildi. Kui on teada interferentspiltidel olevate joonte arv ja nende lainepikkused, siis kasutades neid, on võimalik luua võrrandite süsteem, mille lahendamise tulemuseks on mõõdetava objekti kaugus [25].

Antud mõõtemetodi täpsus sõltub sellest, kui täpselt on võimalik määrata laseri lainepikkus ning kui täpselt on võimalik mõõta faasinurka, mis kahe kiire vahel on. Sellist mõõtmist on võimalik täpsemaks viia, võttes kasutusele korruga erinevaid lainepikkusi, sest sellisel juhul on rohkem võrrandeid ja määramatus väheneb, kuna erinevate lainepikkuste arv on suurem.

3.3.4 Faasinihe

Lisaks on võimalik kaugusi mõõta faasinihke abil, see sarnaneb valgusimpulsi kasutamisele. Lähenedes juures tekitatakse valguse modulatsioonid, saadetakse valgusena harmooniline signaal (näiteks siinussignaali) ja seejärel oodatakse selle peegeldumist mõõdetavalt objektilt ja mõõdetakse faasinihet algsignaali suhtes. Teades, et faas muutub perioodiliselt, siis võib see osutada identseks algsignaali suhtes. Sellise olukorra eristamiseks mõõdetakse ka valguse levimise aega, et selle järgi hinnata siinusfunktsiooni perioodi (mitmendal perioodil signaal tagasi jõudis) ja seejärel on võimalik faasinihke alusel määrata täpne kaugus. Sellist meetodit kasutatakse enamasti pikemate vahemaade mõõtmisel (Sele 3.8).



Sele 3.8 Vahemaa mõõtmine faasinihkega [26]

Meetodiga on võimalik mõõta distantse, mis ulatuvad sadadesse meetritesse, täpsusega mõni millimeeter. Selle meetodil peamine probleem tuleneb perioodide lugemisest, millest sõltub tulemus väga palju. Võimalus lugemise probleemi lahendamiseks, on kasutada erinevaid modulatsioone ja seeläbi kontrollida tulemust. See suurendab pikemate vahemaade mõõtmise juures tulemuse usutavust.

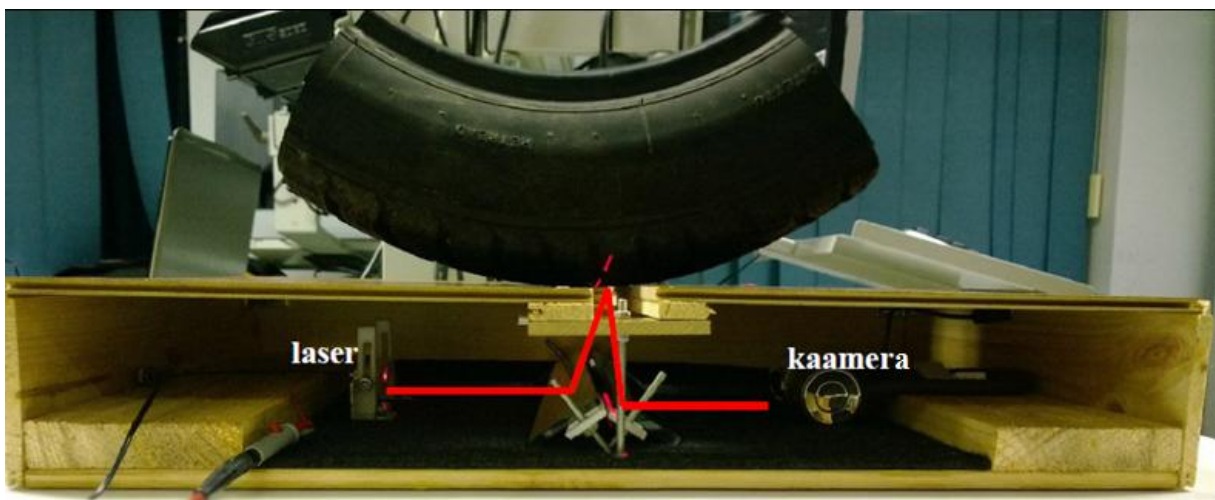
3.3.5 Triangulatsioon

Antud mõõteseadme puhul on kasutusel rehvimustri sügavuse mõõtmiseks laser triangulatsioon. See on geomeetriline meetod distantse mõõtmiseks. Pikemalt on seda meetodit kirjeldatud peatükis 5.2.

4 PÕHIMÕTTELAHENDUSE ANALÜÜS JA PROBLEEMIDE KAARDISTAMINE

OLIVER METS

Kursuse MHK0030 raames valminud mõõtemakett oli sobiv illustreerimaks selle lahenduse põhimõttelist toimivust rehvi turvise kõrguse mõõtmiseks [20]. Konstruktsioon koosnes puidust ja vineerist koosnevatest detailidest, kahest peeglist, mis suunasid laserit ja kaamera vaatevälja, kaitseklaasist ning joonlaserist ja USB-kaamerast (Sele 4.1).



Sele 4.1 Mõõtemakett

Makett töötas (joon)laserkiire projekteerimises rehvi pinnale ning tekitatud pildi hõivamises kaameraga. Triangulatsiooni põhimõttel arvutati erinevate pindade erinevus ning läbi seadistamise leiti pikseli suhe millimeetrile ning süsteem väljastas rehvi turvise kõrguse väärtuse.

Valmistatud mõõtemoodul oli sobiv kasutamiseks ainult laboritingimustes ja sellel sai mõõta ainult rehvi sektsiooni, mitte tervet rehvi ennast.

Mõõtemooduli peamised puudused ja piirangud olid järgnevad.

- Mooduli konstruktsioon ei kannata terviku rehvi poolt rakenduvat koormust rääkimata üle sõitva auto poolt mõjuvat koormust.

- Moodul ei kannata põrutusi ega vibratsioone – nende rakendumisel liiguksid optikakomponendid määratud asukohast ja süsteem lakkaks toimimast.
- Mõõtemooduli gabariitmõõtmed on liiga suured võimaldamaks selle praktilist kasutamist ning teisaldamist mõõtmiskohtade vahel.
- Mõõtemoodulil puudub peale-/ mahaõidu tee.
- Mõõtemoodul ei ole niiskus- ega tolmukindel.
- Mõõtemoodul vajab toimimiseks eraldiseisvat toiteplokki ning juhtarvutit.
- Juhtarvuti kasutab pilditöötluseks ja andmete analüüsiks laiatarbes kasutamiseks sobimatult kallist ja kohmakat tarkvara/riistvara.
- Mõõtesüsteem vajab iga rehvi analüüsimiseks korduvaid täiendavaid manuaalseid lülitusi ja korraldusi operaatori poolt.
- Süsteemi toimimiskiirus on praktiliseks kasutamiseks liiga aeglane – rehvi peab asetsema mõõtemoodulil 25-30 sekundit.
- Mõõtmiseks kasutatava joonlaseri intensiivsuse ja ühtluse kvaliteet joone lõikes on varieeruv ning laseri kiir ei ole fokuseeritav, mille tulemusena väheneb mõõtetäpsus ja süsteemi üldine usaldatavus.
- Tulenevalt laserkiire suurest langemisnurgast suudab mõõtesüsteem mõõta rehvi turvise kõrgust kuni 7 mm (juhul kui rehvil on olemas vihmasoon) ning esineb suur võimalus, et mõõtmine võib ka täielikult ebaõnnestuda, kuna laserkiir ei pruugi olla kaamerale nähtav.
- Süsteemil puudus arvestatav väljund tulemuste esitamiseks, edastamiseks ning talletamiseks.

Käesoleva magistritöö eesmärgiks on leida lahendus eelnevalt välja toodud probleemsetele kohtadele ning täiendada süsteemi funktsionaalsust ning esitada võimalikke edasisi arendusvõimaluste suundasid.

Uue süsteemi loomise juures on paika pandud järgnevad parameetrid lähtuvalt kooskõlastamisele Rehviiduga ja rehvitöökodadega.

- Süsteemi gabariitmõõtmed:
 - pikkus: kuni 450 mm;
 - kõrgus: kuni 60 mm.
- Mass: kuni 15 kg (üksik moodul).
- Mõõtelaius: 300 mm.
- Mõõdetav turvise kõrgus: vähemalt 9 mm (5 mm turvise blokkide vahega).
- Töökiirus: mõõtmise teostatav sõiduki kiiruse juures 5 km/h.
- Maksimaalne koormus: 7 kN (rehvi kohta).
- Pritsme- ja tolmukindlus: IP64²
- Teisaldatav

² Lisa 1 - „Tolmutihe, täielikult kontakti kindel“ ja „Suvalisest küljest pritsiv vesi ei tohi kahjulikult mõjuda“

5 OPTILISE SÜSTEEMI PROJEKTEERIMINE

OLIVER METS

5.1 Optilise süsteemi komponendid

Optilise süsteemi komponendid on nimetuse poolest samad, mis esialgsel maketil [20], kuid kõikide puhul on tehtud asendusi sobilikumate variantide vastu. Arvesse võttes, et esmaseks ülesandeks arendamise juures oli suurendada süsteemi mõõtetäpsust ja töökindlust samal ajal selle gabariitmõõte vähendades.

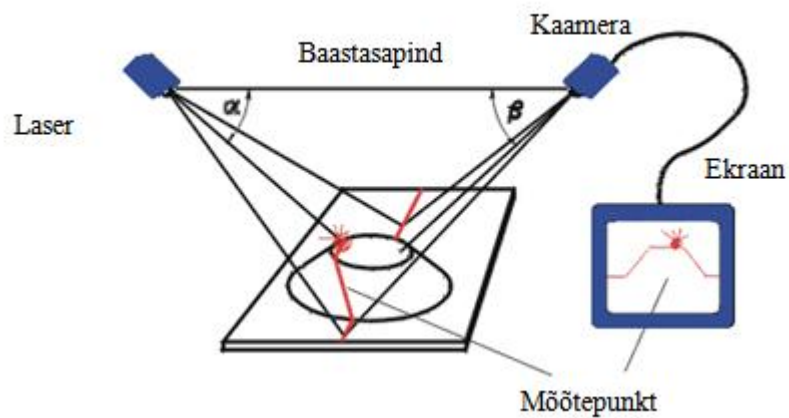
Soovitu saavutamiseks tuli parandada laseri joone intensiivsuse ühtlust, joone läbimõõtu ning muuta väiksemaks kiire langemismurk. Võttes arvesse, et täpsuse suurendamine ja gabariitmõõtmete vähendamine on üksteisest antud kontekstis pöördvõrdeliselt sõltuvad parameetrid, tuli kõigepealt defineerida eesmärgiks seatavad olulised eesmärgid (peatükk 4).

Optilise süsteemi põhilisteks komponentideks on:

- laser – joone tekitamiseks;
- peeglid – laseri suunamiseks rehvide ja kaamera vaatevälja suunamiseks;
- kaamera – pildi digitaliseerimiseks;
- kaitseklaas – vältimaks mustuse ja niiskuse sattumist mõõtemooduli sisemusse.

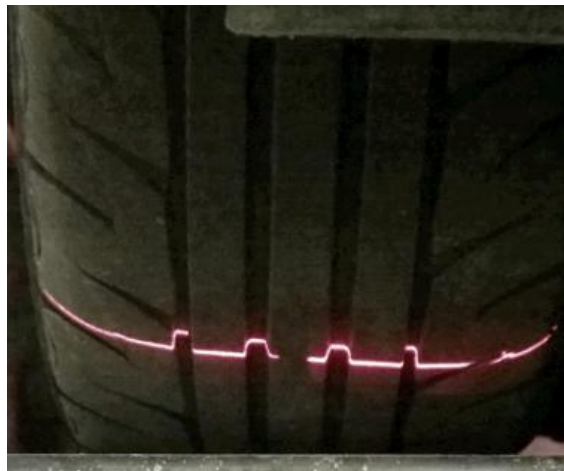
5.2 Triangulatsioon

Arendatav rehvi turvise mõõtesüsteem põhineb laserjoone kuvamisel rehvi pinnale, kus joone kuju jälgib rehvi ristlõiget, joonistades välja kõrgemad kohad, kus on rehvi turvis ning madalamad kohad, kus on rehvi baaspind.



Sele 5.1 Triangulatsiooni tööpõhimõte [27]

Nurga alt kaameraga laseri joone pilti hõivates on võimalik tarkvara abil eristada joonte asukohtade erinevused ning seeläbi välja arvutada pindade kõrguse erinevus ja väljastada tulemus millimeetrites. Seda meetodit nimetatakse triangulatsiooniks (Sele 5.1) - selle abil on võimalik mõõta vahemaid alates ühest millimeetrist katse- ja mõõteseadmete puhul kuni 500 valgusaastani [28], tähtede kauguse mõõtmiseks Maa asukoha suhtes, tehes nurga mõõtmisi poole aastase vahega.

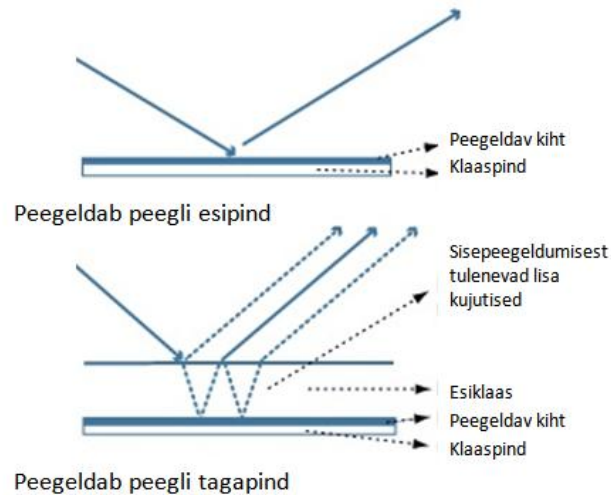


Sele 5.2 Laseri projektsioon rehvil

Joonisel (Sele 5.2) nähtav joone kõrguse erinevus on teisendatav arvutuste või etaloni abil pikselitest millimeetriteks ning seeläbi on võimalik määrata distantsilt mõõdetava objekti ristlõike kontuuride omavahelisi erinevusi.

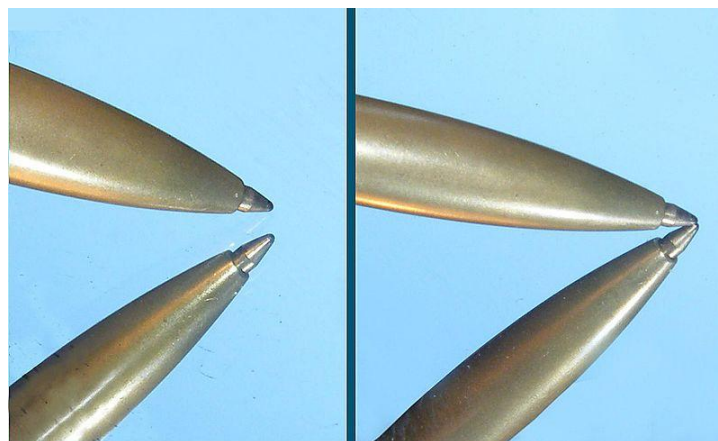
5.3 Peegelpindade valik

Valdav osa laiatarbes kasutatavatest peeglitest on standardse lahendusega klaaspeeglid, millel on peegelduvaks pinnaks tagapind. Selle tulemusena tekivad täiendavad peegeldused klaasi esipinnal ning lisandunud müra vähendab käesoleva mõõtesüsteemi täpsust ja töökindlust (Sele 5.3).



Sele 5.3 Peeglite variandid ja peegeldused [29]

Tulemuse parandamiseks tuleb kasutada peegleid, mille peegelpind on esipind (Sele 5.4).



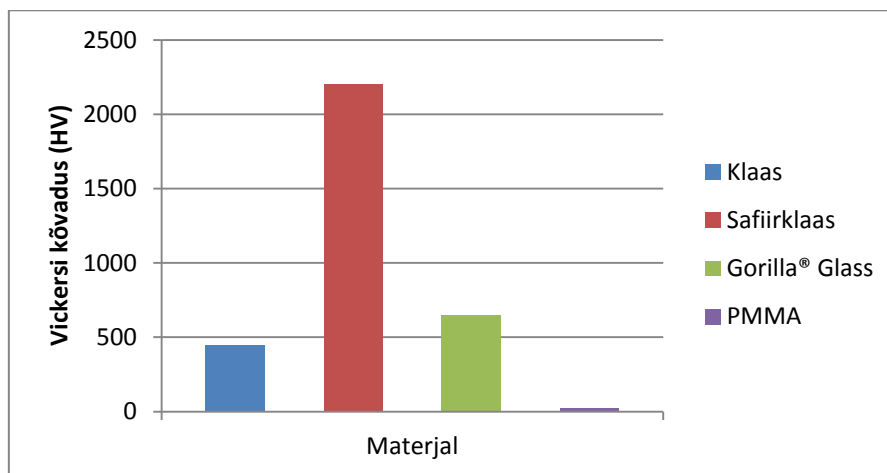
Sele 5.4 Lisakujutise tekkimine tagapinna peegeldusest (vasakul) ja esipinna peegeldus (paremal) [30]

Parima variandi saamiseks tuleks kasutada klaas- või akrüülpinda (PMMA), mille esipinnale on sadestatud, sõltuvalt peegeldatavast valguse lainepikkusest ja keskkonna tingimustest,

alumiiniumi, kulda või Berülliumi (peegeldustegur kuni 96%[29]). Kuna peegeldus antud lahenduse juures ei pea olema ideaalne (arvestades laseri ja rehvi pinna suurt kontrastsust), siis kasutati peegleid, mille puhul esineb peegeldusel suurem kadu. Võttes arvesse vastupidavust, saadavust ja hinda, osutus kõige mõistlikumaks variandiks tellida kõrgpoleeritud roostevaba lehest lõigatud detaile. Toorikuks võetakse sellise töö puhul roostevaba terasleht (EN 1.4301³), mis vastab pinnatöötamise kvaliteedile 2P⁴ (Ra≈0,05 [31]) - elektropoleeritud pind. Seejärel teostatakse mehaanilisel teel käsipoleerimine saavutamaks kõrgpoleeritud pind (Ra≈0,01 - pind omab siiski teatavaid defekte).

5.4 Kaitseklaasi valik

Kaitseklaasi eesmärk on takistada tolmu ja niiskuse sattumist mõõtemooduli sisekeskkonda. Kaitseklaasina sai kaalutud oma tugevusomaduste tõttu safiirklaasi kui ka Corning® Gorilla® Glass'i tooteid [32], et pind, mida laserkiir peab läbima ja millest ka kaamera läbi nägema, ei oleks kergesti kriimustatav, tagamaks seadme töötamise pikema perioodi vältel (Sele 5.5).



Sele 5.5 Kaitseklaasi materjali variantide kõvadused [33] [34] [35] [36]

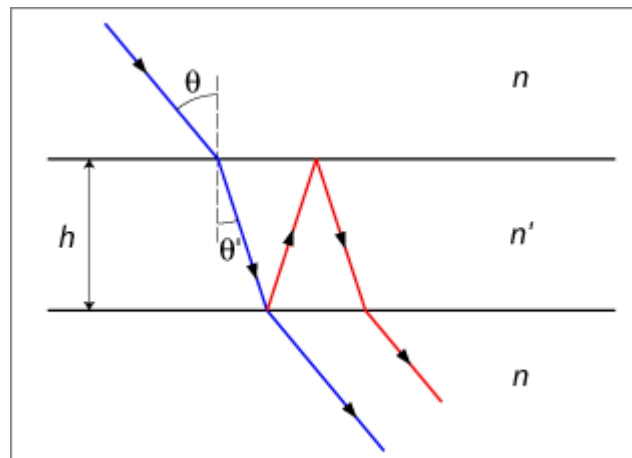
Võttes arvesse, et kaitseklaas ei ole mõõtemooduli pealispinnaga tasa, vaid asub allpool ning ei oma otsest kontakti rehvi, on suurim tõenäosus pinda kriimustada klaasi puhastamise käigus (pinnal asuva mustuse hõõrumisega) või klaasile millegi pillamisega.

³ EVS-EN 10088-1:2005 - Roostevabad terased. Osa 1: Roostevabade teraste loetelu [103]

⁴ EVS-EN 10088-2:2005 - Roostevaba teras. Osa 2: Korrosioonikindlate terasplaatide ja ribade tehnilised tingimused üldiseks- ja ehituslikuks kasutamiseks [103]

Olenemata tavaklaasi suhteliselt väikesest kõvadusest võeti esialgu antud süsteemi puhul kasutusele karastatud tavaklaasi riba, mida saab vajadusel kiirelt välja vahetada ilma erilise kulutusega. Tegu on siiski rabedate materjalidega ning suurem surve purustab kaitseklaasi olenemata materjalist.

Analoogselt klaaspeeglite peegeldavale tagapinnale esineb ka kaitseklaasiga probleem, kus tekib kahekordne täiendav peegeldus klaasi mõlemalt pinnalt (Sele 5.6). Selle eemaldamiseks tuleb asetada kaitseklaas väikese nurga alla, et tekkinud täiendavad peegeldused oleks suunatud kaamera vaateväljast eemale.



Sele 5.6 Sisepöegeldusest tekkiv paralleelne kujutis [37]

5.5 Laseri valik

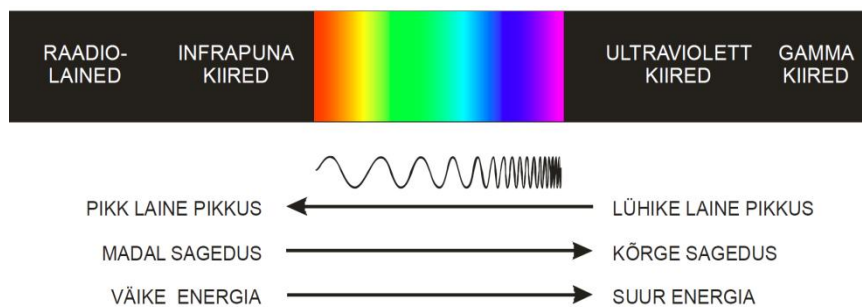
5.5.1 Laser

Laser on koherentse⁵ valgusvälja allikas, mille abil on võimalik genereerida väikese hajuvusega ja läbimõõduga ning kindla lainepikkusega fokuseeritud punktikujuline nähtav või nähtamatu valgusväli [38]. Antud rakenduses kasutatakse pooljuhtlaserit, eelistades seda teistele laseritüüpidele oma lihtsa konstruktsiooni ja hinna poolest. Laseri diodides kasutatakse materjalideks mitmeid erinevaid ühendeid (GaAs, AlGaAs, GaP, InGaP, GaN, InGaAs, Ga InNAs, InP, GaInP) saavutamaks laseri kindlat soovitud valguse lainepikkust [39].

⁵ Koherentsus – lainete ajaline koosõlastatus, mida iseloomustab nende faaside vahe muutumatus ajas ja ruumis [39]

5.5.2 Laseri lainepikkus

Valdav enamik kasutuses olevatest laseritest on lainepikkusega 620-780 nm, mida inimsilm näeb punase värvina (Sele 5.7). Punaste laserite kasutuse laialdane levik tuleneb nende valmistamise soodsamast hinnast. Roheliste ja siniste laserite valmistamine on kallim nendes kasutatavate ühendite maksumuse tõttu. Alternatiivina saaks ka kasutusele võtta infrapunasel lainepikkusel levivad laserid, kuid see vajab muudatuste sisseviimist ka teiste optikakomponentide valiku juures (peeglid ja kaitseklaas).

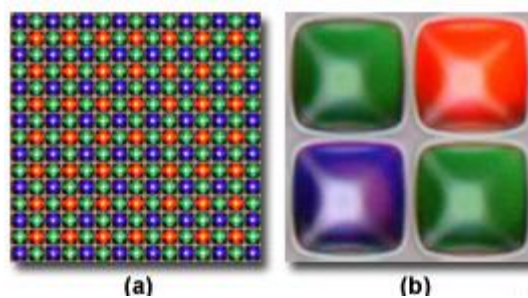


Sele 5.7 Valguse spekter [40]

Sinine lainepikkus – 440-480 nm lainepikkusega kiirgust genereerivad laserid.

Roheline lainepikkus– 490-530 nm – Värvuse genereerimiseks kasutatakse enamasti Nd:YVO4 [41].

Rohelise valguse intensiivsus on sama võimsuse juures inimese silmale kõige suurem võrreldes sinise ja punase tooniga. Analoogselt on seda värvi laser ka kaamerasilmale kõige paremini nähtav [42]. Seda eeskätt põhjusel, et standardne RGB sensor-maatriks sisaldab ühte sinist, ühte punast, kuid kahte rohelist fotodetektori elementi (Sele 5.8).



Sele 5.8 RGB fotodetektori maatriks (vasakul) ja üksik moodul (paremal) [42]

Punane lainepikkus– 650-800 nm – hinnalt kõige odavam ning väga levinud laialdasemas tarbes. Värvuse genereerimiseks kasutatakse GaInP/Al-GaInP laserdioode.

Infrapunane lainepikkus - 800 nm või suurem – ei ole inimsilmale nähtav ning on võimeline läbima kergelt mustust ja tolmu oma suure lainepikkuse tõttu. Infrapunase lainepikkuse negatiivne pool on seotud turvalisuse ja ohutusega - kiir on inimsilmale nähtamatu ja võib märkamatult kõrvalseisjate silmanägemist pöördumatult kahjustada.

Infrapunase lainepikkuse kasutamise juures on ka teinegi piirang – kaitseklaas peab olema FeO₂ vaba, kuna tavaline klaas neelab infrapunase kiirguse ning seeläbi ei jõua laserkiirgus rehvi ning mõõtmine ebaõnnestub. Gorilla® Glass ja safiirklaas on infrapunase kiirguse poolt läbitavad. Peeglikena tuleks parema tulemuse nimel infrapunase lainepikkuse juures kasutada kullaga sadestatud pindasid.

Arvestades, et antud rakenduses ei jää laseri intensiivsusest puudu, kuna tausta ja laseri kiire eristatavus on piisavalt suur, siis puudub tarvidus suurendada projekti maksumust rohelise ja infrapunase lainepikkuse kasutamisega. Esialgset katsetamist teostati punase laseriga – süsteemi töötades on võimalik see asendada vajadusel mõnel muu lainepikkusel leviva laseriga, suurendamaks mõõtetäpsust.

5.6 Joonekujulise laserkiire genereerimine

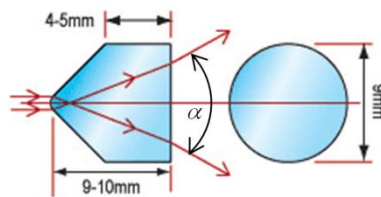
Arvestades, et laserkiirt genereerides on võimalik saada ainult täpi projektsioon, siis joonekujulise laserkiire genereerimiseks on peamiselt kolm enamlevinud varianti:

- kasutades laserkiire projektsiooni ees silindrilist läätset;
- kasutades vibreerivat peeglit;
- kasutades pöördpeeglit.

5.6.1 Silindrilise läätse lahendus

Suunates laserkiire läbi silindrilise läätse, tekib läbi erinevate murdumiste joone kujutis pinnale (Sele 5.9). Antud meetodiga genereeritakse jooni, mille levimisnurk (α) on 10°-90° [43]. Genereeritud joone kvaliteet (ühtlane intensiivsus ja läbimõõt) sõltub väga suurel määral läätse valmistuskvaliteedist, mis sõltub materjali defektsusest ja mõõtude täpsusest.

Lahenduse põhiline positiivne külg on see, et antud meetodi juures ei ole ühtegi liikuvat komponenti – kiir muudetakse joonekujuliseks läätse abil.

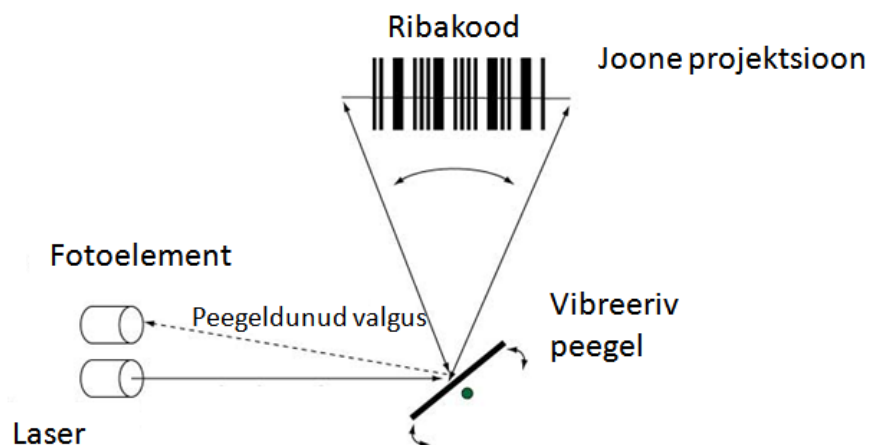


Sele 5.9 Laseri joone genereerimine silindrilise läätse abil [44]

5.6.2 Vibreeriva peegli lahendus

Lahendust, kus joonekujuline kiire projektsioon saavutatakse vibreeriva peegli abil, kasutatakse peamiselt ribakoodi käsiskännerites. Väga õhuke peegel on kinnitatud lehtvedrule, mis on omakorda ühendatud solenoidiga. Juhtides solenoidi tööd tihedate impulsside abil hakkab peegel kiirelt vibreerima, suunates laserkiirt eri nurga all, kujutades pinnale ühtlase joone (Sele 5.10).

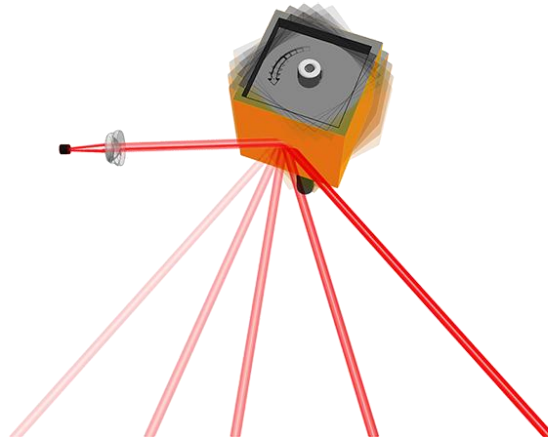
Lahenduse abil saab genereerida väga hea kvaliteediga joone projektsiooni, kuid negatiivse poole pealt on lahenduses kasutusel liikuvad komponendid ning vajadus pidevale juhtimisele elektroonika abil. Täiendavaks miinuseks on suhteliselt väike joone levimise nurk (10° - 45°) [45].



Sele 5.10 Laseri joone genereerimine vibreeriva peegli abil [46]

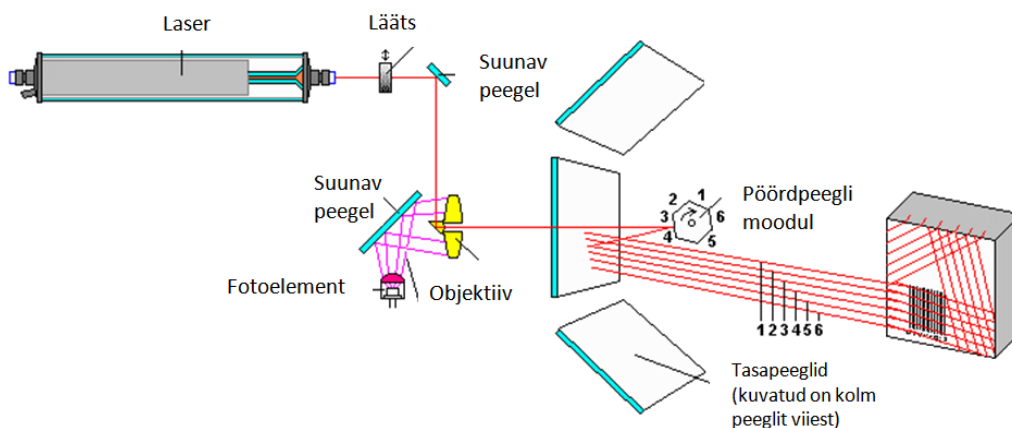
5.6.3 Pöördepeeglite lahendus

Laserjoone genereerimiseks kasutatakse veel ka lahendust, kus peegelpinnad pannakse alalisvoolu mootori abil pöörlema ümber telje ning sellele suunatakse peale laserkiir. Meetodit kasutatakse laserprinterites, skännerites ja statsionaarsetes kassasüsteemides ribakoodilugejate juures (Sele 5.11).



Sele 5.11 Pöördepeeglite lahendus [47]

Kassasüsteemide juures kasutatakse peegleid, kus igal neljal küljel on peeglid erineva nurga all saavutamaks korraga neli paralleelset kiirt, mida peegeldades saab kiirtevõrgustiku, mis mugavdab ja kiirendab ribakoodi lugemise protsessi (Sele 5.12).



Sele 5.12 Kassasüsteemide tüüpiline optilise teekonna lahendus [48]

Sõltuvalt laseri nurgast ja peegelpinna kaugusest pöörlemistsentrist on võimalik genereerida joon, mis levib katsetuste tulemusena kuni 180° nurgaga.

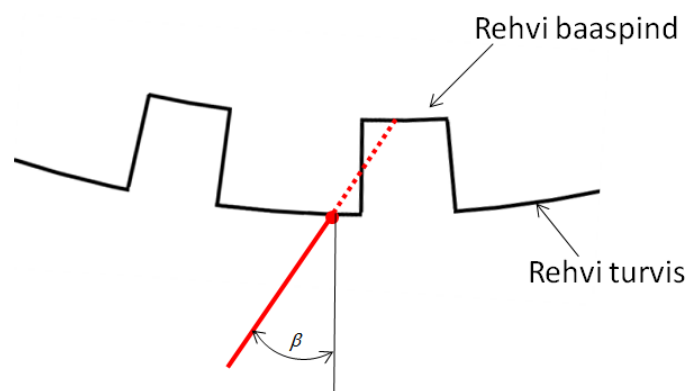
Antud lahenduse, analoogselt vibreeriva peegli meetodiga, negatiivseks küljeks on see, et süsteem omab liikuvaid komponente. Positiivse külje pealt on võimalik sel meetodil genereerida väga pikk laserjoon lühikese distantsi juures. Erinevalt vibreeriva peegli süsteemist ei vaja peegli mootor muud juhtimist kui diskreetset toite lülitamist.

Vibreeriva ja pöörleva peegli lahendusi on kasutatud skännerites eesmärgiga kiirt igal ajahetkel koheselt analüüsida (intensiivsust), võimaldades seeläbi lugeda ribakoodi ühe fotoelemendiga

Arenduse üks peamistest ülesannetest oli vähendada gabariitmõõtmeid ning seetõttu oli oluline saada võimalikult lühikese distantsi peale lai laserjoon. Lähtuvalt eelnevast variantide analüüsist võeti esialgu kasutusele pöördepeeglite mehhanism.

5.7 Laseri ja kaamera optilise käigu projekteerimine ja katsetused

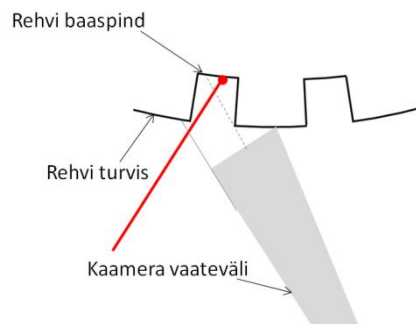
Lähtuvalt etteantud parameetritest (peatükk 4) oli vaja alustada joonlaseri levimise teekonna arvutamist, et saavutada soovitud rehvi turvise sügavuse mõõtevahemik ning vastavalt arvestada välja ka kaamera poolt nähtava pildi peegeldamist. Esialgsel lahendusel [20] oli rehvi turvise kõrguse mõõtesügavus piiratud laseri suurest langemisnurgast (β) – esines mitmeid juhtumeid, kus laseri kiir ei jõudnud rehvi baaspinnani (Sele 5.13).



Sele 5.13 Laseri suurest langemisnurgast tingitud ebaõnnestunud projektsioon baaspinnale

Esialgse lahenduse juures olid mooduli sees vahemaad suured ning selle pealispinnal olev avaus, kust oli näha mõõdetav rehvi pind, väga lai. See andis võimaluse seadistada väheste piirangutega peeglite asukohta ning nende nurkasid katsetamise teel, saavutamaks sobiva tulemuse.

Laseri langemisnurka vähendades, on võimalik suuremat rehvi turvise kõrgust mõõta – suure langemisnurga puhul võib tekkida olukord, kus laserjoon ei jõua rehvi baaspinnani või ei ole nähtav enam kaamera poolt (Sele 5.14 ja Sele 5.15).



Sele 5.14 Kaamera vaatevälja suur nurk ei kata rehvi turvise baaspinda



Sele 5.15 Kaamera vaateväli laseri ja kaamera suure nurga asetuse tulemusena

Käesoleva lahenduse juures oli ettekirjutatud täiendavaid piiranguid, mille puhul oli vajalik eelnev põhjalik projekteerimine, tagamaks soovitud tulemuse saavutamist.

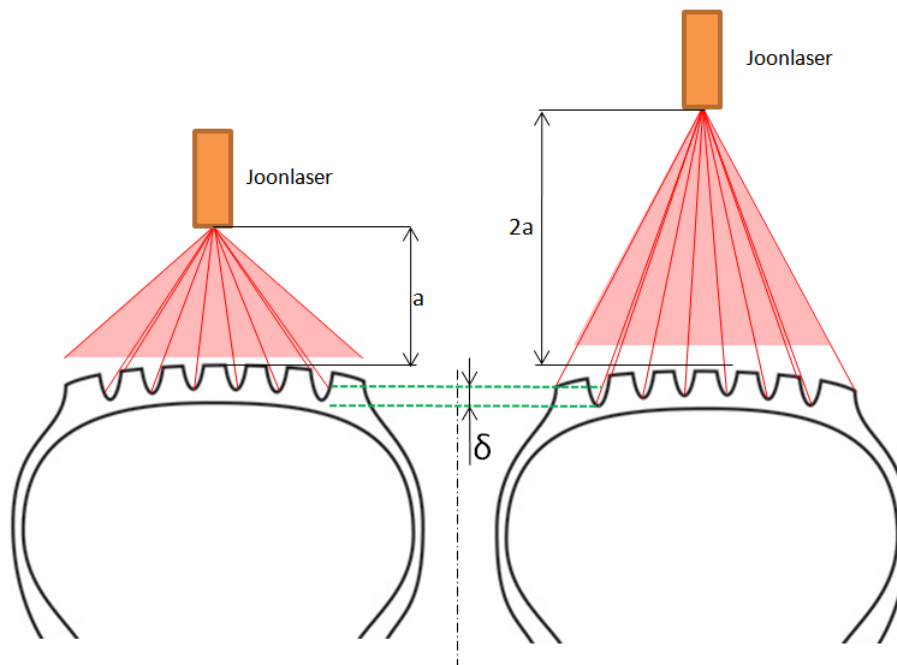
Esialguses lahenduses oli kaamera ning laser asetatud peeglitest kaugemale, et saavutada piisav vaatenurk kaamerale ning piisav kiire levimisenurk laserile. Käesoleva projekti joonlaseri valiku juures sobivaimaks variandiks osutunud pöördpeeglitega joone genereerimine tundus välistavat vajaduse pika distantsti tarvis, kuna nagu alampeatükis 5.6.3 käsitleti, on võimalik väga lühikese distantisega saavutada soovitud mõõteala pikkune (300 mm) laseri joon.

Selle tarvis katsetati kolme erinevat pöördpeegli moodulit punase laseriga. Katsetustel kasutati 7 mW võimsusega laserimoodulit, mis töötas lainepikkusel 655 nm [49]. Saavutatud

joone kvaliteet oli väga hea nii intensiivsuse jaotuse, ühtluse kui ka joone laiuse poolest. Analoogselt laseri asetusele oli visioon asetada kaamera väikesema kauguse ning väikese nurga alla, et tagada kaamera piiratud vaatenurgaga kogu rehvi laiune pilt.

Esimene katsetus rehvi maketiga tõestas, et kursuse MHK0030 raames valminud mõõtemudel [20] sai anda tulemusi vaid ideaaltingimuste rakendamisel.

Lähtuvalt laseri laiast levimisnurgast ei jõua laserjoon rehvi turvise vahelistesse põhjadesse (baaspinnale), mida kaugemal kontuurid on laseri mooduli teljest (Sele 5.16). Sama piirang on kaamera puhul. Kaamera ei näe rehvi turvise vahelisi põhjasi (eeldusel, et laseri joon sinna jõuab), kui see ei asu kaamera vaatevälja keskel.



Sele 5.16 Joonlaseri kiire levik rehvi ristlõike vaates

Võttes arvesse tähelepanekut, mis oleks pidanud tulema välja juba kursuse töö raames, tuli alustada uut lahenduse projekteerimist. Eesmärgiks on kuvada rehvi pinnale laserjoon, mis langeks viimasele minimaalse võimaliku nurga alt, tagamaks rehvi baaspinna katmist laseriga (laseri kaugusest tulenev erinevus δ on tähistatud skeemil - Sele 5.16). Selle saavutamiseks on kolm varianti:

1. läätse abil;

2. nurga alla asetatud peeglite abil, mis suunaksid kiirt väiksema nurga alla kui see muidu langeks;
3. pikendades laseri levimise teekonna pikkust.

Analoogsed lahendusvariandid on kasutatavad kaamera juures:

1. läätse abil;
2. konstantse ristlõikega mõõteala pikkune lääts, mis fokuseerib pildi pikal ribasensoril;
3. pikendades kaamera vaatevälja teekonna pikkust.

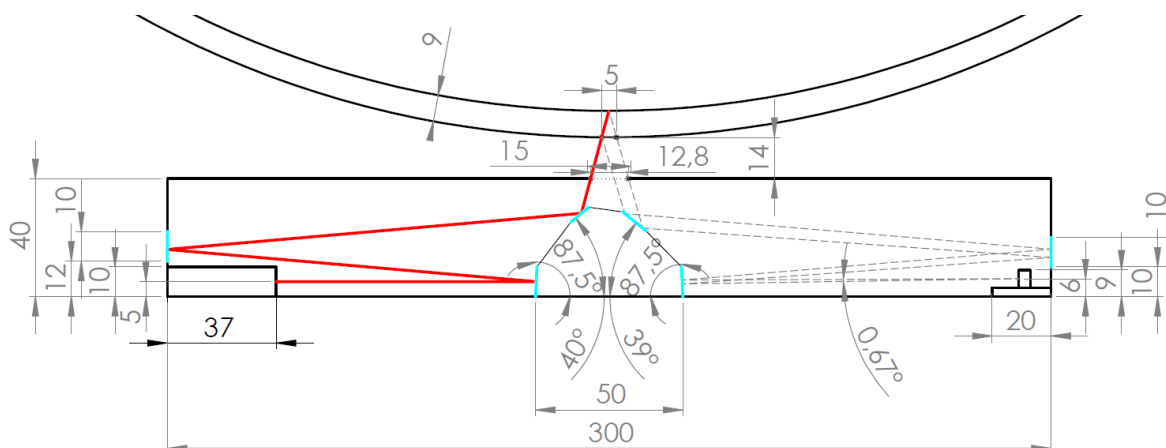
Lähtuvalt vajalike komponentide saadavusest ja hinnast otsustati eri läätsede kasutamisest loobuda ning pikendada nii laseri kiire kui ka pildi haaramise teekonna pikkusi.

Esialgsed arvutused näitasid, et teekond peab olema vähemalt 2 korda pikem, et rehvalt loetav informatsioon oleks piisav turvise kõrguse määramiseks. Piiranguks seatud mooduli mõõtmed ja mass välistasid otsese teekonna pikendamise võimaluse – vastasel korral oleks mooduli mass suurenenud lubamatult palju ning mooduli pikkuseks oleks olnud 1050 mm.

Sobivaimaks variandiks jäi laseri joone mitmekordne peegeldamine edasi-tagasi enne, kui see suunata rehvi pinnale. Analoogselt tuleks ka fokuseerida kaamera pilt rehvi pinnale läbi mitme peegelduse.

Selle tulemusena muutus sisene optika paigutus esialgselt keerukamaks ning nõudis palju suuremat täpsust peeglite asetuse juures. Tulenevalt sellest muudatusest otsustati kasutada ikkagi läätse abil genereeritavat joonlaserit. Selleks kasutati 3 mW laseri moodulit, mille kiirt oli võimalik ka fokuseerida.

Järgneval skeemil (Sele 5.17) kuvatud lahendus demonstreerib laseri kiire ning kaamera pildi fokuseerimise projekteeritud teekonda.



Sele 5.17 Peeglite (helesinine), laseri joon (punane) ja kaamera vaatevälja (hall punktiir) asetus

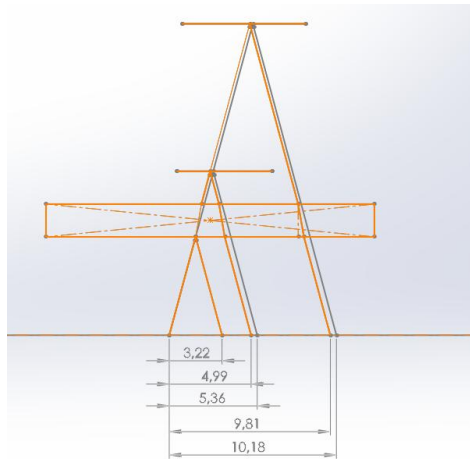
Skeemil on olulisteks parameetriteks:

1. avause laius - 15 mm;
2. korpuse sisekõrgus - 40 mm;
3. rehvi turvise sügavus - 9 mm;
4. rehvi turvise blokkide vahe - 5 mm;
5. kaamera kasutatav vaatenurk - $>0,5^\circ$;
6. rehvi ja mõõtemooduli vahemaa - 14 mm.

5.7.1 Kaitseklaasist tulenev murdumine

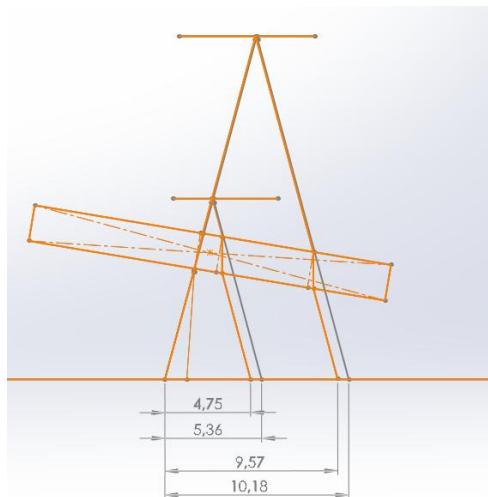
Eelmises peatükis projekteeritud laseri teekond ja kaamera vaateväli ei võtnud arvesse, kuidas võib muutuda olukord kaitseklaasi lisamisega. Arvestades, et mooduli peal olev vaateaken, mille läbi mõõtmisi teostatakse, peab võimaldama laseril materjali läbimise viisil, et see ei murduks korpuse materjali ega peeglitest mööda.

Selle mõju määramiseks koostati täiendavad skeemid. Esimesel skeemil (Sele 5.18) on kujutatud kõrvuti teekond ilma kaitseklaasita (halliga) ning teekond, kus on kasutusel horisontaalselt asetsev kaitseklaas (oranž). Ülemine ja alumine joon tähistavad rehvi baaspinda ja maksimaalset turvise kõrgust. Skeem näitab, et kaitseklaasi kasutamise juures jäävad nurgad samaks ning pääsevad korpuse vaateaknast läbi. Aluspinnaks on arvestatud mõõtemooduli katteprofiili pealispind.



Sele 5.18 Horisontaalne kaitseklaas

Teisel skeemil (Sele 5.19) on näha $9,5^\circ$ nurga alla asetatud kaitseklaasi mõju, mis analoogselt eelmisele skeemile näitab, et kiirte langemisnurgad ei muutu ning mõõtepiirkonna vahemaa jääb samaks – muutub asukoht kaamera nägemisväljas. Seda tuleb arvesse võtta kaamera huvipiirkonna määramisel. Täiendavalt saab kaldus asetseva kaitseklaasi abil juhtida eemale kaitseklaasi esipinna peegelduse, mis vastasel korral muudaks pilditöötlust keerukamaks.

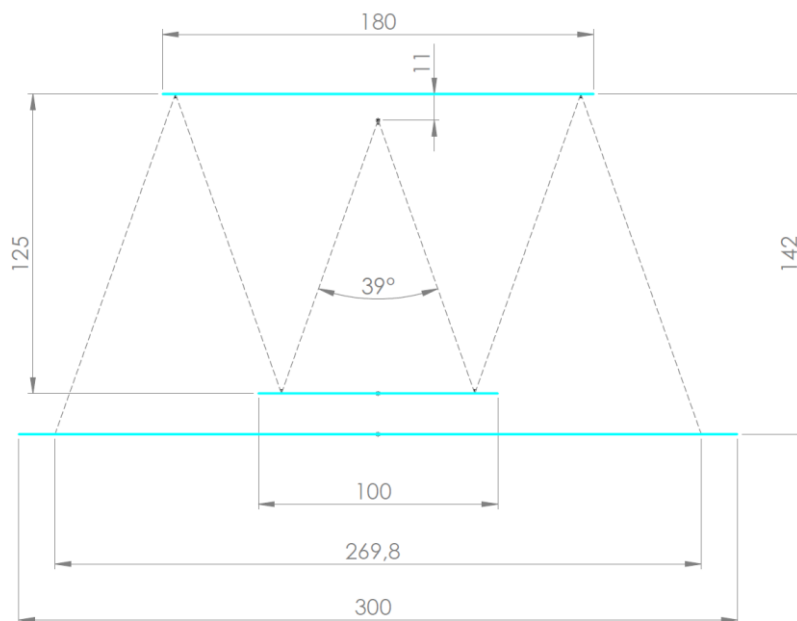


Sele 5.19 Nurga alla asetatud kaitseklaas

Sellest saab järeldada, et kaitseklaasi asetus ei oma olulist (kahjulikku) mõju konstruktsiooni projekteerimisel ning selle asetust saab mooduli korpuse ja katte juures korrigeerida vastavalt vajadusele.

5.7.2 Kaamera nägemisväli

Video salvestamisel kaamera vaatenurk horisontaalteljel on 39° ja vertikaal teljel 22° [50] (alampeatükk 6.3). Selle vaatenurgaga katab kaamera 270 mm laiuse ala (Sele 5.20), mis on marginaalselt väiksem kogu mõõtealast (300 mm) ja kompenseeritakse teekonna pikenemisega vertikaalsuunas.



Sele 5.20 Kaamera horisontaalne vaatenurk

Arvestades, et vertikaalteljel on kasutatav vaatenurk väike, ainult $0,67^\circ$, on tulemuste paremaks hindamiseks võimalik suurendada seda nurka kasutades suurendavat optikat. Samas vähendaks see kogu kaamera vaatenurka, kuid suurendaks pikselite arvu ühe kraadi kohta. Antud juhul on 22° kohta 1080 pikselit seega $0,67^\circ$ kohta on ainult 33 pikselit. Vaateväli katab 9 mm rehvi turvise kõrgust, mis tähendab, et ühe millimeetri kohta on $3,6 \rightarrow 3$ pikselit (ümaratud alla). Kasutades kahekordset suurendust, oleks 11° kohta 1080 pikselit ning seega nägemisvälja jääks 66 pikselit, mis teeb $7,3 \rightarrow 7$ pikselit millimeetri kohta.

Suurendavat optikat rakendada ei saa, sest see vähendaks samal ajal horisontaalteljel vaatenurka, mis omakorda vähendaks mõõdetava ala laiust.

Mõõtemooduli optiline süsteem koosnes uue plaani kohaselt järgnevatest komponentidest:

1. servmine peegli tugi	-	4 tk;
2. keskmine kahe peegli tugi (laseri pool)	-	2 tk;
3. keskmine kahe peegli tugi (kaamera pool)	-	2 tk;
4. laseri tugi	-	1 tk;
5. kaamera tugi	-	1 tk;
6. peegel 300x10 mm	-	6 tk;
7. joonlaser	-	1 tk;
8. kaamera	-	1 tk;
9. kaitseklaas	-	1 tk.

Peeglitena kasutatakse eelnevalt peatükis 5.3 välja toodud roostevaba teraslehest lõigatud kõrgpoleeritud detaile.

Laseri ja kaamera tugi on fikseerimaks nende paralleelset asendit mõõtemooduli korpuses. Peeglite toed on fikseerimaks nende asukohta ja täpset nurka, et saavutada soovitud järjestikune peegeldamine reaalse prototüübi juures nagu skeemil (Sele 5.17) see on esitatud. Kõikide tugede parameetrid on võetud käesolevast skeemist ja need on valmistatud kasutades 3D printimise tehnoloogiat. Materjaliks on kasutatud taaskäideldavat bioplasti - PLA'd, mis sobib 3D printimise tehnoloogia materjaliks oma madala sulamistemperatuuri tõttu [51].

Kaitseklaasiks on valitud esialgu õhukene karastatud klaasist riba, et välistada tolmu ja mustuse sattumist moodulisse.

5.8 Alternatiivse optilise käigu lahendus

5.8.1 Ülevaade

Katsetuste käigus ilmnes alternatiivne lahenduse võimalus mõõtesüsteemi kompaktsemaks muutmiseks ja kasutatavate komponentide vähendamiseks. Antud arendusprojekti juures seda alternatiivi pikemalt ei kaalutud, kuna selle teostamiseks on vajalikud suuremad investeeringud keerukate optika komponentide eritellimusel valmistamiseks.

Kaamera osas tuleks sisse viia suurem muudatus ning asendada see kitsaste ribasensoritega, mis ulatuksid sama laialt kui mõõdetav ala seda on. Sensoritel peab olema pikisuunas vähemalt 4 pikselit iga eraldatava millimeetri kohta – s.o. vähemalt 36 pikselit. Laiussuunas pikselite arv võib olla proportsionaalne ning erinõudeid ei lisandu. Saadaval on CCD sensorid, mille efektiivsete pikselite arv on 128 x 4096 [52]. Võimalik on kasutada kõrvuti mitut sellist sensorit või fokuseerida läätse abil pilt ühele sensori moodulile.

5.8.2 Läätsed

Kiirte rehvi turvisele langemise nurka on võimalik vähendada kumerläätsesega. Kiired, mis läbivad kumerläätses, koonduvad. Asetades valgusallikas läätse fookusesse on läätse läbinud kiired paralleelsed ning see oleks sobiv viis laseri joone kuvamiseks rehvil. Sellisel juhul katab laseri joon kogu rehvi ristlõike viisil, et ei teki probleeme pimedate nurkadega. Antud mõõtemooduli juures on takistuseks väikesed lubatavad mõõtmed. Seetõttu peab lääts olema piisavalt suur, et katta 300 mm vaateala ning mille fookuskaugus oleks võimalikult väike, et laser saaks fookuses paikneda. Kasutades läätse arvutusvalemit [53] on võimalik leida läätse fookuskaugust tema kumerusraadiuste ja materjali murdumisnäitaja järgi.

$$f = \frac{1}{P}, \quad (5.1)$$

kus

f – fookuskaugus (m);

P – läätse tugevus (m^{-1}).

$$P = \frac{n_{lääts} - n_{keskkond}}{n_{keskkond}} \cdot \left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right), \quad (5.2)$$

kus

$n_{lääts}$ – läätse materjali murdumisnäitaja;

$n_{keskkond}$ – ümbritseva keskkonna murdumisnäitaja;

R_1 – läätse esimese pinna kumerusraadius (m);

R_2 – läätse teise pinna kumerusraadius (m).

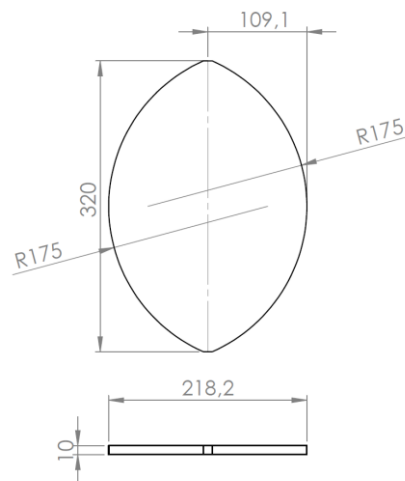
Kasutada saaks PMMA materjalist lääts, selle valmistushinna tõttu, mille murdumisnäitaja on 1,49 [54]. Lääts kumerusraadiusteks arvestati 175 mm, silmas pidades, et tagumise pinna kumerus on võrrandis miinus märgiga. Kasutades lääts õhu keskkonnas, võib arvestada keskkonna murdumisnäitajaks 1.

$$P = \frac{1.49 - 1}{1} \cdot \left(\frac{1}{0,175} - \frac{1}{-0,175} \right) = 5,6 \text{ m}^{-1}$$

$$f = \frac{1}{5,6} = 0,1786 \text{ m} \approx 179 \text{ mm}$$

Tulemuseks saadav fookuskaugus 179 mm on liiga suur, et antud mõtteseades saaks laseri paigutada lääts fookusesse. Samas kui laser paigutada läätsel lähemal ei teki paralleelseid kiiri, kuid kiirte hajumisnurk siiski väheneks. Võimalik on ka kasutada peeglit laserjoone teekonna pikendamiseks läätseni.

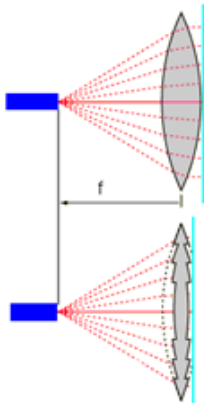
Arvestades lääts mõõtmeid on selline lääts liiga lai, mis suurendab omakorda järgneva peegli (peegeldus rehvi pinnale) kaugust laserist ning seeläbi suureneb kogu mõttesüsteemi pikkus. Sellise lääts puhul, mis on toodud järgneval skeemil, (Sele 5.21), oleks võimalik paigutada peegel 110 mm kaugusele lääts peateljest ehk kogu kaugus laserist oleks 289 mm



Sele 5.21 Kumerlääts fookuskaugusega 179 mm

Selleks, et vähendada lääts laiust, on võimalik kasutada Fresneli lääts. Lääts puhul määrab tema valguse koondamise võime kumerusraadius, seega on võimalik tagada sama kumerusraadius õhema lääts puhul kui lääts koosneb sektsioonidest [55]. Järgnevalt on toodud illustratiivne võrdlus (Sele 5.22), millelt on näha, et kasutades Fresneli lääts, on

võimalik peegli asukohta (helesinine joon) paigutada laserile lähemale (sinine kast), mis asub läätses fookuses.



Sele 5.22 Fresneli lääts võrdlus tavalise kumerläätsuga [56]

5.8.3 Ribasensori lääts

Saavutamaks paremat info lugemise tulemust rehvalt, tuleb täiustada ka kaamera optikat. Ribasensor vajab rehvi pildi fokuseerimiseks eraldiseisvat pikka läätsed. Arvestades, et kaugus sensorist rehvi on antud juhul 40 mm ja tuvastatava joone asukoha muutus on 10 mm, kalkuleeriti läätses vajalik fookuskaugus, milleks on 14,75 mm [57], kui kasutada 6.35 mm laiust sensori riba. Kasutades alampeatükis 5.8.2 toodud valemeid oli võimalik arvutada vajalik kumerus läätses, arvestades, et mõlema poole kumerusraadius on sama.

$$P = \frac{1}{f} = \frac{1}{0.01475} = 67,8 \text{ m}^{-1}$$

$$R = \frac{2 \cdot (n_{\text{lääts}} - n_{\text{kekskond}})}{P \cdot n_{\text{kekskond}}} = \frac{2 \cdot (1,49 - 1)}{67,8 \cdot 1} = 0,01445 \text{ m} \approx 14,45 \text{ mm}$$

Tuginedes saadud tulemusele visandati läätses kogu, mis on kujutatud järgneval joonisel (Sele 5.23).



Sele 5.23 Sensori maatriksi lääts

6 SOBIVA RIISTVARA VALIK

HARRI PARKER

6.1 Arendusplatvormi valik

6.1.1 Arduino

Arduino arendusplatvormi (Sele 6.1) on hea kasutada selliste ülesannete puhul, kus on vaja mitmeid sisendeid ja väljundeid. Platvorm on võimeline väljastama kuni 40 mA [58] voolu iga väljundi kohta (kokku 200 mA ühe maandusklemmi kohta).



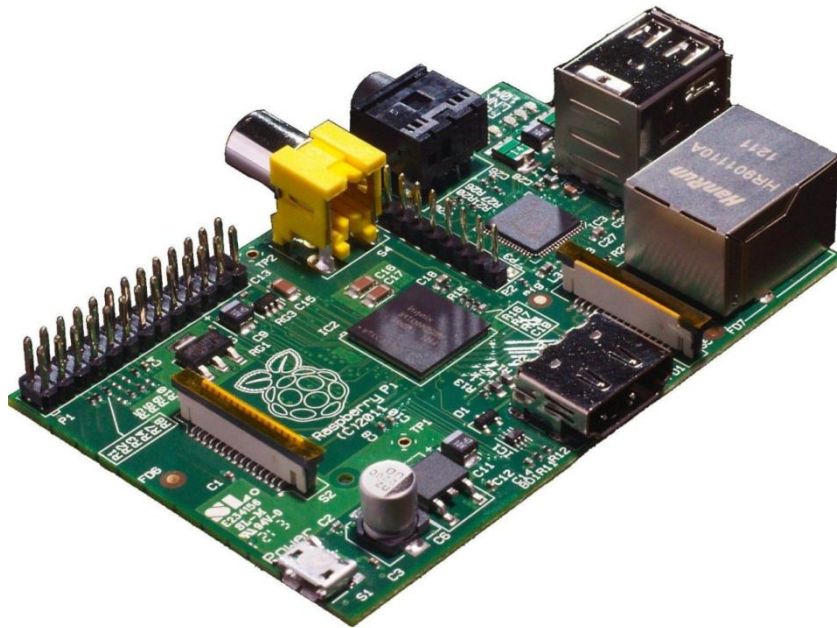
Sele 6.1 Arduino Mega ADK [58]

Platvormi eelisteks on selle madal hind (62€ [59]) ja väikesed mõõtmed. Arduino Mega ADK mõõtmed on 110x50x15 mm. Platvormi voolutarve võib küünida kuni 3,5 W ning jõude olekus saab selle viia alla 0,1 W (olukordadel kui ei ole tarvis teostada arvutusülesandeid ning kontrolleri ootab välist töökäsu signaali).

Selle platvormi suurimaks miinuseks on tema arvutusvõime - protsessoriks on ainult 16 MHz taktsagedusega ATmega2560. Antud mõõteseadmes seda kontrolleri pilditöötlemiseks ei saaks kasutada, aga seda oleks võimalik vajadusel kasutada erinevate andurite info saamiseks, töötlemiseks (digitaliseerimiseks) ja edastamiseks juhtseadmele.

6.1.2 Raspberry Pi

Raspberry Pi arendusplatvormi loetakse pigem mikroprotsessoriks kui mikrokontrolleriks. Raspberry Pi on põhimõtteliselt nagu arvuti - väikeste mõõtmetega platvorm, millest tulenevalt puudub sellel personaalarvutit iseloomustav arvutusvõimsus, kuid antud projekti vajadused võib see katta. Olenemata suuremast voolutarbest võrreldes Arduinoga - 2,5-5 W [60], on võimalik Raspberry-Pi'd kasutada akutoite pealt. Selle platvormi mõõtmed on koos SD kaardi väljaulatava osaga 110 x 70 x 25 mm (Sele 6.2).



Sele 6.2 Raspberry Pi [61]

Arvestades selle platvormi kättesaadavust ja hinda valiti antud projekti jaoks just Raspberry-Pi. Täiendavalt on platvormi eeliseks selle populaarsus ning sellest tulenevalt on saadaval piisavalt kasutamiseks erinevaid juhendeid ja materjale. Protsessoriks on 700 MHz ARM1176JZF-S ja seda on võimalik kiirendada taktsageduse ja tööpinge tõstmisega, kuid see nõuaks aktiivset või siis vähemalt täiendatud passiivset (radiaatori asetamine protsessorile) jahutuslahendust kaasneva kõrgema soojuseralduse tõttu. Arendatav mõõteseade on loodud kinnise süsteemina ning seetõttu oleks vajalik soojus juba terve moodulist välja viia ning seetõttu protsessori kiirendamise võimalust ei rakendata.

Arvestades antud platvormi madalat hinda 28 € [62] ja head saadavust, sobib see hästi esialgseteks katsetusteks loodud mõõtesüsteemi jaoks.

6.1.3 Personaalarvuti

Kõige käepärasem platvorm, mida võiks kasutada on tavaline personaalarvuti. Sellest tulenevalt kasutati ka kursuseprojekti [20] platvormina tavalist personaalarvutit (operatsioonisüsteemiks oli MS Windows 7).

Vastavalt lähteülesandele peab loodav mõõteseade olema võimalikult minimaalsete mõõtmega, et mahutada see mõõtemoodulisse, seega üks olulisemaid kriteeriume riistvara valikul oli arendusplatvormi mõõtmed. Variant oli kasutada sülearvutit või tööstuslikku arvutit, mis on väiksemate mõõtmega ning oleks sobilik töötama ka nõudlikumas keskkonnas. Paraku osutusid nende mõõtmed sobimatult suureks, mille tõttu ei saaks need paikneda mõõtemoodulis, vaid peaksid asetsema eraldiseisvas moodulis, mille puhul oleks mõistlikum juba kasutada täismõõtmelist arvutit. Sellise mooduli saaks vajadusel paigutada tee äärde mõõtemooduli lähedale, kuid see muudaks süsteemi kohmakamaks ning ülesseadmise keerulisemaks. Täiendavalt on personaalarvutitel enamasti ka suurem voolutarve võrreldes lihtsamate arendusplatvormidega.

Järgnevalt on välja toodud näited erinevatest arvuti variantidest, mida on võrreldud järgnevate kriteeriumide alusel (Tabel 6.1):

- mõõtmed - kuna loodav seade peaks olema minimaalsete mõõtmega, siis omab see suurt tähtsust;
- mass – mõjutab teisaldatavust;
- voolutarve - see määrab aku/toiteallika kasutamise võimalused;
- hind – mõjutab süsteemi kogumaksumust.

Tabel 6.1 Erinevate arvutite parameetrite võrdlus

Arvuti	Mõõtmed, mm	Voolutarve, W	Kaal, kg	Hind, €	Pilt
LPC-630F [63]	200 x 200 x 65	90	4,5	1591	
Lenovo IdeaPad U330p [64]	322 x 224 x 18	27 [65]	1,5	849	
Lenovo IdeaCentre H530s [66]	400 x 293 x 100	240	8,8	549 [67]	
GB-BXi7-4500 [68]	114 x 108 x 30	12,5 [69]	0,4	372 [70]	

Erinevad seadmed kasutavad erinevaid protsessoreid ning kuna põhiosa pilditööstusest tehakse just protsessori jõudlust, siis järgnevalt on välja toodud nende võrdlemiseks *CPU Mark* tulemused [71] (Tabel 6.2).

Tabel 6.2 Erinevate arvutite arvutusvõimsuse võrdlus

Arvuti	Protsessor	Protsessori taktsagedus	<i>CPU Mark</i>
LPC-630F	Intel Core i7-3520M	2.90GHz	4551
Lenovo IdeaPad U330p	Intel Core i5-4200U	1.60GHz	3310
Lenovo IdeaCentre H530s	Intel Core i5-4440	3.10GHz	6503
GB-BXi7-4500	Intel Core i7-4500U	1,8 GHz	3858[72]

Nendest andmetest on näha, et mobiilsed protsessorid on jõudluselt nõrgemad kui lauaarvuti omad, tarbides sealjuures ka vähem voolu. Esitatud valikust sobiks kõige paremini GB-BXi7-4500, arvestades selle jõudluse ja voolutarbe suhet. Olenemata, et mainitud arvuti toiteadapter on võimeline välja andma 65 W, ei kasuta platvorm kogu saadavat võimsust ka suure koormuse juures (suurim energiatarve 12,5 W testi teostamise hetkel).

6.2 Toide

Toitena, arvestades keskmist mõõteasukohta, kaaluti sisese akupaki kasutamist. Sisene akupakk oleks paigutatud ühe mõõtemooduli korpuse analoogi sisse ning see oleks ühendatud omakorda mõõtemooduli korpusega. Täiendavalt oleks võimalik ühendada (pikemate mõõtmisoperatsioonide tarvis) välise toite (autoaku) külge.

Valitud toitelahendus peab olema võimeline väljastama 5 V alalisvoolu pinget toitmaks nii kontrollerit kui ka erinevaid sensoreid.

Arvestades Raspberry Pi ja laseri voolutarvet tuli leida sobiv toitelahendus. Põhilised energia tarbijad antud prototüübis on:

- Raspberry Pi 5,0 W;
- laser 0,2 W;
- LED 0,1 W.

Arvutused on tehtud varuga, seega kogu süsteemi tarbimiseks loeti 6 W.

Toiteks oli mõeldud kasutada akupakki, mida oleks lihtne kasutada ja laadida ning sobiks kõikidele tarbijatele. Selliseks otstarbeks sobiks järgnev toode - Allpowers 20000 mAh Power Bank. Toote nimest tulenevalt on sellel 20000 mAh aku ning omab kahte väljundit:

- USB – 5 V@1 A;
- USB – 5 V@2,1 A.

Raspberry Pi töötaks selle aku pealt täisvõimsusel 16,6 tundi, mis oleks sobilik ühe pika mõõtmisoperatsiooni segamatu töö tagamiseks. Vajadusel on võimalik seda akut laadida ka jooksvalt (nt. operatsiooni teostava personali) sõiduki sigarisüütajast. Turul oleva akupaki kasutamise suurim eelis seisneb selles, et ei ole vaja eraldiseisvat akude laadimise kontrollerit.



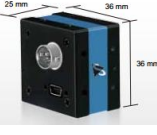


6.3 Kaamera valik

6.3.1 USB kaamera kasutamise võimalus

Kursuse projektis [20] kasutati Logitech QuickCam Ultra Vision veebikaamerat, mille resolutsioon on 1280 x 960 pikselit, selle tulemusena oli pildikvaliteet antud projekti jaoks piisav, aga edasiarendamiseks oli vajalik parema kaamera kasutamine. Mida rohkem on kaameral pikseleid, seda paremini on eristatav rehvide kuvatav laseri joon ja selle joone karakteristikud.

Arvestades sellega, et antud mõõteseade peab olema mõõtmetelt väike, peab ka komponentide valikul lähtuma nende mõõtmetest Järgnevalt on välja toodud mõned erinevad USB kaamera variandid, mida uuriti loodava mõõteseadme tarbeks (Tabel 6.3). Tabelisse on lisatud ka eelnevas projektis kasutatud kaamera, kuid sellele puudus info pildi võtmisageduse kohta – leidis ainult teavet, mis iseloomustas video hõivet. (30 kaadrit sekundis videot resolutsiooni juures 640 x 480 pikselit).

Tabel 6.3 Erinevate USB kaamerate võrdlus

Kaamera	Resolutsioon, px	Kaadris aeg, FPS	Mõõtmed, mm	Hind, €	Liides	
Logitech 961471-0403 [73]	1280 x 960		91 x 71 x 58	69	USB 2.0	
EO-5012BL [74]	2560 x 1920	6	36 x 36 x 20	475	USB 2.0	
DFK 72AYC02 [75]	2592 x 1944	6	36 x 36 x 25	218	USB 2.0	
CMLN-13S2M-CS [76]	1296 x 964	18	44 x 41 x 25,5	295	USB 2.0	
FL3-U3-8852C-C [77]	4096 x 2160	21	29 x 29 x 30	752	USB 3.0	

Antud võrdlusest leiab mitmeid väikesemõõtmelisi kaameraid, mis sobiksid loodava mõõteseadme jaoks. Laialt levinud USB 2.0 liides on pea kõikidel arvutitel olemas, aga USB 3.0 liidest leidub rohkem uuematel arendusplatvormidel ning seega on ka nende hind kõrgem.

Soovides parema resolutsiooniga pilte, kiire kaadrisageduse juures, siis andmemaht on ka sellest tulenevalt suurem, mis nõuabki mainitud paremat liidest. Täpsema joone tuvastamise tarvis on kindlasti kasu paremast sensori resolutsioonist, kuna sellisel juhul on joone kuju erinevused kirjeldatud enamate pikselite arvuga.

6.3.2 Raspberry Pi kaamera

Kuna esialgse platvormina sai valitud Raspberry Pi, siis sai ka kaamera valikul rõhutatud Raspberry Pi jaoks loodud kaamerale. See kaamera on analoogselt hea saadavuse ja hinnaga - 22€ [78]. Kuna kaamera on valmistatud spetsiaalselt sellele platvormile, siis on tal kergesti ligipääsetavad funktsioonid ning tarkvara, mille kasutamine võib õigetes olukordades parandada tehtavat pilti - eeskätt pildi järeltöötlemist silmas pidades. Tarkvara tagab mugava ligipääsu erinevate pildi atribuutidele nagu heledus, pildistatava ala määramine jne. Täiendava lisavõimalusena on võimalik pilte hõivata nii, et väljastatakse eraldi üksikute värvikanalite info, kuid sellega suureneb ka arvutusmaht enne pilditöötlust ning süsteem muutub aeglasemaks. Tulenevalt Raspberry Pi populaarsusest, on sellel kaameral suur kasutajaskond ja on ka loodud palju erinevaid teeke programmeerimiseks.

Mainitud kaamerast on saadaval kaks erinevat versiooni. Ühel neist on eemaldatud infrapunase valguse filter mille tulemusel saab ka vastavat lainepikkuse infot jäädvustada. See annaks võimaluse vajadusel kasutada infrapunast valgust väljastavat laserit, mis oleks keskkonna suhtes vähem tundlikum (näiteks mustuse ja lume suhtes). Teisel kaamera versioonil on aga infrapunase lainepikkuse filter olemas. Mõlemad kasutavad sama sensorit, mille resolutsioon on 2592 x 1944 pikselit.

Kaameramoodul asetseb eraldiseisval trükkplaadil, mis on mõõtmetega 25 x 20 x 9 mm. Lisaks on võimalik kaamera sensor plaadilt eemaldada ning kallutada seda plaadi normaali suhtes, mille tulemusel saab kaamera pildistava suuna suhtes kõrgust vähendada (Sele 6.3).



Sele 6.3 Raspberry Pi kaamera [78]

Kaameral on oma liides Raspberry Pi'ga, tänu millele ei ole vaja kasutada ära ühte kahest USB ühendusest Raspberry Pi plaadil. Katsetamise käigus ilmnes, et täisresolutsiooniga piltide võtmine on aeglane – maksimaalselt kuni 2 pilti sekundis. Ka hõivatava pildi ala vähendamine ei suurendanud piltide tegemise kiirust. Seetõttu sai üle mindud videopildi hõivamisele, mida on võimalik salvestada resolutsiooniga 1920 x 1080 pikselit 30 kaadrit sekundis.

Video jäädvustamisel kasutatakse erinevat porti kui pildivõtmisel. Mõlema pordi taga on riistvaral põhinevad kodeerimised. Pildi jaoks on JPEG kodeerija ja video jaoks on H.264 kodeerija. Need tagavad kiirema kodeerimise võrreldes protsessoriga, kuid samas on täiendav töötlus teatud olukordades liigne, kuna pilditöötuse jaoks oleks parim töötlemata pildi info. Selle maht on aga suur, mille tõttu nende andmetega ümber käimine on Raspberry Pi jaoks töömahukas ning tulemuseks on aeglane arvutustöö. Video pordi kiirus on parem ka seetõttu, et erinevalt pildi hõivest, kus toimub osaline järeltöötlus, mis tagab parema pildi kvaliteedi, puudub sellel järeltöötlus [79].

7 ARENDUSTARKVARA VALIK

HARRI PARKER

7.1 Esialgne süsteem

Kursuse raames loodud seadmes[20] oli programmiks esialgselt tarkvaras NI Vision Assistent tehtud programm, mis sai imporditud tarkvarasse NI Labview, kus sai edasi modifitseeritud koodi, et luua terviklik programm.

Esialgne ülesehitus programmile oli järgnev:

- laseri joone pildi mällu laadimine;
- taustapildi mällu laadimine;
- laseri joone pildist taustapildi maha lahutamine;
- tulemuse hallskaalasse viimine;
- hallskaalas pildi binaarkujule viimine;
- binaarpildil joone tuvastamine.

Järgnes arendus NI Labview'ga kasutades tavalist veebikaamerat, millega võeti mitmeid pilte. Iga programmi käivitamise juures tehti üks pilt nii, et lülitati laser välja, seejärel võttis programm kaamerast pildi ning seejärel pandi laser uuesti tööle. Kursuse projektis toimus kogu see tegevus manuaalselt. Antud mõõteseadme puhul hakkab vajadusel laseri väljalülitamist kontrollima arendusplatvorm.

Eelmainitud osa oli vajalik taustalahutuse tegemiseks, et saada üks pilt ilma laserjooneta, mis vähendas pildil olevat kõrvalist informatsiooni peale taustalahutust. Järgnevalt tegi pilditöötluste NI Labview tarkvaras loodud programm. See programm koosnes samadest osadest, mis esialgne NI Vision Assistent tarkvaras loodud programm.

Lõpptulemus kuvati sama tarkvaraga loodud kasutajaliidesega. Seal oli ära toodud ilmestamise mõttega nii esialgne pilt kui ka töödeldud pildid. Kuvatud olid ka muudetavad parameetrid pilditöötluste reaalajas seadistamiseks. Kõige olulisemana oli kuvatud tuvastatav rehvi turvise kõrgus millimeetrites. Selleks, et tulemust saaks arvutada, toimus eraldi justeerimine, kus mõõdeti kindla kõrgusega etalon-soont ja selle põhjal arvutati välja ülekandetegur pikselitest millimeetritesse teisendamiseks. Praeguses töös kirjeldatud

mõõteseadmel tuleb eraldi alamprogramm justeerimiseks, mida vastavalt vajadusele käivitatakse.

Loodud programm oli ka personaalarvutil käivitamiseks aeglane. Programmi oleks saanud veel kindlasti optimeerida ja ka hiljem kasutada juba selleks otstarbeks mõeldud NI Smart Camera't, mille pealt on võimalik otse koostatud programmi käivitada. Võttes arvesse, et loodud süsteem pidi olema minimaalsete mõõtmetega, siis NI kaamera jäi kohe valikust kõrvale oma suhteliselt suurte mõõtmete tõttu. Täiendavalt oleksid kaasnenum lisanduvad suured kulutused NI Labview tarkvara litsentsi (943 € [80]) ja ka NI kaamerate näol. See oleks tõstnud kogu lahenduse hinna ülemäära kõrgeks.

Järgneva näitena kaamera NI 1776C Smart Camera [81] (Sele 7.1):

- resolutsioon: 1600 x 1200 px;
- kaadrisagedus: 10 FPS;
- mõõtmed: 110 x 75 x 50 mm;
- hind: 4370 €.



Sele 7.1 NI 1776C kaamera [81]

7.2 OpenCV Python'is

Selles töös uuriti põhjalikumalt OpenCV teekide kasutamist koodi programmeerimiseks. Esialgu uuriti Python'i liidest OpenCV'le – põhiliselt on OpenCV kirjutatud C/C++ keeles, aga sellel on erinevad liidesed teiste programmeerimise keeltega nagu Python ja Java [82].

Paljud erinevad õpetused ja näited Raspberry Pi ja selle kaameraga töötamiseks olid just Pythoni programmeerimise keeles loodud.

Python keeles on mugav luua tarkvara mitmele platvormile korraga, kuna tema loodud liides töötab nii Linux'is kui ka Windows'is. Esialgu ei olnud täpselt määratletud, mis platvormi kasutama hakatakse seega otsustati programmeerimise keeleks valida Python. Lisaks on see keel lihtne ja kergesti kasutatav, sest selle kohta on palju näiteid.

Esialgu oli mure, et Python ei pruugi olla piisavalt kiire, aga täpsemal uurimisel selgus, et Pythoni keel ise ei mõjuta OpenCV funktsioonide ja protseduuride kiirust, kuna nad on kompileeritud C/C++ keeles ja Python on ainult funktsioonide välja kutsumiseks. Lisaks on olemas selline liides nagu Numpy, mis on mõeldud Pythonile matemaatilisteks arvutusteks. Numpy teekide kasutamine kiirendab Pythoni suuremahuliste arvutuste teostamist.

Peale mõningast katsetamist selgus, et mida keerulisemaks läheb töötlus ning kasvab vajadus täita rohkem erinevaid käskke, muutub Pythonis kirjutatud koodi täitmine liiga aeglaseks, et seda ei saanud enam soovitud rakenduse juures aktsepteerida. Põhilised tegevused, mida Python kood ise täitis, oli pildi võtmine ja ka üleüldine info liigutamine, mis kokkuvõttes muutus liiga ressursimahukaks. Prototüübi jaoks oleks esialgu piisanud saadud töötlemiskiiruseks kaks kaadrit sekundis, kuid täiendavate töötluste tulemusena langes see kiirus enamgi - ühe kaadri töötlemine võttis aega rohkem kui 5 sekundit.

7.3 OpenCV programmeerimine C++ keeles

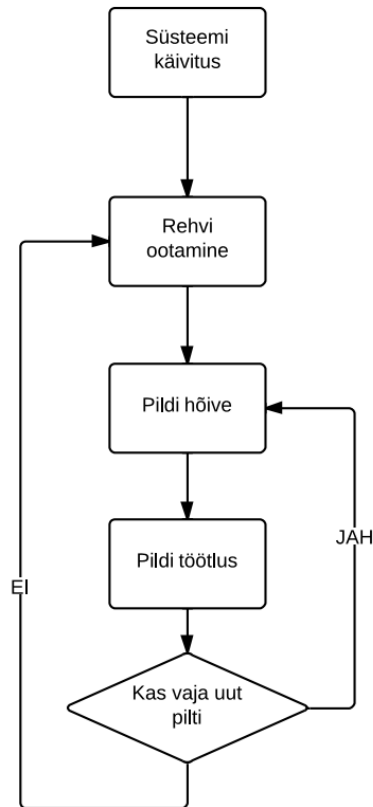
Arvestades, et OpenCV on vabavaraline, kaasaarvatud kommertsotstarbel, uuriti veel muid võimalusi selle kasutamiseks. Võttes arvesse, et OpenCV ise on C/C++ keeles kirjutatud, valiti järgnevas keeleks just see.

Üleminek C++-ile parandas programmi töökiirust märgatavalt, seega ülejäänud töö tehti seda programmeerimise keelt kasutades (peatükk 14).

8 ESIALGNE LAHENDUSSKEEM

HARRI PARKER

8.1 Üldine süsteem



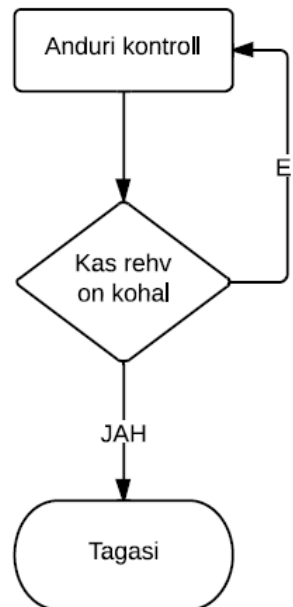
Sele 8.1 Üldine tarkvara skeem

Loodud mõttesüsteemi tarkvara töösüklid (Sele 8.1) võib jagada kolmeks peamiseks komponendiks.

- Rehvi kontroll – Põhiprogramm on sellel ajal ooterežiimis. Töötab ainult osa, mis tegeleb rehvi olemasolu kontrolliga. Selline tööjaotus peaks tagama optimaalse voolu tarbimise.
- Pildi hõive – See osa programmist tegeleb pildi hõivamisega, kas siis pilthaaval või terve videolõik, olenevalt pilditöötamise kiirusest ja kaamera pildi tegemise kiirusest.

- Pilditöötlus – Kõige olulisem osa on võetud piltide või video töötlus. See osa on kõige arvutusmahukam ja lõpus peaks andma väljundiks soovitud parameetrid nagu rehvi turvise kõrgus ja mustri joon.

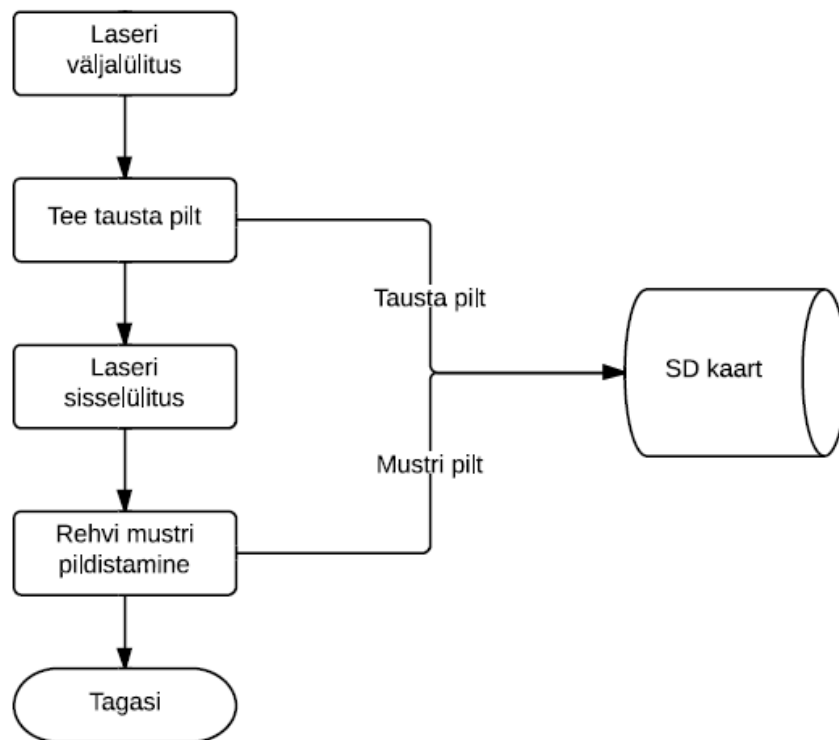
8.2 Rehvi kontroll



Sele 8.2 Rehvi kontrolli skeem

Rehvi kontroll on kõige väiksem osa kogu süsteemist. See põhineb fikseeritud intervalli tagant anduri kontrollimisel (Sele 8.2). Kui anduri kontrollist selgub, et rehvi on mõõtmise positsioonis, siis läheb programm põhiosasse tagasi ja jätkab seal järgneva suurema osaga, milleks on pildihõive. Samas kui rehvi ei tuvastatud, siis kontrollitakse teatud aja tagant uuesti.

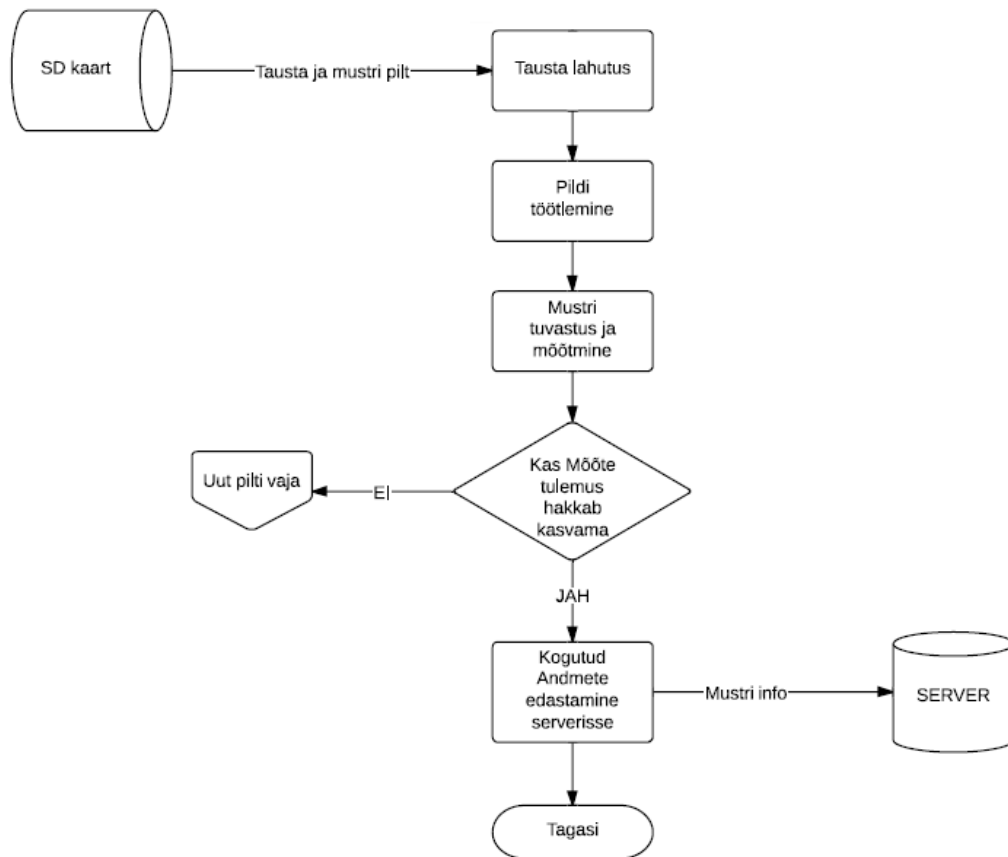
8.3 Pildi hõive



Sele 8.3 Pildi hõive skeem

Pildihõive käigus tuleb võtta nii taustapilt kui ka laserjoone pilt (Sele 8.3). Seega kõigepealt tuleb laser välja lülitada, kui ta juba seda eelnevalt veel ei ole. Edasi võetakse pilt ning laetakse operatiivmällu. Seejärel lülitatakse laser uuesti tööle ning võetakse pilt rehvi, mis omakorda salvestatakse operatiivmällu. Peale pildi hõivet tuleb edasi juba kõige olulisem programmi osa, milleks on pilditöötlus. Sellisel juhul kui pilditöötlusest selgub, et on vaja uut pilti, siis tuleb programm tagasi pildi hõivesse ning teeb uue pildi. Siis ei ole vaja enam uut pilti taustast võtta, kui aga peaks töökäigus selguma, et rehvi asukoha muutumisega muutub pilt niivõrd palju, et esialgne taustapilt ei ole enam piisav, tuleb käia läbi terve pildihõive programm ja võta uus taustapilt.

8.4 Pilditöötlus



Sele 8.4 Pilditöötluse skeem

Põhiline osa programmist on pilditöötlus, see osa on kõige keerulisem ja arvutusmahukam (Sele 8.4), mis koosneb järgnevatest põhietappidest.

- Taustalahutus – Selle käigus laeb programm mälust pildihõive programmis sinna salvestatud tausta ja laseri joone pildi ning seejärel lahutab laserjoonega pildist taustapildi, et alles jääks ainult laserjoone kujutis.
- Pildi töötlemine – Järgnevalt toimub saadud laserjoone pildi töötlemine sobivate filtritega. Toimub ka pildi halliskaalasse viimine ja sealt omakorda binaarkujule viimine, sest sellisel kujul on lihtsam joont tuvastada.
- Mustri tuvastus ja mõõtmine – Selle osa käigus leitakse mustri turvise joone ja baasjoone vaheline kagus. Arvestades rehvi liikumist saab jälgida kuidas baasjoone kõrgus pildis muutub. Esialgu hakkab selle kõrgus vähenema, kuni jõuab kõige madalama punktini, mis viitab õigele mõõtepositsioonile. Peale seda hakkab baasjoone kõrgus kasvama ning on teada, et rohkem töötlust ei ole

vaja ning uusi pilte pole vaja võtta. Peale optimaalse koha leidmist võetakse sealt kohalt mustri põhja ja baasjoone vaheline kaugus pikselites. Seejärel korrutatakse saadud pikselite arv vastava teguriga, et saada tulemus millimeetrites.

- Andmete edastus – Kui kõik töötused on tehtud ja mustri sügavus on teada, tuleb kogu info salvestada. Selleks on variant hoida neid mälukaardil või saata edasi serverisse. Arvestades, et internetiühenduses võib olla katkeid, tuleb kindlasti hoida andmeid ka puhvris ja neid enne mitte kustutada, kui on teada, et need on serverisse talletatud.

Peale info edastamist läheb põhiosa tagasi ooterežiimi uut rehvi ootama. Antud hetkel edastab Raspberry-Pi töötlemata pildi või video andmed ning pilditöötlamine teostatakse serveris. Katsetamise ajal oli ühendus loodud läbi LAN kaabli WiFi ruuterisse ning tulevases lahenduses toimub andmeedastus kasutades 3G modemit.

9 PILDITÖÖTLUSE PÕHIVÕTTED

HARRI PARKER

9.1 Pildi hõive võimalused

9.1.1 Pildi jäädvustamine ühekordselt või korruga mitmeid

Pilditöötlus algab kõigepealt pildi võtmisega. Antud kaameraga on võimalik järjest teha mitu pilti. Seega oli oluline määrata, kas teha üks pilt ja see kohe töödelda või koguda puhvrissa mitu pilti ning teha töötlus neile kõigile järjest. Kui pilthaaval teha, siis pärast igat pilti on võimalik hinnata, kas järgnevad on vajalikud, aga samas Raspberry-Pi kaamera käivitusae on piisavalt pikk, et võimaldada sujuvat kiiret tööd. Tehes mitu pilti järjest, on raskem defineerida vajalike piltide kogust ette ning enne töötlust on raske hinnata, mis positsioonis rehv on, kuigi see kiirendaks pildistamist.

9.1.2 Video salvestamine ja kaaderhaaval töötlus

Kui oleks soov saada võimalikult palju pilte rehvist, et tuvastada punkt, millal rehv on kõige optimaalsemas asendis mõõtmiste tegemiseks, oleks vaja luua video, mida hiljem kaaderkaadri haaval töödelda. See tegevus oleks väga ressursimahukas, eriti kuna ei ole teada video vajalikku pikkust. Selle tulemusel võib kaadreid koguneda liiga palju efektiivseks töötluks ning talletamine võtab rohkem andmeruumi ja selle edastamine üle 3G võrgu oleks raskem.

9.1.3 Kodeerimise tüüp

Pildi võtmisel kodeerib Raspberry-Pi pildi soovitud stiilis, millest mõned kasutavad riistavaralist kodeerimist ja osaliselt pakivad selle kokku. Järgnevalt on ülevaade võimalikest faili tüüpidest, mida Raspberry Pi kaamera kasutab.

- JPEG – Kuna Raspberry Pi on võimeline seda kodeerima riistvaraliselt, siis on see pildivõtmisel kiire ning ka pildi maht väheneb, kuna pilt pakitakse kokku. Samas selle käigus langeb ka pildi detailsus.
- BMP/PNG – Mõlemad variandid sisaldavad pildi täielikku alginformatsiooni, mis seletab ka pildi suuremat mahtu ja selle tõttu on arvutused Raspberry Pi jaoks ressursimahukamad.

- H264 – Video jaoks on Raspberry Pi peal olemas riistvaraliselt lahendatud kodeerija, mis suudab väljastada videot 1920 x 1080 resolutsiooniga 30 kaadrit sekundis. Sellest kõrgemat resolutsiooni see kodeerija ei võimalda.

Esialgset katsetused tehti JPEG tüüpi pildiga ning edasine arendustegevus kasutas juba H264 kodeeringuga videot.

9.1.4 ROI paika sättimine - resolutsioon

Pildi tegemise kiirust suurendati, vähendades kasutatava sensori ala. Selleks on Raspberry-Pi kaameral spetsiaalne 'roi' käsk millega on võimalik määrata pildistava ala suurust. Sellel on järgnevad eelised ja puudused.

- Laserjoone asukoht kõrguses võib arvutuste kohaselt muutuda 33 pikselit ja seda 9 mm turvise sügavuse kohta. Seega saaks pildi mahtu suurel määral kokku hoida.
- Kahjuks paljud programmeerimise teegid pildi võtmiseks Raspberry Pi kaameraga ei toeta huvipiirkonna seadmist ning määrata on võimalik ainult resolutsiooni.
- OpenCV pilditöötlus teegid võimaldavad määrata huvipiirkonna, mille puhul käib pilditöötlus ainult määratud piirkonnas.

Huvipiirkonnaga saab hästi näidata olulise ala pildist, mida on vaja ning vähendada seeläbi oluliselt pilditöötluse mahtu.

9.1.5 RGB kanalite kasutamine

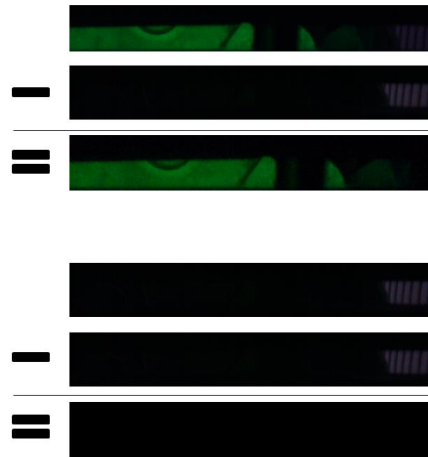
Variandina oleks kasutada Raspberry-Pi kaamera võimalust salvestada värvikanalite info kohe algul eraldi andmetena. See võimaldaks kasutada ainult ühte värvi kanalit - punast, kuna seadmes kasutatav laser on punane. See annaks võimaluse kõrvale jätta informatsiooni, mida otseselt töötamiseks ei ole vaja ning peaks kokkuvõttes tagama kiirema pilditöötluse. Kahjuks on värvikanali põhise pildi hõivamine hoopis aeglasem ja sel viisil pildi hõivamine ei ole otstarbekas.

OpenCV pilditööstusteegis on käsud, et pildist eraldada kindel värvikanali informatsioon. Pilt ise on kujutatud maatriksina millest on võimalik alammaatrikseid eraldada.

Kokkuvõtteks tuleb leida kõige optimeeritum viis, mis tagaks kiire pildistamise ja samal ajal oleks pildiga manipuleerimine kiire. Selleks tuleb kombineerida erinevad eelmainitud meetodid ning lisaks kasutada operatiivmälu pildi hoidmiseks, mis on kiirem kui mälukaardile kirjutamine ja sealt lugemine. Siinkohal on oluline jälgida pildi mahtusid, et ei kasutataks ära kogu operatiivmälu.

9.2 Lihttöötlus

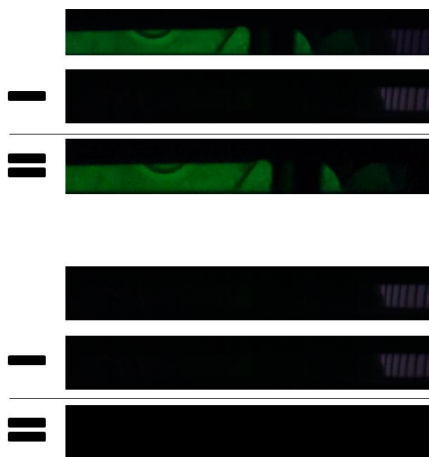
9.2.1 Pildilahutus



Esimesena toimub pildi lahtamine (Sele 9.1

Sele 9.1). Algul kui süsteem on ooterežiimis teeb kaamera pilte, et tuvastada auto kohale jõudmine kasutades pildi lahtamise funktsiooni. Kui kahe erineva pildi vahel on piisavalt suur muutus, siis süsteem reageerib auto kohalolu.

Kui muutust kahe pildi vahel ei ole tuvastada, siis lahtuse tulemus on must pilt (Sele 9.1).



Sele 9.1 Taustalahutuse näide. Esineb muutus (üleval). Muutust ei esine (all)

Järgnevalt lülitatakse laser tööle ja võetakse video rehvi ülesõitmisest. Lisaks tehakse töötluse käigus analoogne protsess – taustalahutus, kus lahutatakse esialgne pilt (ilma laserita) laseriga pildist. See võimaldab pildist kaotada ära liigse informatsiooni nagu üleliigne rehvi osa ja lisa valgus, mis pääseb mõõteseadmesse rehvi kõrvalt, kuna ei saa tagada täielikul vaateava katmist rehviaga.

9.2.2 Töötlamata pildi hallskaalasse viimine

Peale taustalahutamist tuleb viia pilt hallskaalasse. Selleks on olemas funktsioonid, mis seda heleduse või muu parameetri alusel teevad. See tegevus on eelnevalt vajalik, et saaks pildi edasi binaarkujule viia (Sele 9.2).



Sele 9.2 Pildi hallskaalasse viimine [83]

9.2.3 Hallskaalas oleva pildi binaarsele kujule viimine

Hallskaalas olevat pilti viiakse binaarkujule tavaliselt sel viisil, et võetakse skaalal teatav punkt, millest kõik heledamad osad ning antakse neile väärtus 0 ja kõik tumedamad osad omistatakse vastavalt väärtusega 255 (Sele 9.3). Seda väärtust, mille juures on piir, saab vajadusel muuta, et ära kaotada pildilt informatsioon, mida vaja ei ole. Selline informatsioon on näiteks lisapeegeldused, mis ei ole nii intensiivsed nagu rehvi pinnal olev laserjoon, mis on ainuke oluline osa pildist, mida on vaja. Binaarkujule viidud pildiga on edasist pilditöötlust teha lihtsam ja kiirem, kuna andmemaht on väiksem - seega ei vaja nii suurt arvutusvõimsust.



Sele 9.3 Pildi binaarkujule viimise näide [84]

Lisaks kindla väärtuse järgi binaarkujule viimisele on võimalik seda teha ka adaptiivselt. Seda on vajalik kasutada juhtudel, kui valgustus ei ole kõige ühtlasem ning mingi osa pildist on heledam, osa tumedam. Sellisel juhul leitakse sobiv väärtus jälgides selle pikseli ümbruses olevaid pikselite väärtuseid. Tumedamas alas on see väärtus madalam, milles ülejäänud pilt on must ja heledamas osas on see väärtus kõrgem, et kaasa tuleks vähem müra. Kuigi antud mõõteseadme puhul on laseri valgustus piisav, et tagada mustri joone eristuvuse ühtlus.

9.3 Erinevate filtrite kirjeldus ja valik

9.3.1 Müraeemaldusfiltrid

Vähendamaks müra pildilt, on võimalik kasutada filtreid. Selliseid filtreid on hea kasutada vähendamaks laserjoone sakilisust ja sellega tagada kergemini eristuv sirge joon. Nende kasutamine sõltub antud projektis just laserkiirest tekkiva joone puhtusest, kui selle ümber on palju müra, siis tuleb seda ühtlustada. Samas võib selle kasutamine kaotada olulist

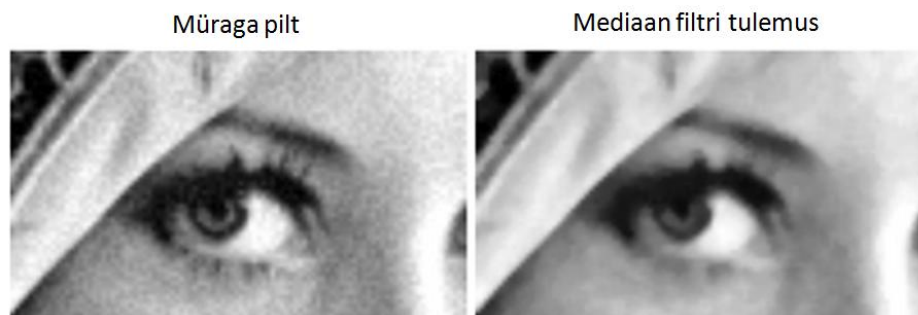
informatsiooni, kui rehvi turvise ja baaspinna kõrguse erinevus on väga väike või mustri põhjas on palju erinevaid kujutisi, mis peaksid kajastuma laserjoones, mitte aga olema ühtlustatud kokku. Seda filtrit tuleb kasutada enne binaarkujule viimist.

- Gaussi filter (Sele 9.4) – Müraeemaldusfilter, mis ühtlustab lähedalasetsevate pikselite väärtusi Gaussi jaotuse järgi. Selle tulemusel on pilt ühtlasem, aga samas läheb kaduma osa detailidest [85].



Sele 9.4 Gaussi filtri kasutamise näide [86]

- Mediaan filter (Sele 9.5) – On keskmestamise filter, mille puhul antakse pikselile tema ja ümbruskonna mediaanväärtus. See on hea filter eemaldamaks kindlat tüüpi müra, näiteks kui sensoril on üksikud vigased transistorid või süsteemis on mõni üksik mustuse tükk, mille puhul tekib üksikud erisused pildil [87]

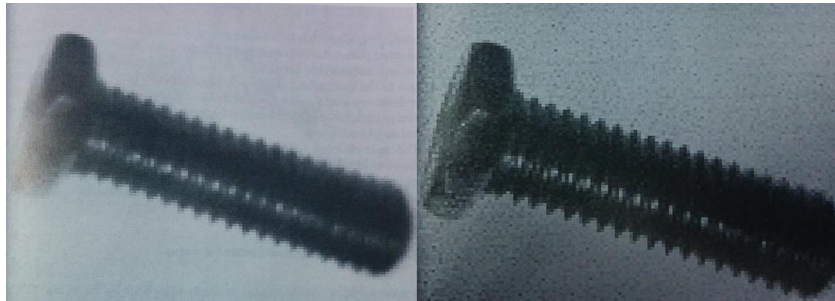


Sele 9.5 Mediaan filtri kasutamise näide [86]

9.3.2 Teravustamine

Kui eelnevad müraeemalduse filtrid muudavad pilti ja seal olevaid detaile ja kontuure udusemaks, siis on omakorda võimalik pilti uuesti teravustada kui vaja. Seda on võimalik teostada eelnevalt pilti veelgi hägustades ja siis selle pildi lahutamine originaalist. Selline

tegevus peaks paremini esile tõstma kontuuride detailsuse. Kahjuks on sellist tegevust raske üles seada, kuna pildi hägustamise tase on suhteline ja selle täpne määramine või üldistamine on keeruline. Seega loetakse seda tehnikat pigem pildi täiendamiseks, kui hägustatud pildi taastamiseks (Sele 9.6) [88].

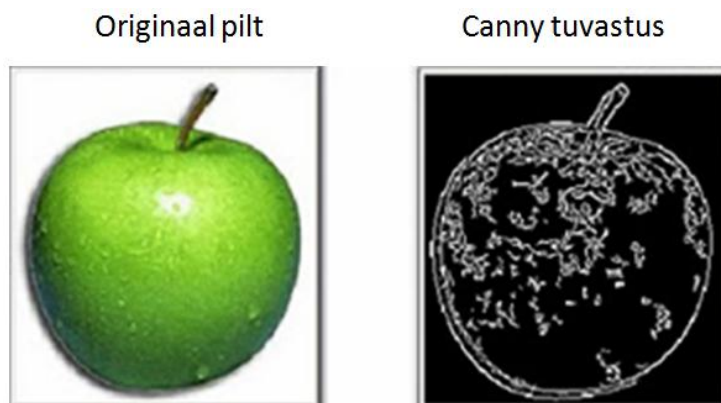


Sele 9.6 Hägustatud pildi teravustamise näide [88]

Tuleb ka jälgida müra tekke võimalusi, kasutades originaalpildi informatsiooni. Seega tuleb funktsiooni kasutamisel jälgida, kas pildi kvaliteet paraneb, võrreldes esialgse pildiga enne hägustamist.

9.3.3 Joonetuvastus filter

Filter on mõeldud selleks, et tuua välja kujutise ääred. Selline filter võimaldaks tavapildil tuua esile kujutiste kontuure ning oleks hiljem lihtsam tuvastada soovitud piirjooned. Seda filtrit tuleks kasutada enne binaarkujule viimist ning see tagaks kergesti eristuvad ääred (Sele 9.7). Probleemiks sellise filtri juures on see, et see võib lisada täiendavaid jooni pildile, mis tulevad kergesti eristuvates kujutistest, mitte aga laseri joonest. Sellega muutus pilt keerulisemaks ja raskemini töödeldavaks.



Sele 9.7 Serva tuvastuse näide kasutades canny meetodit [89]

9.3.4 Hõrendamine

Hõrendamine baseerub sellel, et pildilt võetakse ära informatsiooni äärtelt – valged osad muudetakse mustaks. Seda tehakse seni, kuni jääb alles võimalikult minimaalne joon ehk enam ei ole midagi ära võtta (Sele 9.8). Enamasti üritatakse alles jätta ühe pikseli laiune joonskelett. Kõige parem oleks seda läbi viia sümmeetriliselt ning samal ajal tagada joone jätkuvus, et skelett oleks pidev.[88]



Sele 9.8 Hõrendamise näide [90]

Antud laseri karakteristikutest tulenevalt ja peegelduste tõttu ei ole laserjoon väga peenike. Seda on küll võimalik fokuseerida, aga ideaalset joont ei ole võimalik saada, kuna kaamerani jõuab pilt läbi mitme peegelduse.

Kuna laseri joone pilt on lai siis, et see ei häiriks kiiret tuvastust, tuleks jooni hõrendada ning saada ainult laserjoone keskjoon. Sellisel juhul oleks arvuliselt lihtne leida baasjoon ja ka turvise blokkide jooned ning määrata nende vaheline kaugus.

9.4 Tulemuse esitamine

9.4.1 Rehvi turvise tuvastamine töödeldud pildilt

Esmalt tuleb laserjoone järgi tuvastada, kus on rehvi turvise pind, mille suhtes turvise kõrgust hinnata. Enamasti langeb see samasse piirkonda. Turvise pinna asukoha järgi saab hinnata, kas rehvi on õiges positsioonis. Rehvi turvise pinnajoon on minimaalses punktis kui rehvi raadius on mõõtekohaga risti. Sellisel juhul on kõige suurem koormus mõõtepinnal ja rehvi muster on vaateavaga risti.

Kui rehvi alles jõuab, siis on pind kõrgemal miinimumist ja siis kui rehvi üle on jõudnud, siis joon tõuseb taas üles. Hetk, kus turvise pinnajoon on minimaalses punktis, on kõige optimaalsem mõõta rehvimustri sügavust. Selleks, et leida seda punkti, tuleb teha järjestiku mitu pilti ning leida neist, millal on turvise pind miinimumis.

Kui pind on miinimumis, tuleb edasi töödelda pilti ja leida baasjoone täpne asukoht pikselites. Selliselt lähenedes väheneb arvutusmaht, kuna ei otsita baaspinda nendelt piltidelt, mis ei hoiaks endas olulist informatsiooni.

9.4.2 Rehvi turvise kõrguse arvuline väärtus

Teades mitu pikselit on kahe joone vahe, saab selle ümber arvutada millimeetritesse. Selleks tuleb eelnevalt süsteem justeerida, et saada arvuline ülekandetegur, mitu pikselit on üks millimeeter. Selleks oleks kaks varianti:

- esiteks võtta fikseeritud sügavusega soon ja leida kui mitu pikselit on tekkivate joonte vahe;
- teise variandina oleks võimalik luua seadistustabel. Mõõtes eelnevalt mitmeid rehve ja siis katsetada neid mõõtesüsteemiga, saades nii suur hulk andmeid eelmõõdetud soone sügavuste kohta. Nendest andmetest on võimalik interpoleerida tulemus.

Esimene variant muudaks seadistamise lihtsaks ja kiireks, aga teine variant oleks täpsem ja vastaks reaalsele olukorrale paremini. Parima kompromissi annaks see, kui kasutada ettelõigatud kindla sügavusega sooni, mille sügavused oleks erinevad ja kataks mustri sügavuse ulatuse. See võimaldaks kiiret kalibreerimist ühe korraga ja annaks piisavalt palju erinevaid andmepunkte täpsemaks arvutamiseks.

9.4.3 Muude rehvi parameetrite hindamine

Laserjoone pildi järgi oleks võimalik teha veel muid hinnanguid rehvi olukorra kohta. Sellised nagu rehvirõhu info. Näiteks, kui rehvis on ülerõhk, siis rehvi kuulub keskelt kiiremini kui rehvi äärtel. Kui on alarõhk siis on kulumise tendents vastupidine. Oleks ka võimalik jälgida, kas rehvi kuulub ühest äärest kiiremini kui teisest, mis viitaks valesti reguleeritud sildadele. Sellised lisafunktsioonid vajavad kindlasti suuremat arvutusmahtu, mida võiks teha hiljem, kogutud andmete põhjal, kuna reaajas sellist analüüsi oleks liiga arvutusmahukas läbi viia ning selle tulemusel muutuks kogu programmi läbiviimine aeglasemaks.

9.4.4 Numbrimärgi info lisamine

Mõõtesüsteemi kõrvale eraldi peaks käima moodul, mis tegeleks sõiduki registrimärgi fikseerimisega. Kui korraldatakse rehvide kontrolloperatsioone, siis auto fikseerimine ei ole nii oluline, kuna seal juures on ametnik, kes märgib ära, mis autot parasjagu mõõdetakse. Lõplik mõõteseadme eesmärk oleks selle autonoomne töötamine - siis on kindlasti vajalik kindlaks teha, millisele autole vastav rehvi kuulub. Seda saaks teha, kas tavalise kaameraga ja siis hiljem kui on huvi kindlaks teha, mis autole rehvi kuulus siis on kaamera pildilt seda näha. Teine variant oleks kasutada automaatset numbrimärgi lugejat. Võimalik oleks teha omapoolne erilahendus selleks või siis kasutada turul olemas olevaid lahendusi (Sele 9.9).



Sele 9.9 Näidis numbrimärgi automaatne tuvastussüsteem 3M ALPR [91]

Mõlema kaamera korral tuleb need sünkroniseerida rehvi andmetega. Üheks võimaluseks oleks kasutada ajamärgist, mille järgi oleks võimalik hiljem kokku viia pilt autost või selle numbrimärgist, rehvi andmetega. Teise võimalusena oleks võimalik kasutada

sünkroniseerimise signaali. Seda oleks võimalik korraldada Raspberry-Pi üldotstarbeliste ühenduste kasutamisega.

10 ÜLEVAADE ANDEMEDASTUSE VÕIMALUSTEST

HARRI PARKER

10.1 Andmebaasi lahendus

Esimese võimalusena uuriti SQL serveri loomist Raspberry-Pi peale viisil, et saaks andmetele üle interneti ligi. Probleemiks selle lahenduse juures on turvalisuse ja pideva töös oleku tagamine, mis hõivab suure osa olemasolevast arvutusressursist.

Selleks, et koormust arendusplatvormil vähendada, võib luua SQL serveri veebiserverisse. Selle tulemusena peaks platvorm tegelema andmete edastusega serverisse, ega ei peaks ise korraldama andmehaldust. Lisaks sellele on võimalik veebiserver pidevalt töös hoida, mille tulemusel saab andmetele igal ajal ligi ja ka kogutavad andmemahud saavad olla suuremad. Serveris saab talletada andmeid kauem ja neile on tagatud pidev ligipääs.

10.2 Info saatmine üle võrgu

Lihtsam variant oleks andmeid edastada üle võrgu lähedal asuvasse arvutisse, kasutades selleks LAN kaablit. Selle tulemusel saaks sülearvutisse saata infot, mida seal olev programm kuvaks kasutajale. Sellise süsteemi kasutamine oleks küllaltki tülikas, kuna on eraldi kaablit vaja. Samas selle kasutamine võib olla arvestatav, kui süsteemi toide tuleb samast kohast - näiteks kontrollija autost.

Variandiks oleks info edastamine, kasutades selleks traadita võrku (WIFI). Selle kasutamine oleks lihtsam, kuna siis oleks seade rohkem ühtsem ning kasutades akusid toitevoolu saamiseks süsteemile, ei ole ka muid lisajuhtmeid vaja.

Mobiilse interneti kasutamine pakuks aga rohkem võimalusi. Sellisel juhul oleks andmeid kerge serverisse saata ilma, et peaks looma kohtvõrgu, kuhu oleks vaja ühendada moodul kaabli või traadita ühendusega. 3G kasutamisega ei pea eelnevalt mingit muud infrastruktuuri looma, et moodulit ühendad andmehaldussüsteemiga - veebiserveri või siis lihtsalt arvutiga platvormile ligipääsemiseks. Arvestades, et Eestis on 3G võrk väga levinud, ei tohiks olla arvestatavaid probleeme ühendusega. Võimalik oleks kasutada järgnevat, laialt levinud 3G modemit, USB liidesega HuaweiE220 (Sele 10.1).



Sele 10.1 3G modemi HuaweiE220 pilt [92]

10.3 Andmete turvalisus

Olenemata andmehaldussüsteemist tuleb tagada selle turvalisus ja samuti mõttesüsteemi enda turvalisus. Kui teha ligipääs platvormile endale, siis tuleb tagada, et sinna ei saaks ligi keegi võõras, kes võib tahta andmeid muuta või kasutada neid muul mitte sihtotstarbelisel viisil. Kasutades info hoidmist veebiserveris, tuleb selle turvalisus tagada. Ligipääs on tagatud ainult neile inimestele, kellel on selleks õigused. Kui on mitmeid mõõteseadmeid, siis sellisel juhul tuleb ligipääsu piirata kindlale andmebaasi osale. Turvalisuse tagamiseks võib andmed krüpteerida. Hoitavad andmed sisaldavad peale rehvimustri infot ka sõiduki numbrimärki või pilti sõidukist. Rahvusvaheliselt on probleemiks automaatsete numbrimärkide lugejad, kuna neid peetakse privaatsuse rikkumiseks, siis tuleks olla ettevaatlik nende andmetega.

11 KLIENTRAKENDUS

HARRI PARKER

11.1 Erinevad klientrakenduste tüübid

11.1.1 Arvutiprogramm

Esimeseks variandiks klientrakenduseks oleks tavaline programm, mis jookseks personaalarvutis, kas siis Linux või Windows operatsioonisüsteemis. Info, mida programm kasutajale kuvab tuleks andmebaasist. Kas siis veebiserveris olevast andmebaasist või siis platvormi peale loodud SQL serverist. Selline variant oleks alustuseks parim, kuna oleks mugav luua eriti Linux baasil, kuna Raspberry-Pi ise kasutab samuti Linux'it.

Lisavariantidena oleks võimalik luua platvormi ja arvuti vahel püsiv ühendus ning kuvada reaaliajast infot, mida arendusplatvorm edastab. Seda saaks kasutada näiteks Politsei rehvimõõtmise operatsioonides, kus on inimene jooksvalt tulemusi jälgimas. Lisaks võib selline programm lugeda infot mälukaartilt ja seda kuvada. Selline variant sobiks katsestaadiumis, aga hilisem kasutamine oleks see ebamugav.

Erinevaid arvutisüsteeme, mille jaoks on vaja kasutaja liidest:

- Windows;
- Linux;
- Mac OS.

11.1.2 Mobiilirakendus

Kasutades veebiserveris olevat andmebaasi, siis oleks võimalik luua ka rakendusi erinevatele platvormidele. Eriti oleks sellisest variandist kasu, kui luua rakendusi mobiilsetele platvormidele, nagu on nutitelefonid või tahvelarvutid. See suurendaks kättesaadavust ja ka kasutusmugavust arvestades, et tänapäeval on enamustel inimeste sellised nutiseadmed olemas. Erinevad mobiilsed platvormid, millele tuleb tarkvara luua, et tootel oleks laialdane tugi:

- Android;
- Windows Mobile;
- iOS.

11.1.3 Veebipõhine kasutajaliides

Mugavaks kasutamiseks on võimalus ka luua veebi kasutajaliides. Luues veebileht info kuvamiseks, siis on võimalik igale platvormile sama liides tuua. Ainuke, mida peaks muutma on veebiliidese formaat, kuna nutiseadmete ekraanid on üldjuhul väiksema ekraaniga kui personaalarvutid. Sellise liidese kasutamine tagab ka selle, et kasutaja ei pea hakkama mingeid lisaprogramme oma seadmesse laadima ega paigaldama. Selline lahendus oleks kõige mugavam inimestel kasutada, kuna tegu on ainult info vaatamisega ja andmeid sisestada ei ole vaja.

11.2 Klientrakenduse ülesehitus

11.2.1 Baasfunktsioonid

Klientrakendus peaks algul täitma kõige peamisi funktsioone.

- Kuvama rehvi turvise kõrguse.
Kõrgus võiks olla kuvatud kõige minimaalsemas ja maksimaalsemas kohas ning ka terve pinna keskmine.
- Kuvama auto numbrimärgi või pildi.
Auto informatsioon võiks olla kuvatud võimalikult lihtsalt, et mitte kasutajat informatsiooniga liigselt koormata.
- Kuvama rehvi mustri kuju laserjoonena.
Laserjoone kuvamine võimaldaks manuaalset kontrolli. See info võib olla lihtsalt andmepunktid, mis kasutajaliideses kuvatakse joonena või siis originaaljoone pilt.

11.2.2 Lisafunktsioonid

Lisaks baasfunktsioonidele saaks sinna lisada veel mustri kulumise info ja järelduse sellest infost. Kuigi laserjoonelt võib see info olla kergesti nähtav oleks kasutusmugavuse tagamiseks lisatud ka teave selle kohta.

Kui on olemas numbrimärk siis võib ka internetist teha koheselt päringu auto ülevaatusse ja liikluskindlustuse kehtivuse kohta.

12 MÕÕTEMOODULI KONSTRUKTSIOONI PROJEKTEERIMINE

OLIVER METS

12.1 Optilise süsteemi paigutus

Optiline süsteem on mooduli kõige prioriteetsem osa ning seetõttu defineerivad selle alamsüsteemi mõõdud ja tingimused mõõtemooduli ülesehituse. Optilise süsteemi paigutus põhineb peatükis 5.7 käsitletud kaamera ja laseri teekondade arvutuse tulemusena. Seal leitud peegli-, laseri ja kaameratugede asukohad tuleb kajastada mõõtemooduli alusplaadil saavutamaks reaalsel mõõtemoodulil samasugune laseri ja pildi peegeldumine, tagamaks soovitud mõõtmistulemuse ja täpsuse.

12.2 Elektroonika

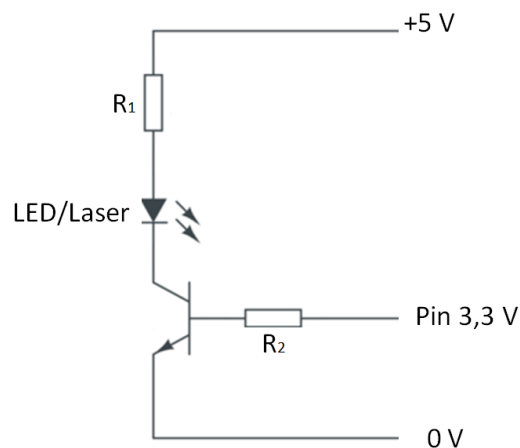
Mõõtemooduli tööd ja mõõtmisprotsessi juhib juhtarvuti/kontroller. Mõõtemooduli sisselülitamisel käivitub juhtelektroonika; laser ja pilditöötlus on ooterežiimis. Rehvi tuvastamisel kaamera abil, lülitatakse sisse laser. Kuigi lülitus- ja sisendsignaali juhtimine toimub juhtarvutis, on tarvilik elektroonikaskeem, mis muudab väljundsignaalid sobivateks (voolutugevuse suurendamine) erinevate komponentide vahel. Täiendavalt signaalide kohandamisele tuleb lahendada ka iga süsteemi osa nõutava toitepinge saadavus.

Elektroonika projekteerimise juures tuleb arvestada ka erinevate komponentide temperatuuritaluvust, kuna seadet on plaanis kasutada aastaringselt erinevates tingimustes, kus temperatuur võib langeda seadme kasutamisel kuni -30 kraadini talvel ja +35 kraadi suvel.

Kaaluti ka võimalust kasutusele võtta kütteleme, kuid see jäeti kõrvale, kuna temperatuuride erinevusest tulenevalt tekib probleem õhuniiskuse kondenseerumisega, millel on elektroonika komponentidele hävitav mõju.

12.2.1 Laseri lülitus

Lasert pole võimalik otse kontrolleri lülitada, kuna laseri tööks tarvilik vool on suurem kui kontrolleri väljund seda edastab – Raspberry Pi puhul 16 mA 3,3 V juures [93]. Lülitamiseks on võimalik kasutada, kas transistori või releed. Arvestades, et lülitatavad ja juhitavad pinged on suhteliselt väikesed (relee lülitamiseks on tarvis minimaalselt 6V), siis on mõistlikum kasutada transistori. Täiendav eelis on transistori lülituste kiirus, mis releel puhul jääb mitme suurusjärgu võrra aeglasemaks.



Sele 12.1 Raspberry Pi GPIO väljundvoolu võimendamine

Valitud laser töötab 3 voldi juures ning selle voolutarve on 40 mA. Laseri toiteks on võimalik kasutada Raspberry Pi väljundit või siis saada toide otse vooluallikast. Fikseerimata esialgu allika tüüpi, on mõistlik kasutada arvutuste juures 5 V väljundit (Sele 12.1).

Leidmaks sobiv takisti väärtus, kasutati järgnevat valemit:

$$R_1 = \frac{U}{I} = \frac{5-3}{0,04} = 50 \Omega, \quad (12.1)$$

kus

R - kasutatav takisti väärtus (Ω),

U – soovitud pingelang takistil (V),

I – maksimaalne lubatav vool pingelangu juures (A).

Kasutatava takisti minimaalse nimivõimsus leiti läbi järgmise valemi:

$$Q = I^2 \cdot R = 0,04^2 \cdot 50 = 0,08 \text{ W}, \quad (12.2)$$

kus

Q – võimsus (W).

Laseri juhtimiseks kontrolleriilt tuleb kasutada transistori. Arvestades soovitud tulemust voolu juhtimiseks, valiti transistor, mille võimendustegur on 200. See tähendab, et laseri tööks vajaliku voolu tagamiseks on vaja transistori baasi sisendvool määrata.

$$\beta_F = \frac{I_C}{I_B} \Rightarrow I_b = \frac{I_C}{\beta_F} = \frac{0,04}{200} = 0,0002 \text{ A} = 0,2 \text{ mA} \quad (12.3)$$

Piiramaks Raspberry Pi väljundvoolu suurust tuleb transistori ees kasutada takistust, mille suurus leiti järgneva arvutuse tulemusena:

$$R_2 = \frac{U}{\beta_F} = \frac{3,3}{0,0002} = 16500 \text{ } \Omega = 16,5 \text{ k}\Omega \quad (12.4)$$

Kasutatava takisti nimivõimsus leiti järgnevalt:

$$Q = 0,0002^2 \cdot 16500 = 0,00066 \text{ W} \approx 0,7 \text{ mW}$$

12.2.2 Rehvi tuvastamine

Rehvi tuvastamiseks oli esialgse plaanina kasutada IR andurit, kus väljasaadetav kiirgus peegelduks rehvi pinnalt tagasi vastuvõtjasse ja seeläbi fikseeritakse rehvi kohalolek.

Katsetused IR anduri mooduliga tõestasid, et rehvi pind neelas kogu kiirguse, peegeldamata seda tagasi andurisse ning rehvi tuvastamine ei õnnestunud.

Variandina kaaluti ka mehaanilist (mikro)lülitit mooduli pealispinnal oleva katteplaadi all. Rehvi peale sõites vajuks plaat alla ning suruks lülitile – fikseerides sellega rehvi olemasolu. Lahenduse kahjuks mängib mehaanilise liikumise tagajärjel lüliti kulumise ja purunemise oht. Lisaks veel plaadi liikumise tagamine ning vee ja tolmukindlus.

Järgnevalt kaaluti ultraheli anduri mooduli kasutamine (Sele 12.2). Lahendusel puuduvad liikuvad detailid ning voolutarve on suhteliselt madal. Turul leidub saatjaid/vastuvõtjaid, mida saab pinna sisse uputada; neid on ka vee- ja niiskuskindlaid. Süsteemi/lahenduse miinuspoolena on täiendava elektroonikaskeemi vajadus, mis teostab ultraheli saatja ja vastuvõtja tööd ning digitaliseerib väljundsignaali.



Sele 12.2 Ultraheli kauguse mõõtja [94]

Analüüsidest töökindlust ja kasutusmugavust kaaluti ka survetundliku anduri kasutamist (Sele 12.3). Erinevalt mikrolülitist puudub lahendusel mehaaniliselt liikuvad komponendid. Edasise laiendamise juures on võimalik tekitada kahe-kolme suurema koormusdiapasooniga survetundliku takistusliku anduri abil telje kaalu tuvastamise funktsioon.

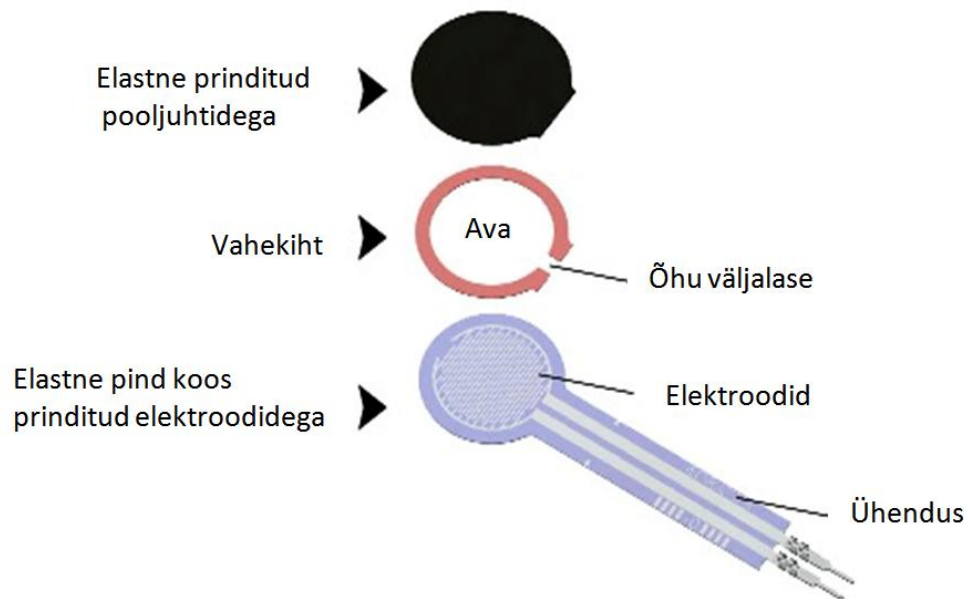
Käesolev lahendus analüüsiks ja rakendaks maha- ja pealesõidu juures mõlemal pool ühte andurit, fikseerimaks rehvi tulekut ning minekut, mis lülitab mõõtemooduli töörežiimi ning hiljem ooterežiimi.



Sele 12.3 Survetundlik takisti [95]

Takistusel põhinev surveandur koosneb kolmest kihist, kus alumisel kihil on elektroodid, keskmiseks on distantse hoidev kiht ning pealmisel kihil on pooljuht (Sele 12.4). Andurile

survet avaldades kaob lõpmatu takistus elektroodide vahel, tänu pooljuht kihile, mis hakkab voolu juhtima.



Sele 12.4 Survetundliku takisti ülesehitus [96]

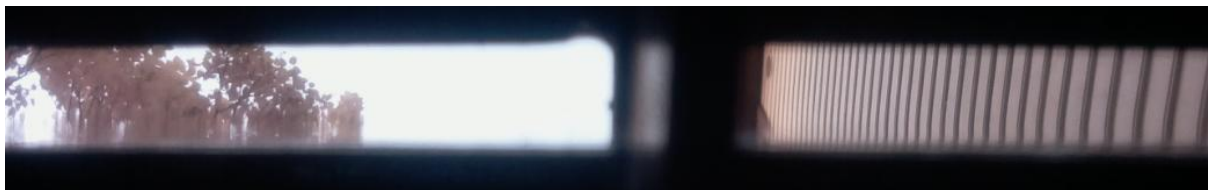
Kuigi takistile ei mõjuks kogu sõiduki raskus, siis korduv suur koormamine võib tõenäoliselt rikkuda selle ehitust – silmas pidades distantsi hoidvat kihti, mis võib koormamiste tulemusena lõpuks plastselt deformeeruda ühendades seeläbi elektroodide ja pooljuhi kihi jäädavalt.

Lõpuks analüüsiti võimalust, kasutada olemasolevat kaamerat väliskeskkonna liikumise tuvastamiseks. Selle teostamiseks võetakse ja analüüsitakse pidevalt uusi kaamera pilte ning sellest tulenevalt suureneb volutarve. Liikumise tuvastamiseks kasutatakse pilditötluse taustalahutamise meetodit. Kui eelmise ja järgneva pildi erinevus on piisavalt suur (nivoo määratakse katsetuste tulemusena), siis fikseeritakse väliskeskkonna muutus. Probleem tekib pimedal ajal, valgustamata kohas mõõtmisi teostades, sest siis ei suuda kaamera eristada seda momenti kui auto moodulile peale sõidab. Täpsemalt on erinevate piltide lahutamisest räägitud alampeatükis 9.2.1.

Järgnevalt on välja toodud võimalikud olukorrad.

- Päevane aeg:

- sõiduk tuled ja väline valgustus mõjutavad kaamera pilti vähe.
 - Hele pilt (Sele 12.5)



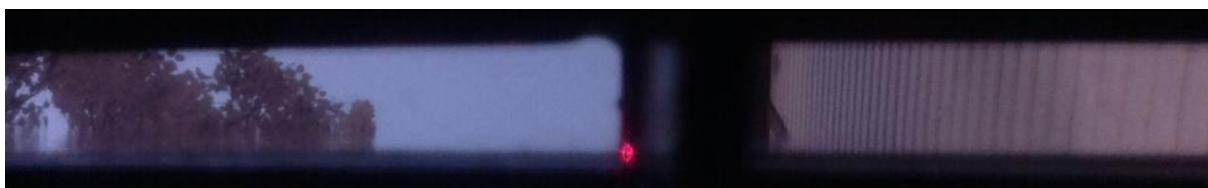
Sele 12.5 Päevane aeg - auto puudub

- Sõiduki saabudes mõõtemooduli kohale, muutub kaamera poolt nähtav pilt täielikult ning laser lülitatakse sisse ja alustatakse mõõtmisega.
 - Tume pilt (Sele 12.6)



Sele 12.6 Päevane aeg - autoga

- Öine aeg (valgustatud kohas):
 - Sõiduki tuled ja väline valgustus mõjutavad kaamera pilti vähe.
 - Keskpärase heledusega pilt (Sele 12.7)



Sele 12.7 Hämar aeg - auto puudub

- Sõiduki saabudes mõõtemooduli kohale, muutub kaamera poolt nähtav pilt täielikult ning laser lülitatakse sisse ja alustatakse mõõtmisega.
 - Tume pilt (Sele 12.8)



Sele 12.8 Hämar aeg - autoga

- Öine aeg (valgustamata kohas)
 - Sõiduki tuled ja väline valgustus mõjutavad kaamerat rohkem, kuid mitte piisavalt, et käivitada mõõtesüsteem ekslikult.
 - Tume pilt (Sele 12.9)



Sele 12.9 Öine aeg – auto puudub

- Sõiduki saabudes mõõtemooduli kohale, ei muutu kaamera poolt nähtav pilt ja sõiduki pealesõitu ei fikseerita
 - Tume pilt (Sele 12.10)



Sele 12.10 Öine aeg – autoga

Tekitamaks piisava erinevuse igas võimalikus olukorras lisatakse mõõtemoodulile rohelisel lainepikkusel töötav valgusdiod, mis on suunatud kaamera nägemisväljale mõõtemooduli kohale. Rehvi lähenedes on kaamerapildist näha peegeldunud rohelist valgust, mis tekitab suurema erinevuse tuvastamiseks liikumise ka öisel ajal (Sele 12.11).



Sele 12.11 Öine aeg - autoga. Koos rohelise valgusega

Rohelise lainepikkuse kasutamine on põhjendatud kaamera sensori suurimast tundlikkusest vastaval lainepikkusel (5.5.2 Laseri lainepikkus).

Valitud roheline LED (lainepikkus 523 nm) töötab 3,3 V juures ning voolutarve on 20 mA.

LED'i juhtimiseks teostati analoogne arvutuskäik, nagu seda tehti laseri lülitamiseks (12.2.1), voolude ja pingete leidmiseks ning sobilikud parameetrid on sama ühendusskeemi puhul:

- LED'i ees olev takisti $R_1=85 \Omega$;
- transistori ees olev takisti väärtus $R_2=33 \text{ k}\Omega$.

12.3 Mooduli korpuse projekteerimine

Eesmärgiks seatud lahendus eeldas, et mõõtesüsteem on gabariitmõõtmetelt sarnane kiirustõkkega ning sellest tulenevalt on defineeritud selle dimensioonid. Seetõttu on mõistlik koostada süsteem koha peal erinevatest moodulitest (seda nii kaalu kui ka transpordiks eraldatava ruumi suurust silmas pidades). Töö- ning ka vandaali- ja lohakusekindluse suurendamiseks võeti vastu otsus, et väljaulatuvaid komponente süsteemil olla ei tohi. Välimuse poolest peab süsteemil olema kolme tüüpi mooduleid:

- mõõtemoodul;
- elektroonika ja toitumoodul;
- otsamoodul.

Mõõtemooduli korpuse peamine töö on kaitsta selle sees olevat optikat ja elektroonikat sõidukite koormuse eest, mis mõjub läbi rehvi mooduli pealispinnale. Korpus peab olema piisavalt jäik, kuid ka kerge, arvestades teisaldatavuse vajadust.

Korpuse ehituse juures sai kaalutud erinevaid konstruktsioonilahendusi, materjale kui ka nende erinevaid paksusi.

Mõõtemooduli korpuse puhul tegi projekteerimisülesande keerulisemaks vajadus tekitada vaateaken korpuse pealispinna sisse, kust leviks väliskeskkonda laseri mõõtejoon ning kaamerale vaateväli ei oleks piiratud. Täiendava piiranguna on korpuse sees peegleid, mis tähendab, et ei ole võimalik paigutada meelevaldselt sisemisi tugesid, sest need segaks peeglite asetust ning tekitaks varjusid laserile ja kaamerapildile.

Kõik projekteeritud lahendusevariandid on sarnase ülesehitusega, kuid oluliste erinevustega toestamise ning materjali paksuste osas.

Esimeste profiilikatsetustega oli selge, et toestatavuse probleemist tulenevalt on tarvis kasutada paksemaid materjale, mis tähendas omakorda üksiku mooduli massi kasvu. Sellest tulenevalt võeti vastu otsus paigutada optikasüsteem ja elektroonika eri moodulitesse.

Sellega tagati piisav konstruktsiooni tugevus, teisaldamiseks sobilik mooduli mass ning moodulitepõhine lahendus. Lähenemise eeliseks on üksikute moodulite ristikasutus ning hõlpsam asendamine juhul, kui kumbki osa vajab täiendavat parandamist/täiendamist.

Projekteerimismahu kasvamine oli suhteliselt marginaalne, võttes arvesse, et elektroonika moodul pidi olema analoogse ülesehitusega. Täiendavalt saab süsteemiga eraldi ühendada elektroonika- ja toitemooduleid vastavalt vajadusele, mis tuleneb mõõtetöö perioodi kestvusest või temperatuuripiirangutest.

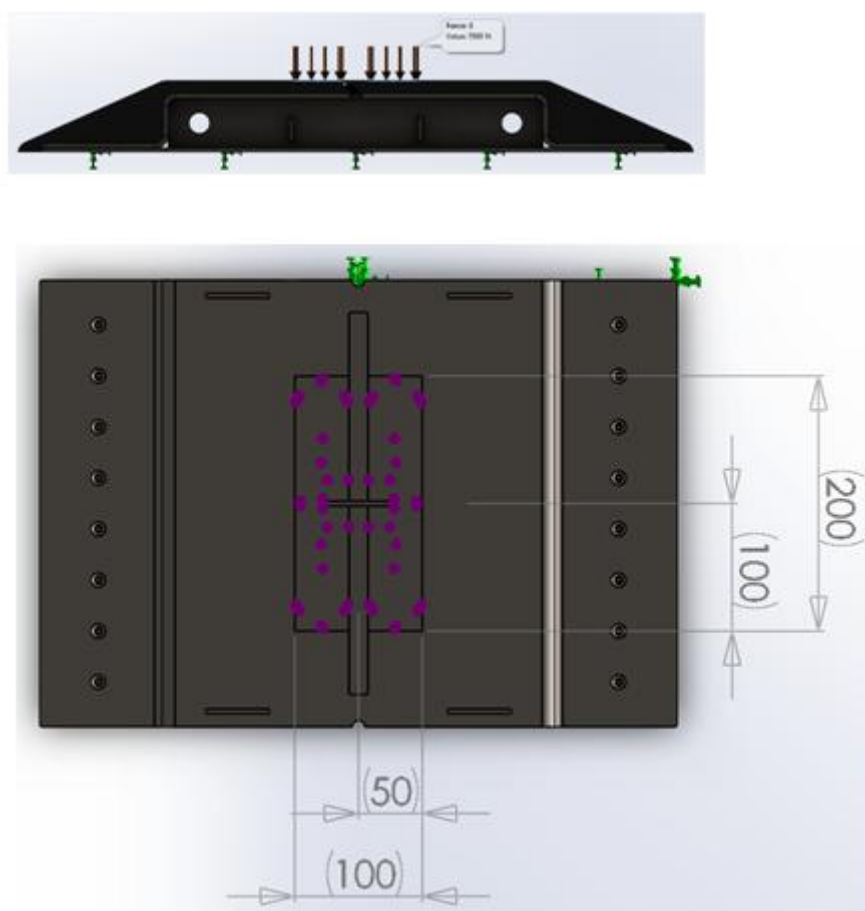
12.4 Materjali valik

Mõõtemooduli projekteerimise juures kaaluti erinevate materjalide kasutamise võimalust, arvestades hinda, töödeldavust, jäikust ning kättesaadavust. Korpusele mõjuvad suured, dünaamilised, korduvad jõud taandasid kasutatavate materjalide valiku järgnevat variantide vahele. Järgnevas tabelis (Tabel 12.1) on välja toodud põhilised parameetrid arvestatud metallide ja nende sulamite kohta:

Tabel 12.1 Materjalide võrdlus[97]

Materjal	Elastsusmoodul, (Gpa)	Voolepiir, (Mpa)	Erikaal, (kg/m ³)	Hind, (€/kg)	Töödeldavus
EN 10025 S235J2	210	235	7840	0,65 €	Hea
EN 10025 S355J2	210	355	7840	0,65 €	Hea
EN 10088 1.4301	190	206	8000	3,50 €	Keskmine
Titaan P265	115	790	4730	41,80 €	Raske
Optim MC 700	210	750	7840	1,05 €	Keskmine

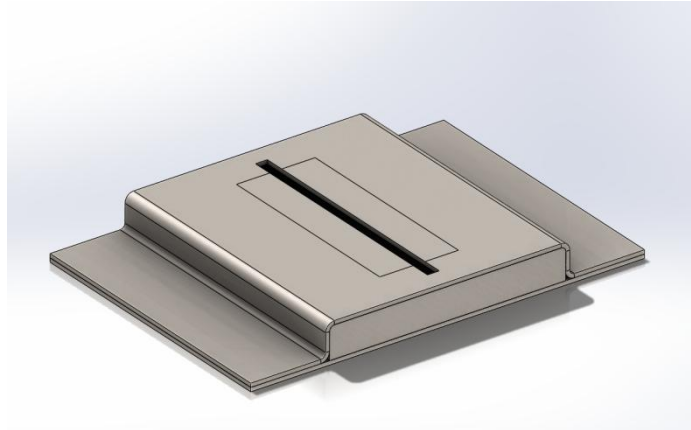
Tabeli andmeid hinnates, sobiks materjali omaduste poolest kõige paremini titaanisulami rakendamine. Titaani massi ja voolepiiri suhe on vaieldamatult parim ülejäänud variantide kõrval, kuid materjali saadavus ja eeskätt hind välistasid selle kasutamise käesoleva mõõtemooduli valmistamise juures. Võrdlusmomendi esitamiseks on see materjal FEM katsetuste loetelus iga korpuse variandi juures siiski esitatud. Analüüse viidi läbi rakendades konstruktsioonile jõudu 7 kN katteprofiili keskosas eraldatud pinnale suurusega 100x250 mm, mis vastab hinnanguliselt rehvi kontaktpinnale mooduliga (12.12). Alusplaat on FEM analüüsidest fikseeritud ning keevisõmbluseid ei arvestata.



12.12 Jõu rakendamine

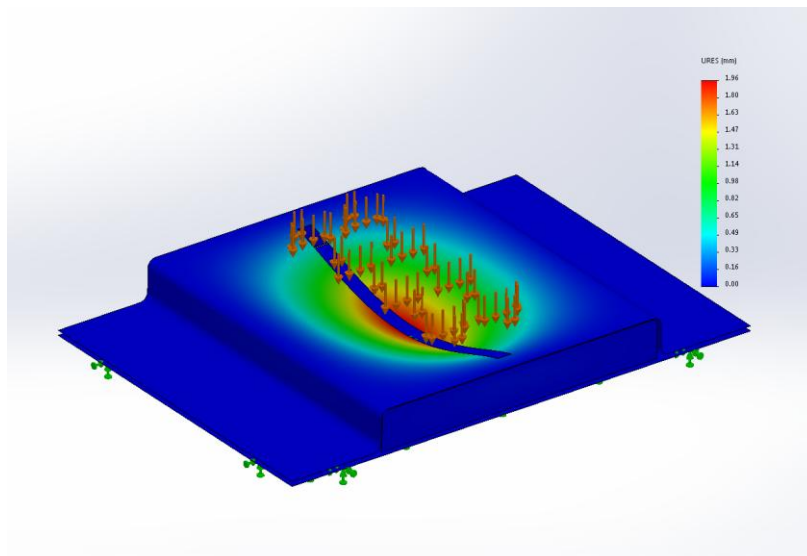
12.4.1 Mõõtemooduli korpuse variant 1

Esimese variandina sai kaalutud ilma toetuseta katteprofiili, kus tugiseinad olid välispinnaga tasa (Sele 12.13).



Sele 12.13 Variant 1

FEM analüüs tõestas, et sellisel viisil pole võimalik õhemate materjalide juures soovitud jäikust (minimaalset läbipainet) saavutada (Sele 12.14). Valides paksem lehtmaterjal, on võimalik tagada soovitud tulemus, kuid sellisel juhul on massipiirang mitmekordselt ületatud ning mõõtemoodul kaotab oma olulise parameetri, milleks on teisaldatavus.



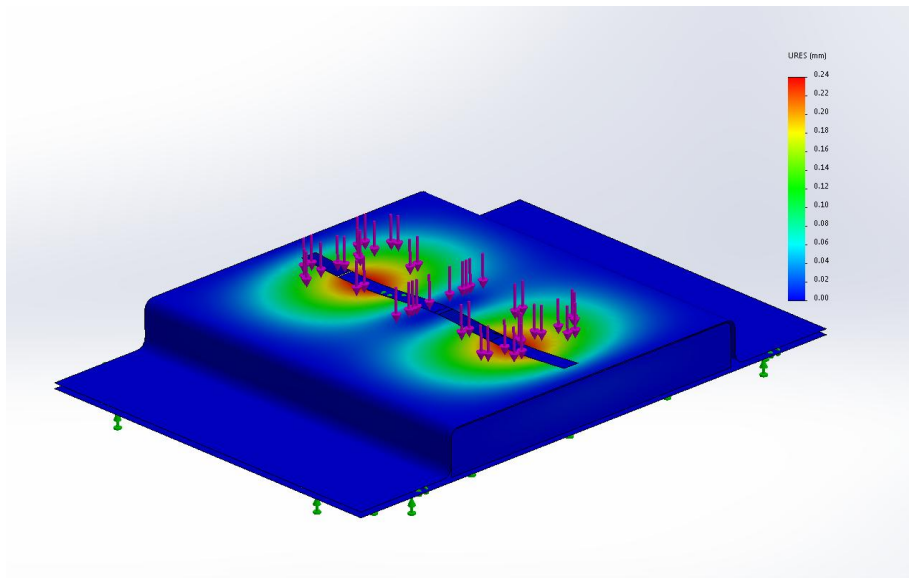
Sele 12.14 Variant 1 deformatsioon S235JR2 materjaliga

Tabel 12.2 Deformatsioonid, kaalud ja pinged. Variant 1

Materjal	S235JR2	S355JR2	1.4301	P265	Optim MC 700
Deformatsioon, (mm)	1,96	1,96	1,96	2,05	1,96
Pinge, (MPa)	197,16	197,16	197,16	193,75	197,40
Mass, (kg)	15,40	15,40	15,69	9,21	15,40

12.4.2 Mõõtemooduli korpuse variant 2

Teise variandina paigutati konstruktsiooni sisse täiendav tugi. FEM analüüs näitas, et käesolev lahendus võib antud rakendusse sobida (Sele 12.15). Toe asukohaks valiti laseri ja kaamera kesktelg – kiirte paralleelse levimise juures tekitaks see minimaalseima kao haaratava informatsiooni puhul. Kasutatav 4 mm tugi varjab hinnanguliselt 8 mm ala rehvi ristlõikest, mis arvestades rehvi kogu laiust on marginaalne ning vastuvõetav kadu.



Sele 12.15 Variant 2 deformatsioon S235JR2 materjaliga

Tabel 12.3 Deformatsioonid, kaalud ja pinged. Variant 2

Materjal	S235JR2	S355JR2	1.4301	P265	Optim MC 700
Deformatsioon, (mm)	0,24	0,24	0,24	0,26	0,24
Pinge, (MPa)	133,07	133,07	133,91	138,66	138,87
Mass, (kg)	15,51	15,51	15,80	9,34	15,51

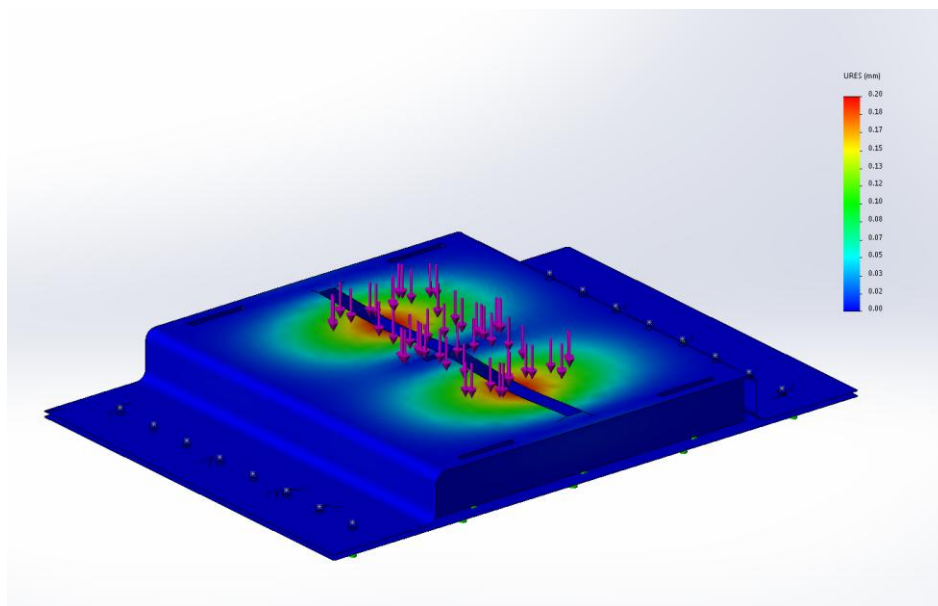
12.4.3 Mõõtemooduli korpuse variant 3

Kolmanda variandina projekteeriti mooduli korpus uuesti täiendades tugevdusribisid ning lisades poltühendusi (Sele 12.16). Katteprofiili puhul kasutati 5 mm materjali ning alusplaat ning tugiseinad olid projekteeritud 4 mm materjalist.



Sele 12.16 Variant 3

FEM analüüs näitas, et konstruktsioon kannatab minimaalse elastse deformatsiooniga koormust, kuid konstruktsiooni mass oli ilma optika ja pealiskorpusega 15 kg, mis tähendas, et mooduli teisaldatavus on raskendatud (Sele 12.17).



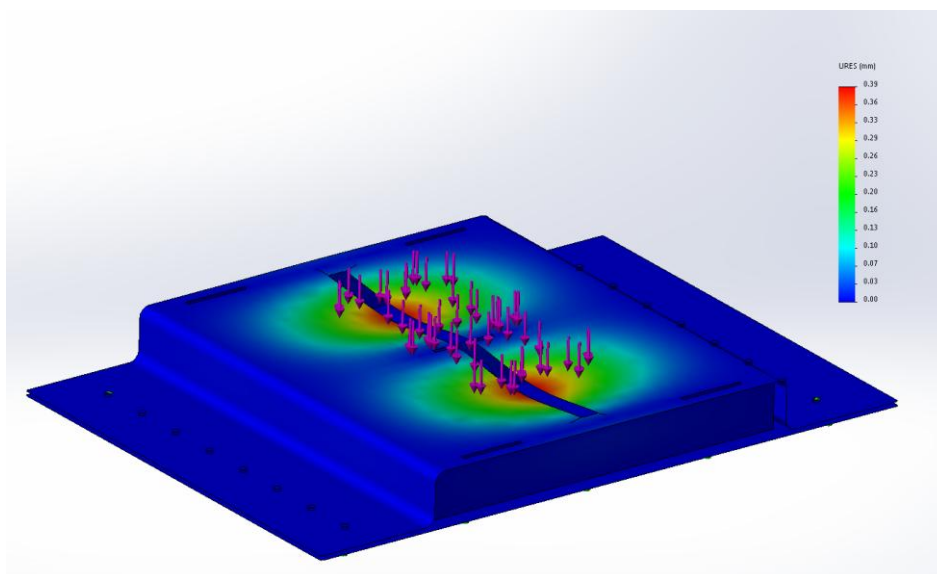
Sele 12.17 Variant 3 deformatsioon S235JR2 materjaliga

Tabel 12.4 Deformatsioonid, kaalud ja pinged. Variant 3

Materjal	S235JR2	S355JR2	1.4301	P265	Optim MC 700
Deformatsioon, (mm)	0,20	0,20	0,20	0,36	0,20
Pinge, (MPa)	113,15	113,15	113,15	111,6	112,77
Mass, (kg)	15,51	15,51	15,80	9,34	15,51

12.4.4 Mõõtemooduli korpuse variant 4

Neljas konstruktsiooni variant põhines kolmandal mudelil – ainsaks erinevuseks oli iga lehtmaterjali paksuste muutus õhemaks 1 mm võrra. Selle tulemusena alanes mass 10,9 kg peale ning elastne deformatsioon oli sobilik antud rakendusele (Sele 12.18).



Sele 12.18 Variant 4 deformatsioon S235 materjaliga

Tabel 12.5 Deformatsioonid, kaalud ja pinged. Variant 4

Materjal	S235JR2	S355JR2	1.4301	P265	Optim MC 700
Deformatsioon, (mm)	0,39	0,39	0,38	0,7	0,38
Pinge, (MPa)	180,61	180,61	180,70	178,21	180,04
Mass, (kg)	10,91	10,91	11,19	6,57	10,91

12.5 Mõõtemooduli korpuse valmistamine, koostamine ja katsetamine

Mõõtemooduli korpuse valmistus sai tellitud metallitöödega igapäevaselt tegelevast Kundas asuvast ettevõttest, Kunrex OÜ. Detaili profiilid on ettevalmistatud plasmalõikuspingiga (poltide avasid plasmalõikusega ei tehtud, lähtuvalt nende väikesest läbimõõdust).

Katteprofiili painutuskohtade seadistamine ei olnud operaatoril piisavalt täpne ning selle tulemusena ei olnud kateprofiili tugipinnad ja tugiseinte serv ühel tasapinnal (Sele 12.19).

Vea korrigeerimiseks valmistati uued tugiseinad ning sisetugi, mille kõrgustele oli lisatud 2 mm, kompenseerimaks painutusest tulenevat erinevust.



Sele 12.19 Valesti painutatud katteprofiil

Antud vea tekkimist ei saa lugeda arvestatavaks probleemiks seeriatootmise puhul, sest siis on võimalik katsetuste teel seadistada painutuspink täpsemalt õige tulemuse saavutamiseks.

Märgitud poltliidete avasid ei plaanitud puurida detailidesse eraldi ette, vaid nende valmistamise juures järgiti järgnevaid samme.

1. Alusplaat ja katteprofiil keevitada paari punktõmblusega omavahel kokku.
2. Avad puurida läbi kahe plaadi (läbimõõduga 5 mm).
3. Alusplaat ja katteprofiil eraldada teineteisest.
4. Katteprofiili avad puurida suuremaks 6 mm läbimõõduga puuriga ning valmistati ette faas DIN7991 poldipea tarvis.
5. Alusplaadi avad keermestada M6 keermepuuriga.

Lahendus tagab küll aukude täpse omavahelise sobivuse, kuid erinevate moodulite alusplaadid ja katteprofiilid ei oleks omavahel vahetatavad.

Esimese mooduli korpuse juures puuris koostaja mõlemale plaadile 6 mm augu ning keermestamine jäeti tegemata. Probleem selgus peale detailide tarnimist (Sele 12.20). Kuna

alusplaati eraldi, lähtuvalt eelnevalt välja toodud avade asukoha erinevusest, tellida polnud võimalik ja pealiskorpust šablooniks polnud otstarbekas tagasi viia – tuli tellida uus komplekt.

Prototüübile järgneva tootmise tarvis tuleb mainitud probleemile sobiv lahendus leida. Selleks on esialgsel hinnangul kaks varianti, mida võib rakendada.

1. Valmistada šabloonplaat avade täpse asukoha tähistamiseks puurimise tarvis.
2. Erinevalt plasmalõikusest, kus nii väikeste avade valmistamine pole võimalik, saab kasutada laserlõikust, mis tagaks ka, täiendavalt avade valmistamisele, üldised täpsemad mõõtmed. Laserlõikuse kasutamise kahjuks on selle kõrgem hind ning pikem tarneaeg.

Mooduli korpust valmistav ettevõtte tegi täiendavalt kooskõlastatud materjali vahetuse - S355JR2 asendati S235JR2 terasega. Simulatsioonid näitasid, et korpuse läbipaine ei muutu materjali vahetusest, kuna mõlema terase variandi puhul on elastsusmooduli väärtus sama. Muutub aga materjali voolepiir, mis võib tähendada, et konstruktsiooni plastsed deformatsioonid võivad tekkida väikesema koormuse rakendamisel.



Sele 12.20 Mõõtemooduli korpus

Reaalne katsetus tõestas, et ka S235 materjaliga pidas konstruktsioon vastu ning lubamatut läbipainet ei tekkinud (Sele 12.21). Tuvastatud elastne läbipaine oli mõõtmistulemustena 0,36 mm, mis oli samas suurusjärgus simulatsiooniga. Katsetamiseks kasutati M1 kategooria sõiduautot, mille tühimag on 1825 kg. Korduv koormamine (pealesõitude näol) tekitas ühesuguse elastse deformatsioon lubatud piirides. Hilisem visuaalne ülevaatus defekte ega purunemisi ei tuvastanud; sh. konstruktsiooni sisemuses, sisetoe ühenduskohas kateprofiiliga,

kus FEM analüüsi järgi tekkisid kõige suuremad pingekonsentraator. Neid leevendasid keevisõmblused, mida simulatsioonides ei arvestatud.



Sele 12.21 Mõõtemooduli praktiline katsetamine

Valmistatud mooduli korpust koostades ja teiselaldades, ilmnes vajadus täiendada olemasolevat konstruktsiooni tõstmist hõlbustava täiendusega. Arvestades mõõtemooduli suhteliselt suurt massi, siis selle tõstmine hoiupaigast või tee pinnalt on suhteliselt ebamugav.

Lahenduseks osutus sanga paigaldamine välistoe seinale. Sang võib olla rihma kujuline või metallist liigendiga. Arvestades, et metallist liigendiga olev sang lisab täiendavalt massi ning nõuab keerukamat lahendust, siis mõistlikuma variandina oli kasutada rihma. Sobivaimaks on velcro tüüpi rihm, mida saab ilma vaevata paigaldada ja vajadusel ka välja vahetada. Rihma õigel ülesehitusel on võimalik see kergelt pinnaga tasa saada, ning sellest tulenevalt ei sega see moodulite omavahelist liitmist. Rihm ja selle kinnitused paigaldatakse mõlemale poole mõõtemoodulit.

12.5.1 Mõõtemooduli korpuse variant 5

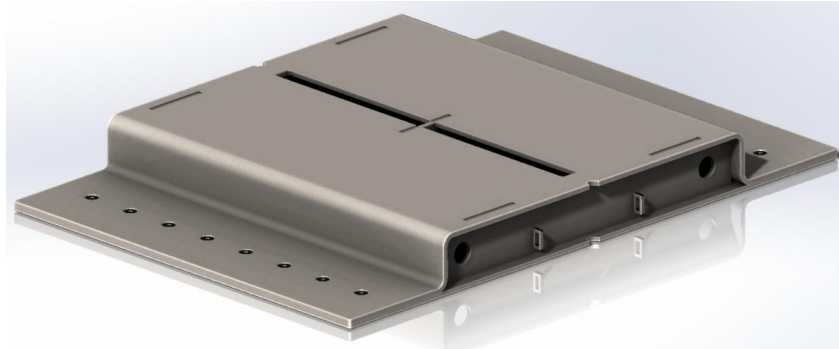
Analüüsides neljanda variandi teostust oli kindel, et mõningaid täiendusi oli tarvis mudelisse/joonistesse sisse viia:

- avad välistugedele toite ja signaaljuhtmete tarvis;
- tõsterihmade kinnitusaasad välistugedele;

- vee äravool.

Muudatused mõjutavad mooduli korpuse funktsionaalsust, kuid ei oma mingit mõjutust konstruktsiooni tugevusele ega jäikusele (Sele 12.22).

Lõplikuks kasutatavaks materjaliks osutub S355JR2, pidades silmas selle hinda, vastupidavust ning suuremat varutegurit S235JR2 ees. Joonised viienda variandi kohta leiduvad lisa 4.



Sele 12.22 Variant 5

Tabel 12.6 Deformatsioonid, kaalud ja pinged. Variant 5

Materjal	S235JR2	S355JR2	1.4301	P265	Optim MC 700
Deformatsioon, (mm)	0,39	0,39	0,43	0,70	0,39
Pinge, (MPa)	180,46	180,58	180,63	178,24	179,98
Mass, (kg)	10,98	10,98	11,18	6,61	10,98

12.6 Täiendavad nõuded mooduli korpusele

Mooduli kasutuskeskkonnaks on igapäevane väliskeskkond ning tuleb arvestada võimalikke ilmastikumõjude ning ka tolmuaga. Niiskuse ja tolmu kindluse saab defineerida läbi IP klassi (Lisa 1) ning selle nõuded rakenduvad otseselt korpuse ülesehitusele – pigem selle tihendamisele.

Esialgse hinnangu juures peaks korpus vastama IP64 klassile, mis tähendab, et moodul peab olema „Tolmutihe, täielikult kontakti kindel“ ning „Suvalisest küljest pritsiv vesi ei tohi kahjulikult mõjuda.“

Vee- ja tolmutiheduse saavutamiseks asetatakse 0,5 mm paksune kummileht (SBR või NBR) alusplaadi ja katteprofiili kontaktpindade vahele. Täiendavalt asetatakse tugiseinade allserva U-kujulise profiiliga EPDM (kood: 4594) [98] tihend, et kindlustada suhteliselt kitsas (4 mm) kokkupuutepind alusplaadi ja välistoe vahel.

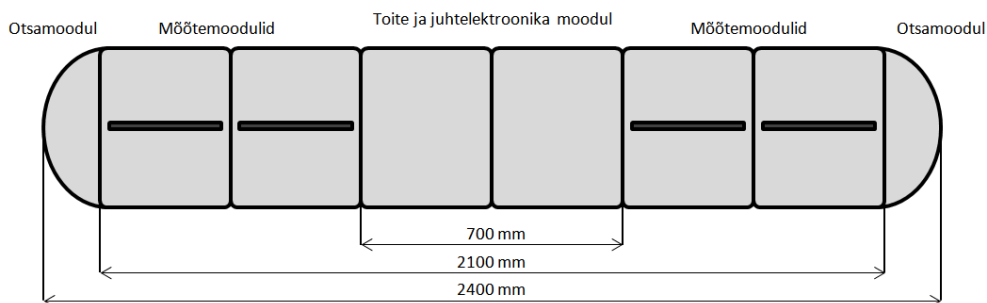
Võttes arvesse mõõteseadme moodulitepõhist ülesehitust, kus optika ning elektroonika on asetatud erinevatesse korpustesse, siis oli vajalik lahendada ka moodulite omavaheline toite ja signaalide ühendus viisil, et see oleks keskkonnakindel ning mugav. Selleks on moodulite sisetoad viidud 10 mm võrra katte- ja alusprofiilist sissepoole, jättes sellega piisava ruumi väliskeskkonnakindlate juhtmeühenduste peitmiseks moodulite vahele. Samas võimaldades mõõtesüsteemi paigaldamisel neid hõlpsalt ühendada. Juhtmete välja toomiseks on välistoe sisse lõigatud ümmargune ava, mis on tihendatud rõngastihendi abil.



12.23 Kaablite tihendamise krae näide [99]

Järgneval skeemil (Sele 12.24) on kujutatud lahendus, kuidas võiks moodulid paigutada, et need moodustaksid tervikliku kiirustõkke sarnase koostu.

Pinnatöötamiseks tuleks kasutada pulbervärvimist, millele eelneks pinna puhastamine terashaaveldusega.



Sele 12.24 Moodulite paigutus tervikliku süsteemi saavutamiseks

13 VÄLISKESTA PROJEKTEERIMINE

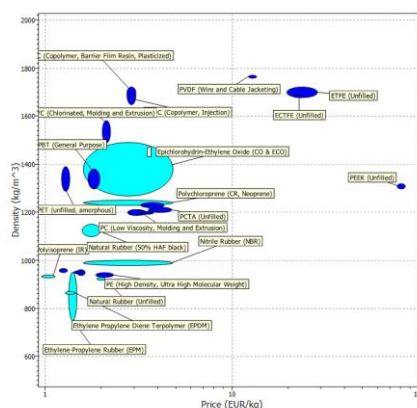
OLIVER METS

13.1 Nõuded väliskestale

Väliskesta peamine ülesanne on fikseerida mõõtemoodul ning võimaldada sellele peale ning mahasõit moodulit kahjustamata. Materjal peab olema piisavalt vastupidav survele, kulumisele (tolmu või naastrehvide mõjul), erinevatele väliskeskonna temperatuuridele, päikesele (UV kiirgus) ning olema sealjuures piisavalt kerge, et selle teisaldamine oleks lihtsasti teostatav. Olulisteks parameetriteks, analoogselt mõõtemooduli korpuse materjali valiku juures, on materjali hind, erikaal, töödeldavus ning saadavus (Sele 13.1).

Materjali valiku juures kasutati võimalike variantide piiritlemiseks tarkvara CE Selector. Olulisemateks materjali piiranguteks seati:

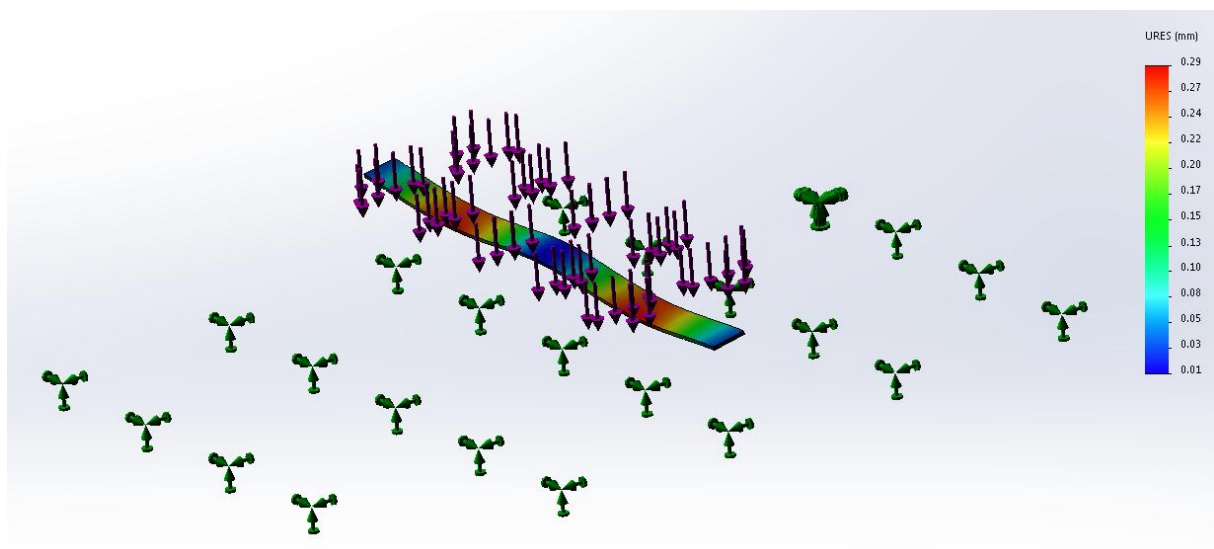
- Maksimaalne erikaal: 2000 kg/m³.
- Maksimaalne hind: 10 €/kg.
- Maksimaalne töötemperatuur: 40 C°.
- Minimaalne töötemperatuur: -30 C°.
- Vee ja soolvee taluvus: Väga hea.
- Orgaaniliste lahustite taluvus: Hea.
- UV kiirguse taluvus: Hea.



Sele 13.1 CES Student - materjali valikuvõimalused (lisa 3)

Sobivaks materjaliks valiti hinna, saadavuse ja erikaalu suhet arvestades EPDM (sama materjali kasutavad ka enamused kiirustõkete valmistajad).

Väliskesta peab oma pealmises osas paigutama ka nurga alla asetatud kaitseklaasi. Peatükis 5.4 kaalutud kaitseklaasi variantidest jäi küll esialgsel hinnangul sobivaimaks karastatud klaasist komponendi kasutamine. Võttes arvesse tekkinud deformatsioonide määrasid (läbipaine kuni 0,3 mm) (Sele 13.2), siis ka kaitseklaas peab sellele kaasa töötama. Karastatud klaasi elastsusmoodul on 107 GPa ja Gorilla® Glassi puhul 71,5 GPa – sellise elastsusmooduli juures toimub klaasi purunemine. PMMA puhul töötab profiil elastselt deformatsioonile kaasa ning purunemist ei toimu.



Sele 13.2 Kaitseklaasi deformatsioon

Kaitseklaas paigutati 10° nurga alla kahel põhjusel:

1. suunata eemale klaasi pindadest tekkivad täiendavad peegeldused;
2. suunata eemale kaitseklaasi pinnale sattuvad vesi ja tolm.

Kaitseklaasi vahetamine ning puhastamine peaksid olema teostatavad ka mõõtmisoperatsiooni käigus ilma arvestatava aja kuluta ning nõudma minimaalseid tööriistu ja oskusi. Mõõtemooduli ja väliskesta ühendamine toimuks liimimise teel.

Ohutuse ja turvalisuse huvides, et autojuht ka hämarates oludes märkaks kiirustõkke laadset objekti teel peaksid olema selles süvendid helkurribade tarvis, mis helgiksid neile sõiduki tulede peale langedes.

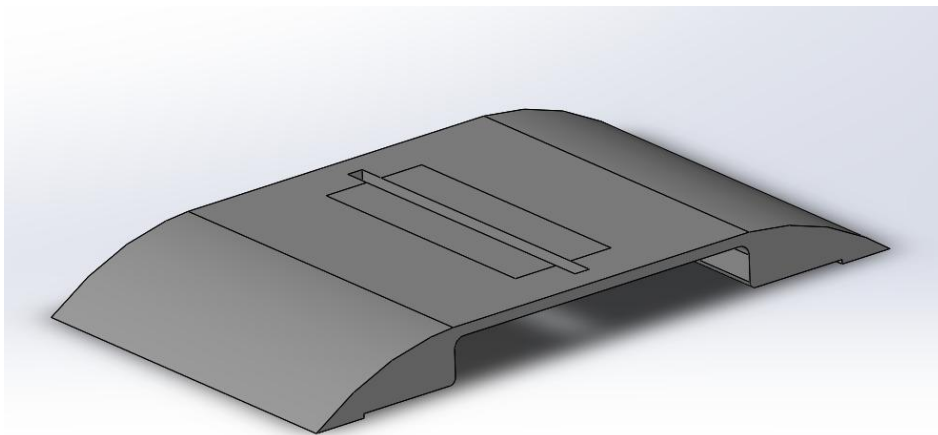
13.2 Väliskesta võimalikud variandid

Peamiseks eeskujuks saab väliskesta disainimise projekteerimise juures olema kiirustõkked, mis on analoogse kujuga ning taluvad palju suuremahulist koormust ja kasutust kui käesolev mõõtesüsteem on projekteeritud seda tegema. Arvesse tuli võtta, et erinevalt kiirustõkete ülesehitusest, mis on valmistatud täismaterjalist või siis omavad sees kärjekujulist tugistruktuuri moodustamaks ühtse terviku, tuleb antud rakenduse juures teha mööndusi.

Väliskesta paksus mooduli katteprofiili peal saab olla maksimaalselt 10 mm, mis muudab konstruktsiooni palju nõrgemaks võrreldes kiirustõkete lahendust.

13.2.1 Variant 1

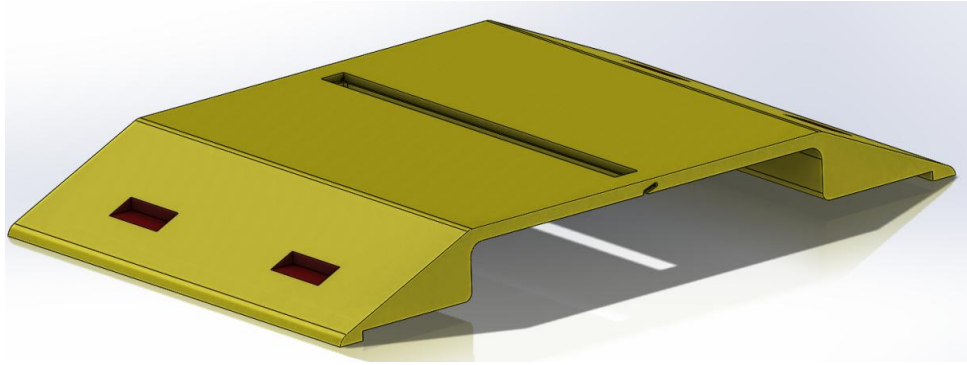
Väliskest tuleks valmistada ühest tükist, (Sele 13.3) selle pealesõiduteed on kumerad. Esimesed katsetused mõõtemooduli korpusega näitasid, et pealesõit peab olema võimalikult lauge. Võttes arvesse, et kaldtee on väga lühike ning mooduleid ei kinnitata tee külge, siis nende paigalt liikumist takistab ainult hõõrdumine tee pinna ja mooduli vahel. Pealesõidu katse puhul võib tekkida olukord, kus auto rehvid hakkavad mooduleid edasi lükkama.



Sele 13.3 Mõõtemooduli kate - variant 1

13.2.2 Variant 2

Väliskest on analoogselt valmistatud ühest tükist, kuid mõningaste edasiarendustega. (Sele 13.4).



Sele 13.4 Mõõtemooduli kate - variant 2

Mooduli kattele on paigutatud pesad, kuhu saab asetada helkurribad tagamaks seadme paremat nähtavust sõiduki juhile ning erinevalt esimesest variandist on sellel laugemad peale- ja mahaõit ning vee äravooluks mõeldud vihmavee äravoolu sooned.

Peale mooduli ja väliskesta omavahelist liitmist tuleb liimida iga mooduli alla ka õhukene (0,5 mm) EPDM kummist leht suurendamaks hõõrdetakistust teepinna ja mooduli vahel.

14 PILDITÖÖTLUSE ESIALGNE REAALISEERIMINE

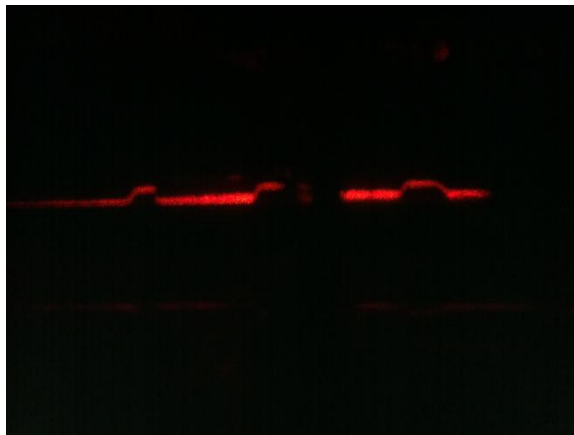
HARRI PARKER

14.1 Pildihõive

Esimeste katsetustega, mida tehti tavalise pildi põhjal, selgus, et Raspberry Pi ei ole piisavalt kiire ja võimekas, et läbi viia sellel platvormil pilditöötlust. See tegevus tuli katsetamiste käigus teha tavalise sülearvutiga. Edasise variandina oleks võimalik paigaldada võimekam väike arendusplatvorm.

Seega oli Raspberry Pi kasutusala antud prototüübis pildi hõivamine ja selle talletamine. Katsetuste vältel toimus arendusplatvormi juhtimine läbi SSH tunneli, mis ühendas sülearvuti ja Raspberry Pi'ga. Pildi hõivamine korraldati käsurea pealt järgneva käsuga ning väljundiks oli järgnev pilt (Sele 14.1).

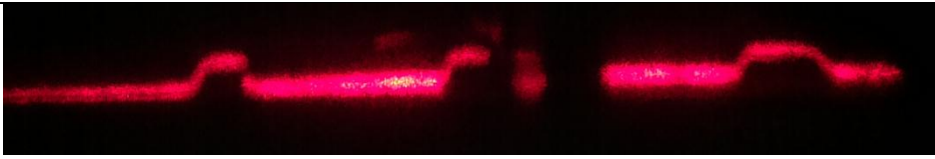

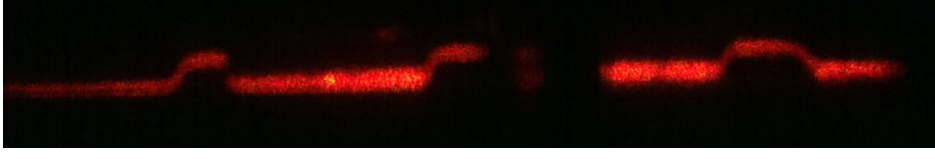

```
raspistill -t 500 -ex beach -o image.jpg
```



Sele 14.1 Rehvist tehtud originaal pilt

Kasutusel oli riistvara poolt kiirendatud kodeerimise tüüp JPEG. Antud prototüübi katsetamisel oli see sobiv, sest see oli kiireim pildi salvestusmeetod ja ka pildi andmemaht oli väiksem ning pildi kokkupakkimisest tulenev info kadu ei olnud märgatav. Selle käsuga määrati lisaks ka aeg pärast mida toimub pildi hõive, lisaks muudeti säriaega kasutades erinevaid ette määratud vaikevalikuid [100], millest kõige sobivam oli *beach* – sätted rannas pildistamiseks. Järgnevalt on toodud välja võrdlus erinevate säri sätete kasutamiste vahel, kus pildist on eraldatud huvipiirkond, millega pilditöötlemisel toimetatakse (Tabel 14.1).

Tabel 14.1 Pildihõive variantide võrdlus

Säriaja säte	Pilt
<i>auto</i> – automaatne säte vastavalt valgusele	
<i>fireworks</i> – säte ilutulestiku pildistamiseks	
<i>snow</i> – säte lumel pildistamiseks	
<i>beach</i> – säte rannas pildistamiseks	

Nendelt piltidelt on näha, et automaatsete sätete korral on säriaeg liiga pikk ja tekib valguse üleküllasus. See võib tuleneda sellest, et enamus pildist on peaaegu must või üldiselt tume ning seega üritab kaamera võimalikult palju infot koguda, aga see tekitab laserjoone kohal valguse liigsuse. Ülejäänud kolm sätet on üpriski sarnased ja ning valguse üleküllastatust ei teki. See võib tuleneda sellest, et need sätted on mõeldud eredal taustal pildistamiseks seega säriaeg on lühem kui tavaliselt. Seadetest on võimalik muuta ka kontrasti ja heledust, aga need lisatakse järeltöötles, mida esialgses katsetamises ei kasutanud.

14.2 Pilditöötlus

Programmi kood (Lisa 2) on loodud Linux platvormil ja selle käivitamine toimus käsurealt. Pilditöötlus algas failist pildi lugemisega. Kuna katsetada sai mitmeid erinevaid pilte nii auto esirehvist kui ka tagarehvist, siis lihtsam oli panna faili nimi argumendiks programmi välja kutsumisel.

Järgnev koodilõik salvestab failist loetud pildi muutujasse `src` ning seejärel kontrollib, kas selles muutujas on infot. Kui ei ole siis järeltöötles faili ei leitud ning programm katkestatakse.

```

int main( int argc, const char** argv ){
    Mat src = imread(argv[1], CV_LOAD_IMAGE_UNCHANGED); //Faili
muutujasse lugemine
    if(!src.data){ //Faili info olemasolu kontroll
        cout << "Faili ei saa avada või ei leitud" << '\n';
        return -1;
    }
}

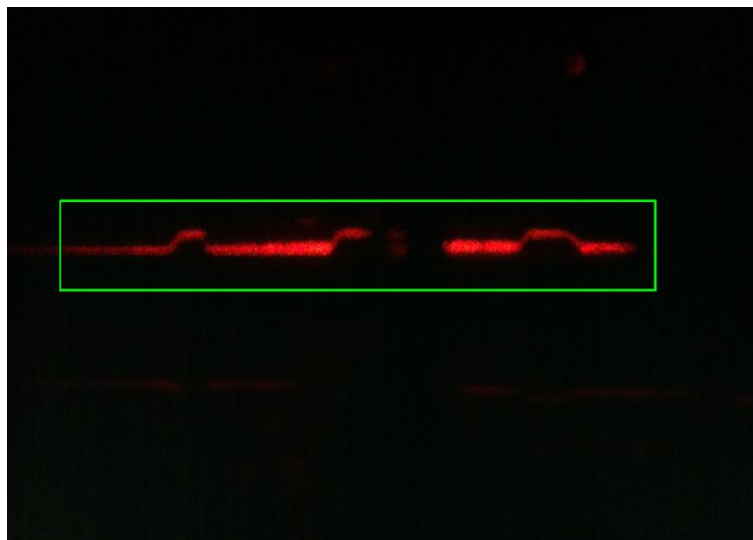
```

Kui info on olemas, siis jätkub programm huvipiirkonna määramisega ning joonistab pildile rohelise nelinurga selle tähistamiseks, et katsetamisel oleks programmi töö kergemini jälgitav (Sele 14.2).

```

Mat roi(src, Rect(r1, r2)); //Huvipiirkonna määramine
rectangle(src, r1, r2, Scalar( 0, 255, 0 ), 6, 8 ); //Huvipiirkonna
välja joonestamine

```



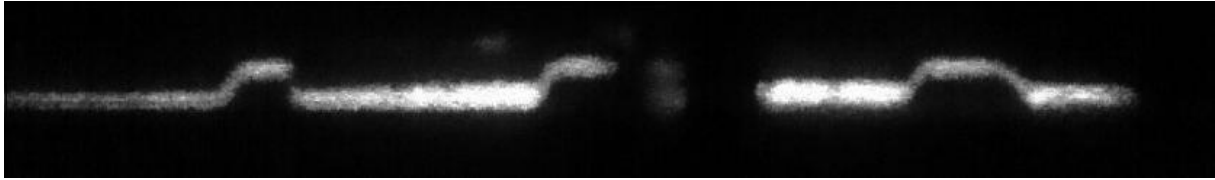
Sele 14.2 Originaalpilt huvipiirkonna ristkülikuga

Järgnevas koodilõigus eraldatakse värvilisest pildist üks värvi kanal; antud hetkel punase, sest kasutusel on punane laser ja see annab seetõttu parima tulemuse (Sele 14.3). Eelnev tegevus on vajalik pildi viimiseks binaarkujule (Sele 14.4). Selleks võib ka pildi konverteerida hallskaalasse, aga antud hetkel, kus on kasutusel punane laser annab punase värvikanali eraldamine parema tulemuse.

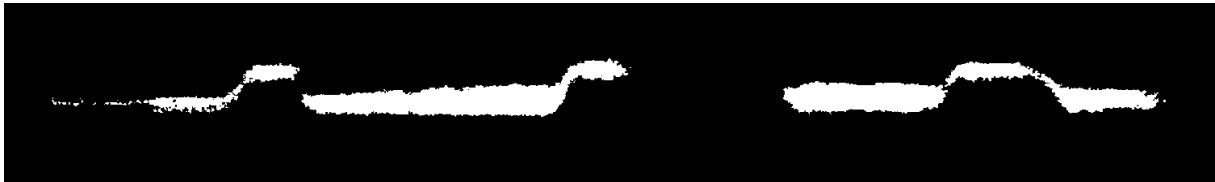
```

split(src, planes); //Värvi kanalite eraldamine
red = planes[2]; //Punase värvikanali kasutamine
Mat roi2(red, Rect(r1, r2)); //Huvipiirkonna määramine uuele pildile
threshold(rois, dst, 100, 255, THRESH_BINARY); //Binaarkujule viimine

```



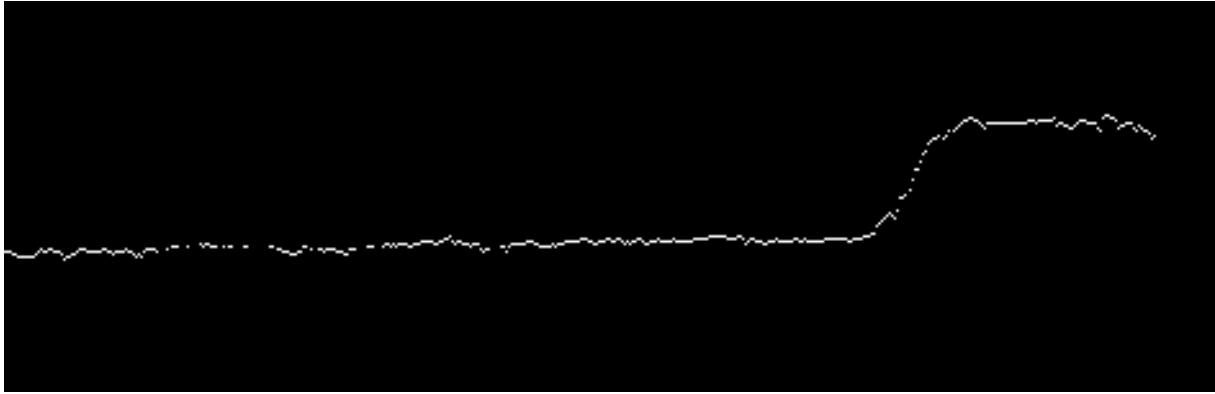
Sele 14.3 Punase värvikanali pilt



Sele 14.4 Pilt binaarkujul

Pärast binaarkujule viimist on kordustsüklitega lahendatud laseri joone keskjoone punktide otsimine. Selleks käib programm läbi iga veeru ning otsib binaarpildilt joone ülemist ja alumist äärt ning arvutab välja nende aritmeetilise keskmise, et saada igas reas üks punkt näitamaks, kus joon asub. Saadud punktid varieeruvad osaliselt, seda on näha pildil - Sele 14.5. Kui veerus ei ole binaarpildil ühtegi kõrge väärtusega punkti siis on selles kohas katkend. Selle koodi osa tulemusena muutujas *lopp* punkt pilve pilt ja muutujas *koht* on rea väärtus, kus punkt asub, et järgnev töö oleks vähem arvutusmahukam, kuna see muutuja on ühemõõtmeline maatriks.

```
for(int i = 0; i < dst.cols; i++){ //Punkt pilve loomine
    for( int j = 0; j < dst.rows; j++){
        if(dst.at<uchar>(j, i) >200){
            for(int k = dst.rows; k > j; k--){
                if(dst.at<uchar>(k, i) >200){
                    lopp.at<uchar>(((k+j) / 2), i) = 255;
                    koht.at(i) = (k+j) / 2;
                    break;
                }
            }
            break;
        }
    }
}
```



Sele 14.5 Joone punkti pilve osa

Järgnevas koodi osas lähtestatakse sirgjooned mustriks kasutades eelpool leitud punkt pilve. Selleks kontrollitakse pikselite asukohta. Kui erinevates veergudes olevate pikseliterea väärtus on omavahel piisavalt sarnane, et neid lugeda üheks jooneks. Arvestades, et osadel mustripõhjad on kaldus servad, siis vältimaks selle kaldjoonel mitmete joonte tekkimist on lisatingimuseks joonel minimaalne pikkus, mille jooksul ei tohi pikselite rea väärtused liigselt erineda.

```

    for(int i = 20; i < koht.size(); i++){ //Joone otspunktide otsimine
punkt pilvest
        if((abs(koht.at(i)-koht.at(i - 10)) < 10) && (koht.at(i)>10)){
            joone[n][1] = i;
        }else{
            if((i-joone[n][0]) > 20){
                joone[n][1] = i-1;
                n++;
                joone[n][0] = i;
            }else{
                joone[n][0] = i;
            }
        }
    }

    for (int i=0; i<n; i++){ // Joone keskvaertuse otsimine ja minimaalse
baasjoone leidmine
        summa = 0;

        for(int j = joone[i][0]; j < joone[i][1]; j++){
            summa = summa + koht.at(j);
        }

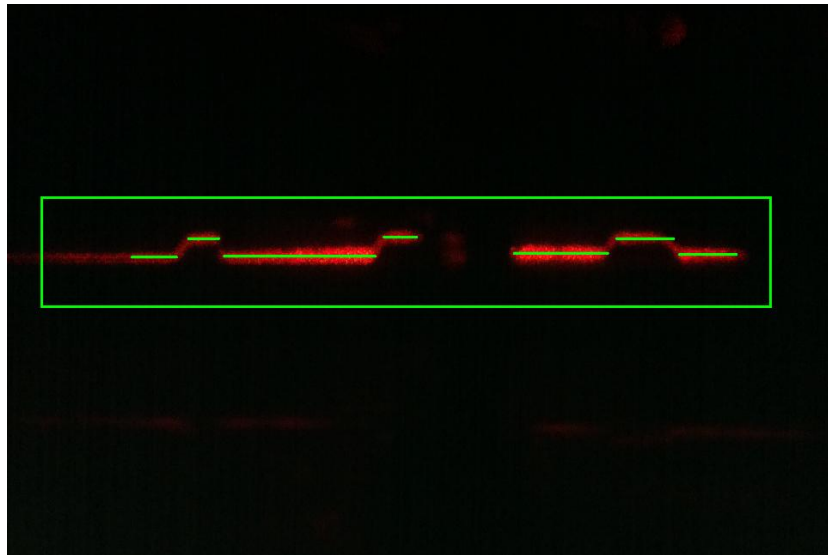
        joone[i][2] = floor(summa / (joone[i][1] - joone[i][0]));
        if(joone[i][2] > baas){
            baas = joone[i][2];
        }
    }

    for(int i = 0; i < n; i++){ //Illustrtiivsete joonte joonistamine
        line( roi, Point(joone[i][0], joone[i][2]), Point(joone[i][1],

```

```
joone[i][2]), Scalar(0,255,0), 6, CV_AA);  
}
```

Sellega oli pilditöötlemise osa läbi ja edasi arvutab kood arvulist mustri sügavust. Lõpptulemus on toodu järgneval pildil (Sele 14.6).



Sele 14.6 Lõpptulemus, kus on toodud leitud jooned

14.3 Tulemus

Järgnevalt oli veel vaja leida ka turvise kõrgus. Selleks on määratud rehvi turvise pinna asukoht. Katsetuste ajal paiknes pilt nii, et turvise pind asus pildil all osas, seega reaväärtused olid suurimad ja rehvi baaspinna joonel olid reaväärtused väikseimad. Antud katsetuste korral hinnati rehvi turvise maksimaalset kõrgust. Juhul kui programm annab tulemuse, mis näitab rehvi liigset kulumist, siis võib eeldada, et terve rehvi on mittekõlblik.

Sügavuse leidmiseks on vaja leida suurima reaväärtusega turvise joon ning väikseima reaväärtusega baaspinna joon. Turvise pinna leiab programm koos joonte tekkimisega, millest on kirjutatud punktis 14.2. Baaspinnaks loetakse ainult need jooned, kus eelmine ja järgmine joon on sellest suurema reaväärtusega, ehk tähistavad turvise pinda. Seejärel leiab kood minimaalse reaväärtusega sobiva baaspinna joone ning arvutab tema kauguse turvise pinnast. Teades, mitu pikselit käib ühe millimeetri kohta on võimalik väljastada maksimaalne turvise kõrgus millimeetrites.

```
for (int i=1; i<n-1; i++){ //Mustripõhja joonte eraldamine ja
```



```

sügavaima leidmine
    if((joone[i][2] < joone[i-1][2]) && (joone[i][2] <
joone[i+1][2])){
        joone[i][3] = 1;
        joone[i][4] = baas - joone[i][2];
        if(joone[i][4] > maks){
            maks = joone[i][4];
        }
    }
}

cout << "Maksimaalne mustri sügavus on: " << setprecision(2) <<
float(maks) / tegur << " mm.\n"; //Mustrisügavuse kuvamine

```

```

parker@UIndi:~/Master/Tut3$ ./Tut3 image-0-E-beach.jpg
Maksimaalne mustri sügavus on: 4.9 mm.
parker@UIndi:~/Master/Tut3$ ./Tut3 image-0-T-beach.jpg
Maksimaalne mustri sügavus on: 4.8 mm.
parker@UIndi:~/Master/Tut3$

```

Sele 14.7 Välja võtte Linux terminalist

Mõõdeti nii ühte esirehvi kui ka ühte tagumist rehvi. Esirehvil oli mustrisügavuseks 4,9 mm ja tagumisel rehvil oli 4,8 mm (Sele 14.7). Selline suuruse erinevus võib tulla sellest, et auto, mille rehve mõõdeti oli tagasillaveoga, mille tulemusel võivad tagumised rehvid kuluda kiiremini.

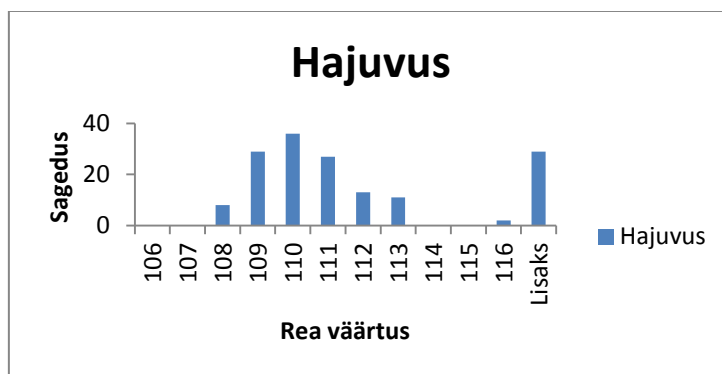
14.4 Hajuvuse hindamine

Järgnevalt on välja toodud leitud joonte arvutamise hajuvuse, mis on näidatud eelnevalt analüüsitud rehvi pildil (Sele 14.6). Antud katsetamise ajal arvutas programm punktipilvest aritmeetilise keskmisega joone asukoha. Järgnevas tabelis (Tabel 14.2) on välja toodud lisaks aritmeetilise keskmise ka mediaanväärtus ja joone standardhälbed. Kuna ühe joone määramiseks on programmil katsetamise ajal ettemääratud, et kui punktide erinevus on väiksem kui 10 pikselit siis nad loetakse samale joonele.

Tabel 14.2 Leitud joonte standardhälbed

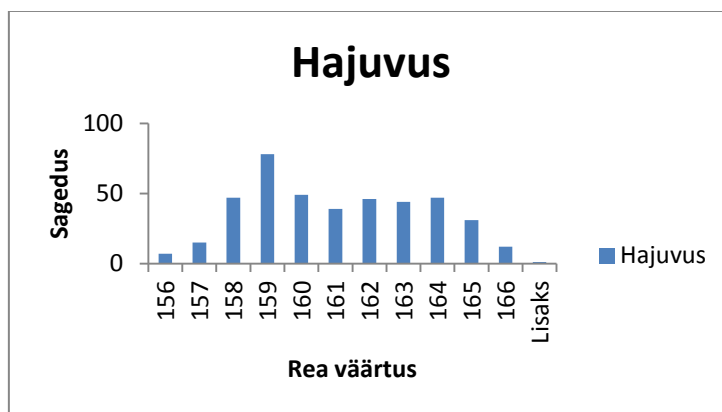
Joone veeru väärtus	248-370	403-487	501-916	939-1029	1296-1553	1577-1731	1749-1906
Aritmeetiline keskmise	164	113	161	109	154	113	157
Mediaan	164	113	161	109	154	111	157
Standardhälve	1,937	2,464	2,716	2,068	1,709	5,798	1,810
Pikselites	2	3	3	3	2	6	2

Piirkonnas 1577-1731 on kõige suurem standardhälve. Pildilt on näha, et selles kohas on turvise sein kaldu, mida antud programm esialgu loeb joone osaks. See tuleneb sellest, et programmil oli katsetamise ajal ettemääratud lahutusvõime 10 pikselit, mis teisendub 0.9 millimeetriks. Ning selle joone punktide hajuvus on nähtav järgnevalt graafikust (Sele 14.8). Sellelt on näha, et väga palju punkte ei asu selles piiris kuna programm eristab jooni siis, kui kümne pikseli jooksul on muutus üle lahutusvõime.



Sele 14.8 Joone 1577-1731 punktide hajuvus

Kui muustril on sirge joon siis sellisel juhul hajuvus vastab rohkem riskülikjaotisele, piirkonna 501-916 hajuvus on välja toodud järgneval graafikul (Sele 14.9).



Sele 14.9 Joone 501-916 punktide hajuvus

15 SEADME HUVIRÜHMAD

OLIVER METS

Arendusidee, leida rehvi turvise kõrguse määramiseks kiirem ja mugavam viis kui seda on käsitsi nihiku abil mõõta, püstitati Politsei ja Piirivalveameti, Maanteeameti, Rehviliidu ja rehvitöökodade poolt. Lähtuvalt suurest liiklusõnnetuste määrast, mis on põhjustatud nõuetele mittevastavate rehvide kasutamisest, on kasvanud vajadus suurenenud järelevalveks. Olemasolevate vahenditega kontrolloperatsioonide teostamine on nii inimressursi- kui ka ajamahukas. Tulenevalt sellest tekkis vajadus mõõtmisprotsessi arendamiseks.

Seetõttu on oluline lõpliku toote võimalik hind, sest see on üks tähtsamatest kriteeriumitest mõõteseadme praktilisse kasutusse rakendamiseks.

Järgnevalt on antud ülevaade võimaliku toote omahinna kujunemisest. Hinnaarvutuse juures tuleb arvesse võtta, et esitatud hinnad põhinevad edasimüüjate hinnakirjadel, suulistel ning kirjalikel pakkumistel (Farnell Element 14, Dormikor OÜ, Kunrex OÜ, Metalliekspertid OÜ, Metalon OÜ, Baltic Bolt OÜ jne). Teatud toodete puhul on esitatud hindade muutused koguste kasvades lähtuvalt saadud informatsioonile.

Järgnevas tabelis (Tabel 15.1) on välja toodud prototüübi peamiste komponentide hinnad üksiku ja suurema ostukoguse juures.

Tabel 15.1 Komponentide hinnangulised maksumused

Komponent	Hind €/tk	
	1	100
Mõõtemooduli korpus	50	23
Väliskorpus	70	20
Otsamoodul	30	5
Kaamera	22	22
Raspberry Pi	28	28
Kinnitusvahendid	5	5
Laser	22	18
Peeglid	120	80
Kaitseklaas	20	15
Sisekomponentide kinnitusvahendid	50	10
Aku	75	75
3G modem	22	19

Järgnevas tabelis (Tabel 15.2) on esitatud hinnanguline mõõtesüsteemi omahinna arvutus, mis sisaldab ainult komponentide hindasid:

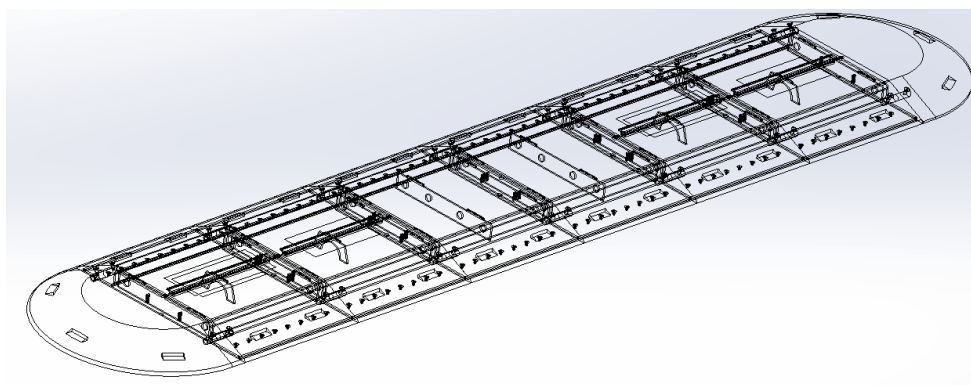
Tabel 15.2 Mõõtesüsteemi lahenduse komponentide maksumus

Positsioon	Hind, €/tk	Kogus komplektis	Hind kokku	
Mõõtemoodul	195,00 €	4	780,00 €	
Elektronika moodul	225,00 €	2	450,00 €	
Otsamoodul	20,00 €	2	40,00 €	
Mõõtesüsteem	-	-	1 270,00 €	

Järgnevad pildid kirjeldavad koostatud süsteemi võimalikku välimust (Sele 15.1 ja Sele 15.2). Koostejoonis on välja toodud lisa (lisa 4).



Sele 15.1 Koostatud mõõtesüsteem



Sele 15.2 Koostatud mõõtesüsteemi kontuurpilt

KOKKUVÕTE

Käesolev magistritöö „Teisaldatav rehvi turvise kõrguse automaatne mõõtesüsteem“ omab praktilist väärtust liiklusjärelvalve ning sõidukite tehnilise seisundi kontrollimise juures ning võimaldades kiiremat, mugavamalt ja süsteemset rehvi turvise kõrguse kontrollimist, tagades seeläbi efektiivset lahendust, mille abil on võimalik teostada kontrolle varasemast tihedamalt ja suuremal mastaabil.

Rehvi turvise minimaalne nõutav kõrgus on sõiduautodel suveperioodil 1,6 mm ja talveperioodil 3 mm. Veoautodel ja kaubikutel on vastav miinimum 2 mm aastaringselt. Statistika kohaselt moodustavad nõuetele mittevastavad rehvid ligikaudu 45% õnnetuste põhjustest, mis tulenevad auto tehnoseisundist. Euroopa Liidu statistika kohaselt hukkab igaaastaselt sõidukitega seotud õnnetustes ligi 30 tuhat inimest, siis alates 2011 aastast on hakatud rakendama täiendavaid meetmeid suurendamiseks sõidukite rehvide nõuetele vastavust ja sõidukiomanike teadlikust.

Magistritöö keskendub olemasolevatele mõõtevahenditele alternatiivse lahenduse välja töötamisele. Selleks on läbitöötatud erinevaid mõõteprintsippe leidmaks sobivaim käesoleva rakenduse jaoks, mis tagaks soovitud töökindluse, täpsuse ja ei oleks selle juures ülemäära kõrge maksumusega.

Mõõtesüsteem töötab triangulatsiooni põhimõttel, kus rehvi pinnale kuvatakse laseri joon, mis joonistub sellel astmelise kontuurina. Saadud kontuur hõivatakse kaamera abil ning sellele järgneb pilditöötlus. Töötluse eesmärgiks on teisendada pilt sellisele kujule, et sealt oleks võimalik tuvastada rehvi pinnal oleva laseri kontuuri astmete kõrguse erinevused. Lähtuvalt eelnevalt seadistatud parameetrite abil, on võimalik kõrguste erinevusest tuletada rehvi turvise kõrguse reaalne mõõt.

Süsteemi projekteerimisel on silmas peetud, et mõõtetulemus tagaks võimalikult usaldusväärse ning korratava tulemuse, et seda saaksid ka järelvalveorganisatsioonid kasutada.

Oluliseks komponendiks on lahenduse juures veel kogu mõõtesüsteemi endas hoidev korpus, mis peab taluma mõõtmisi teostades korduvaid koormusi sellest üle sõitvate sõidukite näol.

Projekteerimise ülesande keerukus seisneb konstruktsiooni jäikuse tagamine nii, et see ei segaks mooduli sees olevat optikat, kaamerat ning ei vähendaks mõõteakna nägemisvälja.

Lahenduse juures on oluline tagada erinevate osade koos töötamine ja asetsemine nii, et lõpptulemus oleks funktsionaalne, teisaldatav ning vastupidav.

Arendustöö käigus valmistati erinevaid mooduli korpuseid ning katsetati korduvalt nende sobivust ja vastupidavust reaalsete koormuste all, tuvastamaks lahenduse võimalikke puudujääke ning analüüsima järgnevat arendusvõimalusi.

Analoogselt otsiti sobivaimat lahendust ka pilditöötluse osas, kus olulisteks parameetriteks olid piisava täpsuse saavutamine piiratud arvutusressursi kasutamise juures.

Täiendavalt pakuti välja lahendusi, mil viisil toimiks seadme juhtimine ning mõõtetulemuste esitamine ja töötlemine.

Magistritöö pakub välja prototüüplahenduse teisaldatava rehvi turvise kõrguse automaatsele mõõtesüsteemile, mille põhilised komponendid ja tarkvaralahendused on läbinud praktilised katsetused ning esitanud arvestatavaid tulemusi süsteemi täiendamiseks.

Edasise arendusena on ette näha andmehalduse küsimuste lahendamist, mõõtmistulemuste esitamist operaatorile ning moodulite konstruktsioonide täiendamist, et neid saaks kasutada ka veoautode ja busside rehvide kontrollimise juures.

SUMMARY

This Master's Thesis "Portable Automatic Tire Tread Depth Measurement System" has a practical value for traffic monitoring and for inspecting the technical condition of vehicles. Allowing for faster, more convenient and systematic way for measuring tire tread depth. This gives more efficient solution for measuring the tire tread depth, which makes it possible to carry out better inspection and in a larger scale.

The minimal tire tread depth for passenger cars during the summer is 1.6 mm and during the winter it is 3 mm. Trucks and vans have a minimum allowed depth of 2 mm, which is applicable year round. According to the statistics, 45% of the accidents that are caused from technical problems with the car are a result of tires that are not up to the regulations. Official EU statistics show that around 30 thousand people are killed in vehicle-related accidents every year. From 2011 onwards EU, has started implementing additional measures to increase compliance of vehicle tires', and increase vehicle owners' awareness

This Master's Thesis focuses on designing alternative solution for the existing measurement instruments. In order to do that a variety of measurement principles were analysed to find the best solution for this application, that would provide the desired reliability, accuracy, and would not be too expensive.

The current measurement system operates on the principle of triangulation, where a laser line is projected onto the surface of a tire. The line forms a stepped contour on the tire surface, which is then captured with a camera. After capturing, the image processing is carried out.

The aim of the image processing is to convert the image into a format, where it is possible to identify the laser's line on the surface and on the base of the tire and their differentials. Based on pre-set parameters or calibration data, it is possible to deduce tire tread depth from the differentials.

The design process of the system has been carried out in a way that the measurement results would be reliable and reproducible; therefore the system could be used by national surveillance organizations.

An important component in the entire measurement system is the design of the enclosure, which houses all of the delicate parts like camera, laser and development board. It has to

withstand repeated loads from vehicles that drive over it. The design complexity lies in ensuring the rigidity of the structure in a way that it does not interfere with the optics inside the module, nor the camera's field of view.

It is important to ensure that the various parts are working together and are placed in a way that it could be functional, portable and durable.

During the development process on the module enclosure multiple designs were considered and tested in real life situations. The results were analysed and improvements were made to the succeeding versions.

Development work on image processing program was also carried out in steps, because it was possible to make adjustments depending on results and capturing in different settings. The most important aspect was accuracy, which was limited by the laser and by the computational resources of the development board.

In addition to the previous, the possibilities how to organize the representation and processing of the measurement results was discussed in the thesis.

Master's Thesis provides a prototype for a portable solution for an automatic tire tread depth measurement system. The main components and software solutions were subjected to practical tests to provide reliable results for further development of the system.

Future developments would require a solution for data management, representation of the measurement results and the strengthening of the enclosure, for it to be able to withstand the load from trucks and busses.

KASUTATUD KIRJANDUS

- [1] „European Commission - Directorate General for Mobility and Transport,“ [Võrgumaterjal]. Available: http://ec.europa.eu/transport/road_safety/pdf/observatory/trends_figures.pdf. [Kasutatud 18.05.2014].
- [2] „European Commission - Directorate General for Mobility and Transport,“ [Võrgumaterjal]. Available: http://ec.europa.eu/transport/road_safety/pdf/observatory/historical_evol.pdf. [Kasutatud 18.05.2014].
- [3] „European Commission - Directorate General for Mobility and Transport,“ [Võrgumaterjal]. Available: http://ec.europa.eu/enterprise/sectors/automotive/files/projects/report_motor_vehicle_tyres_en.pdf. [Kasutatud 18.05.2014].
- [4] „Maanteeamet,“ [Võrgumaterjal]. Available: <http://www.mnt.ee/index.php?id=11976>. [Kasutatud 18.05.2014].
- [5] „European Commission,“ [Võrgumaterjal]. Available: http://ec.europa.eu/energy/efficiency/tyres/labelling_en.htm. [Kasutatud 18.05.2014].
- [6] „Goodyear,“ [Võrgumaterjal]. Available: https://www.goodyear.eu/home_en/goodyear-quality/eu-tire-label/index.jsp#wet-grip. [Kasutatud 18.05.2014].
- [7] „EU Regulatory Framework on Tyres,“ [Võrgumaterjal]. Available: http://ec.europa.eu/enterprise/sectors/automotive/files/safety/presentation_tyres_en.pdf. [Kasutatud 18.05.2014].
- [8] P. Jean, „EU – Tyre Safety. Current status and possible ways forward,“ Brüssel, 2014.
- [9] „Carlist.my,“ [Võrgumaterjal]. Available: <http://blog.carlist.my/2013/07/car-tips/5-signs-suggesting-a-tire-change/>. [Kasutatud 02.04.2014].
- [10] „Nokian Tyres,“ [Võrgumaterjal]. Available: <http://www.nokiantyres.com/summer-tyres/nokian-z-suv/>. [Kasutatud 02.04.2014].
- [11] „SharpFine,“ [Võrgumaterjal]. Available: <http://www.sharpfine.com/Calipers/tyre-depth-gauges.html#>. [Kasutatud 05.04.2014].
- [12] „Asia,“ [Võrgumaterjal]. Available: <http://www.asia.ru/en/ProductInfo/874979.htm>.

- [Kasutatud 05.04.2014].
- [13] „Intercomp Racing, Inc,“ [Võrgumaterjal]. Available: http://www.intercomp-racing.com/products/tire_tread_depth_gauge_834.cfm. [Kasutatud 05.04.2014].
- [14] „Justoffbase,“ [Võrgumaterjal]. Available: <http://www.justoffbase.co.uk/Digital-Tyre-Tread-Depth-Gauge-VOSA-Approved-VS0563-Sealey>. [Kasutatud 05.04.2014].
- [15] „Tire Rack, Inc,“ [Võrgumaterjal]. Available: <http://www.tirerack.com/accessories/detail.jsp?ID=119>. [Kasutatud 05.04.2014].
- [16] „ProContour,“ [Võrgumaterjal]. Available: <http://www.its-uk.org.uk/filelibrary/file/Schwalm.pdf>. [Kasutatud 10.11.2013].
- [17] „Riigi Teataja - Mootorsõiduki ja selle haagise tehnoseisundile ja varustusele esitatavad nõuded,“ [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.riigiteataja.ee/akt/12825218>. [Kasutatud 18.05.2014].
- [18] „Riigi Teataja - Teede- ja sideministri 18. mai 2001. a määruse nr 50 «Mootorsõiduki ja selle haagise tehnoseisundile ja varustusele esitatavad nõuded» muutmise,“ [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.riigiteataja.ee/akt/86840>. [Kasutatud 05.05.2014].
- [19] „Maanteeamet - Rehvide vahetus ja tehnilised nõuded,“ [Võrgumaterjal]. Available: <http://www.mnt.ee/index.php?id=25672>. [Kasutatud 18.05.2014].
- [20] H. P. j. Oliver Mets, „Rehvi turvise sügavuse mõõtmine,“ TTÜ, Tallinn, 2013.
- [21] „Ingun,“ [Võrgumaterjal]. Available: http://www.ingun.de/index.php?option=com_content&view=article&id=213%3Aschaltkontaktstifte-sks&catid=55%3Asuche-ueber-produkt&Itemid=123&lang=en. [Kasutatud 20.05.2014].
- [22] „Farnell element14,“ [Võrgumaterjal]. Available: <http://ee.farnell.com/omron-electronic-components/d3v-166-1a5/microswitch-spdt-16a-roller/dp/2068277>. [Kasutatud 20.05.2014].
- [23] „SensorWiki,“ [Võrgumaterjal]. Available: http://sensorwiki.org/lib/exe/detail.php/sensors/ultrasound_echo_ranging.jpg?id=sensors%3Aultrasound&cache=cache. [Kasutatud 20.05.2014].
- [24] P. A. Forrester ja K. F. Hulme, „Laser rangfinders,“ *Royal Signals and Radar Establishment*, p. 35, 1981.

- [25] F. Bien, M. Camac, H. K. Gaulfield ja S. Ezekiel, „Absolute distance measurements by variable wavelength interferometry,“ *Optical Society of America*, p. 4, 1981.
- [26] „Metrology Resource Co,“ [Võrgumaterjal]. Available: <http://www.metrologyresource.com/laser-sensor-MRL2.php>. [Kasutatud 20.05.2014].
- [27] „ABW GmbH,“ [Võrgumaterjal]. Available: http://www.abw-3d.de/messverfahren/triangulation/triangulation_de.php. [Kasutatud 25.04.2014].
- [28] „ESA Stellar Parallax,“ [Võrgumaterjal]. Available: <http://sci.esa.int/education/35616-stellar-distances/?fbodylongid=1661>. [Kasutatud 15.05.2014].
- [29] „First Surface Mirror LLC,“ [Võrgumaterjal]. Available: <http://www.firstsurfacemirror.com/>. [Kasutatud 05.05.2014].
- [30] „Wikipedia,“ [Võrgumaterjal]. Available: http://en.wikipedia.org/wiki/First_surface_mirror. [Kasutatud 15.05.2014].
- [31] „Mat Web,“ [Võrgumaterjal]. Available: <http://matweb.com/search/datasheet.aspx?matguid=ce56ff874f7f4424b77139972162220d>. [Kasutatud 20.05.2014].
- [32] „corninggorillaglass.com,“ Corning Incorporated, [Võrgumaterjal]. Available: <http://www.corninggorillaglass.com/Gorilla-Glass>. [Kasutatud 15.05.2014].
- [33] „Mat-Web,“ [Võrgumaterjal]. Available: <http://matweb.com/search/datasheet.aspx?matguid=ce56ff874f7f4424b77139972162220d>. [Kasutatud 18.05.2014].
- [34] „Mat-Web,“ [Võrgumaterjal]. Available: <http://matweb.com/search/datasheet.aspx?matguid=a188c3ef359945f7a6c04b9aadb0f42e>. [Kasutatud 18.05.2014].
- [35] „Mat-Web,“ [Võrgumaterjal]. Available: <http://matweb.com/search/datasheet.aspx?matguid=73f3369727044414b739c17fc36f5acd>. [Kasutatud 18.05.2014].
- [36] K. J. Mike F. Ashby, *Materials and Design: The Art and Science of Material Selection in Product Design*, Oxford: Butterworth-Heinemann, 2010.
- [37] P. Schlatter, „Axilone-AstroSurf,“ [Võrgumaterjal]. Available: <http://www.astrosurf.com/aras/fringing/schlatter/ripple.htm>. [Kasutatud 15.05.2014].
- [38] D. Meschede, *Optics, light and lasers : the practical approach to modern aspects of*

- photonics and laser physics, Weinheim : WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, 2004.
- [39] R. Paschotta, Encyclopedia of laser physics and technology, Weinheim: WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, 2008.
- [40] „Värviõpetus,“ [Võrgumaterjal]. Available: http://www.e-ope.ee/_download/euni_repository/file/663/Arvutigrafika%20e-kursuse%20tekstimaterjalid%20%28pdf%29.zip/Valmis%20Arvutigrafika%20e-kursus%20pdf/06%2001%20Va%CC%88rvio%CC%83petus.pdf. [Kasutatud 05.05.2014].
- [41] M. J. Weber, Handbook of laser wavelengths, Boca Raton: CRC Press, 1999.
- [42] „Olympus America Inc.,“ [Võrgumaterjal]. Available: <http://www.olympusmicro.com/primer/digitalimaging/cmosimagesensors.html>. [Kasutatud 05.05.2014].
- [43] „Eoptis SRL,“ [Võrgumaterjal]. Available: https://www.eoptis.com/attachment/get/up_143_1395677862.pdf. [Kasutatud 05.05.2014].
- [44] „Edmund Optics Inc.,“ [Võrgumaterjal]. Available: <http://www.edmundoptics.com/optics/optical-lenses/cylinder-lenses/laser-line-generator-lenses/1910>. [Kasutatud 05.05.2014].
- [45] „Symbol Technologies, Inc.,“ [Võrgumaterjal]. Available: http://www.inf.ufrgs.br/~oliveira/pubs_files/3D_Camera_Sketch_p_w_disclaimer.pdf. [Kasutatud 05.05.2014].
- [46] „Adesso Inc.,“ [Võrgumaterjal]. Available: <http://www.adeso.com/products/product-detail-121.html>. [Kasutatud 05.05.2014].
- [47] „SENSORIO,“ [Võrgumaterjal]. Available: <http://www.sensorio.cn/en/applications/technologies/laser/>. [Kasutatud 05.05.2014].
- [48] „Keller Studio,“ [Võrgumaterjal]. Available: <http://www.kellerstudio.de/repairfaq/sam/laserfil.htm>. [Kasutatud 25.04.2014].
- [49] „OÜ Dormikor,“ [Võrgumaterjal]. Available: [http://www.oomipood.ee/product/tme_hldpm12-655-5/module-laser-655nm-7mw-2-5-4vdc-red-head-dot&s=laser#](http://www.oomipood.ee/product/tme_hldpm12-655-5/module-laser-655nm-7mw-2-5-4vdc-red-head-dot&s=laser#.). [Kasutatud 25.04.2014].

- [50] „Raspberry Pi Applications and Eengineering,“ [Võrgumaterjal]. Available: <http://www.truetex.com/raspberrypi>. [Kasutatud 21.05.2014].
- [51] „Matbase,“ [Võrgumaterjal]. Available: <http://www.matbase.com/material-categories/natural-and-synthetic-polymers/agro-based-polymers/material-properties-of-poly-lactic-acid-monomere-pla-m.html#properties>. [Kasutatud 10.05.2014].
- [52] „Hamamatsu Photonics K.K.,“ [Võrgumaterjal]. Available: <http://www.hamamatsu.com/jp/en/product/category/3100/4005/4206/4118/S10202-08/index.html>. [Kasutatud 05.05.2014].
- [53] „HyperPhysics,“ [Võrgumaterjal]. Available: <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/geoopt/lenmak.html#c1>. [Kasutatud 21.05.2014].
- [54] „Mat-Web,“ [Võrgumaterjal]. Available: <http://matweb.com/search/DataSheet.aspx?MatGUID=bdfa9a3b599f4df6941c181dba5f7324&ckck=1>. [Kasutatud 02.05.2014].
- [55] R. Nave, „Fresneli lääts,“ [Võrgumaterjal]. Available: <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/geoopt/fresnellens.html>. [Kasutatud 21.05.2014].
- [56] „HyperPhysics,“ [Võrgumaterjal]. Available: <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/geoopt/fresnellens.html>. [Kasutatud 21.05.2014].
- [57] „Videology Imaging Solutions Inc.,“ [Võrgumaterjal]. Available: <http://www.videologyinc.com/lens%20focal%20length%20calculator.htm>. [Kasutatud 21.05.2014].
- [58] „Arduino,“ [Võrgumaterjal]. Available: <http://arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardMegaADK?from=Main.ArduinoBoardADK>. [Kasutatud 14.05.2014].
- [59] „Farnell element14,“ [Võrgumaterjal]. Available: http://ee.farnell.com/arduino/a000069/atmega2560-arduino-adk-rev3-board/dp/2212777?CMP=os_Google-UK_ProductDetail_Redirect. [Kasutatud 14.05.2014].
- [60] „Raspberry Pi Foundation,“ [Võrgumaterjal]. Available: <http://www.raspberrypi.org/help/faqs/>. [Kasutatud 19.05.2014].
- [61] „Scratchmypi,“ [Võrgumaterjal]. Available: <http://www.scratchmypi.co.uk/wp-content/uploads/2013/12/pi11.jpg>. [Kasutatud 20.05.2014].

- [62] „Farnell element14,“ [Võrgumaterjal]. Available: <http://ee.farnell.com/jsp/displayProduct.jsp?sku=2191863&isRedirect=true#>. [Kasutatud 14.05.2014].
- [63] „Stealth.com Inc.,“ [Võrgumaterjal]. Available: http://www.stealth.com/littlepc_630_fanless.htm. [Kasutatud 13.05.2014].
- [64] „Klick,“ [Võrgumaterjal]. Available: <http://www.klick.ee/sulearvutid/lenovo-ideapad-u330p.html>. [Kasutatud 13.05.2014].
- [65] „Notebookcheck,“ [Võrgumaterjal]. Available: <http://www.notebookcheck.net/Review-Lenovo-IdeaPad-U330p-Notebook.99952.0.html>. [Kasutatud 13.05.2014].
- [66] „Newegg,“ [Võrgumaterjal]. Available: <http://www.newegg.com/Product/Product.aspx?Item=N82E16883265829>. [Kasutatud 13.05.2014].
- [67] „Klick,“ [Võrgumaterjal]. Available: <http://www.klick.ee/lauaarvutid/lenovo-ideacentre-h530s.html>. [Kasutatud 13.05.2014].
- [68] „-BYTE Technology Co,“ [Võrgumaterjal]. Available: <http://www.gigabyte.com/products/product-page.aspx?pid=4736#ov>. [Kasutatud 19.05.2014].
- [69] „PCWorld,“ [Võrgumaterjal]. Available: <http://www.pcworld.com/article/2153780/gigabyte-brix-gb-bxi7-4500-review-pint-sized-power-at-a-plus-sized-cost.html>. [Kasutatud 19.05.2014].
- [70] „Newegg,“ [Võrgumaterjal]. Available: <http://www.newegg.com/Product/Product.aspx?Item=N82E16856164008>. [Kasutatud 19.05.2014].
- [71] „PassMark® Software,“ [Võrgumaterjal]. Available: [http://www.cpubenchmark.net/compare.php?cmp\[\]=890&cmp\[\]=1947&cmp\[\]=](http://www.cpubenchmark.net/compare.php?cmp[]=890&cmp[]=1947&cmp[]=). [Kasutatud 13.05.2014].
- [72] „PassMark® Software,“ [Võrgumaterjal]. Available: <http://www.cpubenchmark.net/cpu.php?cpu=Intel+Core+i7-4500U+%40+1.80GHz&id=1937>. [Kasutatud 19.05.2014].
- [73] „Amazon.com, Inc.,“ [Võrgumaterjal]. Available: <http://www.amazon.com/Logitech-961471-0403-QuickCam-Ultra-Vision/dp/B000GP4G1I%3FSubscriptionId%3DAKIAILSHYYTFIVPWUY6Q%26tag>

- %3Dduckduckgo-d-
20%26linkCode%3Dxm2%26camp%3D2025%26creative%3D165953%26creativeASIN%3DB000GP4G1I. [Kasutatud 14.05.2014].
- [74] „Edmund optics Inc.,“ [Võrgumaterjal]. Available: <http://www.edmundoptics.com/imaging/cameras/board-level-cameras/eo-usb-2-0-board-level-cameras/2947>. [Kasutatud 14.05.2014].
- [75] „The Imaging Source Europe GmbH,“ [Võrgumaterjal]. Available: http://www.theimagingsource.com/en_US/products/cameras/usb-ccd-color/dfk72auc02/. [Kasutatud 14.05.2014].
- [76] „Point Grey Research Inc.,“ [Võrgumaterjal]. Available: <http://eu.ptgreystore.com/chameleon-13-mp-color-usb-20-3>. [Kasutatud 14.05.2014].
- [77] „Point Grey Research Inc.,“ [Võrgumaterjal]. Available: <http://eu.ptgreystore.com/flea3-88-mp-color-usb-30-2>. [Kasutatud 14.05.2014].
- [78] „Farnell element14,“ [Võrgumaterjal]. Available: <http://ee.farnell.com/raspberry-pi/rpi-camera-board/raspberry-pi-camera-board-5mp/dp/2302279#>. [Kasutatud 15.04.2014].
- [79] D. Hughes, „Picamera read the docs,“ [Võrgumaterjal]. Available: <http://picamera.readthedocs.org/en/release-1.4/fov.html>. [Kasutatud 20.05.2014].
- [80] „National Instruments Corporation,“ [Võrgumaterjal]. Available: <http://sine.ni.com/nips/cds/view/p/lang/en/nid/13751>. [Kasutatud 14.05.2014].
- [81] „National Instruments Corporation,“ [Võrgumaterjal]. Available: <http://sine.ni.com/nips/cds/view/p/lang/en/nid/210035>. [Kasutatud 14.05.2014].
- [82] Itseez, „OpenCV koduleht,“ [Võrgumaterjal]. Available: <http://opencv.org/>. [Kasutatud 14.05.2014].
- [83] „OpenCV,“ [Võrgumaterjal]. Available: http://docs.opencv.org/doc/tutorials/introduction/load_save_image/load_save_image.html. [Kasutatud 01.05.2014].
- [84] „SimpleCV,“ [Võrgumaterjal]. Available: <http://simplecv.org/>. [Kasutatud 21.05.2014].
- [85] A. Hornberg, Handbook of Machine Vision, Weinheim: WILEY-VCH Verlag GmbH & Co KGaA, 2006.
- [86] „Scipy lecture notes,“ [Võrgumaterjal]. Available: http://www.tp.umu.se/~nylen/pylect/advanced/image_processing/index.html.

- [Kasutatud 21.05.2014].
- [87] J. C. Russ, Image Processing Handbook Sixth Edition, New Yourk: CRC Press, 2010.
- [88] E. R. Davies, Machine Vision: Theory, Algorithms, Pracicalities, London: ACADEMIC PRESS LIMITED, 1990.
- [89] „All programming tutorials,“ [Võrgumaterjal]. Available: <http://programing-tutorial.blogspot.com/2010/06/open-cv-tutorial-basic-operations-for.html>. [Kasutatud 21.05.2014].
- [90] „Felix Abecassis,“ [Võrgumaterjal]. Available: <http://felix.abecassis.me/2011/09/opencv-morphological-skeleton/>. [Kasutatud 21.05.2014].
- [91] „3M,“ [Võrgumaterjal]. Available: http://solutions.3m.com/wps/portal/3M/en_US/NA_Motor_Vehicle_Services_Systems/Motor_Vehicle_Industry_Solutions/product_catalog/3m-automatic-license-plate-recognition/. [Kasutatud 21.05.2014].
- [92] „HuaweiE220,“ [Võrgumaterjal]. Available: <http://www.huaweie220.com/english/images.html>. [Kasutatud 21.05.2014].
- [93] „Raspberry Pi Spy,“ [Võrgumaterjal]. Available: <http://www.raspberrypi-spy.co.uk/2012/06/control-led-using-gpio-output-pin/>. [Kasutatud 15.05.2014].
- [94] „SparkFun,“ [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.sparkfun.com/products/639>. [Kasutatud 15.05.2014].
- [95] „SparkFun,“ [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.sparkfun.com/products/9375>. [Kasutatud 15.05.2014].
- [96] „Interlink Electronics, Inc.,“ [Võrgumaterjal]. Available: <http://www.interlinkelectronics.com/resistors.php>. [Kasutatud 15.05.2014].
- [97] R. G. M. H. R. K. F. N. S. O. H. P. A. S. Ulrich Fischer, Mechanical and Metal Trades Handbook, Tallinn: TTÜ Kirjastus, 2012.
- [98] „Fixus Trade OÜ,“ [Võrgumaterjal]. Available: <http://www.fixustrade.ee/Akende/Uste/Tihendid>. [Kasutatud 15.05.2014].
- [99] „Westbalt,“ [Võrgumaterjal]. Available: <http://www.westbalt.eu/store/index.php/installation-materials/cables-and-wires/cable-glands/cable-gland-kdf4-4mm.html>. [Kasutatud 15.05.2014].

- [100] „Raspberry Pi Foundation,“ [Võrgumaterjal]. Available: <http://www.raspberrypi.org/wp-content/uploads/2013/07/RaspiCam-Documentation.pdf>. [Kasutatud 19.05.2014].
- [101] „European Commission - Directorate General for Mobility and Transport,“ [Võrgumaterjal]. Available: http://ec.europa.eu/transport/road_safety/pdf/observatory/historical_evol.pdf. [Kasutatud 18.05.2014].
- [102] „EVS-EN 10088-1:2005 - Roostevabad terased. Osa 1: Roostevabade teraste loetelu,“ [Võrgumaterjal]. Available: <http://www.evs.ee/tooted/evs-en-10088-1-2005>. [Kasutatud 15.05.2014].
- [103] „EVS-EN 10088-2:2005 - Roostevaba teras. Osa 2: Korrosioonikindlate terasplaatide ja ribade tehnilised tingimused üldiseks- ja ehituslikuks kasutamiseks,“ [Võrgumaterjal]. Available: <http://www.evs.ee/tooted/evs-en-10088-2-2005>. [Kasutatud 15.05.2014].

LISA1

IP klassid

Tase	Kaitstava objekti suurus	Mille vastu efektiivne
0	—	Kaitse kontakti vastu puudub
1	>50 mm	Suured kehaosad nagu näiteks käsivars, kuid tahtliku kontakti vastu kaitse puudub
2	>12.5 mm	Näpud ja sarnased objektid
3	>2.5 mm	Tööriistad, pakus juhtmed jne
4	>1 mm	Enamus juhtmed, kruvid
5	Tolmule vastupidav	Tolmu sissepääsemine pole täielikult välistatud, kuid seadme töötamist tolmu ei häiri
6	Tolmukindel	Tolmutihe, täielikult kontakti kindel

Tase	Mille vastu kaitstud	Testitud	Detailid
0	Pole kaitstud	—	—
1	Tilkuv vesi	Vertikaalselt tilkuval veel pole kahjulikku toimet	Testi kestus: 10 minutit Vee kogus võrdne 1 mm vihmaveega minuti kohta
2	Tilkuv vesi kui kallutatud kuni 15°	Vertikaalselt tilkuval veel pole kahjuliku mõju kuni 15° kallutamiseni normaalolekust.	Testi kestus: 10 minutit Vee kogus võrdne 3 mm vihmaveega minuti kohta
3	Pihustatud vesi	Pihustatud vesi kuni 60° vertikaalist ei oma kahjuliku mõju.	Testi kestus: 5 minutit Vee kogus: 0.7 liitrit minutis Rõhk: 80–100 kPa
4	Pritsiv vesi	Suvalisest küljest pritsiv vesi ei tohi kahjulikult mõjuda.	Testi kestus: 5 minutit Vee kogus: 10 liitrit minutis Rõhk: 80–100 kPa
5	Veejoad	Korpuse vastu pritsitud veejoad düüsidest (6.3 mm) ei tohi kahjulikult mõjuda.	Testi kestus: vähemalt 15 minutit Veekogus: 12.5 liitrit minutis Rõhk: 30 kPa 3 m kauguselt
6	Tugevad veejoad	Korpuse vastu pritsitud veejoad düüsidest (12.5 mm) ei tohi kahjulikult mõjuda.	Testi kestus: vähemalt 3 minutit Veekogus: 100 liitrit minutis Rõhk: 100 kPa 3 m kauguselt
6K	Tugevad veejoad kõrgendatud rõhuga	Korpuse vastu pritsitud suurendatud survega veejoad düüsidest (12.5 mm) ei tohi kahjulikult mõjuda.	Testi kestus: vähemalt 3 minutit Veekogus: 74 liitrit minutis Rõhk: 1000 kPa 3 m kauguselt
7	Sukeldamine kuni 1 m sügavusele	Vee pääs seadmesse pole võimalik kui seade on ette nähtud sügavusel (kuni 1 m sügavusel)	Testi kestus: 30 minutit Sügavust 1 m mõõdetakse seadme alumisest osast ja ülemine osa peab vähemalt 15 cm sügavusel olema
8	Sukeldamine sügavamale kui 1 m	sukeldamiseks tootja poolt määratud tingimustel. Tavaliselt tähendab see, et seade on	Testi kestus: püsiv vette sukeldamine 3 m
9k	Võimsad kõrge temperatuuriga veejoad	temperatuuriga veejogade vastu.	—

LISA 2

Katsetamise programmi kood

```
#include <opencv2/core/core.hpp>
#include <opencv2/imgproc/imgproc.hpp>
#include <opencv2/highgui/highgui.hpp>
#include <iostream>
#include <vector>
#include <iomanip>

using namespace cv;
using namespace std;

Mat src, dst, red, planes[3];
vector<Vec4i> lines;
vector<int> koht(2000);
vector<int> joon(2000);
int joone[100][5];
int n = 0;
float tegur = 11.25; //11.25 pikselit millimeetri kohta
int summa, baas, maks;

Point r1 = Point(200,700);
Point r2 = Point(2200, 1000);
Mat lopp(r2.y-r1.y, r2.x-r1.x, CV_8UC1);

int main( int argc, const char** argv ){
    Mat src = imread(argv[1], CV_LOAD_IMAGE_UNCHANGED); //Faili
    muutujasse lugemine
    if(!src.data){ //Faili info olemasolu kontroll
        cout << "Faili ei saa avada või ei leitud" << '\n';
        return -1;
    }
    Mat roi(src, Rect(r1, r2)); //Huvipiirkonna määramine
    rectangle(src, r1, r2, Scalar( 0, 255, 0 ), 6, 8 ); //Huvipiirkonna
välja joonestamine
    split(src, planes); //Värvi kanalite eraldamine
    red = planes[2]; //Punase värvikanali kasutamine
    Mat roi2(red, Rect(r1, r2)); //Huvipiirkonna määramine uuele pildile
    threshold(roi2, dst, 100, 255, THRESH_BINARY); //Binaarkujule viimine

    for(int i = 0; i < dst.cols; i++){ //Punktipilve loomine
        for( int j = 0; j < dst.rows; j++){
            if(dst.at<uchar>(j, i) >200){
                for(int k = dst.rows; k > j; k--){
                    if(dst.at<uchar>(k, i) >200){
                        lopp.at<uchar>(((k+j) / 2), i) = 255;
                        koht.at(i) = (k+j) / 2;
                        break;
                    }
                }
                break;
            }
        }
    }

    n = 0;
    joone[n][0] = 0;

    for(int i = 20; i < koht.size(); i++){ //Joon otspunktide otsimine
```

punktivilvest

```
    if((abs(koht.at(i)-koht.at(i - 10)) < 10) && (koht.at(i)>10)){
        joone[n][1] = i;
    }else{
        if((i-joone[n][0]) > 20){
            joone[n][1] = i-1;
            n++;
            joone[n][0] = i;
        }else{
            joone[n][0] = i;
        }
    }
}

summa = 0;
baas = 0;

for (int i=0; i<n; i++){ // Joone keskvaartuse otsimine ja minimaalse
baasjoone leidmine
    summa = 0;

    for(int j = joone[i][0]; j < joone[i][1]; j++){
        summa = summa + koht.at(j);
    }

    joone[i][2] = floor(summa / (joone[i][1] - joone[i][0]));
    if(joone[i][2] > baas){
        baas = joone[i][2];
    }
}

maks = 0;

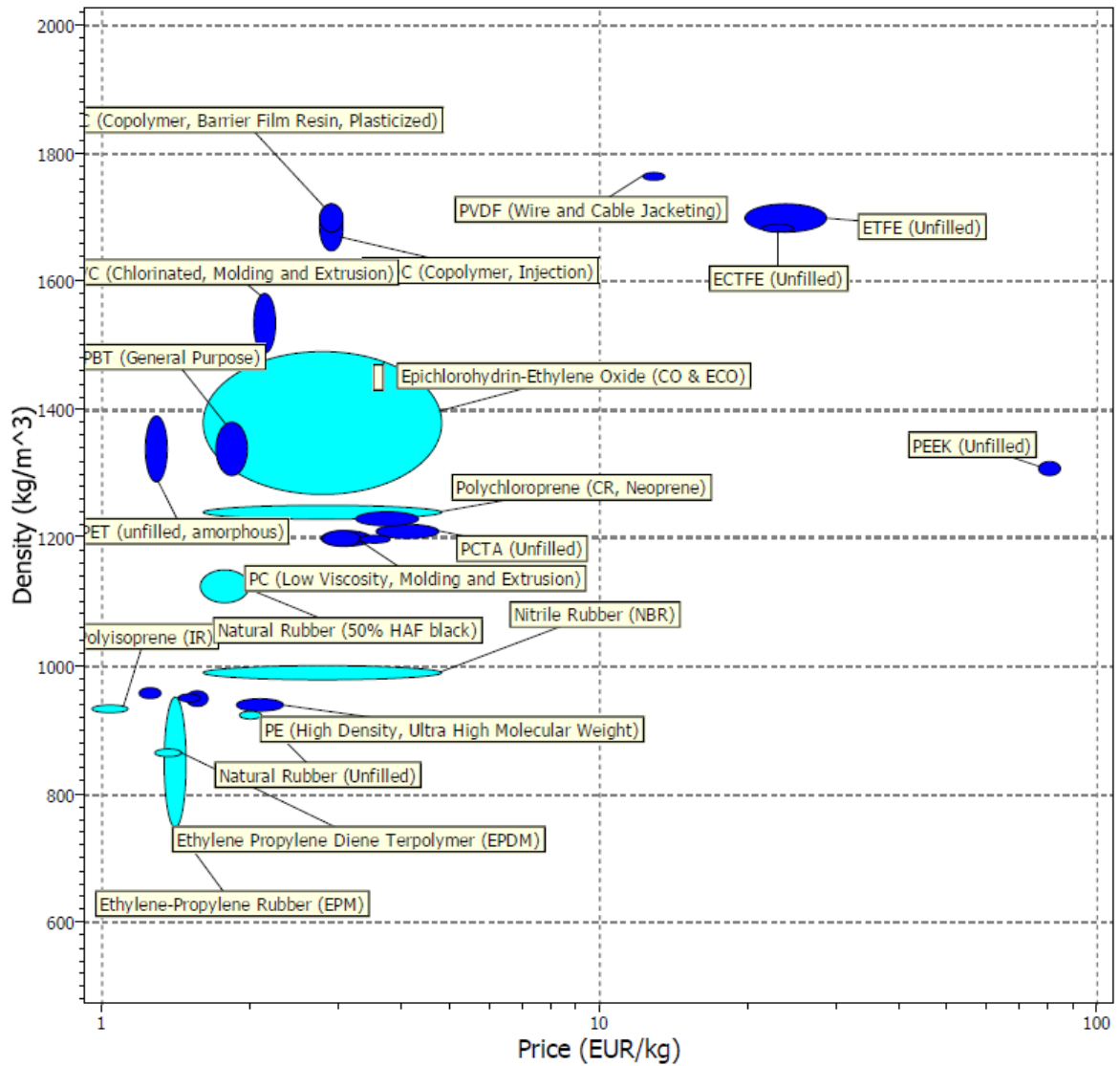
for (int i=1; i<n-1; i++){ //Mustripõhja joonte eraldamine ja
sügavaima leidmine
    if((joone[i][2] < joone[i-1][2]) && (joone[i][2] <
joone[i+1][2])){
        joone[i][3] = 1;
        joone[i][4] = baas - joone[i][2];
        if(joone[i][4] > maks){
            maks = joone[i][4];
        }
    }
}

for(int i = 0; i < n; i++){ //Illustrtiivsete joonte joonistamine
    line( roi, Point(joone[i][0], joone[i][2]), Point(joone[i][1],
joone[i][2]), Scalar(0,255,0), 6, CV_AA);
}

cout << "Maksimaalne mustri sügavus on: " << setprecision(2) <<
float(maks) / tegur << " mm.\n"; //Mustrisügavuse kuvamine
return 0;
}
```

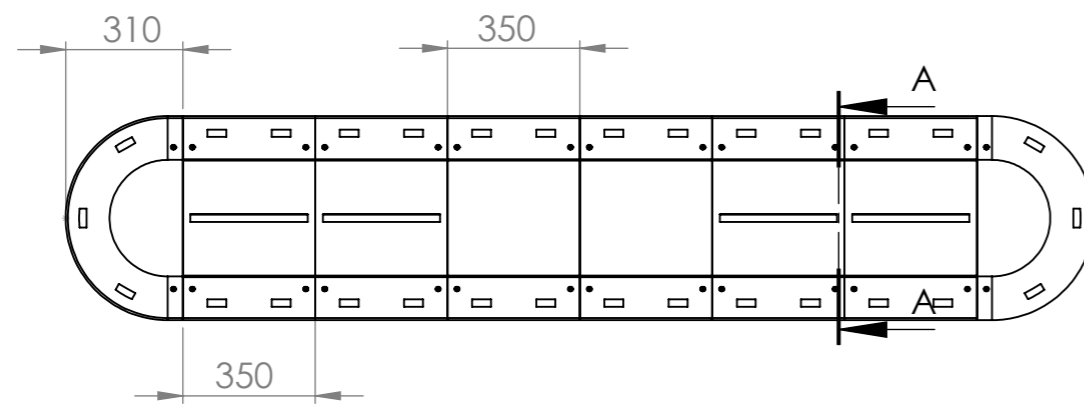
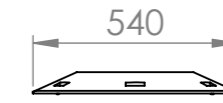
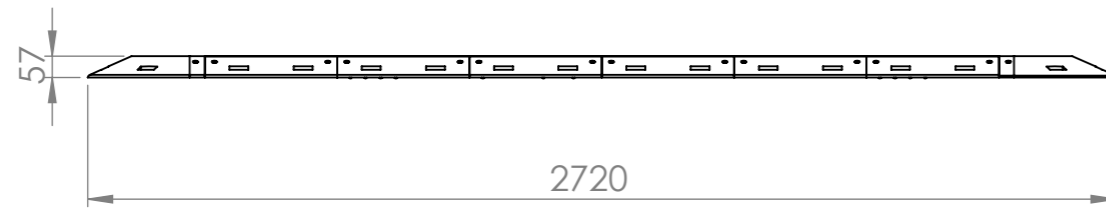
LISA 3

CES Edupack 2007

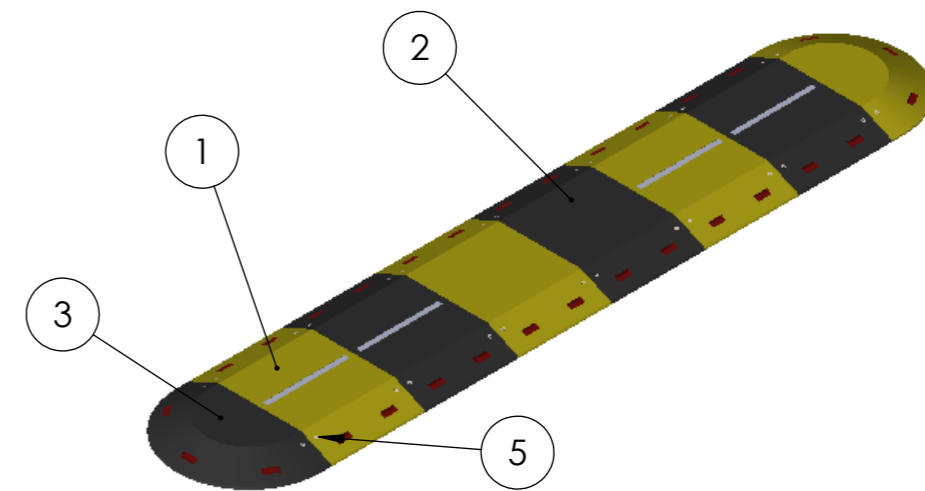


LISA 4

Konstruksiooni joonised

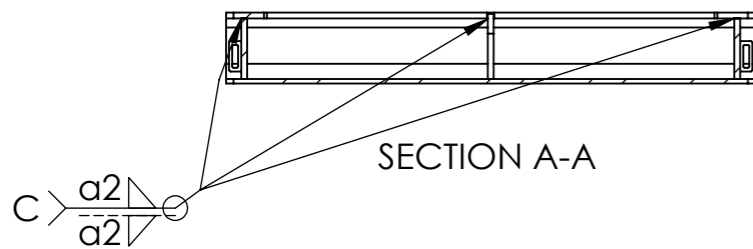
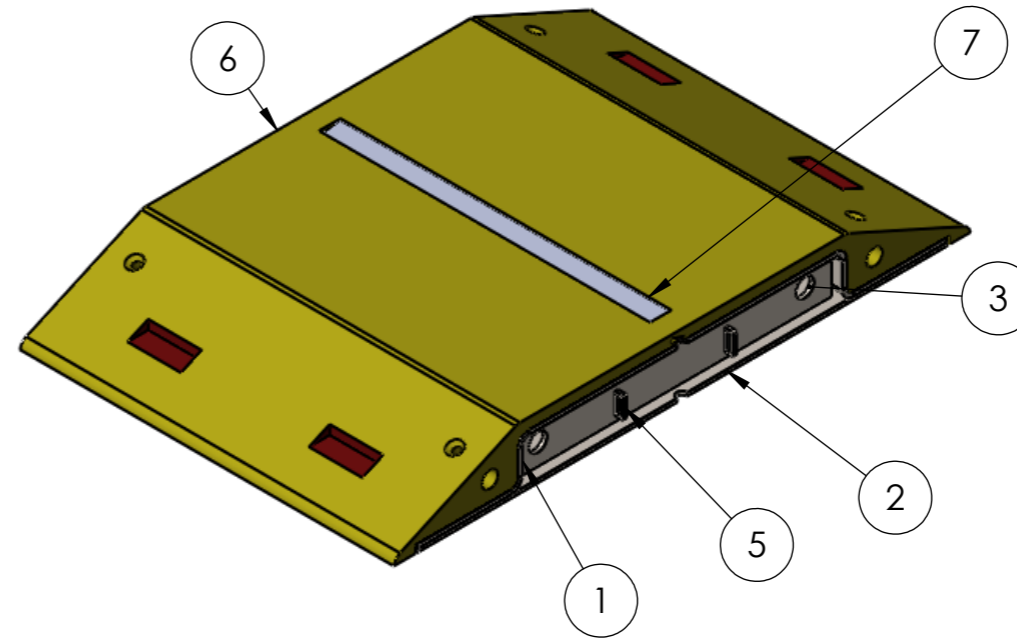
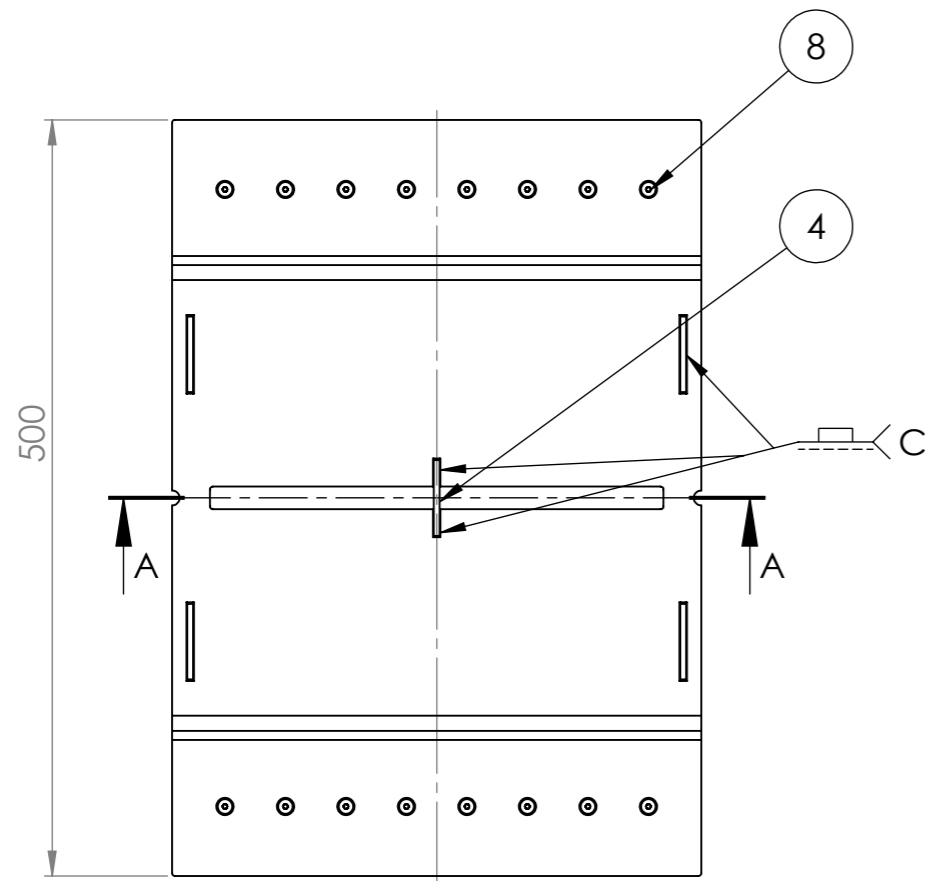
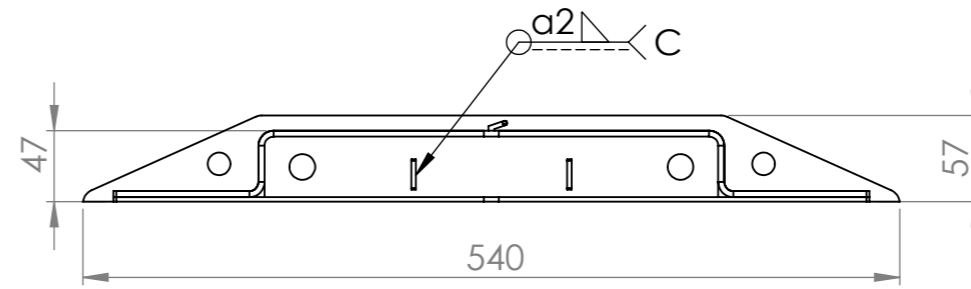
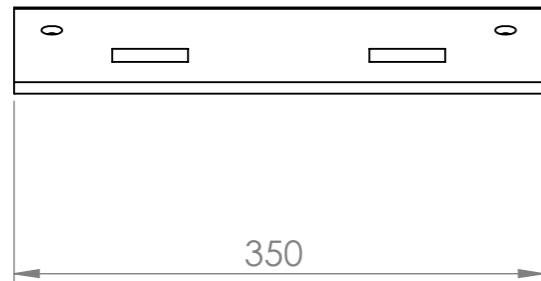


SECTION A-A



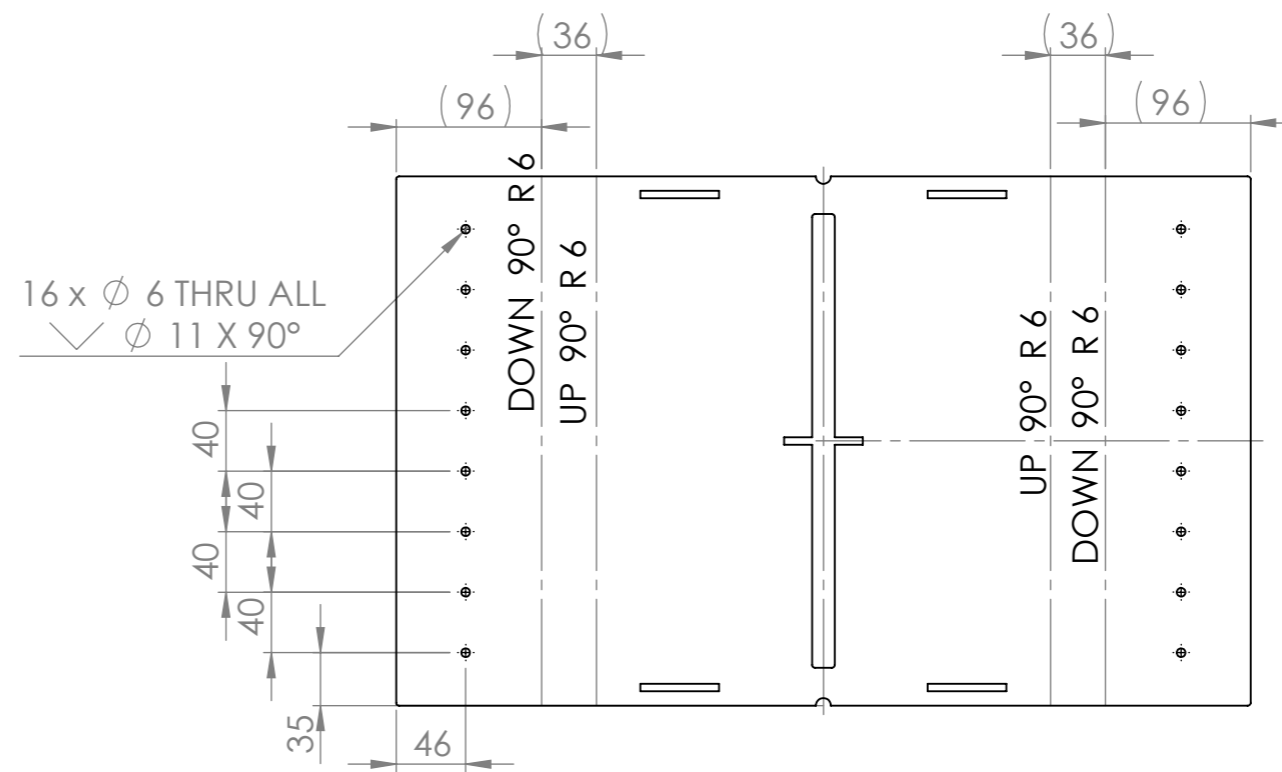
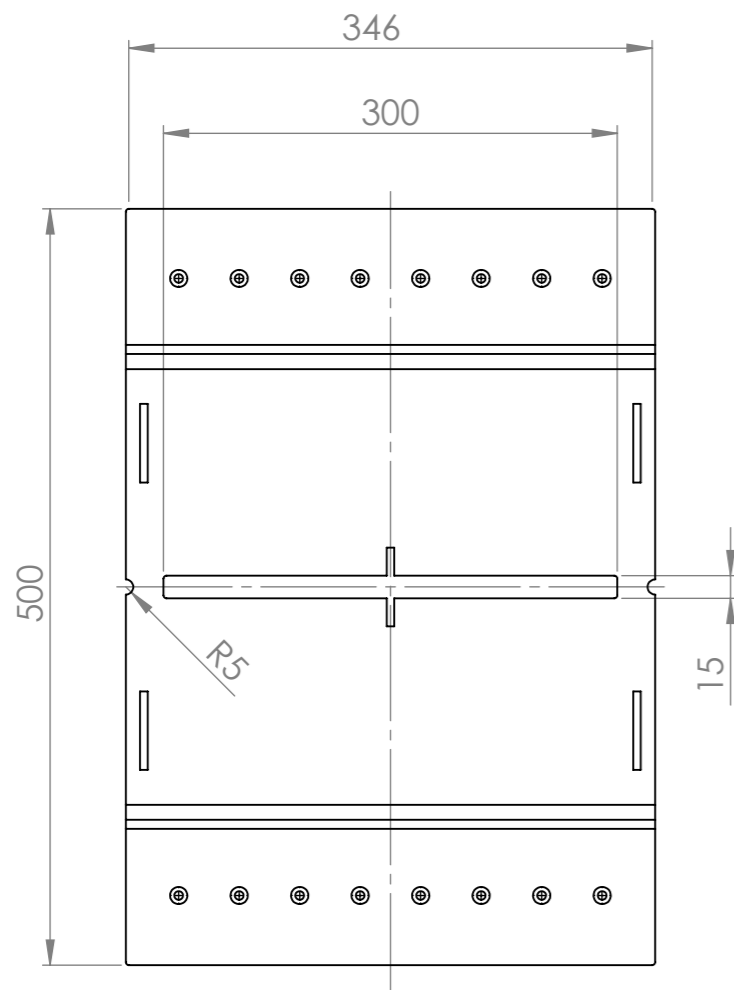
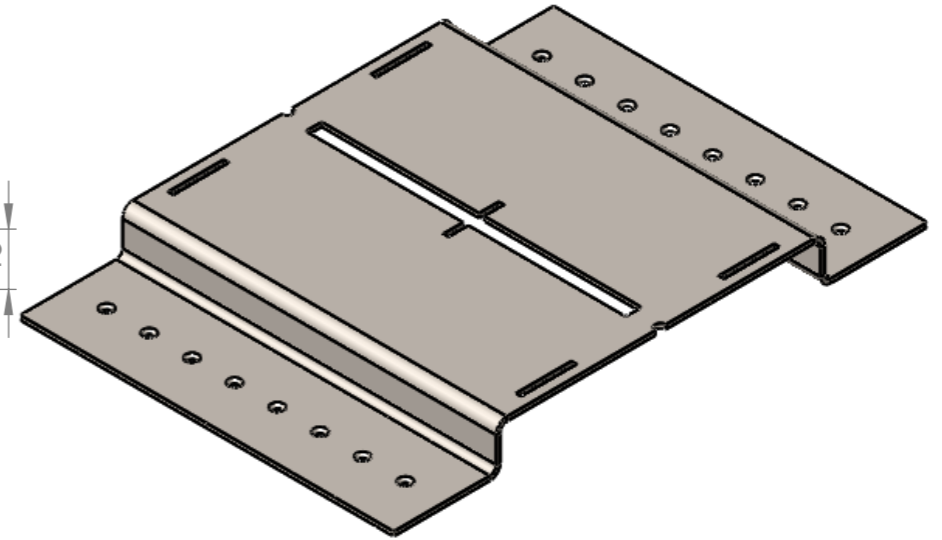
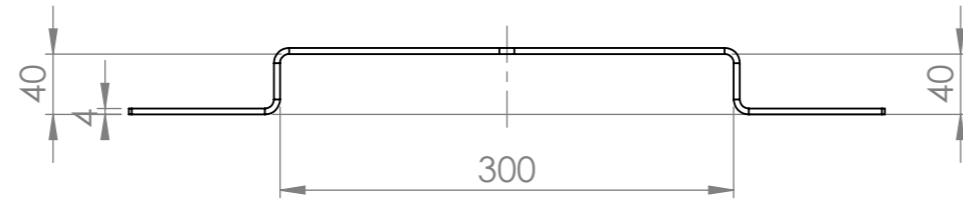
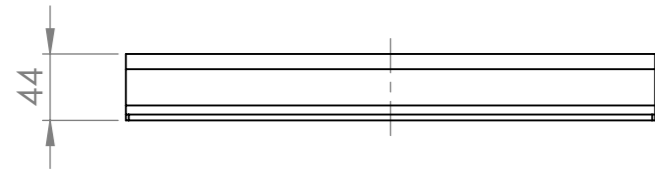
ITEM NO.	PART NUMBER	DESCRIPTION	QTY.
1	MV5.001	Mõõtemoodul	4
2	MV5.201	Elektronikamoodul	2
3	MV5.301	Otsamoodul	2
4	MV5.009	Ühendusvõll	14
5	DIN 7991 - M6 x 16 --- 9.7N		28

	Materjal:	Märkused:	Mass: 93.93 kg	Mõõt: 1:20 (A3)
	Teostas Kontrollis Kinnitas	Oliver Mets	Nimetus: Mõõtesüsteem	
		Projekt: Mõõtesüsteem	Tähis: MV5.000	
		Kuupäev: 21.05.2014	Leht: 1/1	Revision: Rev.

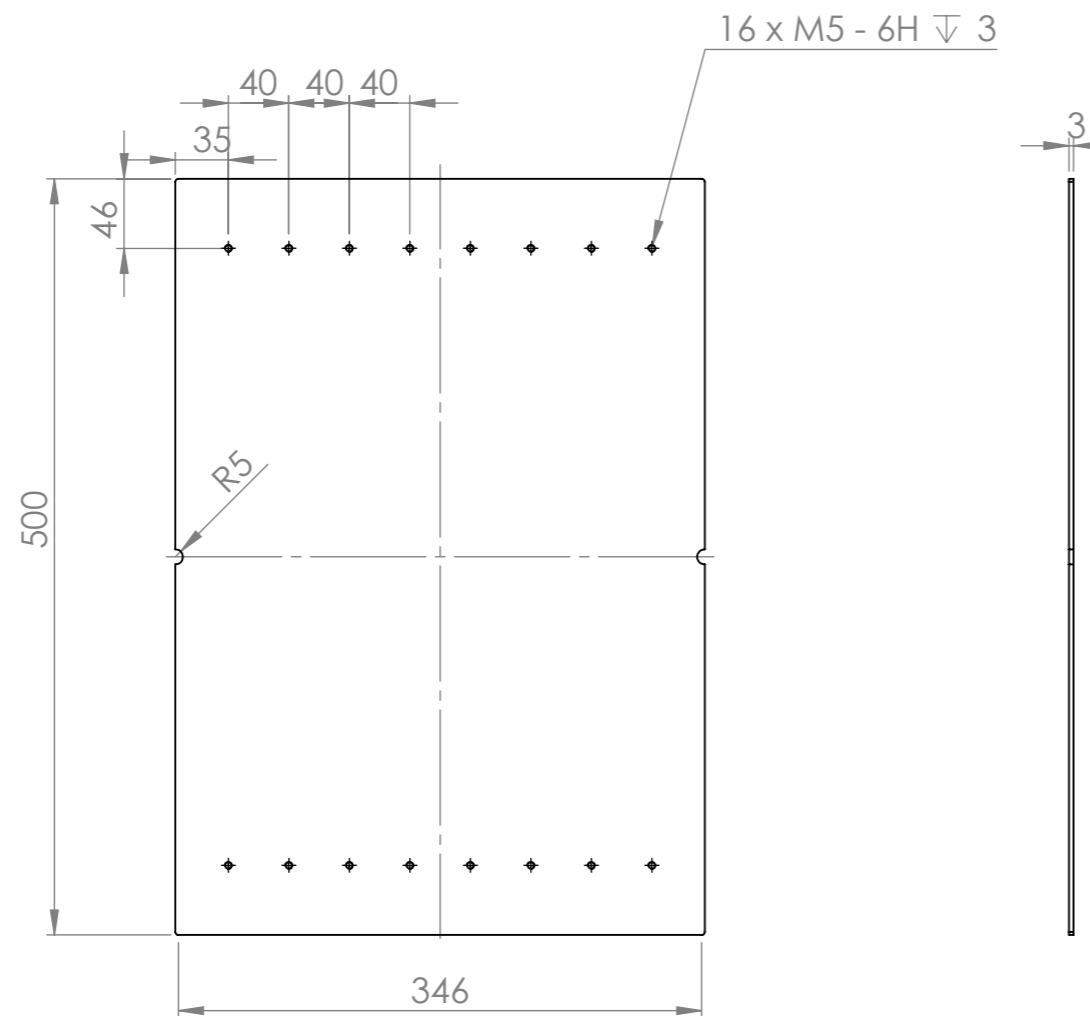


ITEM NO.	PART NUMBER	DESCRIPTION	QTY.
1	MV5.002	t=4	1
2	MV5.003	t=3	1
3	MV5.004	t=4	2
4	MV5.005	t=4	1
5	MV5.006	t=3	4
6	MV5.007	Kummikate	1
7	MV5.008	PMMA klaas	1
8	DIN 7991 - M5 x 6 --- 3N		16

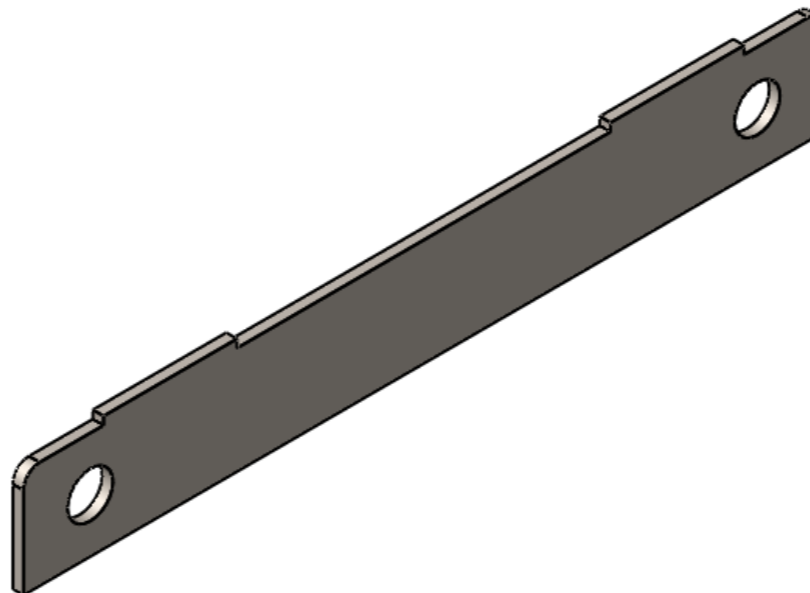
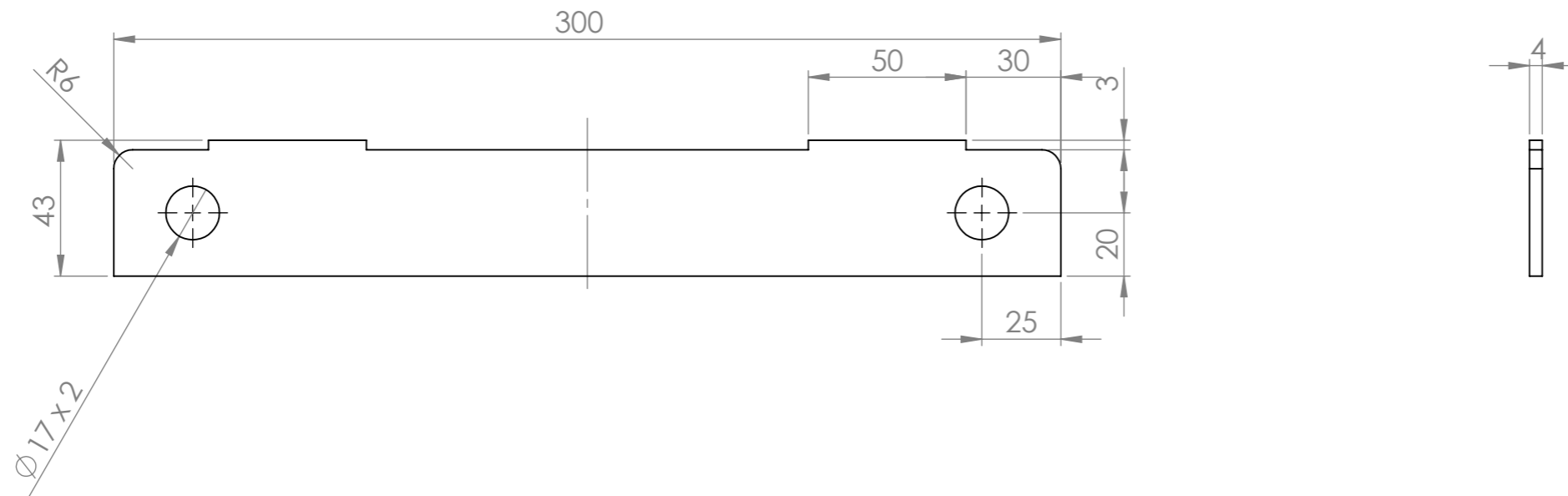
	Materjal:	Märkused:	Mass: 13.71 kg	Mööd: 1:5 (A3)
	Teostas Kontrollis Kinnitas	Oliver Mets	Nimetus: Möötemoodul	
		Projekt: Möötesüsteem	Tähis: MV5.001	
		Kuupäev: 21.05.2014	Leht: 1/1	Revision: Rev.



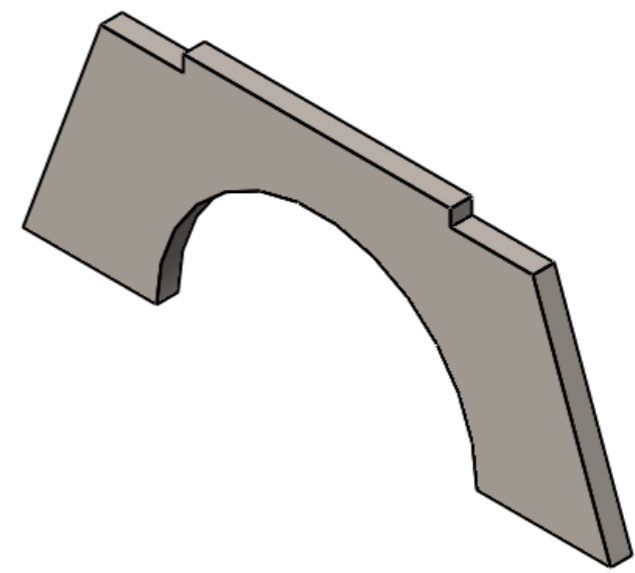
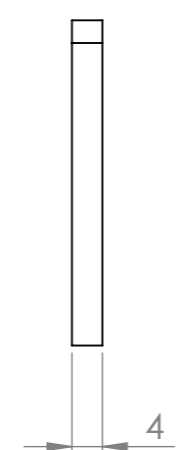
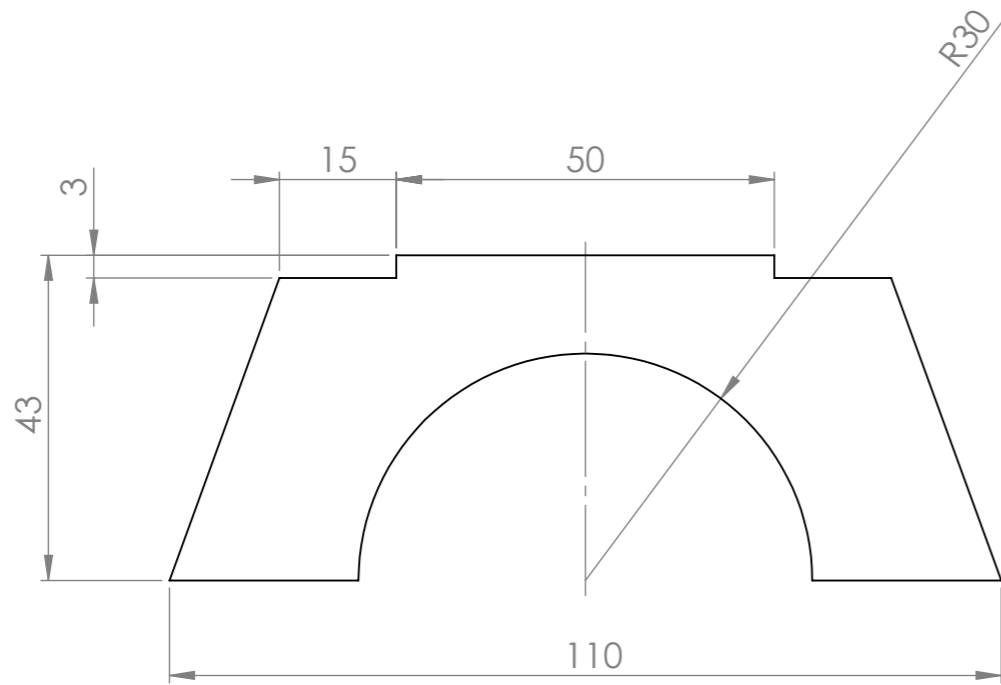
	Materjal: S355JR2	Märkused:	Mass: 6.02 kg	Mõõt: 1:5 (A3)
	Teostas Oliver Mets	Nimetus: Pealmine profiil		
Kontrollis		Projekt: Mõõtesüsteem	Tähis: MV5.002	
Kinnitas		Kuupäev: 21.05.2014	Leht: 1/1	Revision: Rev.



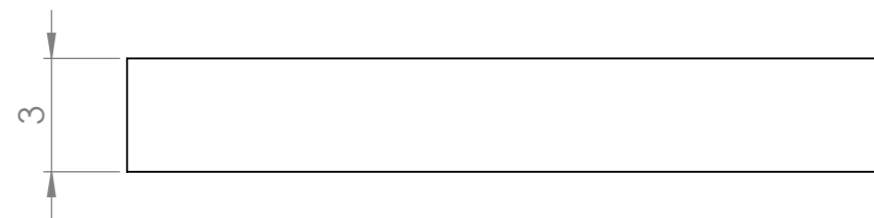
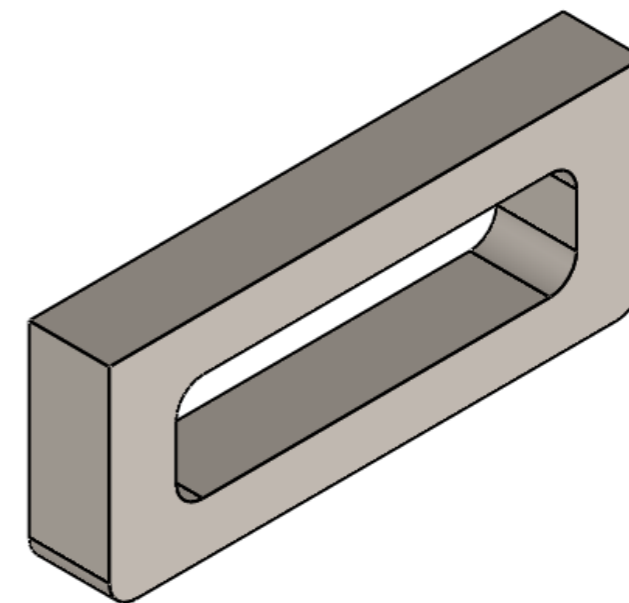
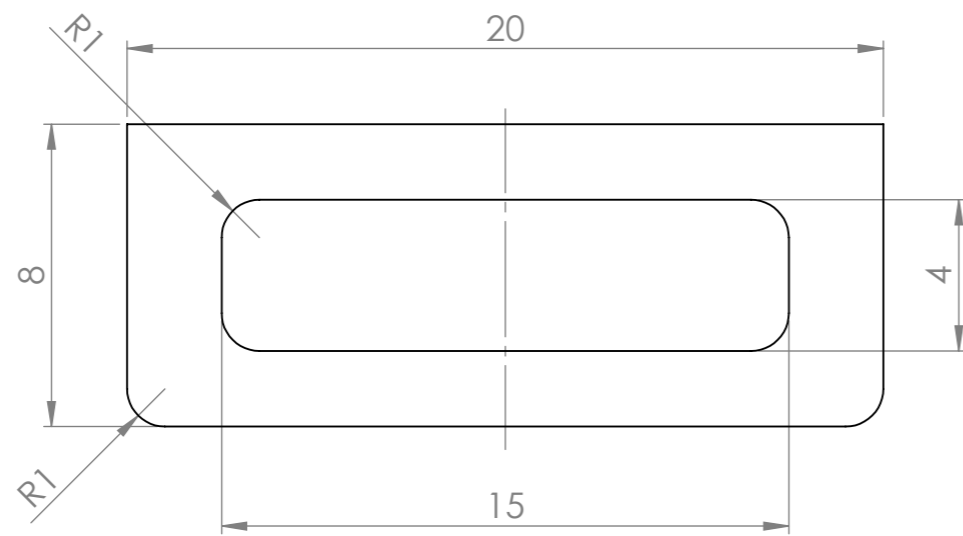
	Materjal: S355JR2	Märkused:	Mass: 4.11 kg	Mõõt: 1:5 (A3)
	Teostas Oliver Mets	Nimetus: Alusplaat		
Kontrollis		Projekt: Mõõtesüsteem	Tähis: MV5.003	
Kinnitas		Kuupäev: 21.05.2014	Leht: 1/1	Revision: Rev.



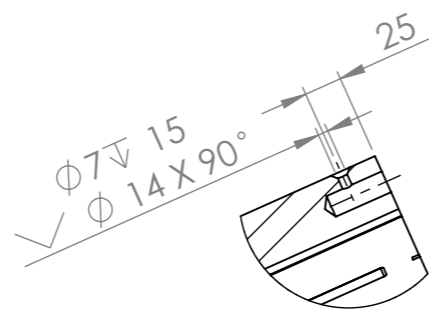
	Materjal: S355JR2	Märkused:	Mass: 0.37 kg	Mõõt: 1:2 (A3)
Teostas	Oliver Mets	Nimetus: Tugisein		
Kontrollis		Projekt: Mõõtesüsteem		
Kinnitas		Tähis: MV5.004	Leht: 1/1	
		Kuupäev: 21.05.2014	Revision: Rev.	



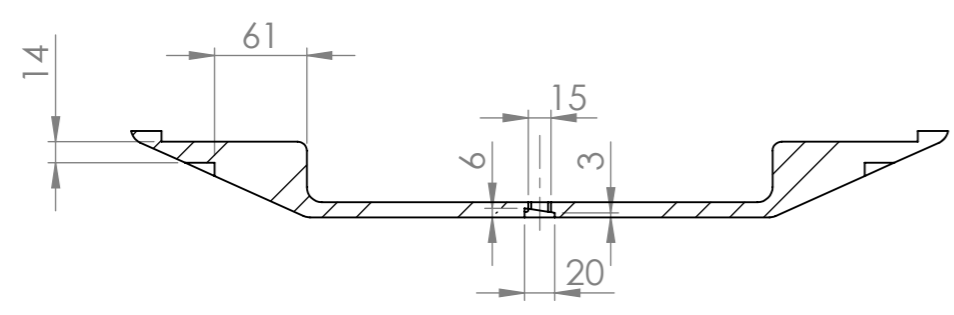
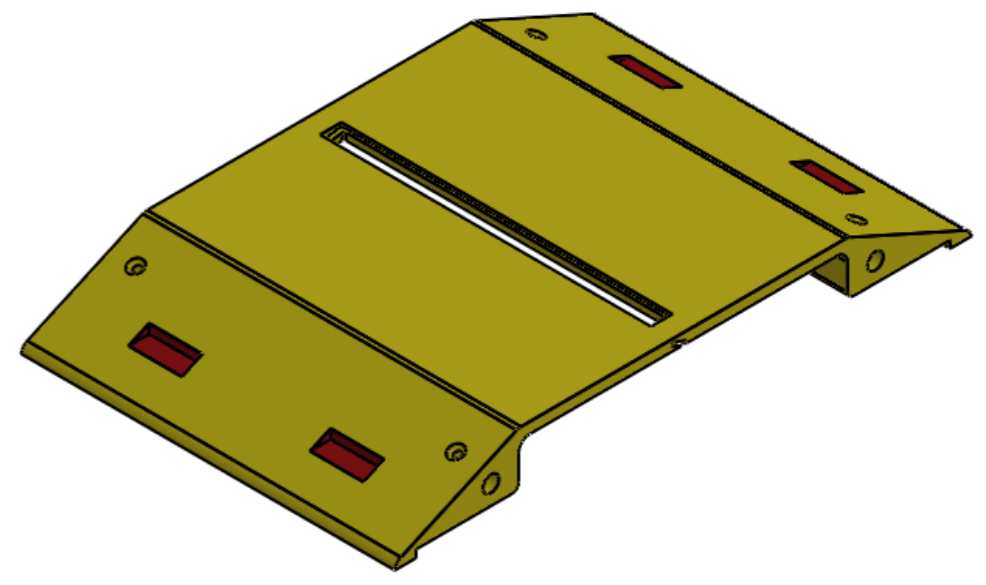
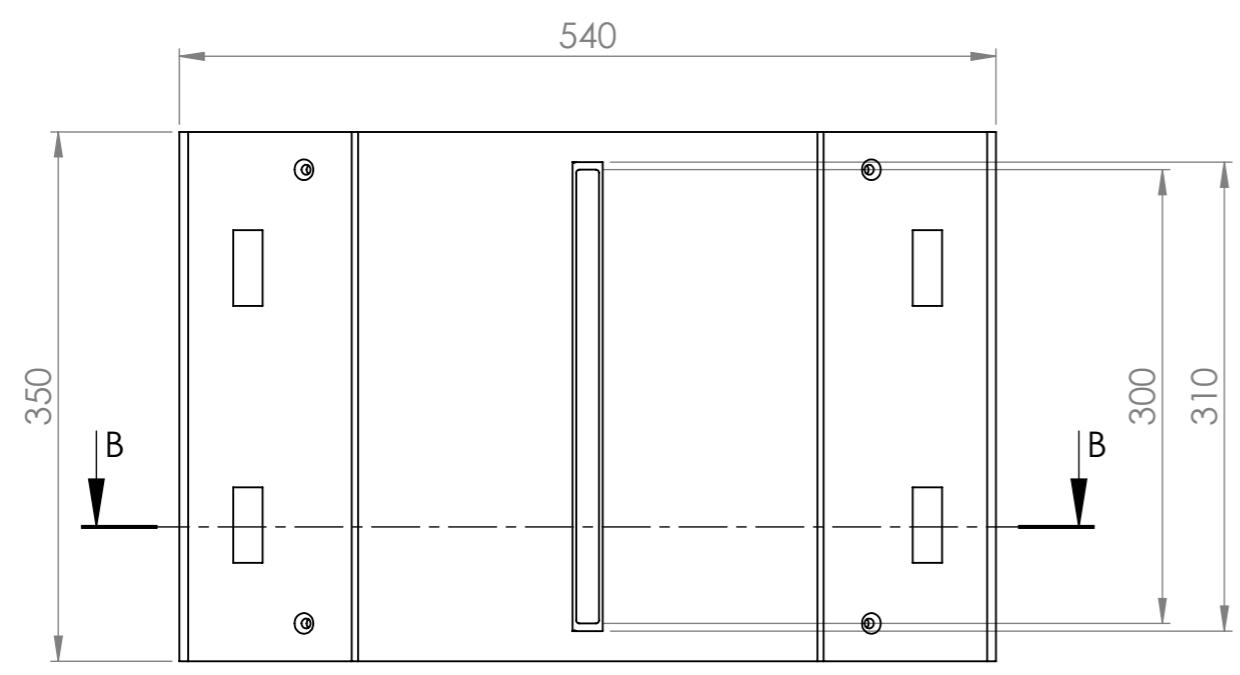
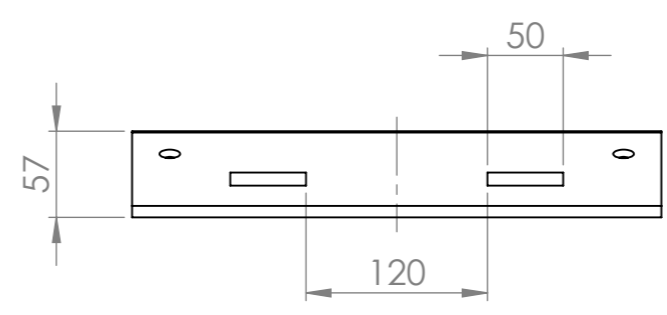
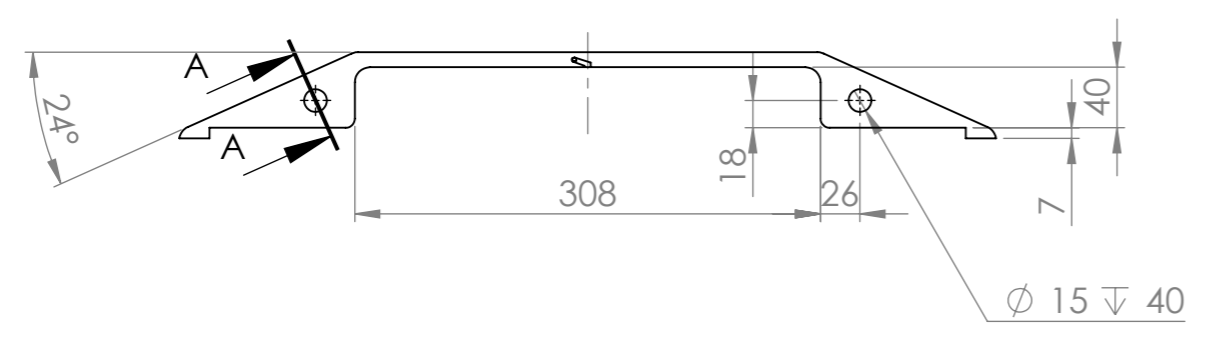
	Materjal: S355JR2	Märkused:	Mass: 0.08 kg	Mööd: 1:1 (A3)
	Teostas Oliver Mets	Nimetus: Sisetugi		
Kontrollis		Projekt: Möötesüsteem	Tähis: MV5.005	
Kinnitas		Kuupäev: 21.05.2014	Leht: 1/1	Revision: Rev.



	Materjal: S355JR2	Märkused:	Mass: 0.00 kg	Mööd: 5:1 (A3)
	Teostas Oliver Mets	Nimetus: Rihmaas		
Kontrollis		Projekt: Möötesüsteem	Tähis: MV5.006	
Kinnitas		Kuupäev: 21.05.2014	Leht: 1/1	Revision: Rev.

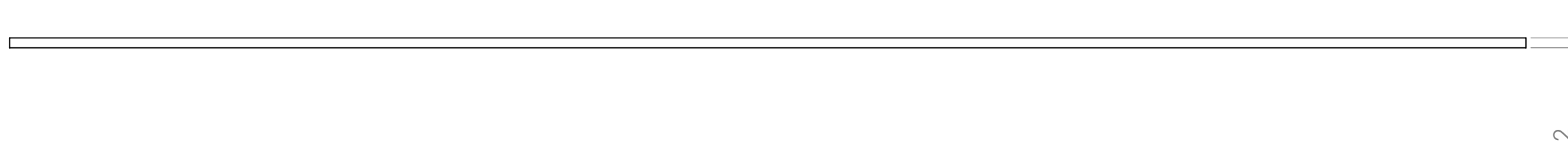
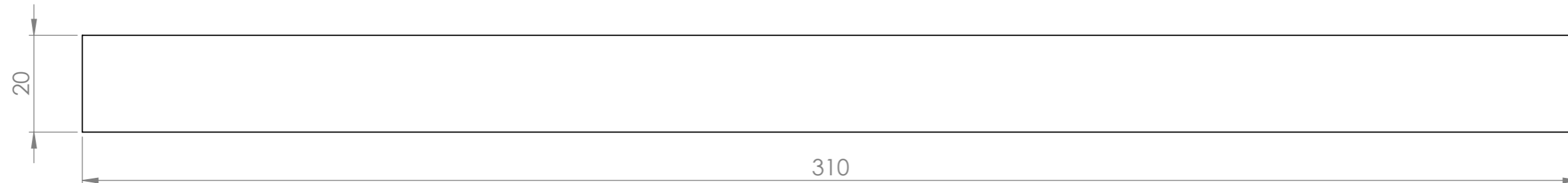


SECTION A-A

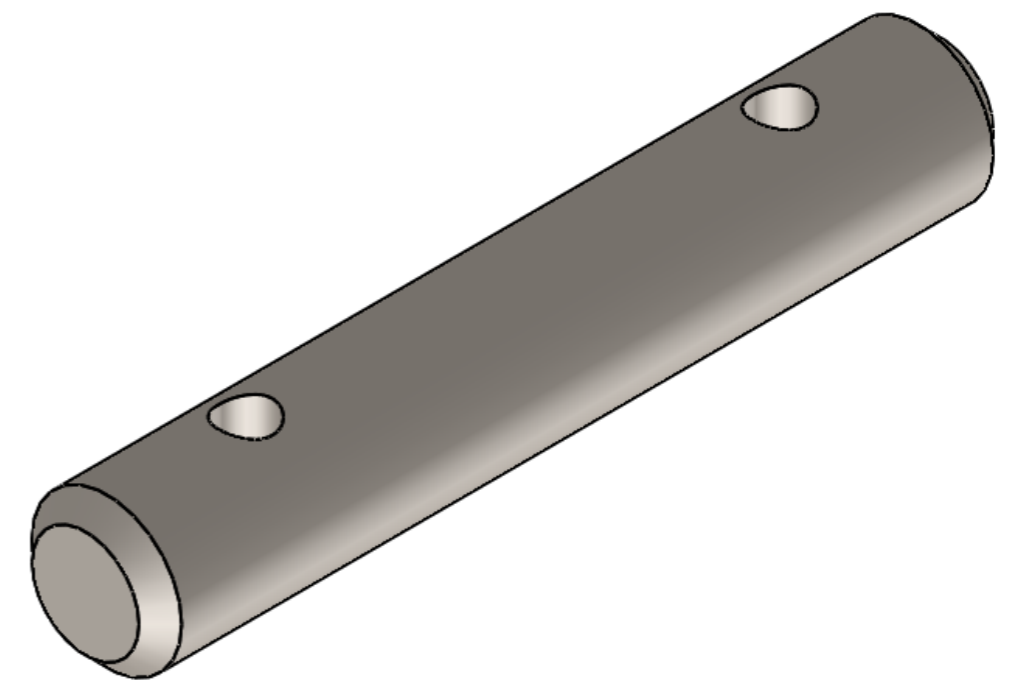
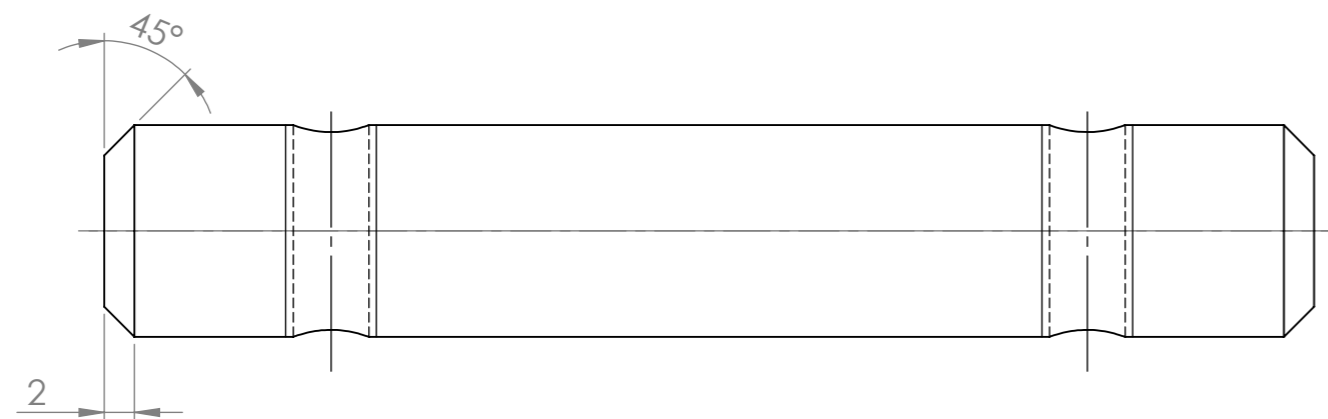
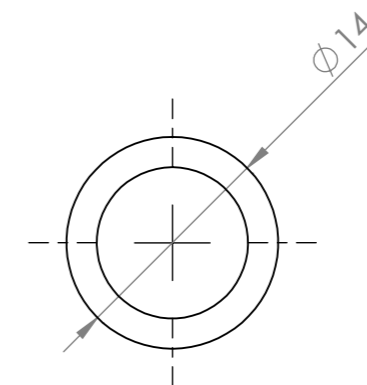
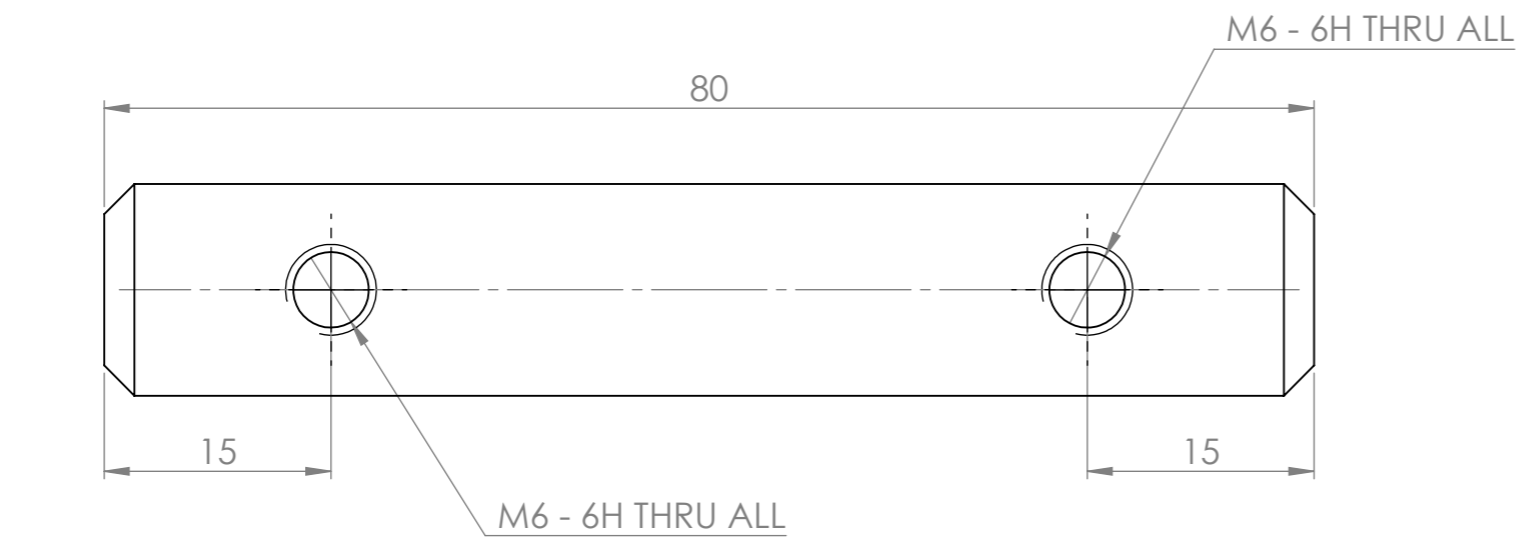


SECTION B-B

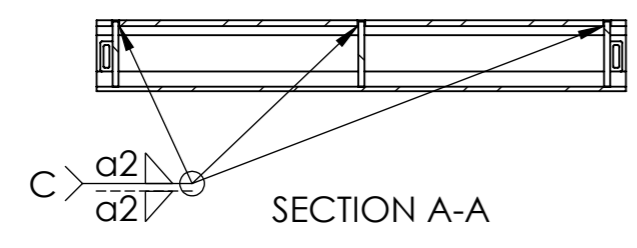
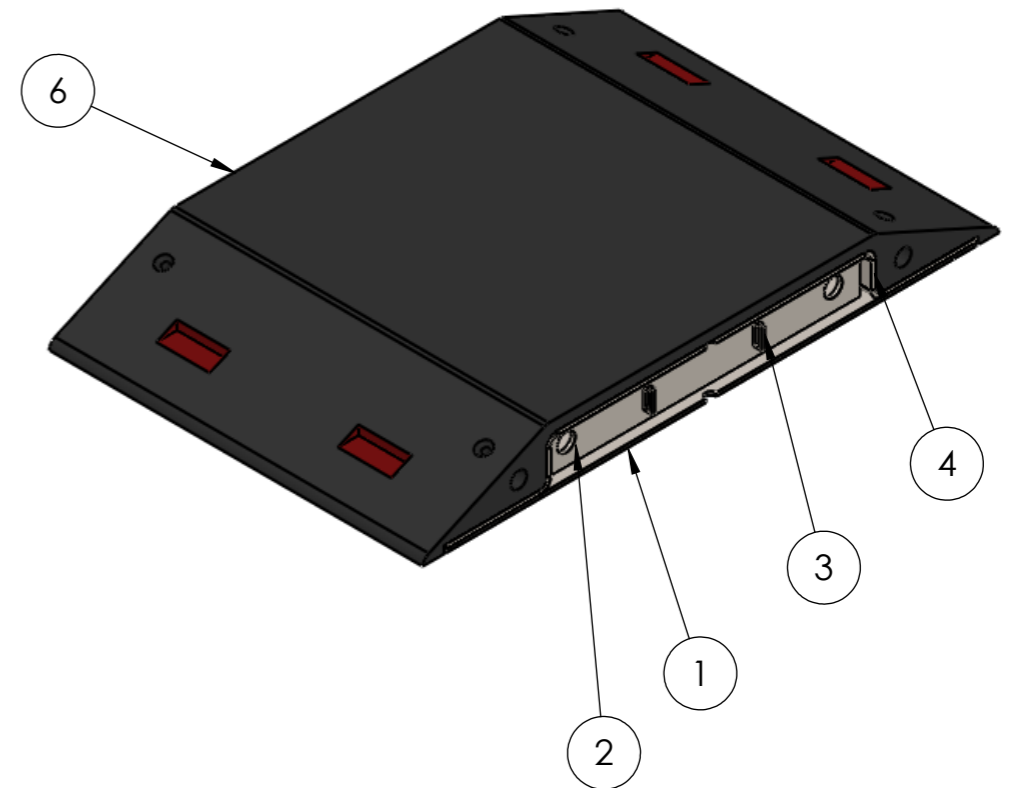
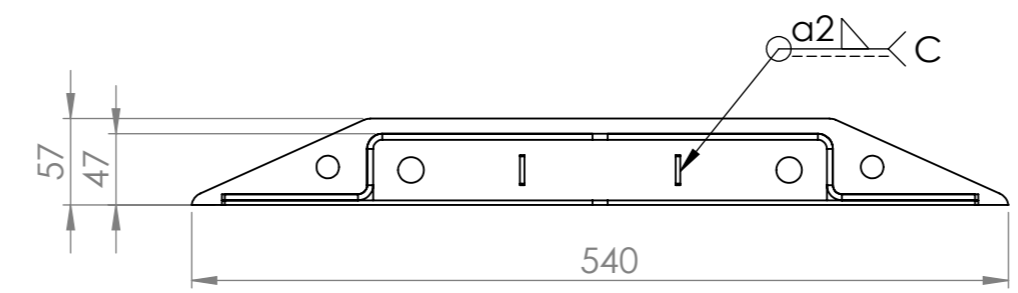
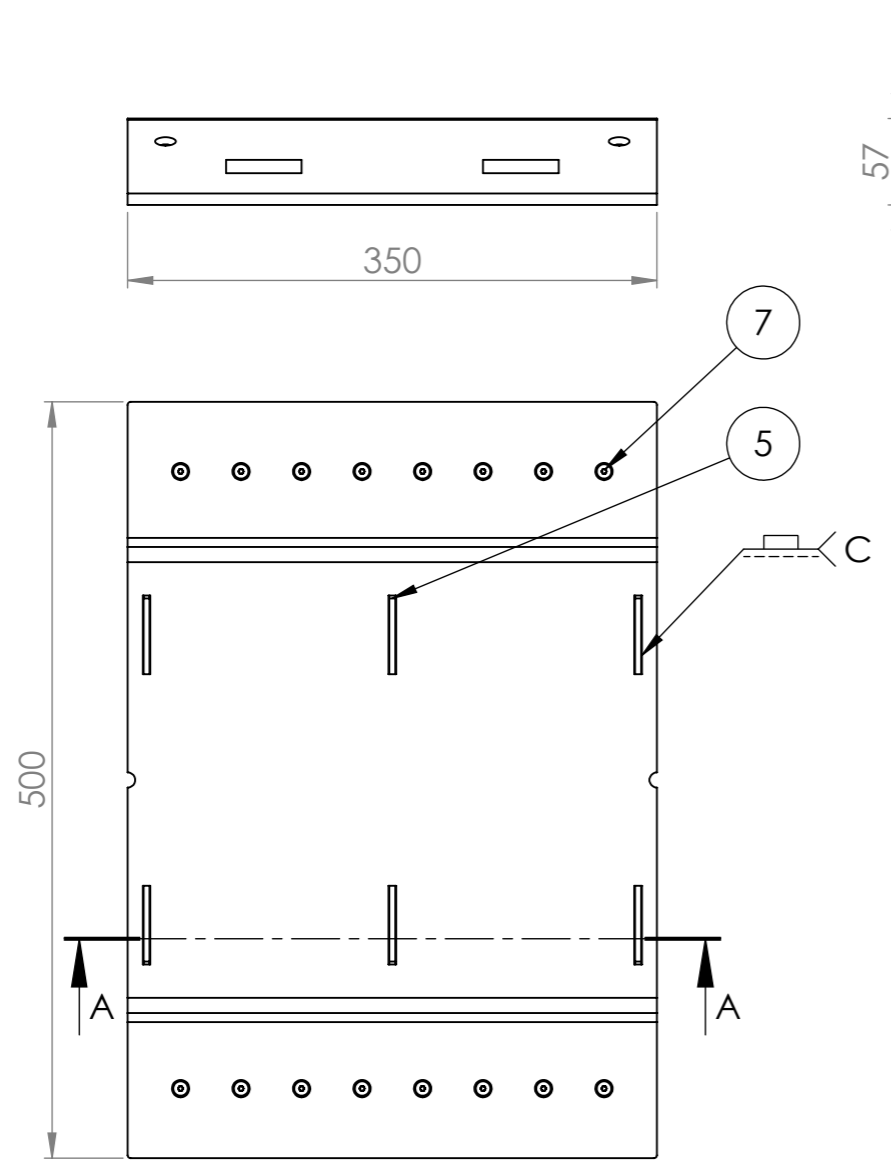
	Materjal: EPDM	Märkused:	Mass: 2.73 kg	Mööd: 1:5 (A3)
	Teostas Oliver Mets	Nimetus: Pealiskate		
Kinnitas		Projekt: Möötesüsteem	Tähis: MV5.007	
		Kuupäev: 21.05.2014	Leht: 1/1	Revision: Rev.



	Materjal: PMMA	Märkused:	Mass: 0.01 kg	Mõõt: 1:1 (A3)
	Teostas Oliver Mets	Nimetus: Kaitseklaas		
Kontrollis		Projekt: Mõõtesüsteem	Tähis: MV5.008	
Kinnitas		Kuupäev: 21.05.2014	Leht: 1/1	Revision: Rev.

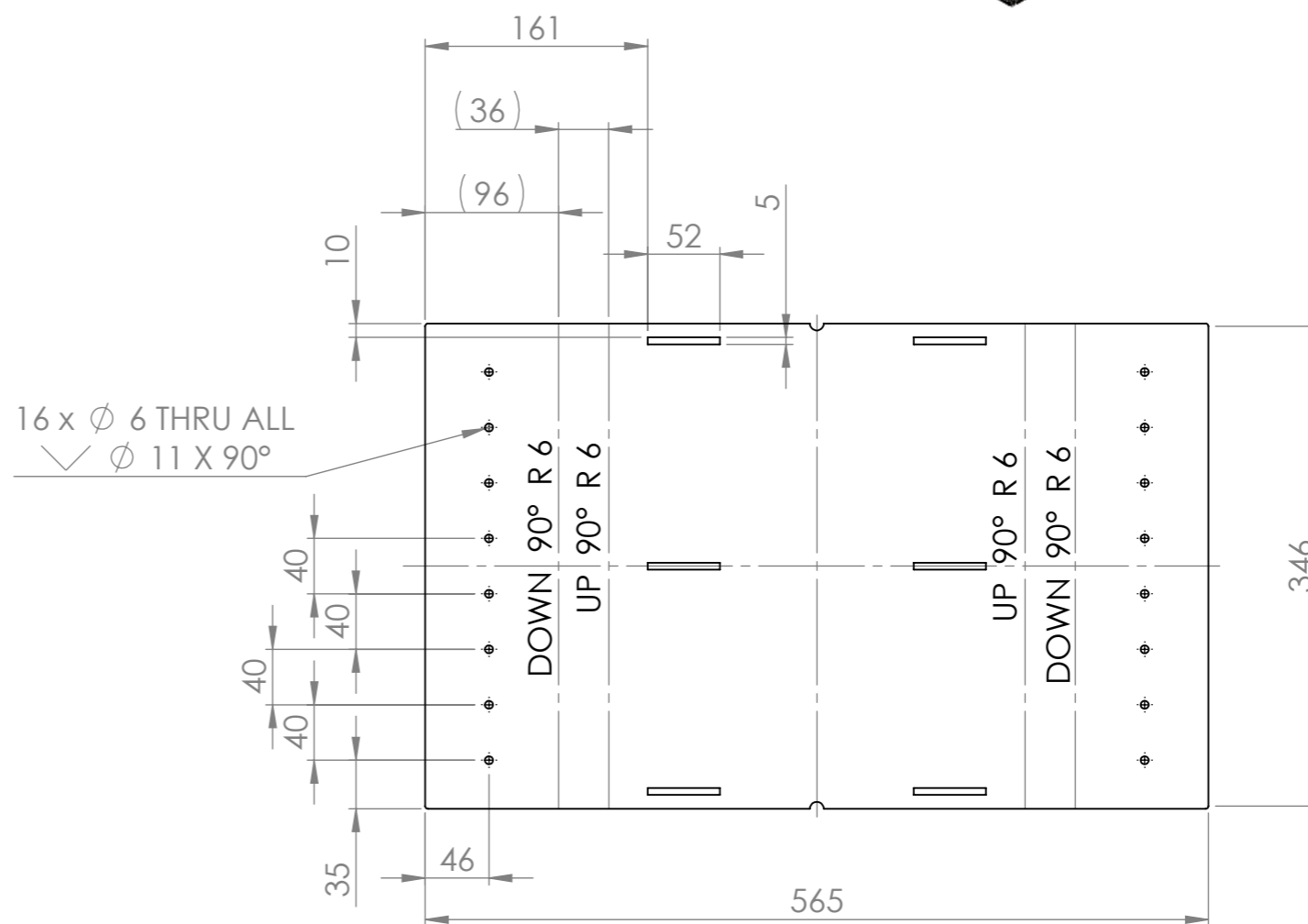
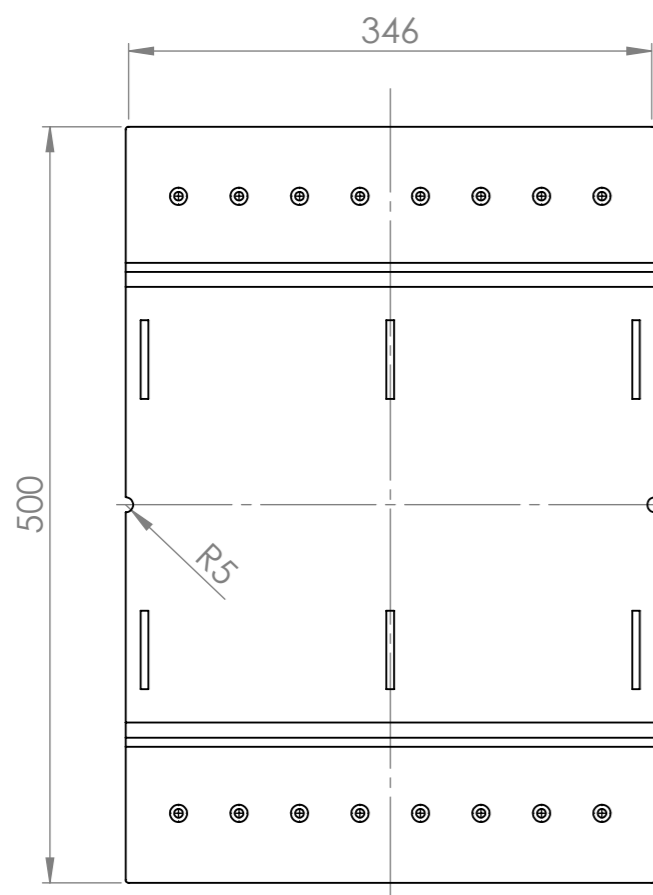
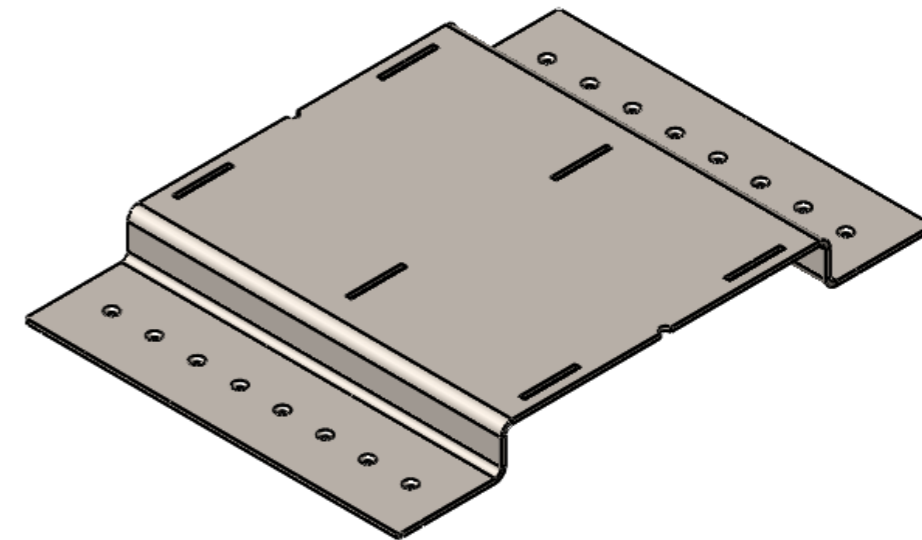
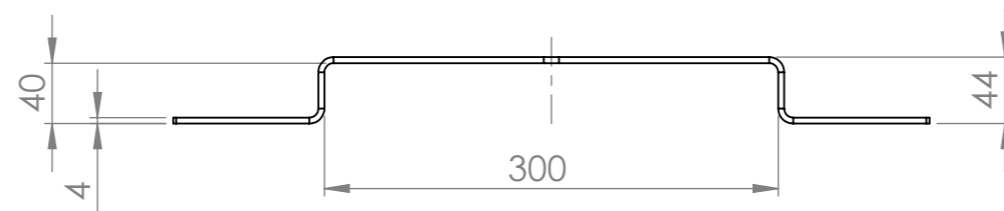
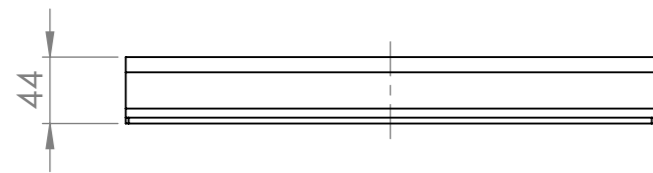


	Materjal: C45E	Märkused:	Mass: 0.09 kg	Mõõt: 2:1 (A3)
	Teostas Oliver Mets	Nimetus: Ühendusvõll		
Kontrollis		Projekt: Mõõtesüsteem	Tähis: MV5.009	
Kinnitas		Kuupäev: 21.05.2014	Leht: 1/1	Revision: Rev.

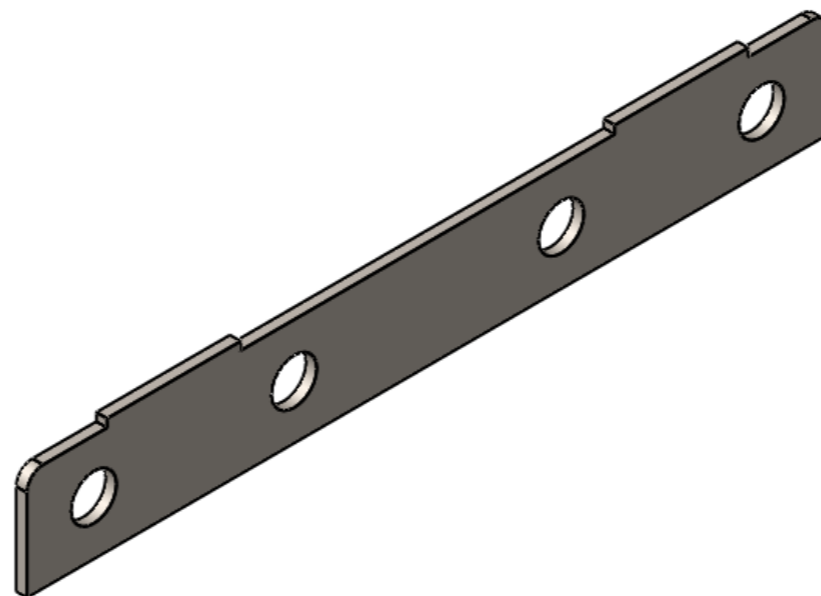
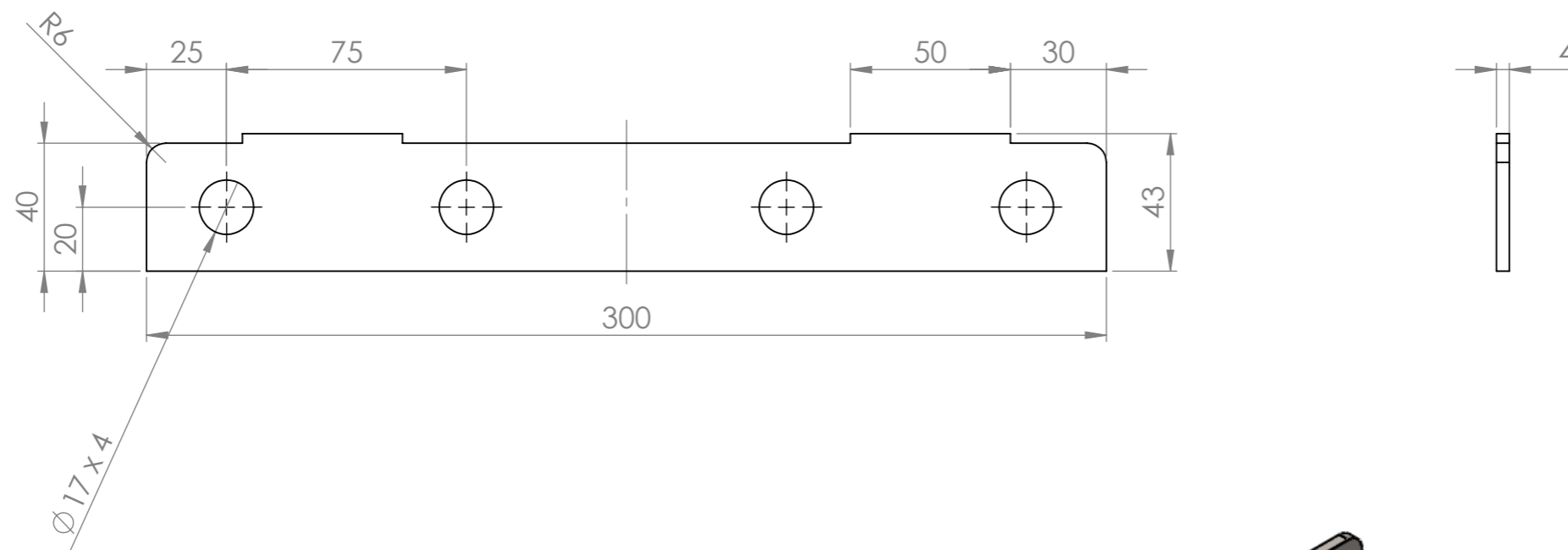


ITEM NO.	PART NUMBER	DESCRIPTION	QTY.
1	MV5.003	t=3	1
2	MV5.004	t=4	2
3	MV5.006	t=3	4
4	MV5.202	t=4	1
5	MV5.204	t=4	1
6	MV5.207	Kummikate kinnine	1
7	DIN 7991 - M5 x 6 --- 3N		16

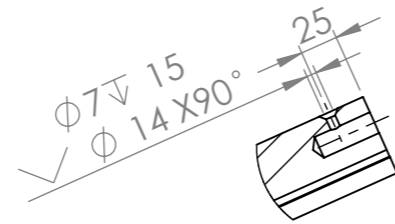
	Materjal:	Märkused:	Mass:	Mööd:
			14.15 kg	1:5 (A3)
Teostas	Oliver Mets	Nimetus: Elektroonikamoodul		
Kontrollis		Projekt: Möötesüsteem		
Kinnitas		Tähis: MV5.201	Leht: Revision:	
		Kuupäev: 21.05.2014	1/1	Rev.



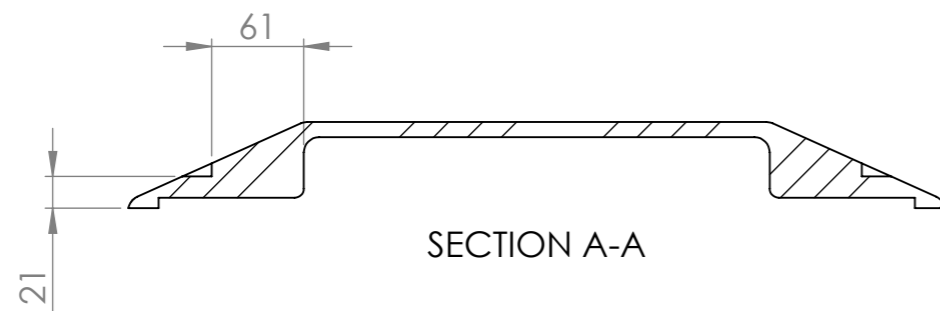
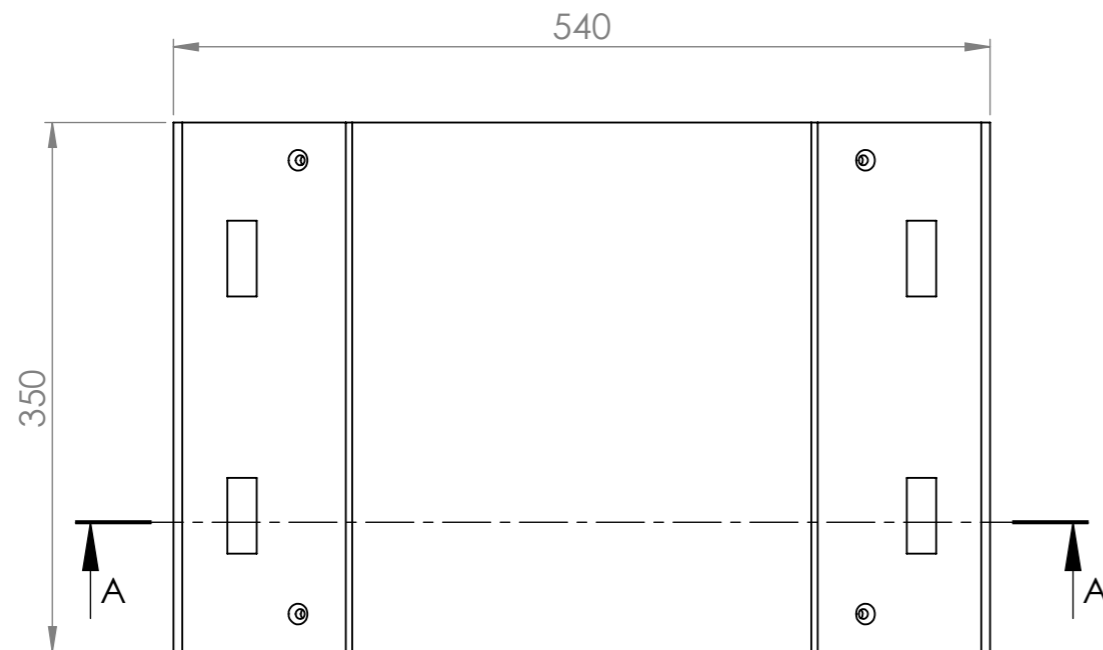
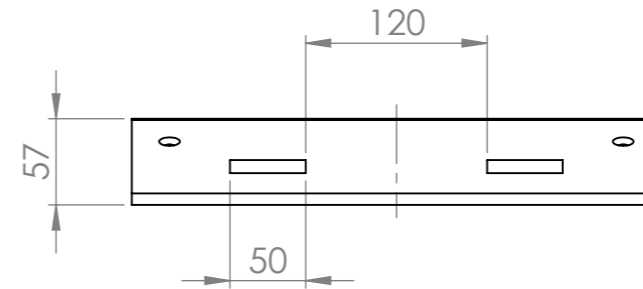
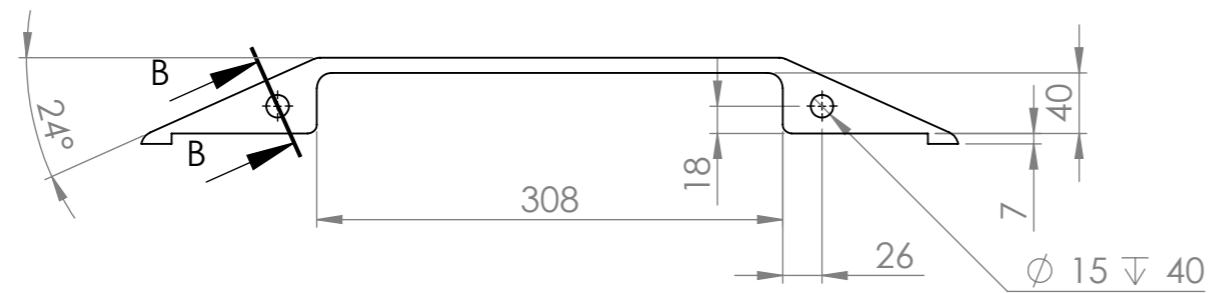
	Materjal: S355JR2	Märkused:	Mass: 6.15 kg	Mõõt: 1:5 (A3)
	Teostas Oliver Mets	Nimetus: Pealmine profiil kinnine		
Kontrollis		Projekt: Mõõtesüsteem	Tähis: MV5.202	
Kinnitas		Kuupäev: 21.05.2014	Leht: 1/1	Revision: Rev.



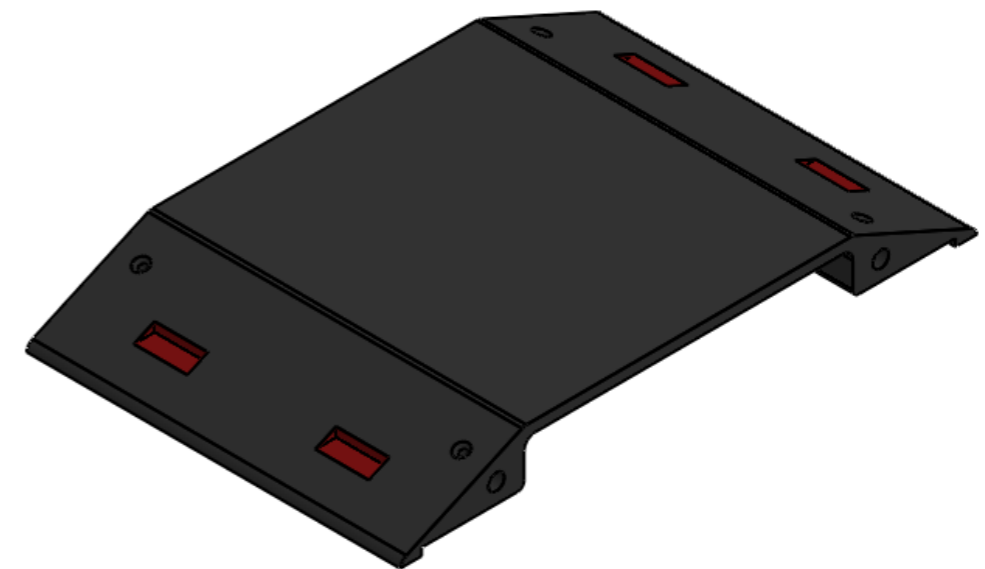
	Materjal: S355JR2	Märkused:	Mass: 0.36 kg	Mööd: 1:2 (A3)
	Teostas Oliver Mets	Nimetus: Tugisein keskmine pikk		
Kontrollis		Projekt: Möötesüsteem	Tähis: MV5.204	
Kinnitas		Kuupäev: 21.05.2014	Leht: 1/1	Revision: Rev.



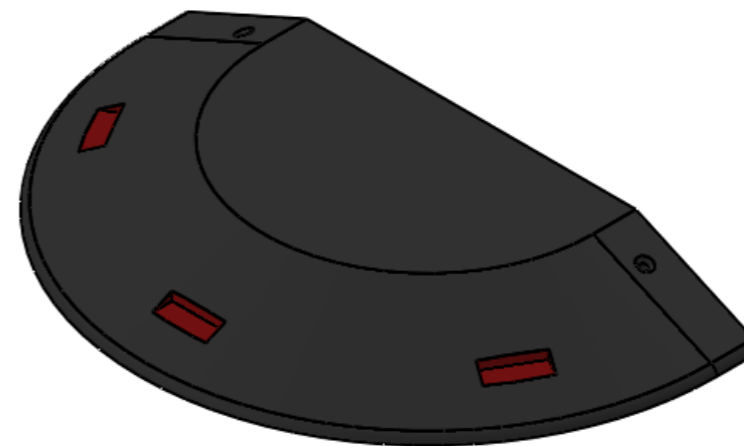
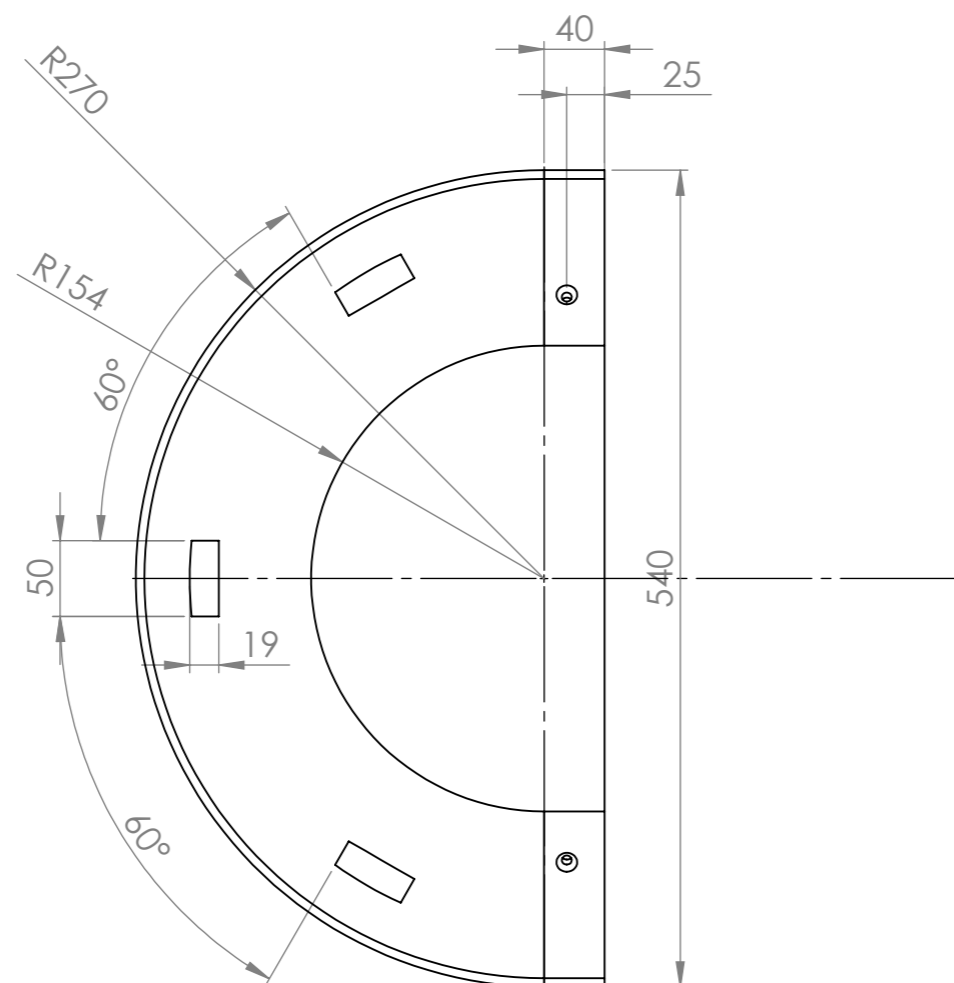
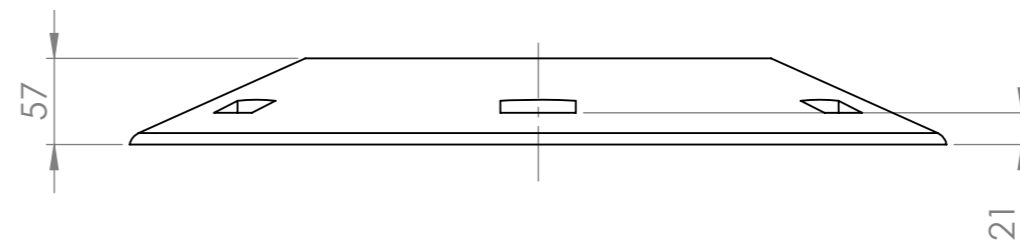
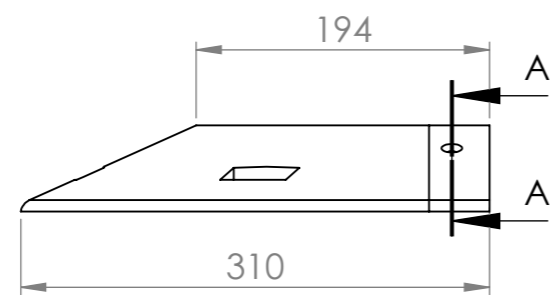
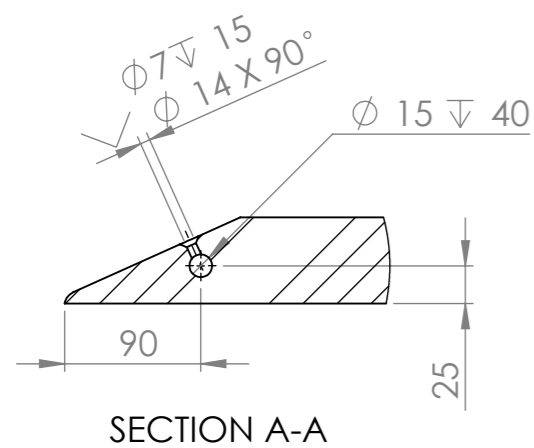
SECTION B-B



SECTION A-A



	Materjal: EPDM	Märkused:	Mass: 2.77 kg	Mõõt: 1:5 (A3)
	Teostas Oliver Mets	Nimetus: Pealiskate kinnine		
Kontrollis		Projekt: Mõõtesüsteem	Tähis: MV5.207	
Kinnitas		Kuupäev: 21.05.2014	Leht: 1/1	Revision: Rev.



	Materjal: EPDM	Märkused:	Mass: 4.76 kg	Mõõt: 1:5 (A3)
	Teostas Oliver Mets	Nimetus: Otsamoodul		
Kontrollis		Projekt: Mõõtesüsteem	Tähis: MV5.301	
Kinnitas		Kuupäev: 21.05.2014	Leht: 1/1	Revision: Rev.