



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL

INSENERITEADUSKOND

Tartu Kolledž

## **Benewake CE30C LIDAR-i**

## **kasutamine praktikumides**

**Use of Benewake CE30C LIDAR in practicums**

Bakalaureusetöö

Üliõpilane: Uku Paul Tuuling

Üliõpilaskood: 154471NDFR

Juhendaja: Insener Taavi Kase

# AUTORIDEKLARATSIOON

Olen koostanud lõputöö iseseisvalt.

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

29.05.2020

Autor: /Allkirjastatud digitaalselt/

Töö vastab bakalaureusetöö/magistritööle esitatud nõuetele

29.05.2020

Juhendaja: /Allkirjastatud digitaalselt/

Kaitsmisele lubatud

".....".....201... .

Kaitsmiskomisjoni esimees .....

/ nimi ja allkiri /

# **Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks<sup>1</sup>**

Mina Uku Paul Tuuling (sünnikuupäev: 14.12.1995 )

1. Annan Tallinna Tehnikaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose Benewake CE30C LIDAR-i kasutamise praktikumides,

mille juhendaja on Taavi Kase,

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

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

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

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

---

<sup>1</sup>*Lihtlitsents ei kehti juurdepääsupiirangu kehtivuse ajal, välja arvatud ülikooli õigus lõputööd reprodutseerida üksnes säilitamise eesmärgil.*

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

# TalTech Tartu Kolledž

## LÕPUTÖÖ ÜLESANNE

Üliõpilane: Uku Paul Tuuling, 154471NDFR

Õppekava, peeriala: NDFR14/15, küberfüüsikaline süsteemitehnika

Juhendaja(d): Taavi Kase, insener, +37253989158

### **Lõputöö teema:**

(eesti keeles) Benewake CE30C LIDAR-i kasutamine praktikumides

(inglise keeles) Use of Benewake CE30C LIDAR in practicums

### **Lõputöö põhieesmärgid:**

1. LIDARi CE30C kohta üldinformatsiooni kogumine, võimalike ülesannete väljamõtlemine ning katsetamine.
2. LIDARi CE30C ettevalmistus kasutamiseks koolitöös.
3. LIDARi CE30C ilmnenu omadusi arvestades hinnangu andmine.

**Lõputöö etapid ja ajakava:**

<b>Nr</b>	<b>Ülesande kirjeldus</b>	<b>Tähtaeg</b>
1.	Üldinformatsiooni kogumine, LIDAR tehnoloogiatega tutvumine, konkreetsed mõõtepea tundmaõppimine	24.12.19
2.	Puuduolevate komponentide hankimine, esimesed katsed seadmega, praktikumide koostamine	01.01.20
3.	Analoogsete seadmete kohta info kogumine, analüüs praktikumile, saadud tulemused ning nende põhjal hinnangu andmine LIDARile	20.04.20
4.	Lõputöö vormistamine, täiendused	20.05.20

**Töö keel:** Eesti**Lõputöö esitamise tähtaeg:** 25.05.2020a**Üliõpilane:** Uku Paul Tuuling

.....202....a

/allkiri/

**Juhendaja:** Taavi Kase

.....202....a

/allkiri/

# SISUKORD

<b>EESSÕNA</b>	7
<b>LÜHENDITE JA TÄHISTE LOETELU</b>	8
<b>1 SISSEJUHATUS</b>	9
<b>2 LIDARI TÖÖPÕHIMÕTE, ÜLDINFO</b>	10
<b>3 LIDARITE OHUTUSEST, CE30C OHUTUSKLASS JA STANDARDID</b>	12
<b>4 NÄITEID LIDARITE KASUTUSVÕIMALUSTEST</b>	14
4.1 Kaardistaja	14
4.2 Laorobot	15
4.3 Leica LIDAR ruumide skanneerimiseks	16
<b>5 PRAKTIKUMI KOOSTAMINE</b>	17
5.1 Praktikumiks vajaliku tehnika ettevalmistus	19
5.2 LIDARI Benewake CE30C käivitamine	22
5.3 Praktikumi küsimused	28
<b>6 TULEMUSED</b>	30
<b>7 TEHNILISTE NÄITAJATE NING HINNA VÕRDLUS</b>	34
<b>8 KOKKUVÕTE</b>	36
<b>8 SUMMARY</b>	38
<b>9 Allikad</b>	39
<b>10 Lisad</b>	42
<b>Lisa 1. Praktikumi juhend.</b>	43

# EESSÕNA

Täna kõiki kelle abil valmis minu LIDARi teemaline lõputöö. Antud lõputöö teema algatus on kolledži lektori Ago Rootsi poolt. Lisaks juhendajale sain ideelist abi dotsendilt Merik Meristelt. Palju toetust sain juhendajalt Taavi Kase, kelle märkuste ja tähelepanekutega valmis lõputöö. Praktikumide ettevalmistus, katsed ja osa uurimuslikust tööst tegin TalTech Tartu kolledžis. LIDAR ning muud vajalikud abivahendid olid kolledžis olemas. Lõputööd ning praktikumide juhendeid aitas korrigeerida Taavi Kase.

Lõputöö sisuks on LIDARi kasutamise uurimine kolledži õppetöös ning tekkinud küsimustele vastamine.

Märksõnad: LIDAR, Benewake CE30C, Velodyne, hinnaklass, Bakalaureusetöö.

## **LÜHENDITE JA TÄHISTE LOETELU**

LIDAR- light detection and ranging, laserskaneerimisseade.

TOF- time Of flight, lennuaeg.

FOV- field of view, Vaateväli.

SLAM- simultaneous localization and mapping, üheaegne asukoha määramine ja kaardistamine.



# 1 SISSEJUHATUS

LIDARitel põhinevad tooted on praegusel ajal üsna kallid. Odavamate ning ilma valmis rakenduseeta LIDARite kasutamine tundub aga keeruline. Selle lõputöö eesmärk on hinnata odavama klassi LIDARi kasutusvõimalusi koolitöös. Otsin vastust ka küsimusele: kas odavama LIDARi kasutamine on õigustatud või tuleb veel oodata tehnoloogiate arengut?

Antud töös tutvustan LIDAREid ning selgitan koostatud praktikumi sisu ja tulemusi. Esimene ülesanne oli seadme käimapaneke, milleks pidi tutvuma toote kasutusjuhendiga ning ostma puuduolevaid komponente. Hindadest hoolimata on inimestel tänapäeval järjest rohkem kokkupuuteid LIDARitega. Näiteks kasutatakse LIDAREid iseliikuvatel sõidukitel, erinevatel tööstuses kasutusel olevatel masinatel ning erilahendusena mitmetes muudes valdkondades. Täpsete ruumipiltide ja pinnavormide mõõtmine on ehitusega seotud ettevõtetele üsna tähtis, üha enam kasutatakse LIDARitel põhinevaid seadmeid andmete kogumiseks.

LIDARi teemaline praktikum on paljudele tudengitele esimeseks kokkupuuteks antud valdkonnas. Seadme põhimõtete ning võimalustega tutvumine annab teadmisi mis võivad tulevikus kasulikuks osutada. Lisades toon välja koostatud praktikumid originaalkujul.

Praktikumi valmistamisel toetusin varem koolist saadud kogemustele. Praktikumi tegemise käigus kogusin pidevalt informatsiooni nii teksti kui ka piltide kujul. Üheks õppematerjali loomise eesmärgiks oli tudengitelt tagasiside saamine. Andmed, mida praktikumi läbinud tekitavad, võimaldavad hinnata LIDARi CE30C omadusi erinevate inimeste vaatenurkadest. Lisaks saab lisaküsimuste abil tagasisidet koostatud töö asjakohalikkuse kohta. Lõputöö koostasid nii enda kogutud informatsioonist kui ka praktikumidest saadud andmetest.

Ühtset meetodit lõputöö koostamisel ei hoidnud, küsimuste ning probleemidega tegelesin jooksvalt. Erinevatele töö osadele lähenesin vastavalt olukorrale ja kogutud teadmiste toetudes. Sissejuhatava osa ning tehnilise informatsiooni kogusin järk järgult vastavalt LIDARit puudutava andmete läbitöötamisele.

## 2 LIDARI TÖÖPÕHIMÕTE, ÜLDINFO

LIDAREid hakati kasutama juba 1970. aastatel, laiemal kasutuses on jõutud alles lähikümnele[1]. LIDAR mõõdab laserimpulsside abil vahemaad ning nurka LIDARi ja peegeldunud pinna vahel. Arvutatakse aeg mis kulus kiire saatmisele ja tagasipeegeldumisele, täpsemalt mõõdetakse saadetud ja tagasi jõudnud kiire faaside erinevust ning nurkasid[2]. LIDARi kasutusvaldkondi on palju, geoloogiast ehituseni. LIDARid on kasutusel ka kiiruskaamerates, ohutust tagavates sensorites ja tööstusautomaatikas[2]. Tehnoloogiate areng on kaasa toonud pidevalt uusi ja paremaid seadmeid. LIDARid, millega saab täita erinevaid ülesandeid, lähevad järjest väiksemaks nii hinnalt kui ka suuruselt. LIDARite valdkonnas toimub pidev areng ja muutused, tooteid arendatakse ning aeg- ajalt asendatakse teiste mudelitega.

LIDAREid on mitut erinevat tüüpi. Selles töös kasutatud Benewake LIDAR on *Solid State array LIDAR* mis tähendab seda, et selles puuduvad liikuvad osad[2]. Mõõtekiir jõuab erinevate nurkade alt peegeldudes andurisse[2]. Paljudes LIDARites kasutatakse pöörlevat peeglit mõõtekiire ruumi saatmiseks[2]. Liikuvate osade tõttu on selliste LIDARite tootmine kallim. Solid State LIDAR on enamasti mõõtmetelt väiksem ja hinnalt odavam[2].

Lõputöö koostamisel võtsin korra ühendust Benewake klienditoega. Vastused oma esitatud küsimustele sain kiiresti. Lisaks on tootja kodulehel alati hüpikaken kuhu on võimalik esitada küsimusi. Seega võin väita, et antud firmaga on lihtne suhelda. Samuti pole aasta jooksul liikunud informatsiooni mingil kujul lõpetamise või suurte ümberkorralduste kohta Benewake LIDARite tootmises. Täheldanud olen veebilehekülje erinevaid muutusi ning saadava tarkvara ja informatsiooni täiendusi. Siiski peaks arvestama, et toodete kättesaadavus ja algne tarkvara pole püsivad. Tasub eraldi salvestada nii tarkvara kui ka kaasa antud juhendid. Projektis kasutatava seadme valikul tuleb ette mõelda kasutusiga ning võimalikud alternatiivid.

Benewake CE30C LIDAR-is mõõdetakse aega mis kulub mõõtekiire saatmisele ja tagasipeegeldumisele ehk meetod nimega TOF[3]. Antud LIDARis kasutatakse infrapuna diapsoonis olevat kiirgust mille koondatud kiirte võimsus pole eriti suur[4]. Leidub ka infrapuna diapsoonis töötavaid seadmeid mille kiired on piisavalt tugevad füüsiliste vigastuste tekitamiseks, alati tuleb kindlaks teha ohutusklass ning kasutada vajadusel ohutust tagavaid vahendeid. Infrapuna kasutamise probleemiks võib osutuda päevavalguse segav mõju[4]. CE30 arvutab faasi ja aja erinevused saadatud ja tagasipeegeldunud kiirete vahel mis omakorda teisendatakse kauguseks ruumis[4].

Erinevatel LIDARitel on vastavalt ehitusele oma kindel vaateväli ehk ala mida seade täpselt mõõta saab. Vaatevälja piiravad füüsilised ja mõõtetulemuslikud parameetrid. Tootjad panevad paika soovitatud ulatuse mis annab piisavalt täpseid tulemusi. LIDARi tekitatud andmetest saab moodustada punktipilve[5]. Igal punktil on informatsioon asukoha, aja ning muude parameetrite kohta. Saadavat kujutist vaadeldakse erinevate programmidega.

Paljud ehitusjoonestamisega seotud rakendused pakuvad punktipilve importimise võimalust. Sobivas formaadis LIDARi informatsiooniga saab täpselt kuvada nii maapinda kui ka teisi objekte. [5]

Enamasti pole odavate LIDARite tootjapoolne tarkvara eriti võimekas. Spetsiifilise eesmärgi jaoks toodetud seade koos tarkvaraga võib olla aga väga kallis. Vabavaraliste tarkvarade kasutamisel pole alati võimalik saada soovitud tulemusi. Benewake LIDAR-i tootjapoolsed rakendused lubavad seadme tööd reaajas jälgida, salvestada ning erinevates formaatides talletada. Järeeltöötuseks tootjapoolsed vahendid CE30C-l puuduvad. Tekitatud faili on võimalik kuvada rakendustega millel on vajaliku formaadi tugi. Näiteks salvestades CE30C andmed XYZ kujul on võimalik saadud tulemust kuvada ühes veebis olevas rakenduses Online LIDAR point cloud viewer[6].

### **3 LIDARITE OHUTUSEST, CE30C OHUTUSKLASS JA STANDARDID**

Ohutuse tagamine antud valdkonnas on tähtis. LIDARis Benewake CE30C kasutatakse infrapuna lainelas olevat koondatud kiirt. Antud peatükis selgitan üldiselt laserite ja LIDARite ohutusega seonduvat ning täpsemalt töös kasutatud LIDARi ohutusstandardeid. CE30C praktikume koostades tutvusin erinevate ohutusstandarditega ning uurisin antud seadme näitajaid. Ohutuse tagamine on praktikumides tähtsal kohal, tudengile peaks selgeks tegema võimalikud riskikohad ja võimalusel neid vältima. CE30C LIDARi ohutusstandard kuulub EN 62471 Exempt klassi[7]. Standard EN 62471 on silma- ja nahaohutuse klassifitseerimiseks, kasutusel ülemaailmselt[8].

EN 62471 Exempt klassi kuuluvad seadmed ei kujuta mingit fotobioloogilist ohtu silmadele[8]. Ehk siis antud LIDARit käideldes pole vaja kasutada ohutust tagavaid isikukaitsevahendeid.

Laserid ja seadmed milles kasutatakse laserkiirt on jaotatud vastavalt standardile EN 62471 ohutusklassidesse[8]:

1. Exempt (ohutu): puudub fotobioloogiline oht.
2. Grupp 1 (vähene oht): ohutu tavatingimustel, kasutades nii nagu ettenähtud pole ohtlik.
3. Grupp 2 (keskmise oht): inimene on võimeline reageerima ja ohtu vältima, väikese aja jooksul ei põhjusta silma kahjustumist.
4. Grupp 3 (suur oht): ohtlik isegi lühikese aja jooksul. Ohtlik silmadele ja võib põhjustada ka kahju muudele pindadele.

Vastavalt laseri võimsusele ja lainelale on võimalik kahju erinev. Enamasti on oht silmadele põhjustades võrkkestale või muu silma ehituslikule osale püsivat kahju[7]. Suuremate võimsuste puhul on kahjud suuremad, tekitades suuremaid naha- ja silmavigastusi. Madalamasse ohutusklassi kuuluvad ka suurema võimsusega laseritega seadmed milles on tagatud, et laserkiir inimsilma ei jõua. Näiteks on DVD lugejate laserid üsna ohtlikud silmadele kuid füüsiline ümbris takistab kiire jõudmist väljapoole[7]. Samuti on kasutusel erinevad lasereid kasutavad tööstuslikud lõikeseadmed mille ohutus on tagatud kinnise ruumiga kuhu inimene ei pääse.

Lasereid sisaldavad seadmed võivad olla ohtlikud ka tehnikale. Näiteks võib optikaga seadme sensorite tekkida kahjustus. Laserkiir koondatakse läätsedega veelgi mistõttu on oht seadme vigastamiseks suurem. Näiteid kaameratele tekkinud vigastustest on palju. Laserite tõttu on kahjustatud nii telefonide kui ka fotoaparaatide sensoreid. Probleeme põhjustavad nii üritustel kasutatavad show laserid kui ka erinevad LIDARID. Näiteks rikkus ühel tehnikamessil esitletud LIDAR kalli Sony kaamera[9]. Võimsama kiire puhul peab kindlasti kasutama ka vastavaid kaitsevahendeid. Enamasti on seadmetel märgitud ohutusklass ja dokumentatsioonis täpselt toodud välja vajalikud näitajad ja teave ohutuse tagamiseks.

## 4 NÄITEID LIDARITE KASUTUSVÕIMALUSTEST

### 4.1 Kaardistaja

Automaatne ruumide kaardistaja[10], mille puhul on kasutatud Benewake LIDARit ja SLAM[11] lahendust.



Joonis 4.1 Benewake LIDARi kasutamisest kaardistamise jaoks[10].

Ruumide kaardistamine on üheks võimaluseks autonoomsete masinate iseseisva liikumise tagamiseks. Kaardi abil on teada ruumide paigutus, saab tuvastada asukohta ja avastada uusi takistusi. Autonoomsele või kaugjuhitavale sõidukile paigaldatud LIDARi abil saab täita ülesandeid, mis oleksid inimesele ohtlikud. Näiteks saaks kaardistada ohutult koopaid, ligipääsmatuid ruume, varisemisohtlike hooneid või suuremaid maa-alasid. Antud lõputöös kasutatud LIDAR sobib tänu oma väikestele mõõtmetele erinevate ülesannete täitmiseks milles on oluline ruumi kokkuhoid.

## 4.2 Laorobot

Laorobot millel on ohutuse tagamiseks kasutatud Benewake LIDARit. Antud lahenduses on LIDAR kasutusel takistuste tuvastamiseks läbitaval trajektoorigil. Takistuse ilmnmisel jääb masin seisma kuni takistus teelt eemaldatakse. [12]

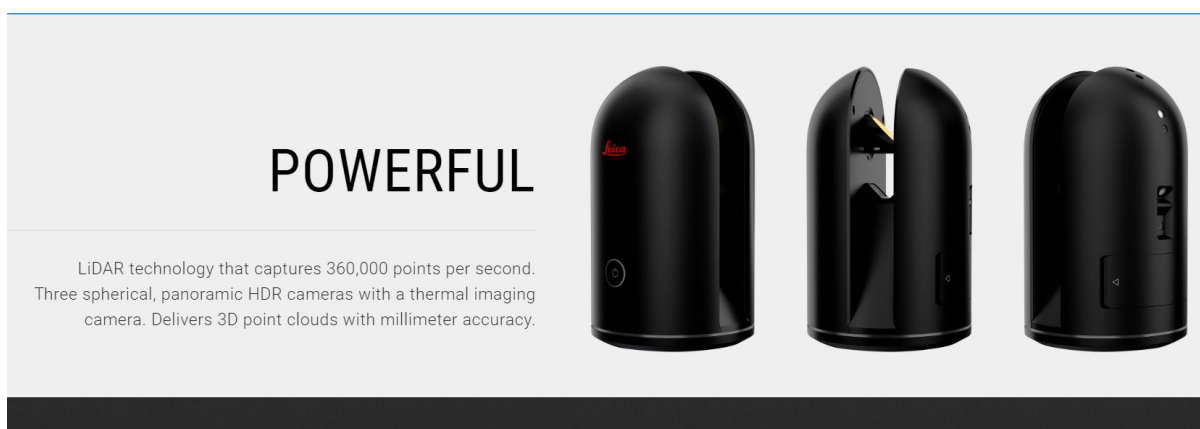


Joonis 4.2 Benewake LIDARi kasutamisest robotikas[12].

LIDARi Benewake CE30 resolutsioon ei ole eriti suur. Reaalajas nähtav pilt ei ole eriti selge, kujutisel näeb triipudena asetsevaid punkte. Ruumide ja erinevate pindade täpseks visualiseerimiseks kasutatavad kallimad LIDARid on oluliselt suurema resolutsiooniga. Seega ei ole antud klassi LIDAR eriti hea täpsete kujutiste loomiseks vaid näiteks takistuse avastamiseks.

## 4.3 Leica LIDAR ruumide skanneerimiseks

Leica on välja töötanud erinevaid seadmeid, millega saab teha nii siseruumide kui ka muu keskkonna mõõdistusi LIDARitega. Leica poolt on valmis lahendused nii seadme kui ka tarkvara poolt (*end to end* lahendus)[13]. Tarkvaraliselt on võimalik siduda punktipilv joonestus tarkvaradega ja eksportida erinevates formaatides andmeid. Näiteks on Reviti jaoks loodud spetsiaalne lisarakendus milles on võimalik kuvada erinevaid punktipilvi, neid joonistega siduda ja muuta[14].



Joonis 4.3 Leica LIDAR skanner. [13]

Pildil olev seade on Leica BLK360 LIDARil põhinev ümbritseva keskkonna skanner. Antud mudelil on koostööna loodud tarkvaralised lahendused Autodesk tarkvaraga. Erinevate ruumide ja välise pildi saab kokku panna üheks. Saadud kujutised on täpsed ja kasutatavad ehitusjoonistes nii 2D plaanides kui ka 3D mudelitena vaatamiseks. Skanner pole eriti suur ning ühildub Wi-Fi abil arvuti või muu võrgus oleva seadmega.[13]

Hinnavahe Benewake ja Leica BLK360 vahel on suur. Uue CE30C LIDARi saab soetada 1000 euroga[15], Leica Blk360 maksab 18 000 euro ringis[16]. Oluline vahe on nii tehnilistes näitajates kui ka tootjapoolses tarkvaras. Benewake LIDAR ei ole mõeldud koheseks kasutamiseks skaneerimise eesmärgil. Leica tootel on kaasas võimekam tarkvara skaneerimise korraldamiseks ja järeltötluseks. Seadmete hinda mõjutab kaasatuleva tarkvara hind, täislahenduste puhul võib mõnel juhul tarkvara moodustada suure osa maksumusest [17].



## 5 PRAKTIKUMI KOOSTAMINE

Praktikumi koostamist alustasin seadme ning selle juhenditega tutvumisest. Otsisin puuduoleva vooluadapteri ning hakkasin juhendi järgi katsetama. Esmaseks käivitamiseks tuleb lugeda läbi kasutusjuhend, kus on kirjas täpne tööde järjekord. Samuti on tootja valmistanud videomaterjalid, mida järgides ei tohiks probleeme tekkida. CE30C juhendid saab alla laadida toote kodulehelt[18]. Juhendites on kõik vajalik olemas. Näiteks leiab sealt konkreetse seadme kirjelduse millest ei puudu ka laboris tehtud katsed ning saadud tulemused täpsuse ja erinevate muude andmetega. Odavama hinnaklassi kuuluva seadme kohta on sellel üllatavalt hea dokumentatsioon.

Peale mõningast seadme töö uurimist tekkis mõte teha LIDARil põhinev praktikum. Õppetööks sobiks CE30C hästi tänu oma suhteliselt odava hinnale. Hetkel tudengid LIDARitega eriti kokku ei puutu ning enamasti käsitletakse seda teemat mõne tehnoloogia kirjaliku näite kujul. Seega oleks paljudele esmakordne käsitleda laseril põhinevat mõõteseadet. CE30C praktikumide juhendites kirjeldan üldisemalt antud teemat ning ka antud seadet täpsemalt. Enne juhendite koostamist sooritatud katsetused seadmega andsid ideid võimalike ülesannete kohta.

Tudengitelt saadud info aitab hinnata LIDARit ning koostatud praktikumi. Praktikumide juhendite koostamine ja saadud aruannete läbitöötamine annab võimaluse tutvuda erinevate seisukohtadega ning leida uusi ideid seoses LIDARi kasutamisega. Juhendi tegemisel kogusin lisainformatsiooni LIDARite kohta ning töötasin põhjalikumalt läbi CE30C tootjapoolse dokumentatsiooni.

Praktikumi ülesehitus:

- Sissejuhatus
- LIDARite ja CE30C tutvustus
- LIDARi kasutamine, ühendamine arvutiga, andmete salvestamine
- Praktikumi ülesande tutvustus, küsimused
- Lisamaterjalid

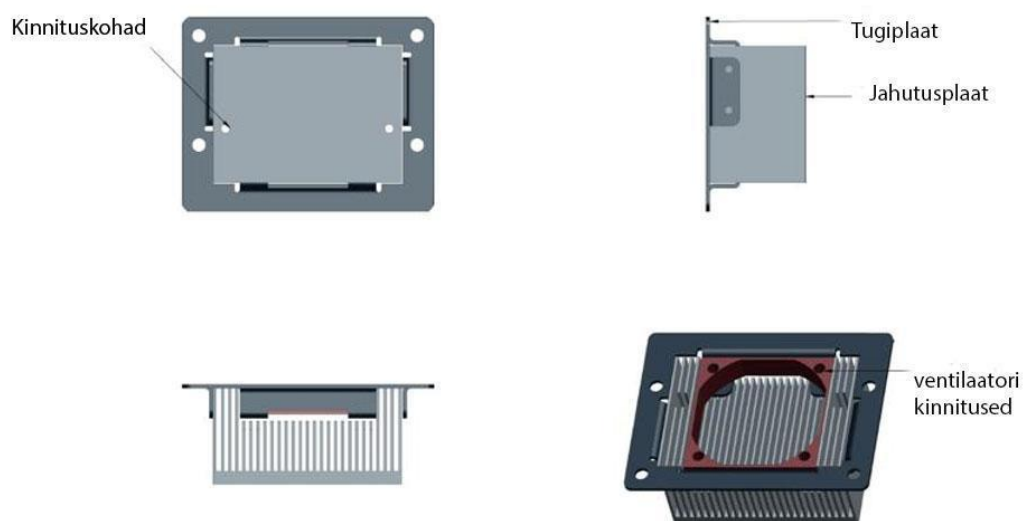
Praktikumist saadav info aitab hinnata LIDARi erinevaid omadusi. Tulemused annavad parema ülevaate seadme kasutusmugavuse ja tehniliste võimaluste kohta. Ainult isiklikule arvamusele ei saa kokkuvõtte tegemisel tugineda sellepärast, et olen antud seadmega pikemalt kokku puutunud ja seega puudub võimalus anda algset hinnangut. Tudengid kes LIDARiga CE30C esmakordselt kokku puutuvad annavad erapooletu arvamuse.

Praktikumideks ettevalmistamisel leidsime juhendajatega, et vajalik on ehitada seadme kinnitamiseks alus. Esialgu kasutasin LIDARi katsetamisel kõrgendusena pappkasti. Lisaks pidi peale iga kasutuskorda seadme lahti ühendama ning pakkima karpi. Klassiruumi lauale polnud katsevahendeid võimalik jätta muu õppetöö tõttu. Seadmepoolsete pistikute sagedasel liigutamisel võib kahjustada ühendusklemme. Isegi kvaliteetsetel pistikutel võivad teatud aja jooksul katkeda kinnituskohad ning murenedä ümbritsev materjal. Seega on parem kui juhtmed on kinnitatud ning mehaaniline pinge ühenduskohtadele minimaalne.

## 5.1 Praktikumiks vajaliku tehnika ettevalmistus

Praktikumis kasutatavale LIDARile valmistasin aluse mis tagab stabiilsema mõõtekeskkonna. Samuti aitab alus ning sellele kinnitatud juhtmestik kaasa seadme pikemale elueale tagades võimalikult vähese juhtmete painutamise ja hoides ära füüsiliste vigastuste tekke ohtu. Juhtmete ühendamisel seadme külge võib ettevaatamatu käitlemise korral tekkida kahjustusi sensoreid katvale klaasile. Vooluvõrku ühendatav adapter ning võrgukaabli ots on vastupidavamad ning nende ümbertõstmine LIDARit eriti ei mõjuta. Lisaks on valmis seatud komplekti mugavam kasutada.

Aluse tegemisel lähtusin varasematest kogemustest ja seadme eripäradest. Alusele kinnitatud kummist jalad tagavad parema haakuvuse aluspinnaga ning summutavad natuke mehaanilisi vibratsioone. Mõõtepiirkonna ulatuse tõttu peaks seade asuma alusest natuke kõrgemal tasapinnal, muidu hakkab plaadi pind andma häireid tulemustesse. Lisaks aitab kõrgem asukoht kaasa passiivsele jahutusele. Seade kuumeneb pika kasutusaja vältel kuni 50 kraadini [4] ning vajab õhu liikumist ümber korpuse. Kuigi dokumentatsioonis pole selgitatud vajadust jahutuse järele on siiski toodud näide välise ventilaatori paigaldamisest seadmele[19]. Vastavalt keskkonnatingimustele milles seadmega tööd tehakse peab arvestama vajadusel lisajahutusega. Näiteks kasutamisel ruumides mille temperatuur ületab 50 kraadi võiks juba kasutada sundjahutust.



Joonis 5.1 CE30C jahuti[19].

Temperatuuri muutused nii keskkonnas kui ka seadmes võivad mõjutada tulemuste täpsust [4]. Kuigi antud seade polegi mõeldud otseselt täppismõõtmiste tegemiseks, on

tootja siiski paika pannud tingimused mille puhul saab kõige paremaid tulemusi, näiteks kalibreerimisel oodatakse 20 minutit seadme soojenemiseks[19].

LIDARI aluse ehitamiseks kasutatud materjalid:

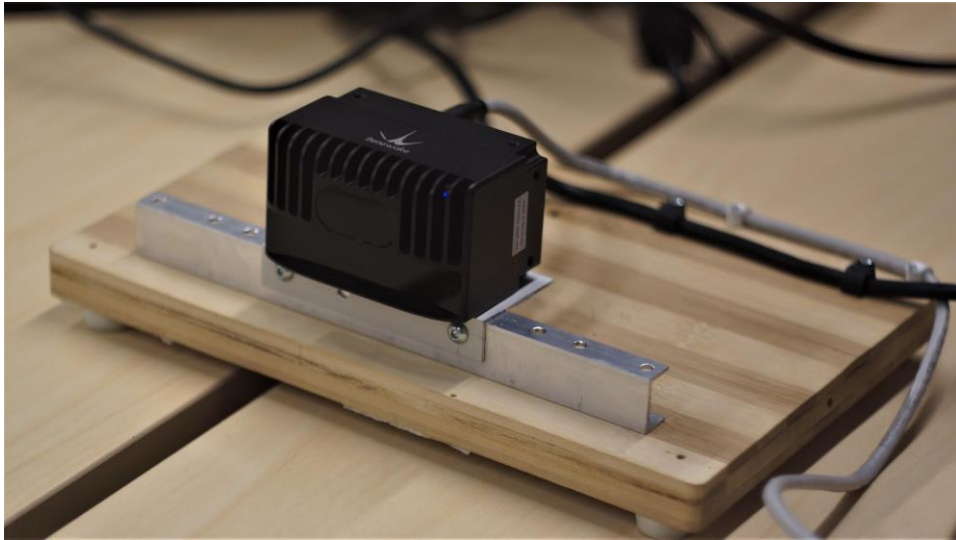
- Liimplitaat.
- Alumiiniumist nurkraud.
- Kruvid ja poldid.
- Kummist jalad.
- Kaablikinnitus naelklambrid.

Kasutatud tööriistad:

- Akutrell ja puurid.
- haamer.
- Mõõdulint, nihik.
- Kruvikeerajad, näpitsad.

Aluse tegemiseks kasutasin saada olevaid vahendeid ning Tallinna Tehnikaülikooli Tartu Kolledžis asuvaid tööriistu. Alumiiniumist nurkraudadesse pidin akutrelliga puurima sobivatesse kohtadesse auke mis on vastavuses korpusel asuvate kinnituskohtadega. Aukude õige asukoha määramiseks kasutasin nihikut, misjärel tegin puurimiseks vajalikud täkked. Seejärel kinnitasin nurkraud omavahel mutrite ja poltidega. Plaadile kinnitasin puidukruvidega.

Antud seadme hoiustamisel pole vaja iga kord kasutada tootjapoolset karpi. Kuuludes IP-kaitseastesse IP65 ei pääse seadme sisemusse tolm ja vesi. Tolmust ja mustusest tuleb aeg-ajalt puhastada sensorit katvad läbipaistvad pinnad.



Joonis 5.2 pilt valmis alusest seadmega.

IP65 koodi tähendus. Kood on jaotatud kaheks osaks milles esimene number näitab kaitstust võõrkehade vastu. Skaala suurusega 0-6 sätestab iga taseme nõuded. 0 tasemel puudub igasugune kaitse. Astmel 1 peaks olema kaitstus suuremate kui 50 mm objektide vastu. Järgmistel numbritel kaitstuse tase järjest tõuseb, maksimaalne on täielik tolmu kindlus. [20]

IP koodi teine number paneb paika veekindluse. Selle skaala jaotus on teistsugune, 0-9K, omades veel mõnda alajaotust. Paika pannakse kaitstus alates vee tilkumisest kuni võimsate kuuma vee jugadeni, nulli puhul kaitse puudub. Number viie puhul peaks seadme korpus vastu pidama veejugadele igast suunast teatud aja jooksul. [20]

## 5.2 LIDARI Benewake CE30C käivitamine

Esimeseks eesmärgiks tehnika poolelt oli Benewake LIDARi töökorda seadmine ning erinevate rakenduste katsetamine. Tootja veebilehel on saadaval vajalik tarkvara ja dokumentatsioon. Seade oli pakitud koos ühendusjuhtmetega väikesesse karpi, komplektist puudus toiteadapter. Enne esmast käivitamist oli tarvilik osta sobivate näitajatega vooluallikas ja üleminek juhtmete ühendamiseks.

Nimekiri kasutatud tehnikast, abivahenditest:

1. LIDAR Benewake CE30C ja tootjapoolne tarkvara.
2. Ühendusjuhtmed, vooluadapter pingele 12 V .
3. Arvuti LIDARi andmete kogumiseks, LIDARi töö jälgimiseks, analüüsiks.
4. LIDARi alus.
5. Erinevad vahendid praktikumi sooritamiseks.
  - a. Puitplaat koos vajalike detailidega LIDARi kinnitamiseks.
  - b. Mõõdulint, mõõtepinnad (erinevat värvi paberid, läbipaistvad pinnad).

LIDARi kasutamiseks on vaja see ühendada arvutiga võrgukaabli abil. LIDARi vool tuleb eraldi kaablist. Arvutis peab olema vajalik tarkvara mis antud seadme mudeliga ühildub. Benewake LIDARitele on olemas tootjapoolsed programmid reaalaja pildi vaatamiseks ning andmete salvestamiseks.

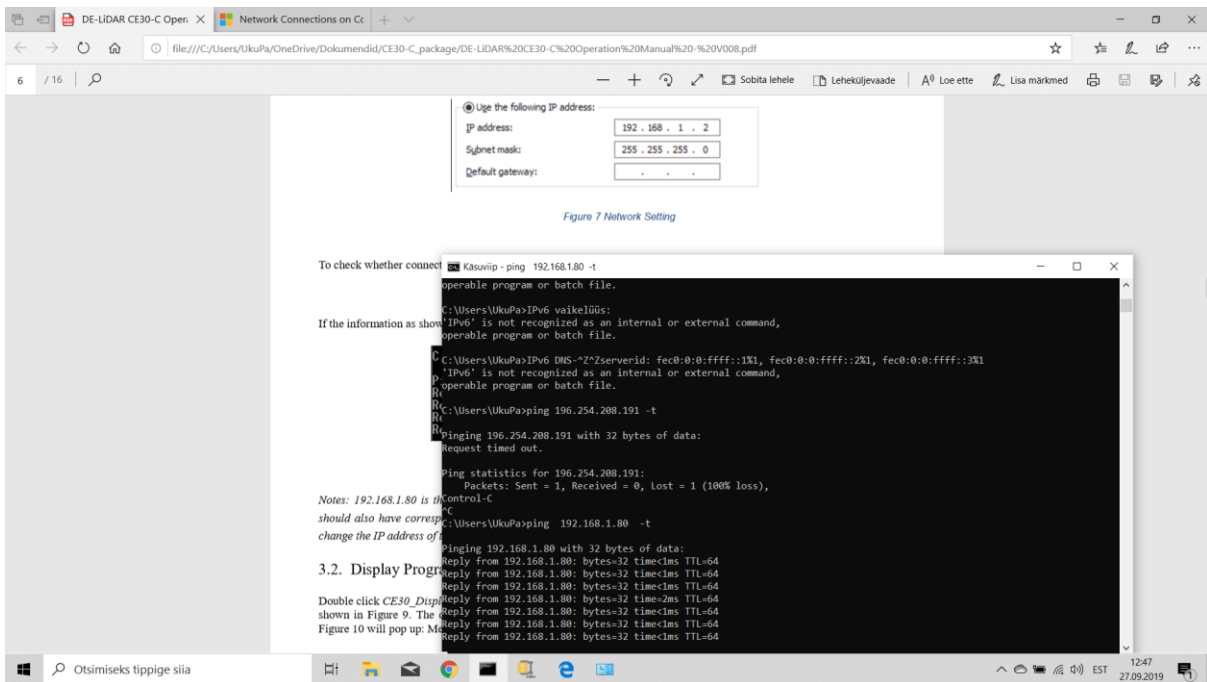
Täpsemad andmed LIDARi CE30C kohta[4]:

1. Vaatevälja laius 120° ja vertikaalis 9°.
2. Resolutsioon 660x24 pikslit.
3. Mõõtesagedus 20 kaadrit sekundis.
4. Antud mõõtekaugus 0.1 kuni 4 m.
5. Vea lubatud suurus ~6 cm.
6. Lubatud kasutada temperatuuril 0-50 °C.
7. Toitepinge 12 V, voolutugevus  $\geq 2$  A.
8. Tarbib 6 W.

Aeg-ajalt esines probleeme seadme töös. Näiteks ei toimunud suhtlust seadme ja arvuti vahel, kuigi kõik sätted olid õiged. Tarkvara kokkujooksmise või LIDARi mittetöötamise korral tuli seadmele teha taaskäivitus. LIDARi korpusel põleb rikke korral punane LED. Rikke põhjuseid ei ole võimalik tarkvaraliselt tuvastada ja analüüsida kuna antud seadmel puudub selline võimekus.

Seadme töölepaneku järjekord:

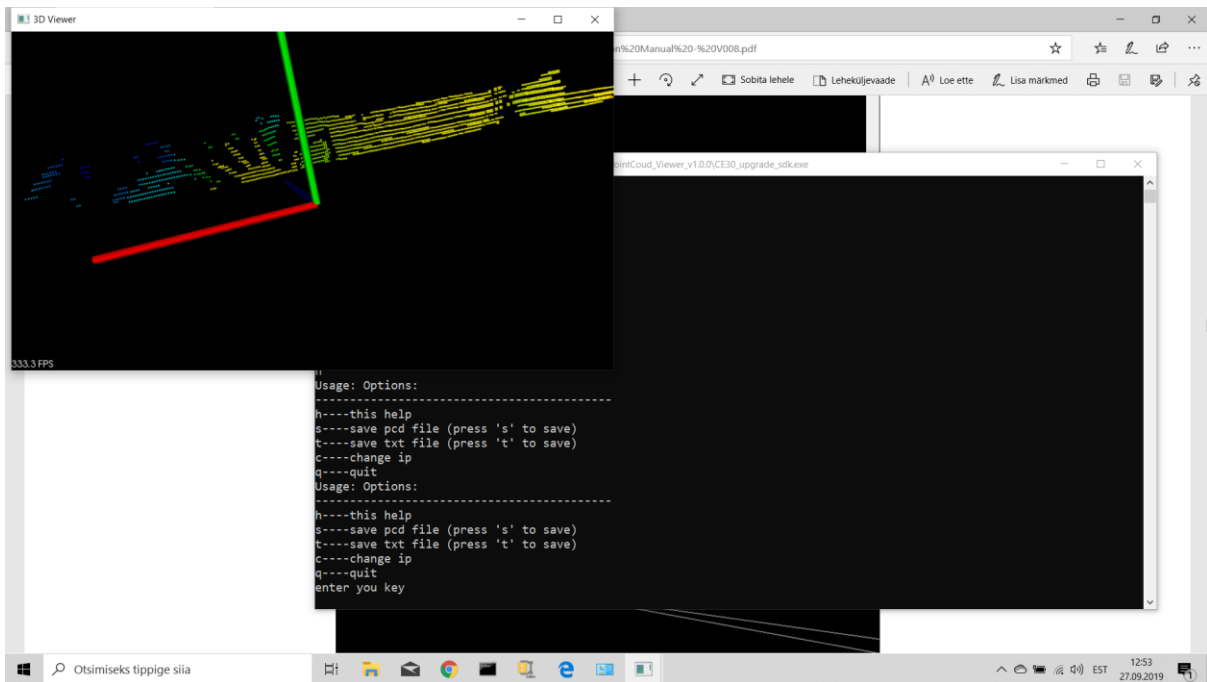
1. Tarkvara ja juhendite allalaadimine tootja kodulehelt[18].
2. LIDARi ühendamine arvutiga.
3. Toitekaabli ühendamine LIDARiga.
4. Arvutis võrgusätete muutmine ja seadmete omavahelise suhtluse kinnitamine. Võrguadapterile püsiaadressi andmine, IP-aadress 192.168.1.2, alamvõrgu mask 255.255.255.0 Käsuviibas katsetada seadmega suhtlust. Anda käsklus ping 192.168.1.80, positiivse vastuse korral saab seadme rakenduse käivitada.
5. Kui kõik on õigesti tehtud süttib seadmel sinine LED.
6. Tarkvara käivitamine. Allalaetud tarkvara kaustas „...\\CE30-C\_package\\ CE30-C\_PointCoud\_Viewer\_v1.0.0” Käivitada CE30\_upgrade\_sdk. Sisestada seadme IP aadress 192.168.1.80
7. Sooritada soovitud toimingud LIDARiga. Seadme mittetöötamise korral võib abi olla seadme taaskäivitusest. Kui tarkvara töötab, peaks nägema reaajas LIDARi pilti. Antud rakendus annab erinevaid võimalusi salvestamiseks ning pildi vaatamiseks. Salvestatud andmed tekivad kausta „...\\CE30-C\_package\\CE30-C\_PointCoud\_Viewer\_v1.0.0\\data”.
8. Lõpetamiseks sulgeda tarkvara käsuga q, eemaldada toitejuhe ning seejärel võrgukaabel.



Joonis 5.2 Ping test.

Arvuti sätete muutmiseks läheb vaja administraatori õigusi. Arvutil, millel on ainult üks võrgukaart, puudub peale seadete muutmist ligipääs internetile. Seega peab iga kord seadeid muutma ja taastama mistõttu suureneb ajakulu vajalikele toimingutele. Mugav on kasutada sülearvutit, millele on võimalik ühendada nii võrgukaabel, kui ka samas olla ühenduses WIFI abil. Ühe võrgukaardi sätteid võivad sellisel juhul jääda nii nagu alguses paika pandi, puudub vajadus iga kord hakata sätteid muutma.



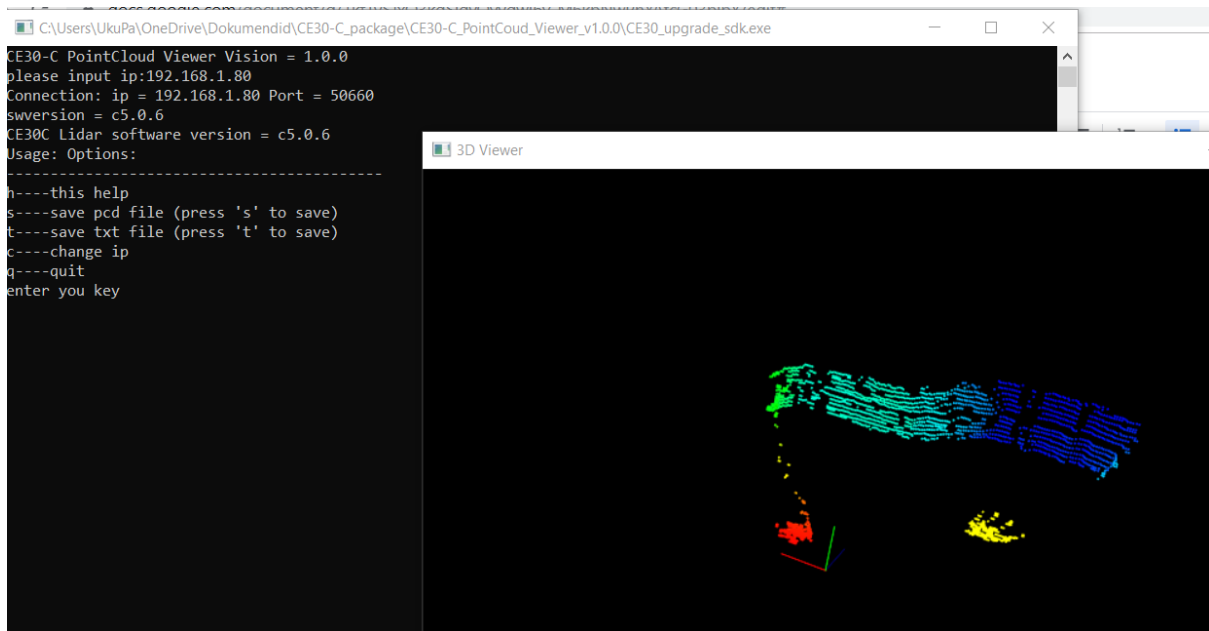


Joonis 5.3 Töötav tarkvara, pildil näha käe kujutis.

Esmane mulje tarkvarast ja ning seadme kasutamisest oli ootuspärane. Odavama klassi LIDARil pole suurt tehnilist võimekust ning tootjapoolses rakenduses ei ole eriti valikuid andmete töötlemiseks. Reaalaja vaates on märgata resolutsiooni väiksust.

Tootjapoolse tarkvara kasutamine on alguses kindlasti vajalik seadme töökorra uurimiseks. Antud rakendusega *Pointcloud viewer* saab teha katseid mis ei eelda keerulist andmete töötlemist. Reaalaja vaates saab katsetada LIDARi tööraadiust, erinevate materjalide omadusi infrapuna kiirte suhtes ning esemete tuvastamist vastavalt kujule ja suurusele.

Keerulise piirjoonega esemeid ja suuremaid objekte ei saa antud LIDARiga eriti täpselt vaadelda. Üks kasutusvõimalus, mille ka toote reklaamist leida võib, on lähiraadiuses olevate takistuste või liikumiste tuvastamine.



Joonis 5.4 Töötava LIDARI reaalaaja vaade tootjapoolse tarkvaraga.

LIDARI suhteliselt piiratud mõõtekauguse tõttu saab seda kasutada siseruumides vastavalt vajadusele. Välistingimustes võib päevavalgus mõjuda mõõtetulemusi häirivalt. Maksimaalne vaatevälja ulatus on LIDARI otsevaates 4 meetrit, külgedel natuke vähem.

LIDARI väiksuse tõttu on teda kerge paigutada erinevatesse kohtadesse. Lisaks on korpusel olemas keermestatud augud seadme kinnitamiseks või mõne muu eesmärgi jaoks. Praktikumil jaoks kasutasin LIDARil asuvaid kinnituskohi stabiilse aluse valmistamiseks.

Esialgse reaalaaja pildi järgi võib öelda, et seadme resolutsioon on piisav suuremate objektide tuvastamiseks kuid jääb hätta väikeste esemetega. Näiteks ei ole eriti näha sõrmi, pastakaid ning muid väiksemaid asju. Esemel nähtavust LIDARI vaateväljas mõjutavad füüsilised omadused. Näiteks on raskem tuvastada ümaraid peenikesi objekte võrreldes lapikute pindadega. Samuti on tähtis materjali pinna muud omadused nagu värvus, läbipaistvus ja peegeldumine.

Erinevate värvuste mõõtmisel selgus, et kõige parema tulemuse annab punane värv. Katses kasutasin kolme A4 suurust paberilehte. Sinine ja roheline leht andsid sarnased tulemused, punane oli vaateväljas paremini nähtav. Kuna antud LIDAR töötab infrapuna lainealas siis mõned mõõtepinna omadused võivad mõjutada saadud tulemusi. Punast värvi leht peegeldab seadmele tagasi rohkem samasse lainealasse kuuluvaid kiiri.



Joonis 5.2 Töödeldud pilt erinevate mõõtetulemustega.

Pildil on näha kolme erineva paberi võrdlus, võrreldav pind on markeeritud sinise ovaaliga. Esimene on punase värvi tulemus. Võrreldes kolme pinda on selge, et punase paberi tulemus on teistsugune, kuvades rohkem mõõtepunkte. Katsete ajal hoidsin mõõdetavaid pindu samal kaugusel.

Väike resolutsioon ja lühike mõõteraadius on sobivad tingimused aeglaselt liikuval masinal takistuste avastamiseks. Katsetest saadud tulemused kinnitavad tootjapoolsete näidete sobivust antud seadmele. Benewake kuvab oma kodulehel erinevaid toodete kasutamise lahendusi[18]. Näiteks laorobotid, mille liikumiskiirus pole suur ning sensori eesmärgiks on takistuste avastamine[12]. Lisaks on välja toodud palju teisi näiteid logistika valdkonna ohutuks muutmisest[18].

LIDARi ohutu kasutamise tagamiseks valmistatud alus toimis hästi. Tänu alusele ning kindlalt paigal olevatele kaablitele oli seadme kasutamine mugavam. Polnud vaja iga kord juhtmeid ühendada korpusel asuvate pesadega. Piisav kõrgus tagas ilma häireteta pildi ning andis võimaluse valida sobiv asend ruumis. Ilma aluseta pidi kasutama muid esemeid vajaliku kõrguse saavutamiseks mille tõttu ei olnud kasutamine eriti mugav ega seadmele ohutu.

## 5.3 Praktikumi küsimused

Küsimuste koostamisel lähtusin seadme omadustest. Piiratud tööraadiuse tõttu on võimalik seda kasutada väikestes ruumides. Kuna tehnilistest näitajatest lähtub, et antud LIDARi tehtav pilt pole eriti hea resolutsiooni ja punktihedusega siis oli esimeseks mõtteks katsetada erinevate mõõteobjektide nähtavust vaateväljas. Soovisin teada saada, millise suuruse ning teiste füüsikaliste omadustega esemeid on võimalik tuvastada. Tudengite ülesandeks oli valmis seatud komplektiga sooritada katsed vastavalt juhendile. Juhendi koostamisel otsustasin töö jaotada kaheks osaks. Sissejuhatav peatükk peaks praktikumi läbija kurssi viima antud teemaga. Esimene pool koosneb teema tutvustusest ja CE30C informatsioonist. Teise osa sisuks on praktikumi küsimused.

Esimene küsimus on suunitletud seadme kasutusmugavuse kohta. Küsimuse vastusest oleks saanud informatsiooni võimalike vigade esinemise kohta seadme käivitamisel.

1. Küsimused seadme kasutusmugavuse kohta.
  - a. Kas rakendused on lihtsasti kasutatavad, mis probleeme võib esile tulla seoses esmase käsitlemisega?

Järgmised ülesanded sisaldasid küsimusi seadme töö kohta. Vastustest neile küsimustele oli eesmärk koostada tabelid millega hinnata CE30C erinevaid omadusi.

2. Küsimused seadme omaduste kohta.
  - a. Kas nähtav reaalaraja pilt on arusaadav?
  - b. Kas esineb moonutusi, eripärasid?
3. Täpsemad katsed.
  - a. Milline on seadme mõõtepiirkond?
  - b. Katsed erinevate materjalidega, kuidas erinevate omadustega materjalid erinevad üksteisest LIDARi pildis.
    - i. Katsed erinevat värvi pindadega, läbipaistvus, peegeldusnurk ja kaugus seadmest.

Katsete sooritamiseks oli klassiruumis olemas vajalikud materjalid, mõõtevahendid ja mõõdetavad pinnad. Sarnase kuid põhjalikuma juhendi koostas praktikumi läbiviijale, millesse oli lisatud põhjalikum informatsioon ettevalmistuste ning vigade analüüsi kohta. Praktikumi juhendaja ülesandeks oli seadmete ettevalmistus, arvuti sätete muutmine ning vajadusel lisainformatsiooni andmine tudengitele. Vormistuses lähtusin TalTechi üldistest nõuetest. Ülesehitusel kasutasin varasemaid kogemusi koolis läbitud kursustest. Küsimused mõtlesin osaliselt ise välja, osaliselt suunas juhendaja.

Seadme rikke tõttu ei olnud võimalik hakata katseid läbi viima. Enne riket jõudsin valmis teha praktikumide juhendid ja uurida seadme tööd siseruumides. Samuti proovisin CE30C sobivust koostatud praktikumi küsimustele.

Enne riket ei täheldanud suuremaid probleeme seadme töös. Paar korda kogu kasutusaja vältel juhtus, et seade enam ei reageerinud. Taolise probleemi korral oli abi taaskäivitusest. Kuigi toote juhendid on üsna põhjalikud ning kirjeldavad isegi millised vead võivad esineda, ei saa päris täpselt teada milline viga hetkel seadme tööd takistab. CE30C tarkvaral puudub võimekus anda veateateid. Tarkvara või operatsioonisüsteem LIDARI töötamist ei mõjuta, proovisime erinevatel arvutitel seadme tööd.

## 6 TULEMUSED

Vastused väidetele mis püstitasin töö algfaasis:

- Väiksem investeering LIDARi kasutamiseks
- Pole vaja karta suuri kahjusid purunemise korral.
- Kergem asendada, vähema raha eest saab kasutada mitut LIDARit.
- Mida rohkem inimesi kasutab (odava hinna tõttu) seda rohkem tuleb ka rakendusi, vabavaralisi programme.

Väiksema investeeringuga on võimalik omandada töötav LIDAR, kuid sellisel juhul peab arvestama täpsemalt mille jaoks seadet kasutama hakatakse. Valida tuleb sobiva mõõtepiirkonna ning muude piisavate tehniliste näitajatega LIDAR. Kallimad seadmed on sageli suure mõõtevahemiku ja suure resolutsiooniga mis tagab sobivuse erinevate projektide jaoks.

Odavamad toodet on kergem asendada väikese hinna tõttu, samuti ei nõua suuri kulutusi tagavaraseadme omamine. Ühe kalli LIDARi asemel saaks kasutada mitut odavamad kuid seejuures on keerulisem lahendada tarkvaralisi probleeme. Ootamatu probleem võib tekkida seadme tarnimisega kriisiolukordades. Antud töös kasutatud LIDARi tootja asub Hiinas, seega 2020 aasta esimeses pooles püsitatud ajutised piirangud võivad põhjustada oluliselt pikema tarneaaja. Seoses COVID19 viiruse levikuga on mõjutatud nii tööstused kui ka transpordisektor. Isegi kui ettevõtted väljastavad saadetisi siis võivad need kusagile toppama jääda. Erinevate riikide ja ühenduste regulatsioonide tõttu pole kindel, et pakid õigeaegselt kohale jõuaksid. Suletakse piire ja vähendatakse mittevajalike toodete transporti, samuti võib viiruse tõttu seatud karantiin vähendada töötajate arvu. Mitmed riigid on keelanud rahvusvaheliste saadetiste transportimise. Transpordifirmad annavad teada oma lehtedel millistel tingimustel ning millistes piirkondades on võimalik postiteenusega tegeleda [21]. Samuti peab arvestama seadme tootja võimalike muudatustega, näiteks võib muutuda tootevalik. Pidevalt arenevas valdkonnas ei ole mõistlik kindlaks jääda ühele tootele.

Üheks sagedaseks probleemiks on tarkvara puudulikkus. LIDARite tootjaid on erinevaid, paljude seadmetega tuleb kaasa võimalus kasutada tasuta tarkvara mis sobib seadme esialgseks katsetamiseks. Luues uusi projekte milles kasutatakse LIDARit ei pääse programmeerimisest, sest enamasti pole saadaval vajalikke rakenduslikke komponente. Täislahendused maksavad võrreldes LIDARi omahinnaga oluliselt rohkem. Tarkvara võib moodustada suure osa toote hinnast[16]. Tulevikulootused antud valdkonnas seisnevad hindade langemises kasutajate arvu suure tõusu tõttu. Mida rohkem inimesi kasutab LIDARit oma projektides seda paremini võiks kättesaadav olla ka vabavaraline tarkvara ja informatsioon seadmete kasutamise kohta.

Odava LIDARi puudused:

- Ebatäpsused. Kuvatav pilt on väikese resolutsiooniga, mõõteviga on suurem kui kallimatel seadmetel. Pole näha väikseid objekte.
- Kehvem kvaliteet (lühem eluiga, probleemid kasutamisel).
- Puudulik tarkvara, pole eriti muid võimalusi peale reaalaja vaate.
- Kehvemad tehnilised näitajad võrreldes kallimatega.

Antud töös kasutatud Benewake LIDAR on üks odavamaid taolisi seadmeid mis on hetkel olemas. Ebatäpsused püsivad tootja antud piirides.

Koostekvaliteet pole esmapilgul halb, seadme esialgsel käsitlemisel probleeme ei ilmnenud. Korpus, juhtmed ja ühenduskohad pidasid vastu mõõdukale kasutamisele. Aegajalt pidi seadmele tegema taaskäivituse tarkvaralise rikke tõttu. Tehnilised näitajad võrreldes kallite seadmetega, mis on ettenähtud mitmekesisemate eesmärkide jaoks, on kehvad. Mõõtepiirkond, resolutsioon, mõõtesagedus ning muud näitajad jäävad oluliselt alla tippklassi seadmetele. Koolis oleva Velodyne LIDARi reaalaja pilt on palju suurema raadiuse ja resolutsiooniga.

Tarkvara CE30C tootja poolt on üsna väheste võimalustega. Võimalik on reaalajas kuvada ja salvestada LIDARi kogutud andmeid. Täpsemate funktsioonide loomiseks tuleb otsida muu tarkvara või see ise luua. Odavama hinnaga seadmetel polegi ette nähtud ühte kindlat kasutusala. Müüakse toodet mille kasutamise eesmärgi ja vajalikud osad leiab kasutaja.

Töö käigus ühel hetkel LIDAR enam ei töötanud. Ei olnud abi taaskäivitamisest. Esimese asjana kontrollis juhendaja toitepinget ning katsetas teist toiteallikat. Samuti vahetati välja võrgukaabli pistik. Kontrollisin vastavalt tootjapoolsele juhendile võrgukaabli juhtmete järjekordi mille käigus viga ei leidnud. Seadme ühendamisel arvutiga ja vooluvõrku põles nii punane kui ka sinine LED, viimasena vilkus siniselt. Arvuti näitas seadme olemasolu võrgus. Ping testile LIDAR ei vastanud, samuti ei hakanud tööle reaalaaja pildi kuvamise rakendus.

Seadet kasutati ettevaatlikult, ilma füüsilisi vigastusi tekitamata. Samuti tehti kõik vajalikud toimingud vastavalt tootja soovitudele. Ühendusjuhtmed olid kinnitatud alusplaadi külge, et vältida koormust ühenduskohtadele. Lisaks oli seade monteeritud alumiiniumist nurkrauga stabiilselt puitplaadile.

Esialgne arvamus oli, et seadmes on mingi vea tõttu andmevahetus häiritud. Rikke tõttu ei ole selline odava klassi LIDAR eriti usaldusväärne. Võrdluseks võib jällegi tuua kolledžis kasutusel oleva LIDARi Velodyne Puck LITE mille pikema kasutusaja vältel pole selliseid probleeme esile kerkinud. Esialgne arvamus seadme heast kvaliteedist muutus. Võrgukaabli kvaliteet lähemal vaatlusel ei osutunud heaks, seadet lahti esialgu ei monteeritud.



Praktikumi tulemusi saan kirjeldada ainult enda seisukohalt seadme rikke tõttu. Töö koostamisel lähtusin varasematest kogemustest ning ülesanded mõtlesin välja vastavalt seadme omadustele. Soovisin kontrollida tootjapoolseid parameetreid.

Erinevate ülesannete koostamisel tein läbi erinevaid katseid.

Saadud tulemused:

- Seadme käimapanek ei ole keeruline, esimeste tulemusteni jõuab kiirelt. Tootja juhendid on kergesti arusaadavad, kõik vajalik informatsioon on saadaval.
- Reaalaja vaates on võimalik esemeid tuvastada.
- Väiksemad kui 3x4 cm esemeid ei tuvasta, peenikesed ümarad pinnad ei jää samuti pildile. Pliiatsi pinnalt ei jõua mõõtekiired tagasi sensorini.
- Vaateväli on vastavuses lubatud näitajatega.
- Ruumi pimendamine või valgustamine tulemusi ei mõjutanud, akendest sisse tulev päikesevalgus ei mõjunud nähtavalt.

Enne LIDARi riket jõudsin valmis teha juhendid ja koguda natuke informatsiooni seadme töö kohta. Praktikumi koostamisel sain uusi teadmisi LIDARitest. Juhendite koostamine CE30C kasutamiseks oli samuti minu jaoks uudne. Abiks olid erinevatel kursustel läbi tehtud praktikumid.

Kasutusmugavuse parandamine on võimalik lisaseadmete abil. Kui kasutada eraldi tööarvutit, millel on püsivalt vajalikud sätted, siis pole keeruline LIDARit käidelda. Veelgi lihtsam oleks terviklik komplekt mille käivitamisest pole vaja teha muud kui ühele nupule vajutada. Algsel kujul tuleb teha mitmeid muutusi arvuti võrgusätetes ning otsida juhendist vajalikke parameetreid ning hiljem vajadusel taastama algsätteid. Ilma sobivalt seatud töökeskkonnata pole seadme kasutamine eriti mugav.

## 7 TEHNILISTE NÄITAJATE NING HINNA VÕRDLUS

Võrdlev tabel erinevat tüüpi LIDARitega. Valitud tooted on kõik erinevate näitajate ning hinnaklassiga mis näitab praegusel ajal saadaval oleva mitmekesisust. Leidub nii väikeste kui suurte mõõtevahemikega seadmed, odavamaid ja kallimaid. RPLIDARi valisin tabelisse ilmestamiseks seadmete võimalikult laia valikut. Lisaks omapärasele disainile kuulub RPLIDAR hinna poolest odavamate seadmete hulka. RPLIDAR kasutab ühte kiirt mida suunatakse sarnaselt Velodyne LIDARile 360 kraadi ümber seadme. Ainukesena on CE30C antud tabelis Solid State LIDAR. VLP-16 hind on mitmekordselt kallim Benewake omast, samas on sellel ka oluliselt paremad tehnilised näitajad.

Omadus	Benewake CE30C	RPLIDAR S1	Velodyne PUCK VLP-16
Hind	~1000 €[15]	~590 € [22]	~8800 €[23]
Mõõtekaugus	4 m	40 m	100 m[24]
Raadius	132x9°	360x0.391°	360x30°
Mõõtekiirus	20 kaadrit sekundis	9.4 kHz (näiduvõtusagedus)	300 000 punkti sekundis
Laineala	850 nm	905 nm	903 nm
standard ja ohutusklass	EN 62471 exempt	IEC-60825 Class 1	IEC-60825 Class 1
Täpsus	+/- 6 cm	5 cm	3 cm

Tabel 7.1 Tehniliste näitajate võrdlus.

Standardid mida tabelis olevad seadmed kasutavad on Euroopa Liidus kehtivad. Tabelis välja toodud standardid panevad paika laserite ohutusklassid vastavalt erinevatele näitajatele.

- Benewake LIDAR ei kujuta ohtu. EN 62471 exempt.
- RPLIDAR S1. IEC-60825 klass 1. Lühiajalised impulsid tagavad ohutuse inimsilmale.
- Velodyne VLP-16. IEC-60825 klass 1, tavakasutusel ohutu. Optikaga seadet vaadeldes võib tekkida oht silmale või tehnikale.

Mitmekordselt kallimatel seadmetel on tehniliselt paremad näitajad. Odavamate seadmete hinnaklassis on mitut erinevat tüüpi seadet. Leidub nii solid state kui ka pöördlasereid, erinevate tööpõhimõtete ja tarkvaralise võimekusega seadmeid.

Nagu selgub tabelist on kallimad seadmed mitmekülgsemad. Pole veel saadaval odavat LIDARit mis oleks nii pika mõõteulatusega, suure kaetava alaga kui ka hea resolutsiooniga. Võimalik on valida vastavalt vajadusele ühe sobiva omadusega mõõteriist. Tootja Velodyne lubab aastal 2020 välja tulla LIDARiga mille hind peaks jääma 100 \$ piiresse[25]. Näitajate poolest parem kui antud lõputöös kasutatud seade. Ligi sajameetrise ja 60 kraadi laiuse mõõteulatusega oleks antud hinnaklassis erakordne. Mitmed teised tootjad jääksid alla oma seadmete omadustega ning peaksid hindu langetama. Seega on tulevikus oodata LIDARite valdkonnas muutusi.

## 8 KOKKUVÕTE

Odavad LIDARid sobivad konkreetsete ülesannete jaoks. Seade mis on mitmekesine ja heade tehniliste näitajatega on veel tavakasutajale kallis. Erinevate tootjate uudised ning lubatud uued tooted kinnitavad antud valdkonnas lähiajal hindade langust ning paremate omaduste saavutamist. Ühe kalli LIDARi asemel on võimalik kasutada mitut odavamat. Lisaks pole vajadusel uue muretsemine keeruline.

Soodsam hind toob LIDARite kasutamise järjest enam meie igapäevaellu. Autotootjad liiguvad üha enam masinate poole, mis teevad otsuseid inimestest sõltumatult. LIDAReid kasutatakse autode ohutu liiklemise tagamiseks, ennetades kokkupõrkeid või andes juhile teada ümbritsevatest ohtudest.

Antud LIDAR ei pidanud eriti pikalt vastu isegi vähese kasutamise korral. Järelikult ei saa veel usaldada odavamaid LIDAReid. Samuti võib lõpuks kallimaks minna pidev rikki läinud seadme vahetamine kui ühe kallima ostmine. Antud seade sobib vähemtähtsate ülesannete täitmiseks või õppetöök.

Lõputöö raames koostas in mitu dokumenti mille koostamiseks pidin tutvuma enda jaoks uue informatsiooniga. Omandasin teadmisi LIDARitest, standarditest ja muust antud teemaga seonduvast. Esmakordselt puutus in kokku praktikumi koostamisega tudengitele. Praktikumide loomise käigus nägin tehtut uuest vaatenurgast mis andis uusi ideid edasiminekuk. Lõputöö koostamine oli minu jaoks huvitav protsess. Alustasin seadmega mida polnud varem kasutanud. Juhendaja abiga sain suuniseid tegevuse alustamiseks. Töö käigus muutus vastavalt olukorrale eesmärk ning tekkis uusi küsimusi mida lahendada.

Saadud teadmiste ja kogemuste põhjal väidan, et soodsa ja hea LIDARi leidmine hetkel on keeruline, kuid mitte võimatu lähiaastatel. Tuleb oodata veel antud valdkonna arenguid. LIDARI ostmisel oleks mõistlik uurida milleks täpselt seadet kasutama hakatakse. Praegusel ajal on valik üsna lai, saadaval on palju erinevate näitajatega mõõteriistu.

Lõputöö koostamisel oli suureks abiks praktikumi juhendite loomine. Informatsiooni antud valdkonna ning LIDARi kohta kogunes nii tutvustavat teksti luues kui ka ülesandeid välja mõeldes. Erinevate ülesannete läbiproovimisel tutvusin täpsemalt seadme omadustega. Hea ülevaate saamiseks on kasulik otsida valitud teemale sarnaseid näiteid.

Järgmisel korral sarnast tööd tehes pööraks rohkem tähelepanu tulemuste ning tegevuste dokumenteerimisele. Samuti võiks välja mõelda rohkem küsimusi millele vastuseid leida. Oluline on ka kogutud materjali korrastatus ja selge ülesehitus. Hästi koostatud alusdokumentidest pole lõputööd keeruline koostada.

## 8 SUMMARY

Cheap LIDARs usually fit for one specific purpose. Devices that have better technical specifications are still too expensive for average user. Different manufacturers are giving promising news about cheap and good LIDARs.

Many cheap LIDARs can be used instead of one expensive. Finding another replacement LIDAR from low price range is also easier. Smaller prices makes LIDAR technology more common. Some car manufacturers move ahead to make autonomous vehicles. LIDARs are used for securing safe traffic as preventing collisions and other possibly dangerous situations.

Benewake CE30C did not last long. This shows that cheaper products cannot be trusted yet. Too frequently breaking device could be more costly than one quality product. This LIDAR fits better for minor tasks or school work. Producing LIDAR based practicums gave strong base for making this thesis.

Based on my collected knowledge I can say that cheap and good LIDAR does not yet exist but may be available in near future. Before buying LIDAR it is necessary to figure out the exact needs. At the moment there is wide variety of LIDAR products.

## 9 Allikad

1. Sinha G. Gaurav (2017). Brief History of LiDAR, Its Evolution and Market Definition. (<http://blog.bccresearch.com/brief-history-of-lidar-evolution-and-market-definition>) (12.01.20)
2. Cantelle Dubois (2018). What Is Solid State LiDAR and Is It Faster, Cheaper, Better? (<https://www.allaboutcircuits.com/news/solid-state-LIDAR-faster-cheaper-better/>) (15.01.20)
3. Fintan Corrigan (2019). Flash Lidar Time of Flight (ToF) Camera Sensors On Drones And 10 Terrific Uses. (<https://www.dronezon.com/learn-about-drones-quadcopters/best-uses-for-time-of-flight-tof-camera-depth-sensor-technology-in-drones-or-ground-based/>) (5.01.20)
4. Benewake (Beijing) Co., Ltd (2019). CE30-C Solid State Array LiDAR Specification. ([http://en.benewake.com/support\\_data?catename=03c54a91-8f9a-409f-985d-37acc68f7bf4&supportid=a601c125-bd60-499b-ac93-f70427fd2d86](http://en.benewake.com/support_data?catename=03c54a91-8f9a-409f-985d-37acc68f7bf4&supportid=a601c125-bd60-499b-ac93-f70427fd2d86)) (15.12.19)
5. SPAR 3D (2019). Modeling directly from laser scans to Autodesk Revit with InfiPoints: Improving 3D point cloud and BIM interoperability. (<https://www.spar3d.com/sponsored/sponsored-software/modeling-directly-from-laser-scans-to-autodesk-revit-with-infipoints-improving-3d-point-cloud-and-bim-interoperability/>) (26.04.2020)
6. Lidarview (2014). Online LIDAR point cloud viewer. (<http://lidarview.com/>) (29.04.20)
7. CENELEC European Committee for Electrotechnical Standardization (2008). Photobiological safety of lamps and lamp systems (IEC 62471:2006, modified) ([http://tbt.testrust.com/image/zt/123/100123\\_2.pdf](http://tbt.testrust.com/image/zt/123/100123_2.pdf)) (20.01.20)
8. Smart Vision Lights (2020). IEC 62471 for LED Lighting Products. (<https://smartvisionlights.com/resources/lighting-basics-resources/iec-62471-for-led-lighting-products/>) (22.04.20)
9. Timothy B. Lee (2019). Man says CES lidar's laser was so powerful it wrecked his \$1,998 camera. (<https://arstechnica.com/cars/2019/01/man-says-ces-lidars-laser-was-so-powerful-it-wrecked-his-1998-camera/>) (22.04.20)
10. Benewake (Beijing) Co., Ltd (2017). LiDAR-SLAM-Mobile robot with Benewake LiDAR. (<https://www.youtube.com/watch?v=WNSW-S-0MbI>) (15.01.20)
11. GEOSLAM (2019). What is SLAM?. (<https://geoslam.com/blog/2019/01/18/what-is-slam/>) (22.04.20)

12. Benewake (Beijing) Co., Ltd (2017). LiDAR-CE30-AGV Application from Benewake (<https://www.youtube.com/watch?v=LQ27xB8iYdE>) (15.01.20)
13. Leica Geosystems. Leica lidar BLK360. (<https://shop.leica-geosystems.com/learn/reality-capture/blk360>) (09.04.20)
14. Leica Geosystems (2020). Leica CloudWorx for Revit. (<https://leica-geosystems.com/products/laser-scanners/software/leica-cloudworx/leica-cloudworx-revit>) (29.04.20)
15. Benewake (Beijing) Co., Ltd (2018). Solid state LiDAR CE30-C point cloud data for accurate obstacle avoidance. (<https://www.ebay.com/itm/Solid-state-LiDAR-CE30-C-point-cloud-data-for-accurate-obstacle-avoidance/222265270204?hash=item33c00adfbf:g:-zgAAOSwC6pZ-YDO>) (25.03.20)
16. Leica Geosystems. Leica LIDARi hind. (<https://shop.leica-geosystems.com/buy/blk360/blk360>) (25.03.20)
17. Steve Malott (2016). Why Is Software Development So Expensive? (<https://coresolutions.ca/blogs/core-business/why-software-development-is-so-expensive>) (20.04.2020)
18. Benewake (Beijing) Co., Ltd (2020). Kodulehekülg. (<http://en.benewake.com/>) (22.04.20)
19. Benewake (Beijing) Co., Ltd (2020). CE30-C Solid State Array LiDAR Operation manual. ([http://en.benewake.com/support\\_data?catename=03c54a91-8f9a-409f-985d-37acc68f7bf4&supportid=a601c125-bd60-499b-ac93-f70427fd2d86](http://en.benewake.com/support_data?catename=03c54a91-8f9a-409f-985d-37acc68f7bf4&supportid=a601c125-bd60-499b-ac93-f70427fd2d86)) (22.04.20)
20. 2020 DSM&T Co. Inc. Learn what IP means and what rating is best for your application. (<http://www.dsmt.com/resources/ip-rating-chart/>) (17.04.20)
21. FedEx Express (2020). Service updates due to COVID-19 outbreak | Posted on April 17, 2020. (<https://www.fedex.com/content/dam/fedex/apac-asia-pacific/downloads/fedex-covid-service-update-en-apac.pdf>) (10.04.10)
22. Slamtec. RPLIDAR S1 360° Laser Scanner (40 m). hind ja info lehel RobotShop. ([https://www.robotshop.com/en/rplidar-s1-360-laser-scanner-40-m.html?gclid=Cj0KCQjwsYb0BRCOARIsAHbLPhG3XYVSUf0q\\_iioyjK1roL12aVGHyzKbPsCQRs0a-51DzGvmkP9880aAiO2EALw\\_wcB](https://www.robotshop.com/en/rplidar-s1-360-laser-scanner-40-m.html?gclid=Cj0KCQjwsYb0BRCOARIsAHbLPhG3XYVSUf0q_iioyjK1roL12aVGHyzKbPsCQRs0a-51DzGvmkP9880aAiO2EALw_wcB)) (25.03.20)
23. Velodyne. Velodyne LiDAR Puck VLP-16 hind. (<https://www.ebay.com/itm/Velodyne-LiDAR-Puck-VLP-16/123792318465?hash=item1cd298e001:g:~hwAAOSw5i5arF3K>) (25.03.20)
24. Velodyne Acoustics Inc. Velodyne puck vlp-16 informatsioon. (<https://www.amtechs.co.jp/product/VLP-16-Puck.pdf>) (15.03.20)



25. Velodyne LIDAR (2020). IEEE Spectrum Highlights Velodyne Will Sell a Lidar for \$100. (<https://velodynelidar.com/media-coverage/ieee-spectrum-highlights-velodyne-will-sell-a-lidar-for-100/>) (20.03.20)

## **10 Lisad**

TTÜ Tartu Kolledž

# **LIDARI Benewake teooria ja praktikum**

Tartu 2020

**1 Üldinfo LIDARite kohta**

**Tõrge! Järjehoidjat pole määratletud.**

**2 LIDAR Benewake üldinfo**

**Tõrge! Järjehoidjat pole määratletud.**

**3. Benewake lidari arvutiga ühendamine**

**Tõrge! Järjehoidjat pole määratletud.**

**6 Ülesanded**

**Tõrge! Järjehoidjat pole määratletud.**

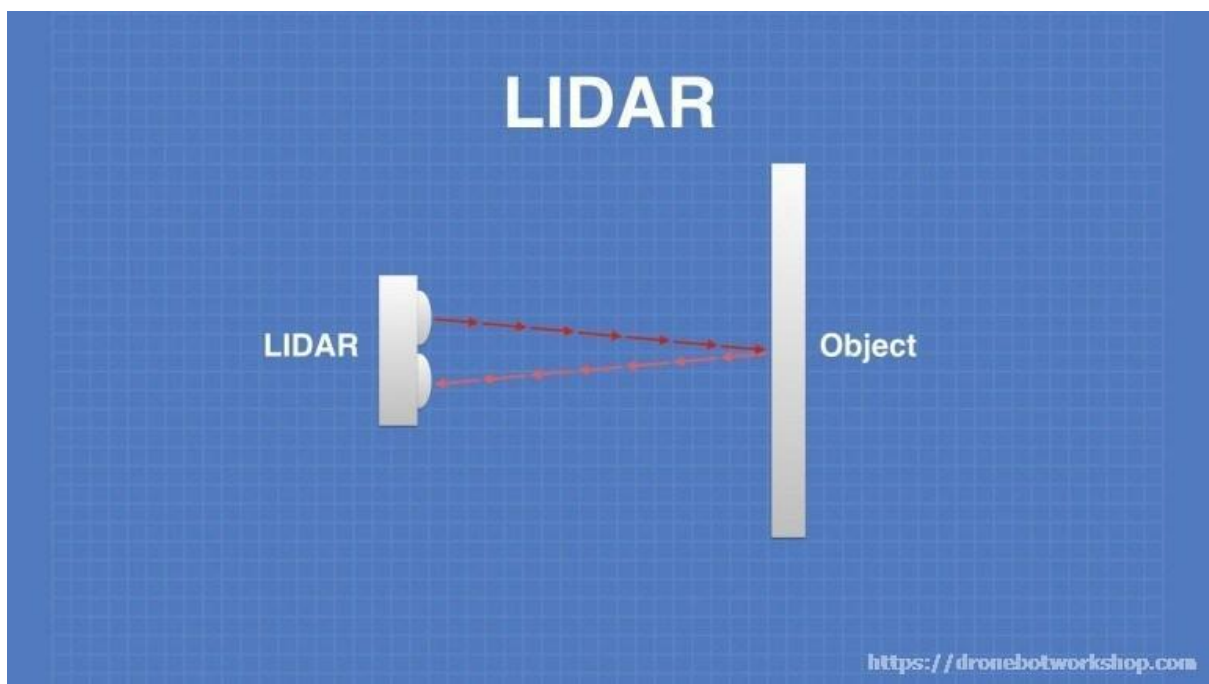
**Kasutatud materjal**

**Tõrge! Järjehoidjat pole määratletud.**

# 1 Üldinfo LIDARite kohta

LIDARitel põhinevad tooted on praegusel ajal tavaliselt üsna kallid. Odavamate ning ilma valmis rakendusega LIDARite kasutamine tundub aga keeruline. Selles praktikumis tutvume odavama klassi lidari kasutusvõimalustega.

LIDAR- light detection and ranging. LIDAR mõõdab laserimpulsside abil vahemaad ning nurka seadme ja peegeldunud pinna vahel. Arvutatakse aeg mis kulus kiire saatmisele ja tagasipeegeldumisele, täpsemalt mõõdetakse saadetud ja tagasi jõudnud kiire faaside erinevust. LIDARi kasutusvaldkondi on palju, geoloogiast ehituseni. Lidar on kasutusel ka kiiruskaamerates.



Pilt 1. Lihtne skeem LIDARi tööpõhimõtte kohta. Allikas: <https://dronebotworkshop.com/getting-started-with-lidar/>.

TOF- aeg mis kulub kiire saatmise ja sensorini tagasi jõudmiseks (time of flight). Benewake CE30C tootelehe selgitus: "CE30 calculates the phase difference and time difference between the emitted and received light, which will be converted to the clearance of the shot scene". Antud LIDARis kasutatakse infrapuna diapsoonis olevat kiirgust. Infrapuna kasutamisel on probleemiks päevavalguse segav mõju.

FOV- field of view, vaateväli. Erinevatel LIDARitel on vastavalt ehitusele oma kindel vaateväli ehk ala mida seade täpselt mõõta saab.



SJ-GU-CE30-C-03 A01

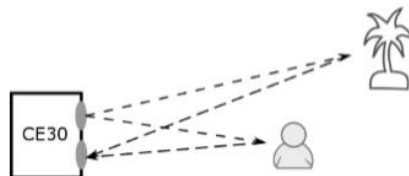


Figure 1 Schematic of CE30-C detecting range

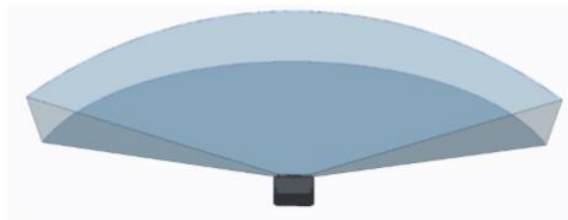
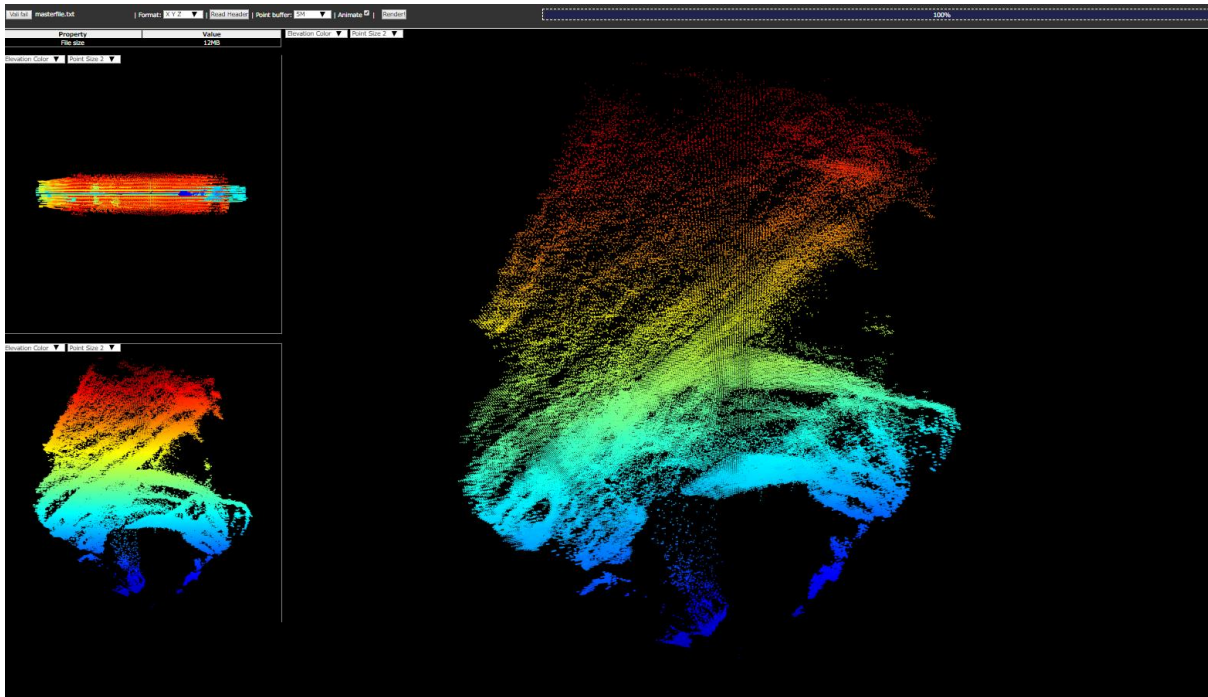


Figure 2 Illustration of CE30-C detection zone. Compared with single-line LiDAR, CE30 has a wider vertical FoV and therefore the obstacles can be better recognized.

Pilt 2. LIDARi Benewake tootjapoolne skeem.



Pilt 3. Katsetest saadud andmete põhjal valminud punktipilv. Kasutatud vabavaralist tarkvara Lidarview: <http://lidarview.com/>.

LIDARi esmast pilti näeb tootjapoolse rakendusega reaajas. Salvestatud andmeid Benewake CE30C tarkvara vaadata ei lase. Üheks lihtsaks mooduseks on vabavaraliste lahenduste kasutamine.

Lidari andmed tuleks salvestada PCD kujul. Lehekülg <http://lidarview.com/> pakub lihtsat lahendust saadud andmete visualiseerimiseks. Saadud andmed tuleb antud leheküljele üles laadida. Järgmisena tuleb formaadiks valida X Y Z sellepärast, et sellisel kujul on antud LIDARi andmed talletatud. Render nupule vajutades peaks tekkima lehele erinevad vaated antud failist.

LIDARist tulevat andmevoogu töödeldakse erinevalt, vastavalt toote ning tarkvara võimalustele. Salvestusformaate laserskanneeritud andmetele on üsna palju, kuid põhiliselt kohtab:

- LAS üks esimesi formaate mis laseri andmete talletamisel kasutusele võeti.
- LAZ pakitud .las fail.
- .e57 3d formaadis, punktipilved ...
- xyz kujul punktipilv.
- .pcd ...

Lidari andmetest moodustub punktipilv. Igal punktil on informatsioon asukoha, aja ning muude parameetrite kohta. Kogutud andmeid saab edasi vaadelda või töödelda erinevate programmidega. Esmane visualiseerimine toimub enamasti LIDARi tootjapoolse tarkvaraga. Võimalusi on maapinna, esemete ja ruumi vaatlemiseks 2D või 3D-s. Paljud ehitusega seotud rakendused lubavad importida punktipilvi kas maapinna või ruumide täpsema kujutamise jaoks.

Paljud ehitusjoonestamisega seotud rakendused pakuvad punktipilve importimise võimalust. Sobivas formaadis LIDARi informatsiooniga saab täpselt kuvada nii maapinna täpset vormi kui ka teisi objekte. Enamasti pole odavate LIDARite tarkvara eriti võimekas. Spetsiifilise eesmärgi jaoks toodetud seade koos tarkvaraga võib olla väga kallis. Vabavaraliste tarkvarade kasutamine nõuab enamasti lisatööd programmeerimise kujul. Benewake LIDARi tootjapoolsed rakendused lasevad seadme tööd reaajas jälgida, salvestada ning erinevates formaatides talletada. Järeltöötamiseks tootjapoolsed vahendid CE30C-I puuduvad.



## 2 LIDAR Benewake üldinfo

- Vaatevälja laius 120 ja vertikaalis 9°.
- Antud LIDAR töötab TOF põhimõttel.
- Resolutsioon 660x24.
- Mõõtesagedus 20 kaadrit sekundis.
- Lubatud mõõtekaugus 0.1 kuni 4m.
- Vea lubatud suurus ~6 cm.
- Lubatud kasutada temperatuuril 0-50 °C
- Toitepinge 12 V, voolutugevus vähemalt 2 A.
- Tarbib 6 W.



SJ-GU-CE30-C-03 A01

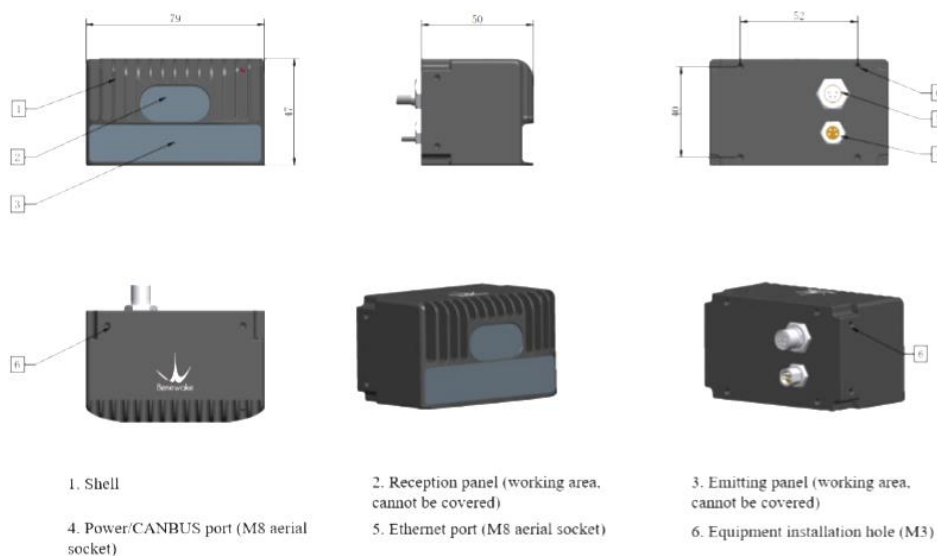
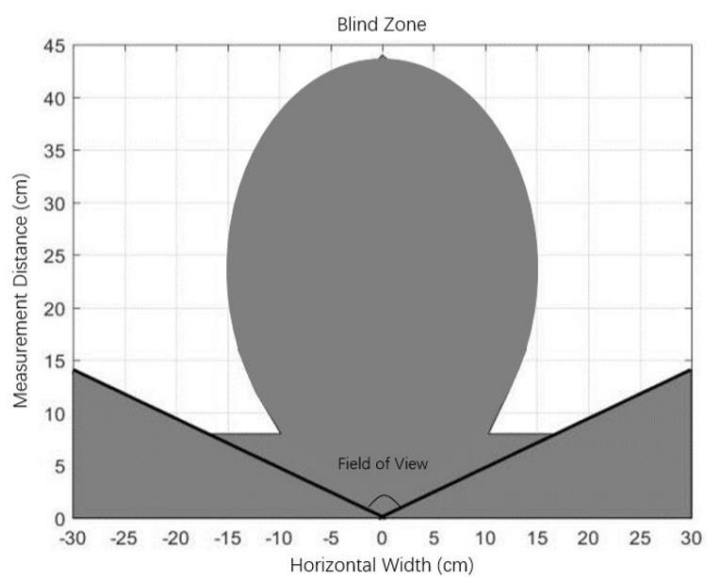


Figure 16 CE30-C outline drawing

Pilt 4. LIDAR Benewake CE30C. Allikas Benewake CE30C tooteleht.

#### 4.1. Blind Zone



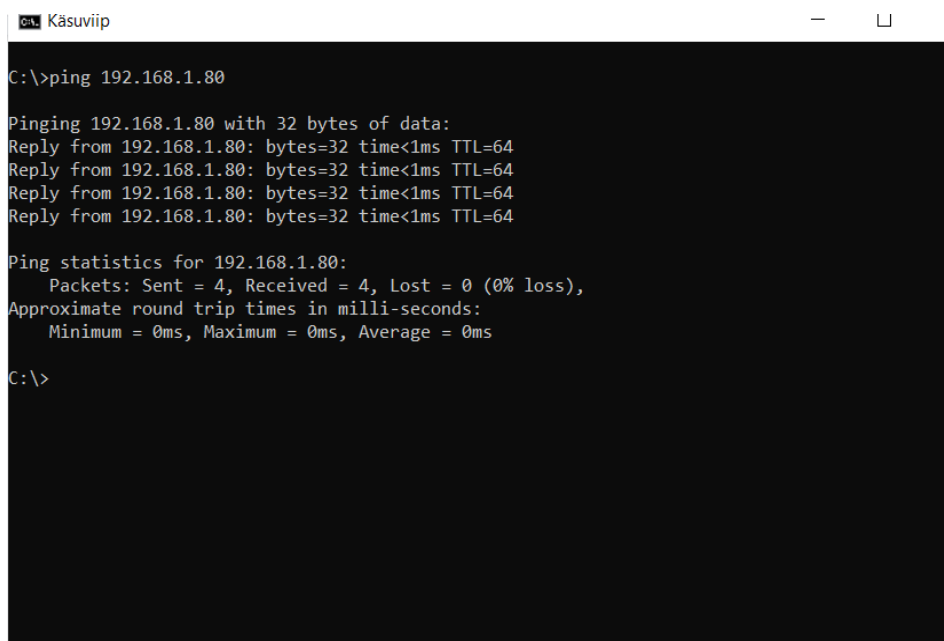
Pilt 5. LIDARi minimaalsed mõõtekaugused.

Lidar Benewake CE30C suurim mõõtekaugus on 4 m. Ala mida seade katab on ovaalse kujuga. „Blind Zone” on ala LIDARi vahetus läheduses mis mõõtetulemusi ei anna.

### 3. Benewake lidari arvutiga ühendamine

Ülevaade vajalikest toimingutest:

- Kaablite korrastamine.
- Ühendada arvuti ja LIDARi vaheline võrgukaabel.
- Ühendada toitejuhe.
- Kui seadmel põleb sinine LED siis on töökorras.
- käsuviibas (cmd) katsetada kas seadmega saab suhelda.
  - ping 192.168.1.80
  - positiivse vastuse korral saab hakata LIDARit kasutama.



```
Käsuviip
C:\>ping 192.168.1.80

Pinging 192.168.1.80 with 32 bytes of data:
Reply from 192.168.1.80: bytes=32 time<1ms TTL=64
Reply from 192.168.1.80: bytes=32 time<1ms TTL=64
Reply from 192.168.1.80: bytes=32 time<1ms TTL=64
Reply from 192.168.1.80: bytes=32 time<1ms TTL=64

Ping statistics for 192.168.1.80:
    Packets: Sent = 4, Received = 4, Lost = 0 (0% loss),
    Approximate round trip times in milli-seconds:
        Minimum = 0ms, Maximum = 0ms, Average = 0ms

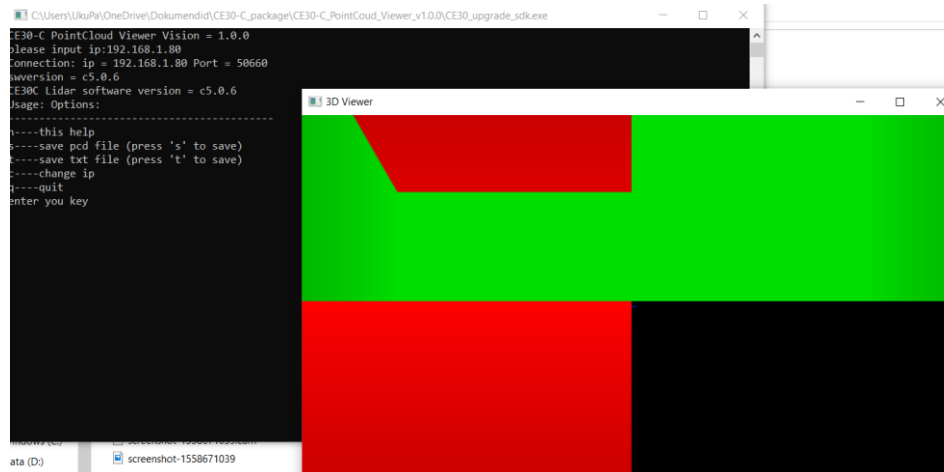
C:\>
```

Pilt 6. Käsuviiba toiming.

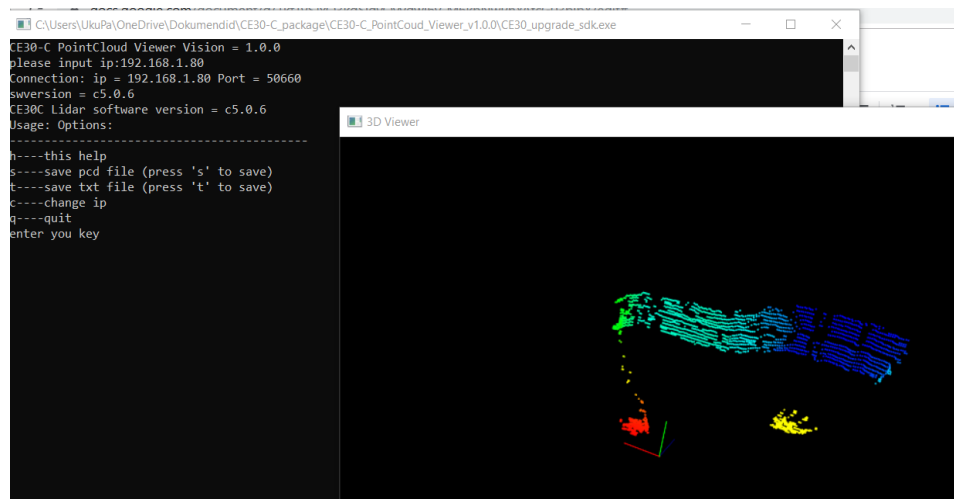
- tootjapoolse tarkvara käivitamine
  - allalaetud tarkvara kaustas „...\\CE30-C\_package\\CE30-C\_PointCoud\_Viewer\_v1.0.0”
  - käivitada CE30\_upgrade\_sdk.
  - sisestada seadme IP address 192.168.1.80

- mittetöötamise korral võib abi olla seadme vooluvõrgust eemaldamisest ja tagasi panekust

Kui tarkvara töötab, peaks nägema reaajas LIDARi pilti. Antud rakendus annab erinevaid võimalusi salvestamiseks ning pildi vaatamiseks. Salvestatud andmed tekivad kausta „...\\CE30-C\_package\\CE30-C\_PointCoud\_Viewer\_v1.0.0\\data”.



Pilt 7. Esialgne kuva töötavast tarkvarast.



Pilt 8. Rakenduse reaaja LIDARi vaade. Pilti saab liigutada hiire nuppudega sobivasse asendisse.

- Kui vajalikud toimingud on tehtud tuleb programm sulgeda andes käsk q.

- peale kasutamise lõppu soovitatakse kõigepealt eemaldada toitejuhe ning seejärel alles teised juhtmed.
- juhtmeid ei tohi eemaldada mõõtmiste ajal.

## 6 Ülesanded

Praktikumi sooritada kaheliikmelistes gruppides. Vormistada ülesannete põhjal aruanne. Aruanne peaks sisaldama tiitellehte, sisukorda ja saadud tulemusi. Vormistuses järgida TTÜ juhiseid kirjalikele töödele.

- 1) Esimeseks praktikumi ülesandeks on LIDARi CE30C käimapanek. Info käimapaneku kohta leiate selle dokumendi eelmistest peatükkidest või tootjapoolselt infolehel.
  - a) Ettevaatust juhtmete ühendus kohtadega, murdmine või painutamine võib seadet vigastada.

Kui seade on käima saadud ning esialgsed katsetused tehtud siis võib vastata esimestele arvamustele küsimustele:

- 1) Paigutada seade ruumi nii, et vaateväljas poleks segavaid objekte, maksimaalsest kaugusest edasi LIDARi andmeid ei kuva.
- 2) Mida arvate LIDARi tootja tarkvara kasutusmugavusest?
- 3) Kas esialgne reaalaaja LIDARi pilt on arusaadav? kui suuri esemeid on võimalik tuvastada?
- 4) Millisel kaugusel tunduvad vaadeldavad objektid vastavuses reaalsusega?
- 5) Mis kaugusel ja millises LIDARi vaatevälja osas on suuremad moonutused (esialgne reaalaaja vaade)?
- 6) Kas kehtib tootjapoolne lubatud raadius ja "blind zone"? Täpsem teave nende kohta on leitav tootja materjalides.

- 7) Katsetada erinevate materjalidega. Materjalid antud LIDARi praktikumi jaoks on klassis saadaval. Millised erinevused tekivad LIDARi pildis erinevate materjalide puhul?
- a) Panna kirja kaugused ja mõõdetava pinna omadused. Moodustada saadud andmetest tabel.
  - b) Mõõtmisel jälgida, et mõõtepind oleks LIDARi keskteljega võrreldes risti. Erinevate nurkade all ei peegeldu kiired lidarisse tagasi.
    - i) Millisest nurgast alates pole mõõtepind LIDARis enam nähtav?
- 8) Läbipaistvad pinnad
- a) Kas on märgata nähtavaid erinevusi LIDARi pildis kui läbipaistva pinna taga liigutada mitteläbipaistvat pinda. (kas on sama hästi näha kui ilma vahepealse pinnata)
  - b) Millised pinnad paistavad paremini läbi?
    - i) Katsetada kilesid, klaase ja plastikut, panna tulemused kirja võrdleva tabelina.

Esimesena sulgeda peale katsetusi LIDARi tarkvara käsuga q. Seejärel eemaldada toitekaabel ja võrgukaabel.

## Kasutatud materjal

Formaadid:

<https://library.carleton.ca/help/lidar-formats>

[https://en.wikipedia.org/wiki/LAS\\_file\\_format](https://en.wikipedia.org/wiki/LAS_file_format)

<https://desktop.arcgis.com/en/arcmap/10.3/manage-data/las-dataset/storing-lidar-data.htm>

<https://www.safe.com/blog/2013/10/14-ways-to-take-charge-of-lidar-data/>

Benewake:

<http://en.benewake.com/product/detail/5c34571eadd0b639f4340ce5.html>

<http://en.benewake.com/download>

Lidar:

<https://www.geospatialworld.net/blogs/what-is-lidar-technology-and-how-does-it-work/>

<https://www.americangeosciences.org/critical-issues/faq/what-lidar-and-what-it-used>