



Otso Sivonen

# 3D-kohteentunnistus pukkinosturin turvallisuuden parantamisessa

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Sähkö- ja automaatiotekniikka

Insinöörityö

30.11.2022

# Tiivistelmä

Tekijä:	Otso Sivonen
Otsikko:	3D-kohteentunnistus pukkinosturin turvallisuuden parantamisessa
Sivumäärä:	39 sivua + 1 liite
Aika:	30.11.2022
Tutkinto:	Insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma:	Sähkö- ja automaatiotekniikka
Ammatillinen pääaine:	Automaatio
Ohjaajat:	Marko Talala, Manager Kristian Junno, Lehtori

Opinnäytetyössä selvitetään ratkaisuja tunnistamaan ja pysäyttämään tilanne, jossa kuorma-auto tai peräkärry nousee ilmaan nostettaessa tämän kuljettamaa rahtikonttia pukkinosturilla. Kyseinen vaaratilanne syntyy kontin lukitusmekanismin jäädessä kiinni joko mekaanisen virheen tai kuljettajan unohduksen seurauksena.

Työn alkupuolella esitellään sen kirjoitushetkellä käytössä ollut järjestelmä yllä kuvattun tilanteen estämiseksi, minkä puutteita hyödyntäen pohjustetaan tavoitteet, jotka suunnitteilla olevan järjestelmän tulee toteuttaa. Lisäksi selvitetään lasertutkan eli LiDARin (*Light Detecting And Ranging*) sekä kameraan pohjautuvan konenäköjärjestelmän toimintaperiaate, vaatimukset toiminnan suhteen sekä teknologian käyttökohdet. Kun teknologioista on saavutettu riittävä ymmärrys, asetetaan kriteerit, joiden avulla valitaan niistä lupaavin.

Opinnäytetyön toisella puoliskolla suunnitellaan 3D LiDARIin pohjautuvaa ratkaisua perävaunun tai kuorma-auton noston havaitsemiseksi. Tarkastellaan, mitä teknologian hyödyntäminen osana nosturia vaatisi ja mitä tekijöitä on otettava huomioon. Analyysin tuloksena todetaan 3D LiDARin soveltuvan ongelman ratkaisemiseksi teknologian nykyisellä tasolla.

Tietoperusta työlle on Konecranes-yhtiön sisällä vallitseva tuntemus sen valmistamista nostureista ja näiden toiminnasta sekä testauksen ja asiakaspalautteen myötä havaitut kehityskohteet. Opinnäytetyössä hyödynnetään kirjallisuutta ja tutkimusraportteja sekä artikkeleita konenäön, syväoppimisen ja LiDAR-anturitekniikan sarjoilta, valtaosin vuosien 2018–2022 ajalta.

Opinnäytetyön tulos on laajalla pohjatiedolla varustettu selvitystyö, jonka perusteella voidaan käynnistää kehitysprojekti. Opinnäytetyö ohjaa anturin ja sen asennuspaikan valintaa, anturin tuottaman datan käsittelyä sekä järjestelmän integroimista osaksi nykyaikaista pukkinosturia.

Avainsanat: anturit, konenäkö, LiDAR, pukkinosturit, turvallisuus

## Abstract

Author: Otso Sivonen  
Title: 3D Object Recognition in Improving Gantry Crane Safety  
Number of Pages: 39 pages + 1 appendix  
Date: 22 November 2022

Degree: Bachelor of Engineering  
Degree Programme: Electrical and Automation Engineering  
Professional Major: Automation Engineering  
Supervisors: Marko Talala, Manager  
Kristian Junno, Senior Lecturer

---

The goal of this thesis is to explore options for detecting and stopping a situation, where the trailer of a freight truck is lifted when hoisting a cargo container with a gantry crane. This hazardous situation sometimes follows a mechanical fault or the driver forgetting to open all the twist-locks securing the container to the trailer used to transport it.

Following the introduction, the second chapter of this thesis aims to establish basic understanding of the current system designed to detect the lifting of a trailer. Flaws in the system, discovered via customer feedback and testing within Konecranes, lay the foundation for the need of an improvement, giving criteria and areas of improvement guiding the thesis.

The following chapters offer information regarding camera-aided machine vision and LiDAR (*Light Detection And Ranging*) technology, their features, prerequisites, strengths, and weaknesses. The technology deemed most suitable for the problem at hand is chosen based on the criteria posed by the downfalls of the previous system in addition to other prerequisites for implementing it in a modern gantry crane.

The later sections lay down guiding principles for designing a system utilizing 3D LiDAR technology for detecting and stopping a hazardous trailer or truck lifting situation. The thesis offers guidance on the installation position, hardware choice, software design and communication with other crane systems.

This thesis cites literature, research, and articles from the field of LiDAR technology, computer vision and deep learning, as well as utilizing the deep understanding of gantry cranes and related technology at Konecranes. The resulting study is a thorough examination, which serves as a guideline and a source of insight for starting a development project utilizing a 3D LiDAR sensor.

Keywords: gantry cranes, LiDAR, machine vision, safety, sensors

# Sisällys

## Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Katsaus vertailtaviin teknologioihin	2
2.1	RTG-nosturin rakenne	2
2.2	Truck Lift Prevention -järjestelmä	3
2.2.1	TLP-järjestelmän toiminta	4
2.2.2	2D LiDAR -anturien toiminta	6
2.2.3	TLP-järjestelmän heikkoudet	8
2.3	3D LiDAR	10
2.3.1	Toimintaperiaate	10
2.3.2	Pistepilvet	11
2.3.3	Pistedatan käsittely	12
2.4	Konenäkö	14
2.4.1	Toimintaperiaate	14
2.4.2	Kameratyypit	15
2.4.3	Valaistus	16
2.4.4	Kuvadatan käsittely	19
2.5	Muita mainitsemisen arvoisia teknologioita	20
3	Käytettävän teknologian valinta	21
3.1	Kriteerit ja tarpeet	21
3.2	Vertailu 3D-LiDARin ja konenäön välillä	22
4	3D LiDARia hyödyntävän järjestelmän suunnittelu	23
4.1	Testianturin käyttöönotto	23
4.2	Anturin asennuspaikka	27
4.3	LiDAR-anturin valinta	29
4.4	Laskentayksikkö pistedatan tulkintaan	31
4.5	Ohjelmisto ja kommunikaatio PLC:n kanssa	32
5	Opinnäytetyön tulos ja tie eteenpäin	33
	Lähteet	35

## Liitteet

Liite 1: Truck Lift Prevention 2 -järjestelmän ohjelmakierto.

## Lyhenteet

CPU	<i>Central Processing Unit.</i> Prosessori. Tietokoneen keskeinen osa, joka suorittaa konekielisiä käskyjä.
GPU	<i>Graphics Processing Unit.</i> Grafiikkasuoritin. Mikroprosessori, joka suorittaa muun muassa grafiikan hahmonnusta.
IO:	<i>Input Output.</i> Laitteiston lähtö- ja tulosignaalit, esimerkiksi ohjelmoitavan logiikan terminaalit.
LiDAR	<i>Light Detection and Ranging.</i> Valotutka, joka mittaa etäisyyttä pisteisiin havaittavalla alueella. Myös nimitystä lasertutka käytetään.
PLC:	<i>Programmable Logic Controller.</i> Ohjelmoitava logiikka.
RTG:	<i>Rubber Tyre Gantry crane.</i> Kumipyörillä liikkuva pukkinosturi rahtikonttien siirtämiseen.
TCP/IP:	<i>Transmission Control Protocol/Internet Protocol.</i> Joukko standardisääntöjä eli protokollia tietokoneiden väliseen viestintään.
TLP:	<i>Truck Lift Prevention.</i> Konecranesin kehittämä järjestelmä kuorma-auton tai perävaunun vahingollisen nostamisen estämiseksi.
TOF:	<i>Time Of Flight.</i> Aika, joka anturin lähettämällä aallolla, esimerkiksi valolla, on kulunut kohteeseen ja siitä takaisin kulkemiseen.
UDP:	<i>User Datagram Protocol.</i> Tietoliikenneprotokolla, jossa tieto lähetetään paketteina.

## 1 Johdanto

Opinnäytetyössä tutkitaan mahdollisia ratkaisuja varmistaa nosturilla nostettavan laivakontin irtoaminen kuorma-auton perävaunusta. Merikontit kiinnitetään perävaunuun eli traileriin kiertolukoilla, jotka sopivat kontin kulmissa oleviin hahloihin. Ajoittain nämä lukot jäävät kiinni joko mekaanisen virheen tai kuljettajan unohduksen vuoksi. Kun konttia nostetaan ylhäältä, voi tämä johtaa perävaunun tai koko kuorma-auton nostamiseen tai lukkomekanismin särkymiseen. Nosturin ohjaamosta on vaikea erottaa edellä mainittu tilanne, joten järjestelmä kuorma-auton noston estämiseksi on tarpeellinen turvallisuutta parantava ominaisuus.

Hyvin toimiva järjestelmä parantaisi tavarasatamien turvallisuutta ja tuottaisi Konecranesin nostureille lisäarvoa. Tavoitteena on kartoittaa teknologia, jota hyödyntäen voitaisiin toteuttaa vaihtoehtoinen ratkaisu nykyiselle Konecranes Truck Lift Prevention -järjestelmälle. Järjestelmässä on todettu erinäisiä heikkouksia, jotka on tarkoitus eliminoida. Tarkemmin työssä keskitytään konenäön ja laser-tutkan eli LiDARin (*Light Detecting And Ranging*) käyttömahdollisuuksiin.

Opinnäytetyön kehityskohteena oleva kumipyöräinen konttinosturi eli RTG (*Rubber Tyred Gantry crane*) on useimmiten satamissa käytettävä nosturi. Sen tehtävänä on konttien nostaminen kuorma-auton lavalta ja pinoaminen järjestyseen laivaan lastausta varten. Laivasta puretut kontit lastataan kuorma-auton trailerille poisvietäviksi.

Konecranes on suomalainen yhtiö, joka suunnittelee, valmistaa ja huoltaa nostolaitteita. Yritys on jaettu kolmeen segmenttiin: kunnossapitoon, teollisuuslaitteisiin ja satamaratkaisuihin, joista kukin kattaa noin kolmanneksen yrityksen myynnistä [1]. Kunnossapito tarjoaa huoltoa ja varaosia kaikkien valmistajien nostolaitteille, ja teollisuuslaitteiden piiriin kuuluvat monenlaiset auto- ja paperiteollisuudessa, jätteenkäsittelyssä sekä esimerkiksi ydinvoimaloissa käytettävät nostolaitteet [2].

Satamaratkaisut (*Port Solutions*) tuottavat manuaalisia RTG-nostureita sekä lähes automaattisia ARTG-nostureita (*Automated Rubber Tyred Gantry crane*), jotka hyödyntävät etäohjausta sallien yhden kuljettajan ohjata useaa nosturia. Näiden lisäksi Konecranes valmistaa laivojen purkuun ja lastaukseen käytettäviä STS (*Ship To Shore*) -nostureita, konttikurottimia sekä muita satamien nostolaitteita. [3.]

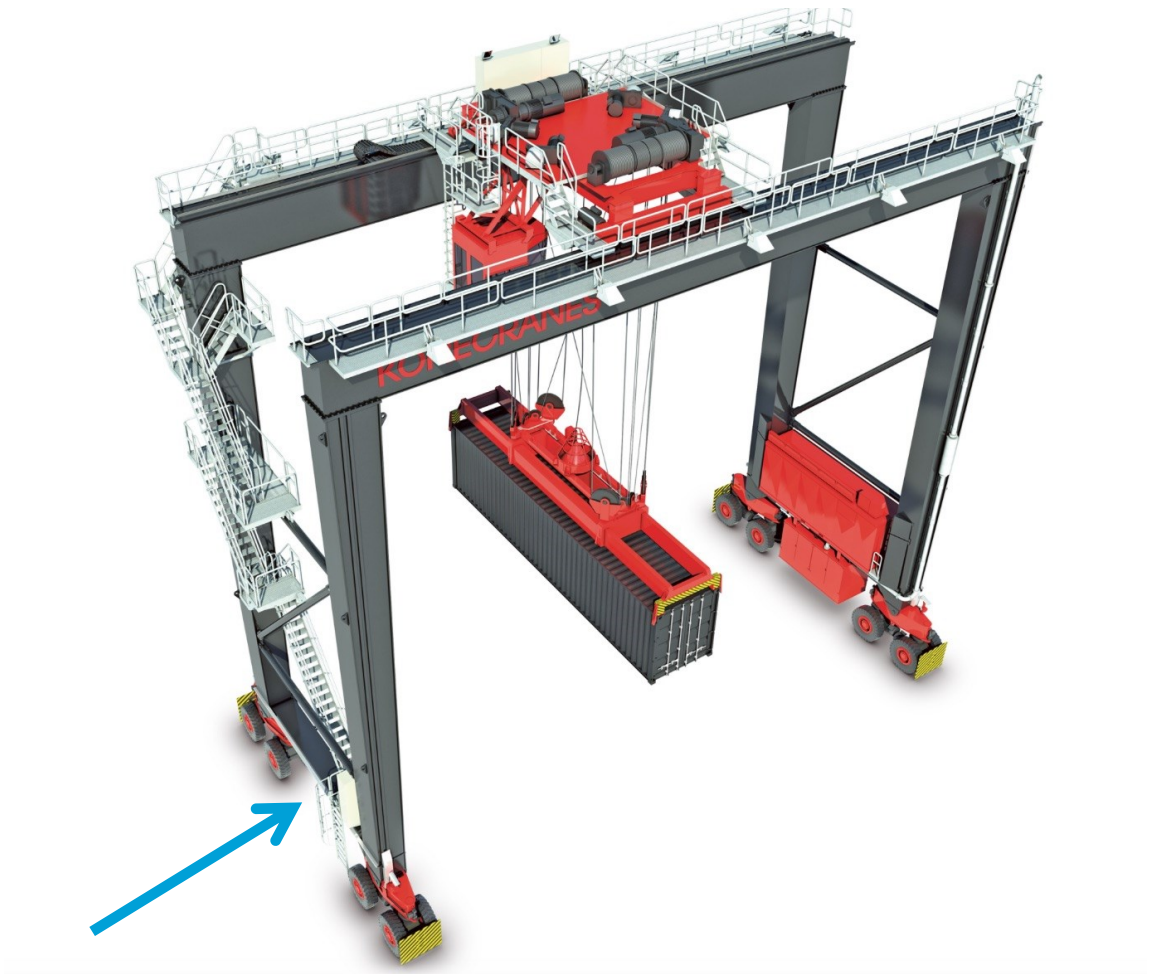
## 2 Katsaus vertailtaviin teknologioihin

Tässä pääluvussa esitellään ensiksi kehityskohteena olevan RTG-nosturin rakenne. Sen jälkeen esitellään Truck Lift Prevention: opinnäytetyön kirjoitushetkellä käytössä oleva ratkaisu kuorma-auton tai perävaunun noston estämiseksi ja sen toiminta, ominaisuudet ja puutteet. Todetut puutteet ovat kehityskohteita, joihin opinnäytetyön on tarkoitus antaa ratkaisuehdotus. Tämän tarkastelun jälkeen pyritään saavuttamaan riittävä ymmärrys kolmiulotteisen lasertutkan eli 3D LiDARin sekä konenäön ominaisuuksista, toiminnasta ja vaatimuksista, jotta voidaan valita teknologioista soveltuvin ja perustella valinta pääluvussa 3.

### 2.1 RTG-nosturin rakenne

RTG-nosturi (kuva 1) koostuu neljästä jalasta, joista kukin on nelipyöräisen telistön päällä. Jalkojen päällä on kaksi kannatinpalkkia, joiden päällä kulkee nosturin vaunu. Vaunussa sijaitsevat nosturin ohjaamo sekä nostokoneistot, joista köysien varassa riippuu nostolaite. Nostolaite kiinnittyy konttiin kiertolukkojen avulla. Nostolaitetta voidaan liikuttaa suoraviivaisesti kaikkiin suuntiin ja sitä voidaan kiertää pystyakselin ympäri sekä kallistaa noin viiden asteen verran. Nosturin jalkojen välissä sijaitsevat sähköhuone sekä valitusta konfiguraatiosta riippuen dieselgeneraattori, pienempi apugeneraattori, akusto, muuntajahuone, virransyöttökaapelin kela tai virtakiskoon kiinnittyvä johdin. [4.]





Kuva 1. Konecranes RTG -nosturi [4].

Kuvassa 1 ei ole Truck Lift Prevention -järjestelmää, mutta sen tutkan tavallinen asennuspaikka on merkitty sinisellä nuolella [5; 6]. Nuolen osoittamalle alueelle voidaan asentaa myös dieselgeneraattori, jolloin tutkan asennustelinettä on siirretty sivulle, generaattorin ja jalan väliin [7]. Nosturin alle mahtuu viidestä seitsemään konttiriviä. Reunimmaisena on noin 3,5 metrin levyinen kaista kuorma-autoille [4].

## 2.2 Truck Lift Prevention -järjestelmä

Opinnäytetyön kehityskohteena oleva, RTG-nosturiin asennettu Truck Lift Prevention -järjestelmä eli TLP pohjautuu nosturin jalkojen väliin, lähelle maanpin-

taa asennettavaan Sick LMS111 -lasertutkaan. Tutka pyrkii havaitsemaan tilanteen, jossa kuorma-auton tai trailerin renkaat irtoavat maasta, kuten kuvassa 2. Mikäli tällainen tilanne havaitaan nostettaessa konttia kuorma-auton kyydistä, nostoliike pysäytetään. [5.]



Kuva 2. Kuorma-auton perävaunua nostetaan rahtikontin mukana.

### 2.2.1 TLP-järjestelmän toiminta

Truck Lift Prevention -järjestelmä aloittaa renkaiden tunnistuksen ja seurannan, kun nostolaitteen kiertolukot on lukittu konttiin nosturin vaunun ollessa kuorma-autokaistan yläpuolella. Seuranta lopetetaan, kun kuorma-auto ajaa pois tai kun konttia on nostettu yli kaksi metriä renkaiden pysyessä maassa. Mikäli renkaat häviävät tutkan havainnointialueelta, lähetetään nostoliikkeen pysäytyskäsky ohjelmoitavalle logiikalle eli PLC:lle (*Programmable Logic Controller*), joka pysäyttää nostokoneiston moottorit. Jotta nosto voidaan aloittaa uudestaan, täytyy taakkaa laskea, kunnes renkaat ovat jälleen havaittavissa. [5.]

Truck Lift Prevention -laitteisto koostuu lasertutkasta ja PC:stä, jotka kommunikoivat keskenään TCP/IP-protokollan (*Transmission Control Protocol/Internet Protocol*) välityksellä Ethernetin yli. PC analysoi anturilta saatavan datan, suorittaa renkaita tunnistavaa ja seuraavaa ohjelmaa sekä kommunikoi nosturin logiikkaohjaimen kanssa joko Profinet-standardin, UDP-protokollan (*User Datagram protocol*) tai digitaalisten tulo- ja lähtösignaalien välityksellä. [5.]

PC suorittaa renkaiden tunnistuksen, ja logiikkaohjaimen TLP-ohjelmaloikka sisältää itse nostoliikettä hallitsevan koodin. Tämän ohjelmaloikkeen tärkeimmät muuttujat on kuvattu taulukossa 1.

Taulukko 1. Truck Lift Prevention -ohjelmaloikkeen keskeiset muuttujat.

Muuttujan nimi	Muuttujan kuvaus
PC_SYSTEM_OK	Truck Lift Prevention PC ei ole vikatilassa
HOIST_OK	Nosto on sallittu
MAINTENANCE_MODE	Nosturi on huoltomoodissa
ANTILIFTING_RESET	Järjestelmän kuittausnappi on painettuna
A_POS	Nostolaitteen korkeus metreinä
A_POS_OK	Noston korkeuden mittauksessa ei ole virheitä
E_POS_OK	Vaunun paikan mittauksessa ei ole virheitä
AT_TRUCKLANE	Nosturin vaunu on kuorma-autokaistalla
TWISTLOCKS_LOCKED	Nostolaitteen kiertolukot on lukittu konttiin
DETECTION_ON	Seuranta on aktiivinen

Taulukossa sinisellä korostetut muuttujat vastaanotetaan Truck Lift Prevention -PC:ltä, loput muista PLC:n ohjelmaloikkaista. Näiden kahden muuttujan lisäksi PC lähettää logiikkaohjaimelle yhden hertsin pulssia, jota seuraamalla huoma-

taan nopeasti, mikäli jokin on pielessä kommunikaation suhteen. Oranssilla korostetut muuttujat välitetään PC:lle tilanteessa, jossa järjestelmän on tarkoitus seurata nostoa. [8; 9.]

Renkaiden tarkkailuun käytettävän LMS111-tutkan ohjelmointi tapahtuu Sick SOPAS -työkalulla, jolla otetaan yhteys tutkaan sille määritellyllä IP-osoitteella. Kun yhteys on luotu, voidaan tutka konfiguroida lataamalla siihen asetukset sisältävä tiedosto [8] tai muokata asetuksia yksitellen. Tutkan parametreihin kuuluvat muun muassa mittaustarkkuus, otantaväli, suodatin sumulle tai heijastuksille sekä mitattavan alueen leveys asteissa. [10.]

PC:llä suoritettavan tunnistusprosessin parametreissa määritellään asetukset PLC:n kanssa kommunikointiin sekä alueet, joilta renkaita on määrä etsiä. Ohjelma vertaa kutakin mittauskertaa alkutilanteeseen: jos aluksi havaituista pisteistä riittävän suuri osa on kadonnut, rengas todetaan nousseeksi ja nosto pysäytetään. Ohjelmalle voidaan myös määrittää tietty liikerata pisteille, minkä avulla pyritään välttämään noston virheellinen pysäytys, mikäli renkaat liikkuvat sivusuunnassa eli kuorma-auto ajaa pois. [8.]

### 2.2.2 2D LiDAR -anturien toiminta

Sick LMS111 on yhtä vaakasuoraa tasoa seuraava lasertutka eli 2D LiDAR (*Light Detection And Ranging*). LiDAR toimii lähettämällä valopulsseja ja mittaamalla aikaa, joka kuluu ennen kuin takaisin kimmonnut pulssi havaitaan. Vastaanotetuista pulsseista mitataan lentoaika eli TOF (*Time Of Flight*) ja vastaanottokulma. [11.] Lentoajan perusteella voidaan laskea kohteen etäisyys anturista kaavan 1 mukaisesti.

$$s = \frac{c \cdot t}{2} \quad (1)$$

s on etäisyys kohteeseen

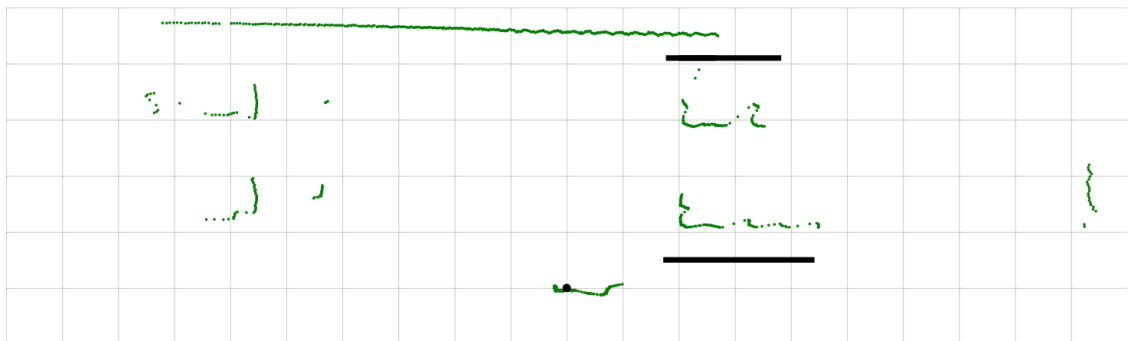
c on valonnopeus

t on pulssin lähetyksen ja vastaanoton välinen aika

Laskettu etäisyys jaetaan kaavassa kahdella, sillä anturi mittaa aikaa, jossa pulssi kulkee matkan kahdesti: anturista kohteeseen ja takaisin anturiin. Mitatun etäisyyden ja kulman perusteella voidaan asettaa havaitulle pisteelle X- ja Y-koordinaatit ja sijoittaa piste koordinaatistoon. [12.]

LMS111-tutkan avautumiskulma on 270 astetta, ja sen anturi pyörii 25 tai 50 kertaa sekunnissa riippuen anturin konfiguraatiosta. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että anturi muodostaa koordinaatistoon kaksiulotteisen kuvan, joka kattaa kolme neljäsosaa täydestä ympyrästä. Anturin tarkkuus eli kulmaresoluutio on 0,25 astetta. Suurimman resoluution ollessa valittuna mittauspisteitä on siis kuvassa 1080. [10.]

Kuvassa 3 näkyy LMS111-anturin mittaamat pisteet perävaunun ollessa pysähtyneenä sen eteen, sekä Truck Lift Prevention -ohjelman piirtämät mustat palkit tunnistettujen renkaiden ylä- ja alapuolella.



Kuva 3. 2D LiDARin mittaamat pisteet piirrettynä ruudukkoon. Mustat palkit on piirretty perävaunun takapyörrien kohdalle [6, s. 2].

Kuvan yläreunassa näkyy maahan lasketun kontin kylki. Sen alapuolella eli anturin ja kontin välissä sijaitsee kuorma-auton perävaunu. Kuva on tulkittavissa ohuena siluettina anturin korkeudelta, jota lukija katsoo ylhäältä käsin. Oikealla, mustien palkkien kohdilla voidaan nähdä perävaunun paripyörät, jotka TLP-ohjelma on tunnistanut. Vasemmalla olevista renkaista ei olla saatu tarpeeksi mitaustuloksia, jotta ohjelma olisi voinut tunnistaa ne.

### 2.2.3 TLP-järjestelmän heikkoudet

Valo heijastuu heikosti tummista pinnoista. Mustasta, mattapintaisesta kumirenkaasta valonsäteet heijastuvat erityisen huonosti, joka tekee sellaisen tunnistamisesta heijastumiseen perustuvalla tutkalla haastavaa. Anturin matala asennuskorkeus (kuva 4) altistaa sen vesiroiskeille, pölylle ja lumelle, mikä heikentää sen havainnointikykyä.



Kuva 4. Sick LMS111 -anturi telineessään.

Järjestelmää käsittelevässä testiraportissaan [6] Michael Cespedes kertoo lasersertutkan kanssa käytettävän algoritmin ajoittain tulkitsevan perävaunun muita osia, kuten jalkoja tai helmoja renkaiksi. Tämä aiheuttaa virheellisen noston pysäytyksen tilanteessa, jossa nämä osat nousevat havaintoalueen ulkopuolelle

vaunun jousituksen nostaessa vaunua taakan kevetessä. Osa kuorma-autonkuljettajista lähtee myös liikkeelle välittömästi kontin irrottua lavalta, joka aiheuttaa renkaiden katoamisen anturin näkökentästä ja noston pysäytyksen. Periaatteessa luvussa 2.2.1 kuvattujen liikealueiden pitäisi estää edellä mainittu tilanne, mutta joko alueet on vaikea konfiguroida oikein tai ne eivät aina toimi kuten tarkoitettu.

LMS111 sisältää ominaisuuden sumun aiheuttaman kohinan suodatuksen mittaustuloksista [10] eikä sateestakaan muulloin ole ollut merkittävää haittaa, paitsi sadeveden päästessä tutkan suojakannen alle [6]. Tämä tekee anturista lähes sokean, kunnes nosturia liikutetaan ja vesi valuu pois. Lumisateessa TLP-järjestelmää ei ole tietävästi testattu, mutta mikäli vesisateesta seuraa ajoittain ongelmia, voidaan olettaa lumisateen aiheuttavan niitä enemmän.

Anturin matala asennuskorkeus altistaa sen roiskeille autojen ja nosturin renkaista. Maahan satanut lumi saavuttaa anturin mittaustason jo pienissäkin määrin, jos se pääsee kasaantumaan lainkaan. Kulma, jossa anturi ei havaitse jalvoja tai helmoja, mutta kykenee kuitenkin havaitsemaan vastakkaisella puolella olevat renkaat, on erittäin kapea. Jos anturin kulma muuttuu tärinän tai osuman seurauksena, lasersäde osuu maahan eikä saavuta kauimpia renkaita.

LMS111-lasertutka tunnistaa anturin likaisuuden tason, ja SOPAS-työkalulla voidaan säätää, milloin laite antaa varoituksen ja milloin virheviestin. Testeissä tutka lakkasi tunnistamasta renkaita sen toimiessa alle 70 %:lla havainnointikyvystään. TLP-järjestelmä voi lähettää noston pysäytyssignaalin myös anturin ollessa likainen, mikäli tasoa, jolla anturi antaa virheviestin ei ole vielä saavutettu. Tämä johtaa ajoittain virheellisiin pysäytyksiin. Cespedeksen mukaan tutka tulisi puhdistaa viikoittain [6], joka on todella tiheä huoltoväli kiireisen sataman huoltohenkilökunnalle.

Pysäytyskäskyn ollessa turha, esimerkiksi virhetilanteesta johtuva, voidaan nostoa jatkaa ohittamalla toiminto erillisellä painonapilla tai poistamalla se kokonaan käytöstä nosturin käyttöliittymästä [5]. Turvatoimintojen ollessa poissa käytöstä voidaan nosturia yleensä ohjata vain alennetulla nopeudella.

## 2.3 3D LiDAR

Kolmiulotteinen valotutka eli 3D-LiDAR seuraa samaa toimintaperiaatetta kapaleessa 2.2.2 kuvatun kaksiulotteisen tutkan kanssa. Erona on, että kolmea ulottuvuutta havainnoiva anturi kerää mittaustuloksia eli pisteitä yhden tason sijaan kymmeniltä tai jopa sadoilta tasoilta. Näin saadaan muodostettua kolmiulotteinen malli XYZ-koordinaatistoon kaksiulotteisen siluetin sijaan. [13.] Moderni LiDAR-anturi kykenee myös havaitsemaan tunnistettavan kohteen heijastavuuden [12].

### 2.3.1 Toimintaperiaate

Kolmiulotteisesti toimivan LiDARin keskeisiä ominaisuuksia ovat sen horisontaalinen ja vertikaalinen avautumiskulma, resoluutio ja otantataajuus. Avautumiskulmat kertovat havaittavan alueen leveyden, joka voi olla jopa 360 astetta, ja korkeuden, joka tyypillisesti sijoittuu välille  $20^{\circ}$ – $90^{\circ}$ . Sijoittamalla anturi kauemmas kohteesta voidaan tutkia laajempaa aluetta. [13; 14.]

3D LiDAR lähettää satoja tuhansia laserpulsseja sekunnissa ja voi vastaanottaa usean paluupulssin jokaista lähetettyä kohti. Vastauksia tulee useita, sillä kaikki valo ei aina kimpoa samasta kohdasta. Esimerkiksi pieni osa valosta voi heijastua takaisin läpinäkyvästä objektista, mutta suurin osa heijastuu vasta matkustettuaan pidemmälle, objektin läpi. [11.] Anturi, joka havaitsee useamman vasteen samasta pulssista, voidaan asentaa esimerkiksi suojaavan lasin tai polykarbonaattilevyn taakse ja suodattaa pois levystä heijastuneet pulssit.

Valtaosa LiDAR-antureista toimii näkyvää valoa pidemmällä aallonpituudella infrapuna-alueella. Yleisimpiä ovat laserit, joissa aallonpituus  $\lambda$  on 950 tai 1550



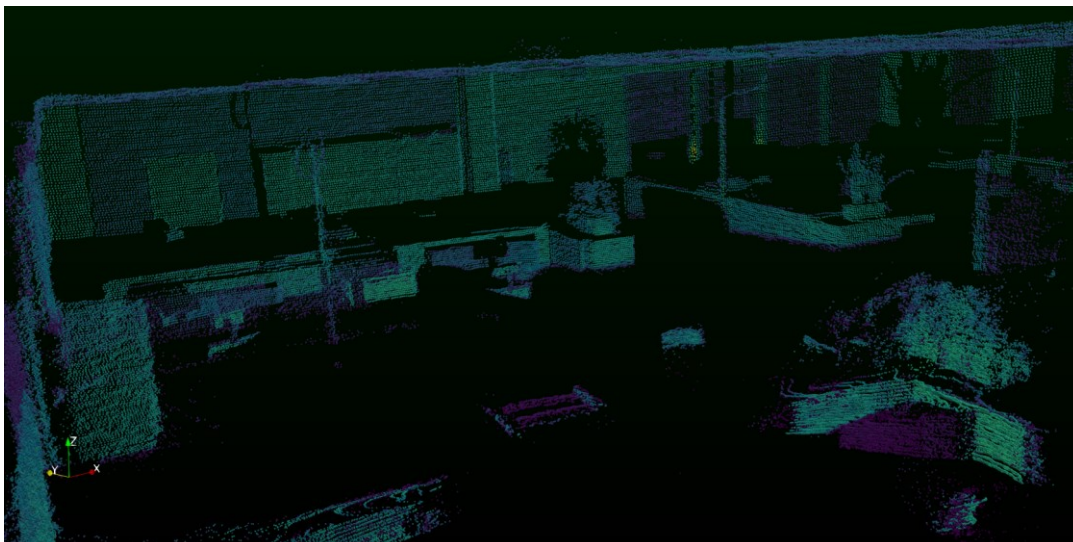
nanometriä. 950 nanometrin aallonpituudella toimivat laserdiodit ovat edullisempia, sillä laserkomponenttien saatavuus on ollut parempi niiden monien käyttökohteiden vuoksi. Laser, jolla  $\lambda=1550$  nm on kuitenkin silmälle turvallisempi, sillä valoa, jonka aallonpituus ylittää 1400 nm luovuttaa suurimman osan energiastaan silmän muihin osiin, etenkin veteen, ennen haavoittuvan retinan saavuttamista. [15; 16.] Tästä valon absorptiosta veteen johtuen suuremmalla aallonpituudella toimivaa laseria hyödyntävä tutka kärsii huomattavasti enemmän epäsuotuisista sääolosuhteista kuten sumusta tai sateesta. [17, s. 184.]

Laitevalmistaja Velodyne Lidar [18] toteaa 905 nanometrin anturien olevan kaikin tavoin parempia tai yhtä hyviä kuin 1550 nanometrin anturit. Artikkelissa vedotaan esimerkiksi komponenttien saatavuuteen, virrankulutukseen ja nesteiden läpäisyyn. Lukiessa on huomioitava, että Velodyne on laitevalmistaja, jonka oma tarjonta koostuu puhtaasti 905 nanometrin aallonpituudella toimivista LiDAR-antureista.

Aallonpituudeltaan 905 nanometrin laser täyttää turvallisuusvaatimukset matallilla tehoilla, joka opinnäytetyön kontekstissa on täysin riittävä, sillä sallitullakin tehoalueella tällaista laseria hyödyntävä LiDAR voi saavuttaa noin sadan metrin havainnointietäisyyden. [15.]

### 2.3.2 Pistepilvet

Kuvaa, jossa on suuri määrä LiDARin tuottamia pisteitä kutsutaan pistepilveksi. Ohjelmalla, joka esittää pistepilven visuaalisesti, voidaan tarkastella aikaan saatua kolmiulotteista mallia, jossa kuvan 5 mukaisesti näkyvät havaittujen kohteiden pinnat ja muodot. [11.]



Kuva 5. LiDARin tuottama pistepilvi toimistotilasta visualisoituna.

Kuvan pistepilven data on kerätty Ouster OS2 -anturilla ja visualisoitu Ouster Studio -sovelluksessa. OS2-anturista kerrotaan tarkemmin luvussa 4.2. Kuvasta voidaan erottaa pöytäkasveja, seinustalla olevia kaappeja sekä oikealla ylhäällä ikkunoiden muodot. Tutka on ollut noin 130 senttimetrin korkeudella, joten lattiaa ei näy, mutta huoneen katto on piirtynyt osittain vaaleansinisellä.

Mikäli pistepilvestä halutaan luoda kartta tai yhdistää eri paikoista kerättyä dataa yhtenäiseksi pilveksi, on LiDARin tuottaman pistedatan lisäksi tiedettävä anturin tarkka sijainti. Tähän voidaan käyttää GPS-paikkatietoa, mikäli esimerkiksi antennoja hyödyntämällä saadaan riittävän tarkka sijainti. GPS:n lisänä käytetty kiihtyvyyssanturi parantaa datan tarkkuutta. [14.]

### 2.3.3 Pistedatan käsittely

LiDAR tuottaa valtavan määrän pisteitä lyhyessä ajassa, ja haluttaessa tarkastella ympäristöä lähes reaaliajassa dataa virtaa jatkuvasti, ja se on käsiteltävä nopeasti. Aluksi yhdistetään anturin kirjoittamat pisteet, GPS:ltä saatu sijaintitieto ja mahdollinen kiihtyvyyssanturin data. [14.] Pisteiden määrää ja täten datan kompleksisuutta pyritään vähentämään tavalla tai toisella. Mittaustuloksia voi-

daan poistaa sattumanvaraisesti [19], mutta näin voidaan menettää myös tärkeää dataa. Parempi tulos saadaan poistamalla pisteitä esimerkiksi paikoista, jossa niitä on poikkeuksellisen tiheästi, joskin tämä vaatii monimutkaisemman prosessin. Yksinkertaiset geometriset muodot, kuten tie tai seinä voidaan luotetavasti todeta pienemmällä määrällä pisteitä kuin monimutkaiset, kuten ihmiset tai kasvit, joten tasaisilta pinnoilta voidaan poistaa merkityksettömiä pisteitä.

Pisteiden sijainnin perusteella niitä voidaan luokitella eri tavoin, kun erotetaan esimerkiksi kiinnostavat muodot maanpinnasta [14] asettamalla korkeus, jonka alapuolella olevat pisteet luokitellaan maanpinnaksi. Pistepilven ollessa karkeasti luokiteltuna pisteiden sijainnin mukaan, voidaan ryhtyä tunnistamaan kappaleiden ulkopintoja, särmiä ja muita ominaisuuksia, joiden avulla niitä voidaan tunnistaa. Nykyään tunnistuksesta vastaa usein tilanteeseen räätälöity, syväoppimista hyödyntävä algoritmi. [19.]

Kohteita tunnistavan ohjelman opettamiseen vaaditaan suuri määrä hyväksi tiedettyä dataa. Ohjelmalle on kerrottava, mitä ominaisuuksia eri objekteilla on: miltä kontit näyttävät eri kulmista, mitkä piirteet muuttuvat ja mitkä eivät. Käytännössä tämä tarkoittaa usein sitä, että dataa täytyy ensin luokitella itse, mitkä osoittavat erilaisista pistepilvistä luokiteltavia osia, kuten tie, nosturi, kontti tai ihminen. Tätä prosessia helpottamaan voidaan myös käyttää kameraa, jolla otetaan kuvia samasta kohdasta LiDARin kanssa, ja yhdistetään kuvat pistepilven dataan helpottamaan kohteiden tunnistusta esimerkiksi väridatan avulla. [19.]

Joissain tilanteissa oikeasta elämästä ei joko ole saatavilla riittävän hyvälaatuista dataa, tai sen keruu ja käsin luokittelu vaatisi suhteettoman määrän työtä. Tämän kaltaisissa tilanteissa dataa on mahdollista tuottaa hyödyntäen simulatiota. Alun perin videopelejä varten luoduilla moottoreilla, kuten Unityllä tai Unreal Enginellä, voidaan luoda halutun kaltaisia objekteja virtuaaliseen ympäristöön ja liikuttaa niitä siten, että jokaisen objektin tarkat mitat ja koordinaatit ovat koko ajan tiedossa. Näillä työkaluilla simuloidusta pistepilvestä voidaan milloin tahansa osoittaa äärettömän tarkasti objektien ääriverit ja niiden luokka, ja tällä

datalla kouluttaa neuroverkko tunnistamaan samanlaisia objekteja oikeasta maailmasta. [20.]

Ohjelman pystyessä luokittelemaan objekteja voidaan päätöksenteon kannalta merkityksettömät alueet leikata pois, ja määrittää objekteille ulkomitat niitä kuvaavan pisteryppään rajojen perusteella. Pisteryypäille on usein tapana piirtää yksinkertainen monikulmio [19], yksinkertaisimmillaan suorakulmainen särmiö, kuvaamaan niiden viemää tilaa, jolloin monimutkainen pistepilvi saadaan pelkistettyä laskentaa varten. Haluttaessa esimerkiksi välttää törmäämästä esteisiin, riittää, kun vältetään osumasta monikulmioon.

## 2.4 Konenäkö

Tässä luvussa pyritään luomaan perustason ymmärrys konenäköjärjestelmän komponentteihin ja niiden merkitykseen sekä vaatimuksiin. Konenäkö tarkoittaa koneellista, kameran tuottamaan kuvadataan perustuvaa prosessia, jolla tutkitavan kohteen ominaisuuksia pyritään mittaamaan. Tutkittavia ominaisuuksia voivat sovelluksesta riippuen olla esimerkiksi kappaleen mitat, asento, pinnan tasaisuus, väri, puhtaus tai liike.

### 2.4.1 Toimintaperiaate

Konenäkö on kappaletavara-automaation, robotiikan sekä autonomisten kulkuneuvojen laajasti hyödyntämä teknologia, joka perustuu kameraan sekä kuvadataa käsittelevään ohjelmistoon. Laadukkaiden kamerakomponenttien ja tietokoneiden hinnan laskiessa sekä laskentatehon noustessa jatkuvasti konenäön hyödyntäminen on yleistynyt viime vuosina merkittävästi. Visuaalisen tarkastelun automatisointi pyrkii ratkaisemaan lukuisia laadunvalvonta- ja tarkastelutyöhön liittyviä ongelmia, muun muassa monotonisen työn rasitteen ihmiselle, korkeat kustannukset ja heikon toistettavuuden. [21, s. 3–7; 22.]

Ihmisen tapa prosessoida näkemäänsä on erittäin sopeutuva erilaisiin olosuhteisiin valon, kulman ja värien suhteen. Improvisaatio, vaistomainen luokittelu ja

taustatiedon soveltaminen reaaliajassa ovat merkittäviä vahvuuksia ihmiselle. Koneellinen ratkaisu pystyy kuitenkin suorittamaan esimerkiksi tilavuuden, kulmien ja muiden ominaisuuksien laskentaa reaaliajassa, kykenee tallentamaan saadun datan ja tarkastelee kohdetta objektiivisesti sekä toistettavasti. Tällainen laitteisto on kuitenkin suunniteltava tarkasti ja sille on usein luotava oma ohjelmisto juuri haluttuun käyttökohteeseen. Olosuhteiden, kuten havaittavan kohteen muodon, asennon ja valaistuksen on pysyttävä mahdollisimman vakiona luotettavan tuloksen saamiseksi. [21, s. 7–9.]

#### 2.4.2 Kameratyypit

Keskeinen osa jokaista konenäköä hyödyntävää järjestelmää on digitaalinen kamera. Kameran sulkijan avautuessa kuvattavasta kohteesta heijastuva valo taitetaan linssien avulla kameran aukon läpi kuvasensorille, joka muuntaa jokaiselle sensorin yksittäiselle pisteelle eli pikselille osuvan valon määrän digitaalliseksi signaaliksi. Näiden sähköisten intensiteettiarvojen avulla kameran prosessori muuntaa signaalit näkyväksi kuvaksi. [23.] Kameran keskeisiä ominaisuuksia ovat muun muassa aukon koko, pikselien määrä eli resoluutio, kuvasensorin tyyppi ja linssien ominaisuudet.

Konenäössä hyödynnettävät kamerakonfiguraatiot voidaan karkeasti jakaa kolmeen kategoriaan, kameran havaitsemien spatiaalisten ulottuvuuksien mukaan, 1D-, 2D- ja 3D-järjestelmiin. 1D-kamera kuvaa yksittäistä viivaa, kun taas yleisin 2D-kamera muodostaa kaksiulotteisen kuvan havaitusta alueesta. 3D-kameran ottamasta kuvasta voidaan selvittää kunkin pisteen etäisyys kamerasta.

*Line-scan-* eli 1D-kamerassa on viivamainen sensori, joka tyypillisesti kuvaa jatkuvasti yhtä pikselin levyistä viivaa ja muodostaa kaksiulotteisen kuvan objektista sen liikkeessa kameran ohi. Line-scan-kameroita käytetään yleensä muodostamaan kuvia liikkuvista kappaleista. Esimerkiksi pallon tai sylinterin pinnasta voidaan tällaisella kameralla muodostaa tarkka, levymainen kuva pyörittämällä esinettä kameran kuvatessa yhtä kaistaletta kerrallaan. Kuvan leveyden määrittää kuvausaika ja kuvien ottonopeus. [24, s. 319–322.] Tällainen kamera

on myös otollinen prosessiteollisuudessa, jossa kuvataan jatkuvaa virtaa, esimerkiksi paperia tai levyä ennen leikkausta.

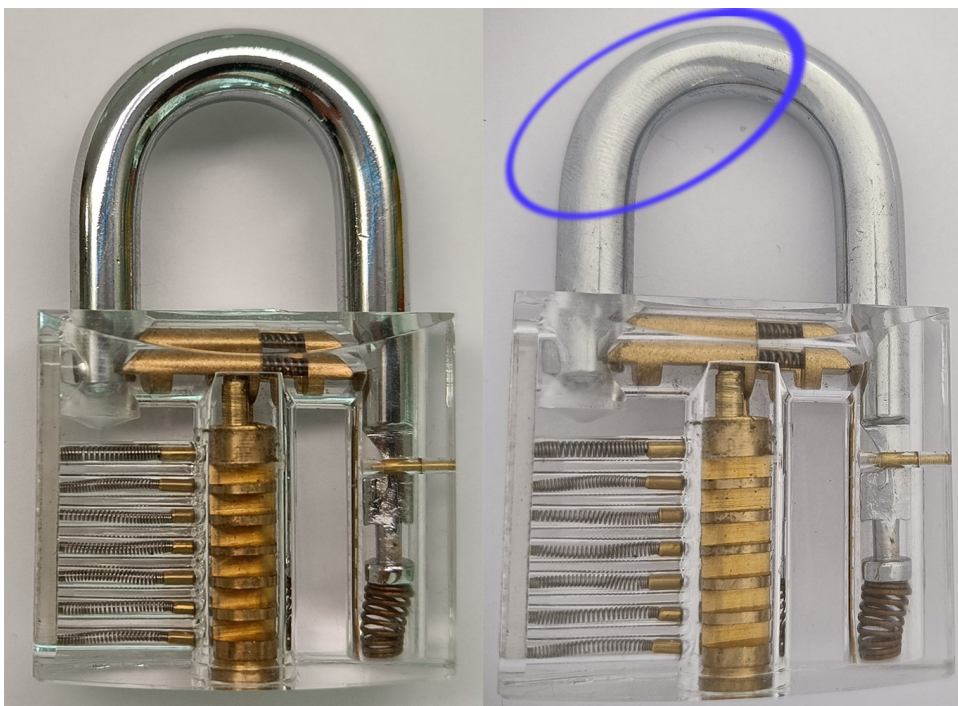
Kahdessa ulottuvuudessa toimii area-scan-kamera, joka kuvaa kerralla alueen, jonka resoluution määrittää sensorin pikselien rivien ja sarakkeiden määrä. 2D-kamera sopii hyvin tilanteeseen, jossa tarkasteltavat kappaleet mahtuvat kerralla kuvattavalle alueelle ja riittää, että tarkastellaan kohdetta yhdestä suunnasta. 2D-kameroita voidaan käyttää kappaletavarateollisuuden tuotteiden seurantaan, laskemiseen, värien tarkasteluun, mittojen ottamiseen tai esimerkiksi QR-koodien lukemiseen.

Kolmiulotteisen kuvausjärjestelmän rakentamiseen on useita vaihtoehtoja, mutta lähes kaikissa on jollain tavalla yhdistetty useampia antureita. Kuvan lisäksi etäisyys kuhunkin kuvan pisteeseen todetaan esimerkiksi anturilla, joka LiDARin tavoin käyttää pulssin lentoaikaa etäisyyden laskentaan, oli pulssi sitten ääni-, valo- tai radioaaltoja. Toinen usein käytetty menetelmä on stereofotogrammetria, jossa otetaan kuva kahdella, toisistaan tietyllä etäisyydellä olevalla kameralla. Kameroiden kulma on myös tiedossa, joten trigonometriaa hyödyntäen voidaan laskea kuvassa näkyvän pisteen etäisyys kameroista. [25.]

### 2.4.3 Valaistus

Oikeanlainen valaistus on äärimmäisen tärkeää konenäön toiminnalle, sillä kamera mittaa yksinomaan valoa: sen määrää ja suuntaa sekä aallonpituutta. Valaistuksen tehtävä on tuoda esiin tarkasteltavat ominaisuudet, minimoida kohinaa sekä luoda mahdollisimman korkea kontrasti eri elementtien välille niiden tunnistuksen helpottamiseksi. [24, s. 44–45.]

Valaistuksen merkittäviä ominaisuuksia ovat muun muassa valon suunta ja aallonpituus. Suunnalla voidaan vaikuttaa heijastuksiin, kuoppien tai kohoumien korostukseen ja perspektiiviin sekä siitä johtuviin vääristymiin. [24, s. 63–66.] Kuva 6 havainnollistaa valaistuksen vaikutusta eri ominaisuuksien näkyvyyteen.



Kuva 6. Akryylirunkoinen riippulukko valaistuna ylhäältä käsin (vasemmalla) ja hajavalolla (oik.).

Vasemmalla kuvattu lukko on valaistu yksittäisellä valolla ylhäältä käsin. Kolhut akryylirungon kulmissa ja teräksessä heijastavat valoa eri tavoin kuin ympäristönsä, joten ne on helppo havaita. Sinisellä ympyröidyt sormenjäljet erottuvat kuitenkin vain, kun suurin osa heijastuksista eliminoidaan tasaisella, varjoja tuottamattomalla hajavalolla kuten oikeanpuoleisessa kuvassa. Telesentrinen valaistus taas tarkoittaa valoa, jonka kaikki säteet ovat samansuuntaisia. Tällainen valaistus ei tuota perspektiivivääristymiä varjoihin, joten esineen varjoista voidaan ottaa tarkkojakin mittoja. [24, s. 63–66.]

Eri aallonpituuksilla voidaan korostaa eri värejä, ja valkoinen valo on paras hahmottaessa nähdä värit kuten päivänvalossa. Infrapunavallo tunkeutuu näkyvää valoa syvemmälle joihinkin materiaaleihin, esimerkiksi puolijohteisiin ja piirilevyn eristemateriaaliin, mikä mahdollistaa kuvaamisen näiden materiaalien läpi. Sitä voidaan hyödyntää pimeässä tai päivänvalossa ja se on ihmiselle näkymätöntä, joten valaistuksesta ei synny häiriötä lähellä työskenteleville ihmisille. Infrapunavaloa käyttävällä kameralla on kuitenkin heikkoutensa. Kuvan kontrasti on

usein heikko, ja värejä on vaikea tunnistaa. Voimakas infrapunavalo voi myös vahingoittaa silmää, sillä se ei aiheuta iiriksen supistumista haavoittuvan retinan suojaksi kuten näkyvä valo. [24, s. 104–106.]

Valaistuksen puutteellisuus tai vaihtelu johtaa usein virheisiin. Epätarkat reunat, heijastukset, muutokset tai vääristymät perspektiivissä korostuvat kuvankäsittelyssä, jossa pyritään yksinkertaistamaan kameralta saatua dataa, vähentämään värejä ja leikkaamaan pois alueita, jotka eivät ole prosessin kannalta kiinnostavia [24]. Liian suuri tai pieni kirkkaustaso kappaleen yhdessä reunassa voi johtaa reunan luokitteluun osaksi taustaa. Kuvassa 7 nähdään, miten väärienlaisesta valaistuksesta johtuva heijastuma johtaa tekstin katoamiseen kiiltävässä pinnassa. Efekti voimistuu, kun kuvan värit pelkistetään kahteen.



Kuva 7. Valon heijastuksen vaikutus kiiltävän pariston pinnassa. Alkuperäiset värikuvat ylhäällä ja binäärikuvat alla.



Nosturit toimivat ulkona, ympäri vuorokauden, joten valo-olosuhteiden tarkka säätely on käytännössä mahdotonta. Tämä altistaa mahdollisen konenäköjärjestelmän monenlaisille virheille, jotka on otettava huomioon järjestelmää sekä ohjelmistoa suunniteltaessa. Tasaisen valaistuksen aikaansaamiseksi kohde pitäisi aina valaista yhtä kirkkaasti, kun se kirkkaimpina päivinä on valaistu. Tällainen valaistus olisi häiriöksi työntekijöille ja liikenteelle sekä veisi paljon sähköä.

#### 2.4.4 Kuvadatan käsittely

Tyypillisessä, käsittelemättömässä valokuvassa on liian suuri määrä dataa, jotta olisi kannattavaa käyttää algoritmia sen tulkintaan. Kuvan pelkistämiseksi, ja haluttujen ominaisuuksien tuomiseksi esiin kuvaa esikäsitellään ennen varsinaista laskentaa tai analyysiä. Esikäsitelyn vaiheet riippuvat paljon sovelluksesta, mutta tyypillisesti kuvan kontrastia, resoluutiota, värimäärää ja orientatiota pyritään säätämään. Käsittelyn tavoitteena on säilyttää hyödyllinen data, mutta suodattaa tarpeeton tieto pois. Kohteita tunnistavan algoritmin opettamista varten voi myös olla hyödyllistä luoda useita versioita samasta kuvasta, sillä oikeassa maailmassa osa kuvista voi olla esimerkiksi tärähtäneitä, kamera huonosti suunnattu ja valaistus epäoptimaalinen. [26.] Sisällyttämällä epätäydellistä dataa opetusmateriaaliin tunnistusohjelma opetetaan tulkitsemaan myös tällainen data oikein.

Kun kuvasta halutaan lukea tekstiä, kuvioita tai muotoja, kuva pyritään muuntaamaan binääriseksi, kuten aiemmin kuvassa 7. Värit siis pelkistetään kahteen asettamalla raja-arvo, jota kirkkaammat sävyt muutetaan valkoiseksi, ja tummemmat mustaksi. [21, s. 495–496; 27.] Monimutkaisemmissa tunnistustehtävissä kuitenkin vaaditaan enemmän värejä. Sekä kaksi- että kolmiulotteisessa konenäköratkaisussa pyritään usein tunnistamaan kuvissa näkyvien objektien reunoja tai ääriviivoja. Näiden perusteella kyetään erottamaan esineet toisistaan, ja määrittämään esineiden muoto ja koko, jotka ovat tärkeitä ominaisuuksia luokittelussa. [28, s. 69–86.]

Esineiden tunnistuksen lisäksi voidaan haluta seurata sen liikettä. Myös nosturissa halutaan analysoida kontin- ja kuorma-auton liikkeitä tai liikkeiden suhdetta. Olivier Faugeras kuvaa kirjassaan *Three-Dimensional Computer Vision* [28] reunantunnistusta sekä objektien liikkeen havainnoimista matemaattisesta näkökulmasta huomattavalla syvyydellä. Kuvattu prosessi on erittäin monimutkainen, ja muuttujia on valtava määrä. Kirja on opinnäytetyön kirjoitushetkellä 21 vuotta vanha, ja työkaluja prosessin yksinkertaistamiseen on olemassa, mutta jotta voidaan luoda ja ymmärtää hyvin toimiva malli, on hyödyllistä ymmärtää taustalla tapahtuva laskenta. Yksinkertaiseltakin tuntuvat toiminnot ovat matemaattisesti vaativia. Konenäköä hyödyntävän ratkaisun olisi kyettävä suorittamaan objektin tunnistus ja liikkeen analyysi kuvien käsittelyn lisäksi reaaliajassa.

## 2.5 Muita mainitsemisen arvoisia teknologioita

Opinnäytetyön kirjoittamisen aikana esille nousi myös teknologioita, joihin ei tässä työssä ole tarkemmin paneuduttu joko teknologian soveltumattomuuden tai sen implementoinnin merkittävien haasteiden vuoksi. Näitä hylättyjä ratkaisuja uuden Truck Lift Prevention -järjestelmän mahdollistajaksi ovat esimerkiksi nostettavan kontin painon ja painojakauman tarkastelu sekä millimetritutka, jonka tarkkuus todettiin riittämättömäksi kontin seurantaan. [29.]

Kontin painoon tai painojakaumaan perustuva perävaunun noston estäminen vaatii, että kontti punnitaan tarkasti sen saapuessa satamaan, nosturi kykenee tunnistamaan, mitä konttia ollaan nostamassa, ja hakemaan kontin tiedot sataman tietojärjestelmästä. Tämän mahdollistavaa infrastruktuuria ei ole suurimassa osassa asiakassatamista ja rajapinta nosturin ja sataman järjestelmien välillä on huomattavasti yksinkertaisempi kuin tällaiseen konttien seurantaan vaadittu. [30.]

Seuraavaan valintavaiheeseen valitaan siis vertailtavaksi nykyisen ratkaisun hyödyntämä 2D-LiDAR, luvussa 2.3 kuvattu 3D-LiDAR sekä kameraan pohjautuva konenäköratkaisu, kuten luvussa 2.4 kuvattu.

### 3 Käytettävän teknologian valinta

Tämän pääluvun alussa esitellään tärkeimmät teknologian valintaa ohjaavat kriteerit, jotka tarkentavat samalla opinnäytetyön tavoitetta. Tämän jälkeen vertailaan toisessa luvussa esitettyjä teknologioita näiden kriteerien näkökulmasta. Näin pohjustetaan lopullinen valinta teknologialle, jota hyödyntäen ryhdytään neljännessä luvussa suunnittelemaan ratkaisuehdotusta.

#### 3.1 Kriteerit ja tarpeet

Konecranes Truck Lift Prevention -järjestelmä on asennettu kiinteästi nosturiin, joka toimii pääsääntöisesti satamassa. Konecranes toimittaa nostureita joka maanosaan Etelämannerta lukuun ottamatta, joten laitteiston on kestävä suolaista, kosteaa ilmaa, vesi- ja lumisadetta sekä lämpötiloja välillä  $-40\ldots 60\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Kehitettävän ratkaisun tulee kyetä havaitsemaan perävaunun kiertolukkojen kiinni jääminen vähintään yhtä varhaisessa vaiheessa kuin nykyinen järjestelmä, eli viimeistään perävaunun renkaiden noustessa noin 50 cm:n korkeudelle [6]. Pyritään kuitenkin huomattavasti nopeampaan havainnointiin turvallisuuden parantamiseksi. RTG kykenee nostamaan maksimipainoista konttia 31 metriä minuutissa [4], eli puolen metrin nostoon kuluisi noin yksi sekunti. Todellisuudessa maksiminopeuden saavuttamiseen kuluu aikaa, ja kontin punnituksen vuoksi nosto on aluksi hidasta, mutta alle sekunnin reaktioaikaan on hyvä pyrkiä.

Käytössä olevan Truck Lift Prevention -järjestelmän on testauksen yhteydessä arvioitu toimivan noin 90 prosentissa tapauksista [6]. Uuden, valittuun teknologiaan pohjautuvan järjestelmän tulisi yltää korkeampaan toimivuusasteeseen, mutta prototyypin kehittäminen ja testaus eivät kuulu opinnäytetyön piiriin.

Ratkaisun tulee olla helposti asennettavissa Konecranes RTG -nosturiin, eli varsinaisessa laitevalinnassa on otettava huomioon käytössä olevat rajapinnat sekä nosturilta saatava ja sille lähetettävä tieto. Ratkaisun on siis hyvä olla joko

Ethernet-pohjainen tai suoraan logiikan I/O-kytkentöjä hyödyntävä. Laitteiston tulee olla pienikokoinen, jotta muita nosturin komponentteja ei jouduta siirtämään. Asennettavuus myös muiden valmistajien nostureihin on toivottavaa, mutta ei ole työssä määrittävä tekijä.

### 3.2 Vertailu 3D-LiDARin ja konenäön välillä

Vertailua ohjaamaan luotiin taulukko 2, johon on arvioitu eri tekijöiden negatiivinen vaikutus siten, että 0 tarkoittaa tekijän olevan lähes merkityksetön järjestelmän toimivuuden suhteen ja 2 tarkoittaa merkittävää tai toistuvaa haittaa toiminnalle.

Taulukko 2. Haasteiden vaikutus eri anturityyppeihin.

Mahdollinen haaste	2D LiDAR	3D LiDAR	Konenäkö
Sääolosuhteet	1	0	1
Valaistuksen vaihtelu	0	0	2
Likaantuminen	2	1	1
Kohteen tunnistus	2	0	0
Asennuspaikka	1	1	1
Prosessointiteho	0	1	2

Taulukossa 2D lasertutkan testauksen yhteydessä havaittu, asennuspaikasta johtuva alttius likaantumiselle sekä taipumus tunnistaa trailerista vääriä osia johtavat näiden haasteiden arviointiin merkittäviksi. Kameraa hyödyntävän konenäköratkaisun herkkyys valaistuksen suhteen ja kuvavirran reaaliaikaisen analysoinnin vaativuus ovat tämän teknologian hyödyntämisen suurimmat esteet. 3D LiDARin hyödyntämiseen ei menetelmien kartoituksen aikana noussut

näin merkittäviä esteitä, mutta sekin vaatii 2D-lidaria huomattavasti suurempitehoisen yksikön datan prosessointiin.

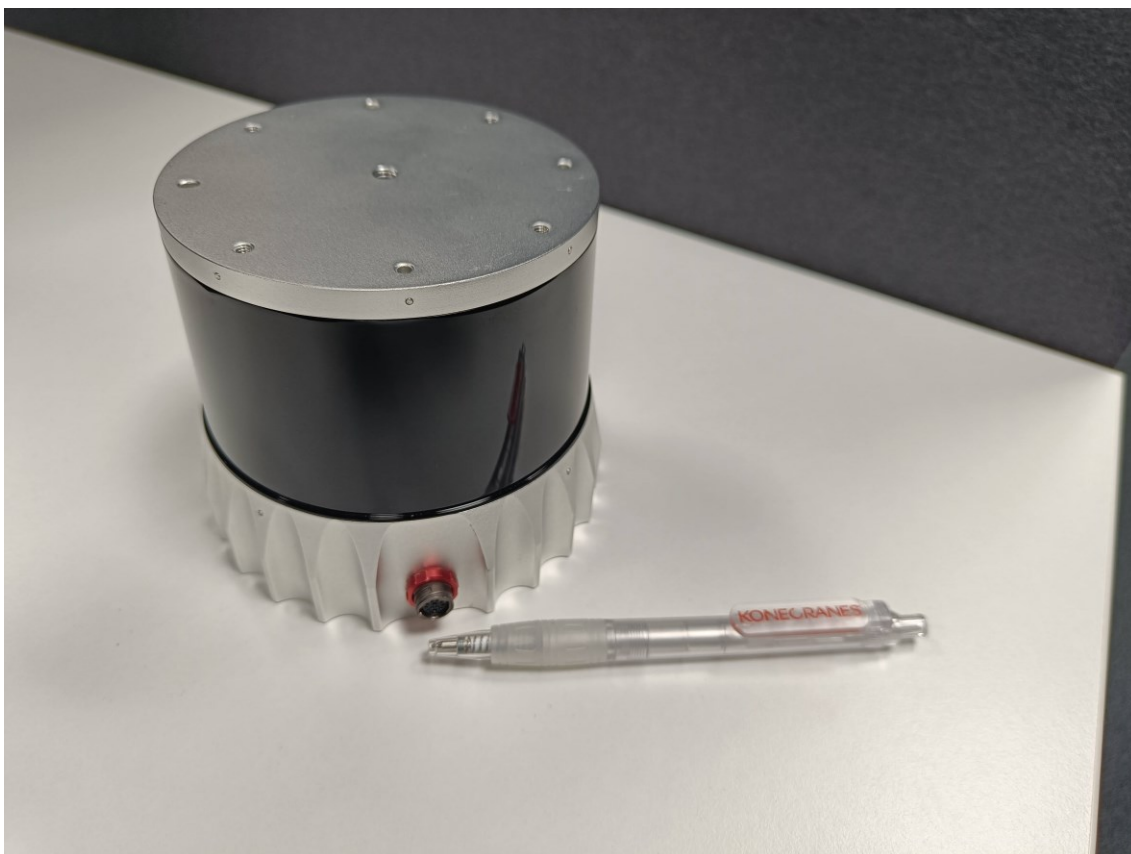
Tämän analyysin sekä yhtiössä jo saatavilla olevan tietotaidon perusteella 3D LiDAR valikoitui selvästi lupaavimmaksi teknologiaksi jatkokehitykseen ja Konecranes Truck Lift Prevention järjestelmän seuraajan mahdollistajaksi. LiDAR-anturit kehittyvät jatkuvasti kiinnostuksen teknologiaa kohtaan ollessa suuri, esimerkiksi autoteollisuuden sekä yhteistyörobottien kasvavan suosion myötä.

## **4 3D LiDARia hyödyntävän järjestelmän suunnittelu**

Tässä luvussa kuvataan 3D LiDARia hyödyntävän järjestelmän, josta käytetään selkeyden vuoksi nimitystä Truck Lift Prevention 2 tai TLP2. Kehitysvaiheet keskittyvät ratkaisun implementointiin osaksi RTG-nosturia. Luvun alussa esitellään testikäyttöön saatu LiDAR-anturi, sen käyttöönotto ja ominaisuudet. Tämän jälkeen pohditaan paikkaa, johon anturi olisi paras asentaa nosturissa. Asennuspaikan ollessa käsitelty asetetaan itse anturin valintaa ohjaavat kriteerit ja annetaan ehdotus TLP2-järjestelmässä käytettävän LiDARin suhteen. Luvun lopulla keskitytään datan käsittelyyn ja tulkintaan vaadittavan laskentayksikön valintaan ja itse ohjelmiston suunnittelua ohjaaviin kriteereihin.

### **4.1 Testianturin käyttöönotto**

Opinnäytetyötä, sekä teknologian kollegoille esittelyä varten saatiin lainaksi Ouster OS2-128 -anturi, joka näkyy kuvassa 8. OS2 on pitkälle, maksimissaan yli kahdensadan metrin matkalle suunniteltu LiDAR-anturi. Sen vertikaalinen avautumiskulma on  $22,5^{\circ}$ , ja se pyörii kymmenen- tai kahdenkymmenen hertsin nopeudella riippuen anturin asetuksista. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että yhdestä kohdasta saadaan mittaustulos joko kymmenen tai kaksikymmentä kertaa sekunnissa laserin pyyhkäistessä kohdan yli.



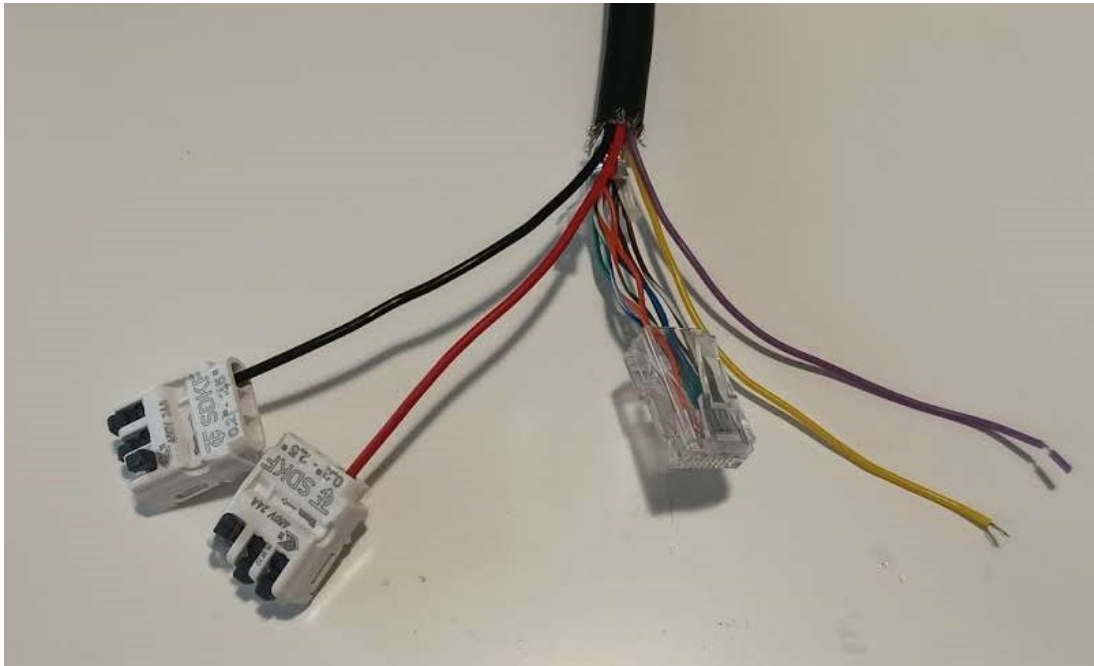
Kuva 8. Ouster OS2 LiDAR -anturi.

Ouster OS2 LiDARissa on sisäänrakennettu liikeanturi, jota hyödyntäen se kykenee tunnistamaan muutokset anturin asennossa ja korjaamaan liikkeen aiheuttamat siirtymät mittaustuloksissa. Anturissa on myös lähellä infrapunataajuutta toimiva kamera, joka muodostaa kaksiulotteisen kuvan pistedatan tulkinnan avuksi. Tätä kuvadataa voitaisiin hyödyntää esimerkiksi esineitä tunnistavan ohjelman opetuksessa ja anturin kalibroinnissa. OS2 kommunikoi UDP-protokollaa hyödyntäen Ethernetin yli ja vaatii toimiakseen 1 Gbit/s siirtonopeuden datan suuren määrän vuoksi. [31.] Tämä vaatimus oli otettava huomioon verkkolaitteiden sekä kaapeleiden valinnassa.

Suunniteltavassa ratkaisussa perävaunun noston estämiseksi anturin pitkistä kantamasta ei ole hyötyä, sillä havainnoitava alue on aina alle kymmenen metrin päässä. Verrattain pienen avautumiskulmansa johdosta Ouster OS2:lla on kuitenkin korkea vertikaalinen resoluutio, sillä siinä on sama määrä kerroksia

kuin tuoteperheen muissa antureissa, mutta ne ovat lähempänä toisiaan. Anturin soveltuvuutta Truck Lift Prevention 2 -järjestelmään käsitellään luvussa 4.3. OS2-anturin avulla voidaan tutustua LiDARin käyttöönottoon ja sen tuottaman datan ominaisuuksiin.

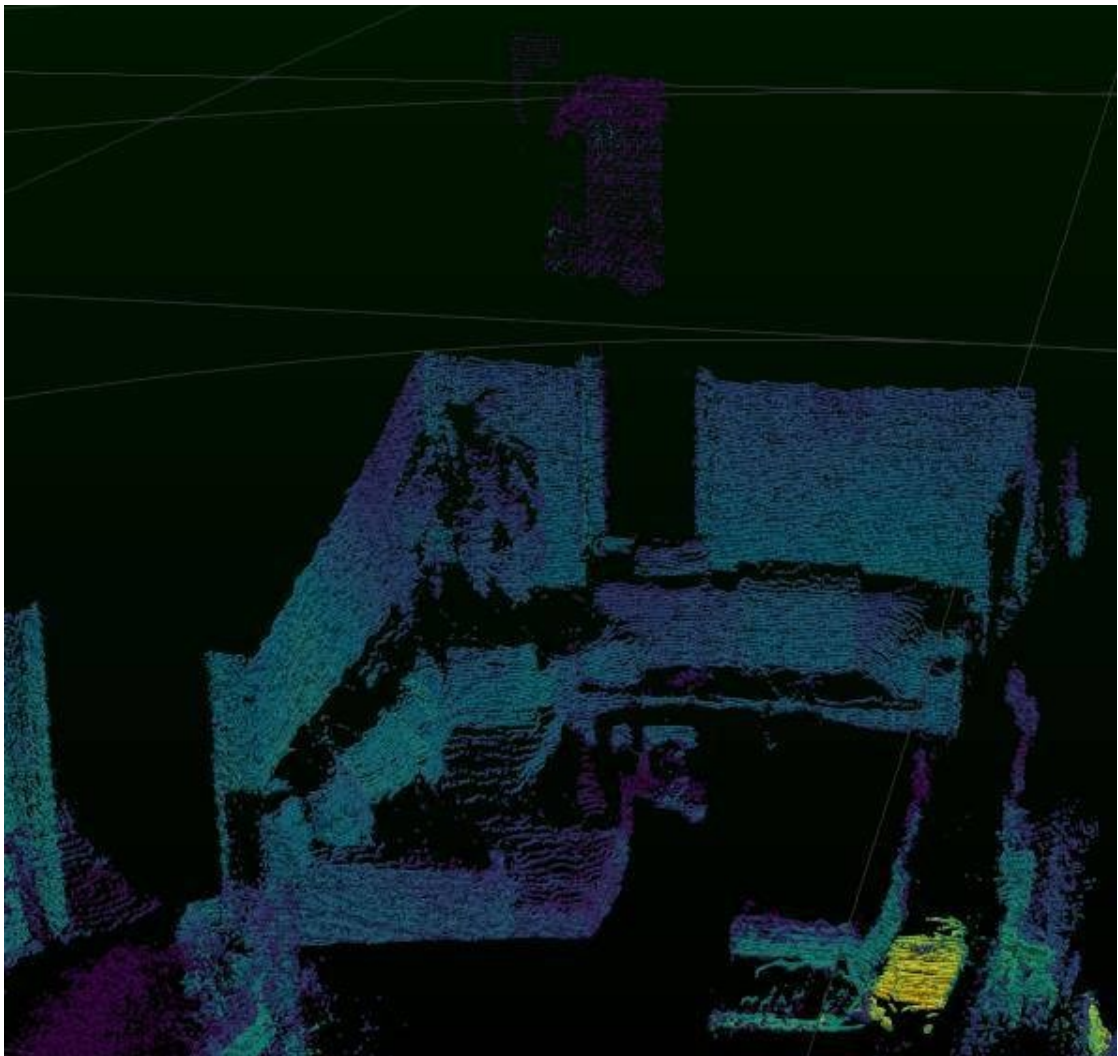
OS2-anturin kaapelissa on 12 johdinta (kuva 9), joista kaksi on virransyöttöä varten, kahdeksan datansiirtoon Ethernetin välityksellä, yksi kellonajan synkronointiin ja yksi konfiguroitavissa käyttötarpeen mukaan. [32.]



Kuva 9. OS2-anturin johtimet, joihin on asennettu rasialiittimet ja RJ45-liitin.

Kaapelin päähän asennettiin RJ45-liitin, joka kytkettiin tietokoneen Ethernet-porttiin. Virransyötön punainen ja musta johdin liitettiin rasialiittimillä 24 voltin virtalähteeseen. Violetti, konfiguroitava johdin sekä keltainen ajan synkronointiin käytettävä johdin jätettiin kytkemättä, sillä näitä ei tarvita, kun tarkoituksena on vain havainnollistaa anturin toimintaa. Kaapelin toinen pää kytkettiin anturin liittimeen (kuva 8, keskellä).

Tietokoneen palomuurista avattiin anturin kommunikointiin käyttämät UDP-portit ja asennettiin LiDAR-datan visualisointiin ja Ouster-anturien konfigurointiin käytettävä Ouster Studio -sovellus. Jotta anturin lähettämän datan oli mahdollista saapua sovelluksen näytettäväksi, oli Windowsin verkkoasetuksista asetettava käytössä oleva verkkoyhteys yksityiseksi, sillä julkiseksi asetetuissa verkoissa on turvallisuussyistä estetty suuri osa saapuvasta liikenteestä. Näiden määritysten ollessa valmiit avattiin Ouster Studio, joka tunnisti anturin automaattisesti ja avasi yhteyden. Anturille hyväksyttiin oletuskonfiguraatio ja avattiin anturin reaaliaikainen näkymä (kuva 10).



Kuva 10. LiDARin muodostama pistepilvi olohuoneesta.



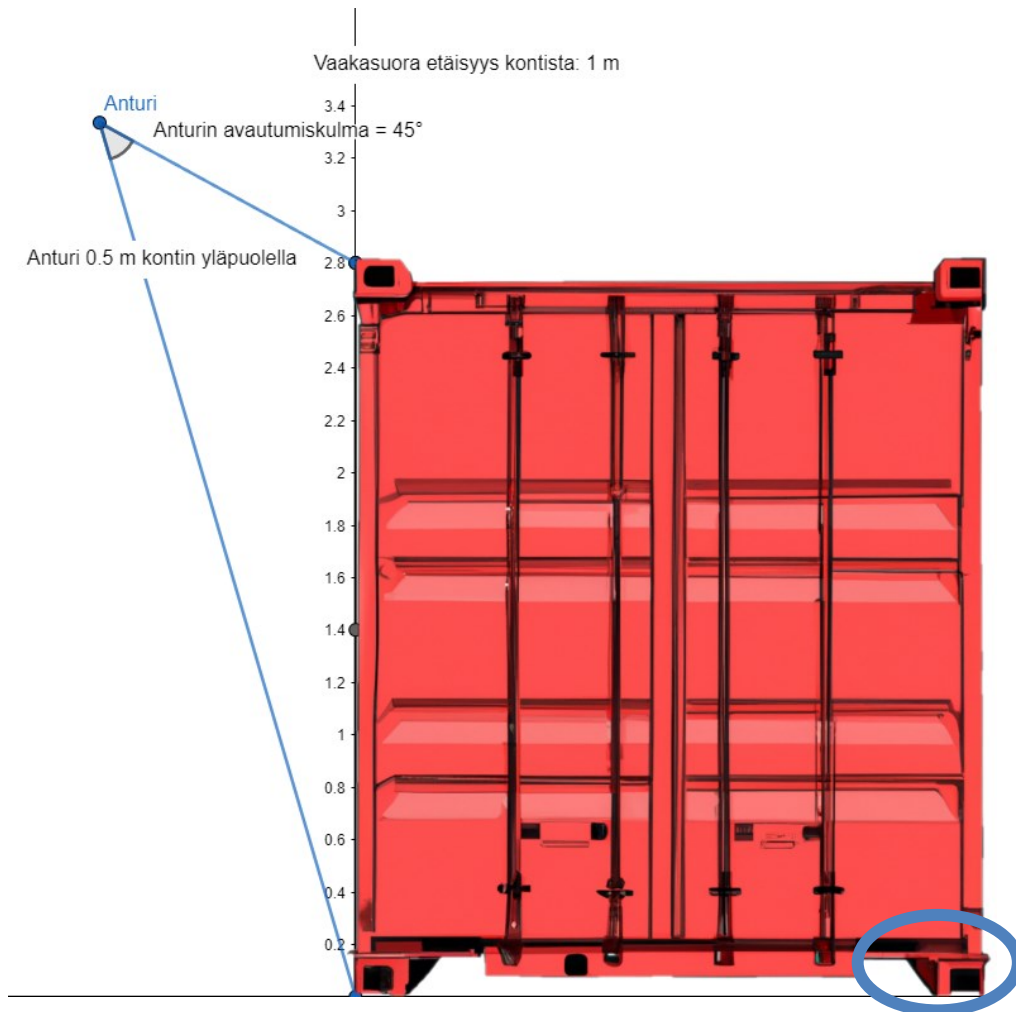
Hetkellä, jona kuvakaappaus otettiin, LiDAR oli pöydällä. Vertikaalinen resoluutio eli pisterivien määrä oli asetettu maksimiin eli 128:aan ja horisontaalinen resoluutio eli pistesarakkeiden määrä 1024:ään. Kuvassa ei näy lattiaa tai kattoa, eikä keskellä olevan ikkunan yläreunaa kapean 22,5:n asteen vertikaalisen avautumiskulman vuoksi. Kuvassa kirkkaammat pisteet tarkoittavat pinnan heijastavan valoa tummien pisteiden kuvaavia kohtia paremmin. Ylhäällä näkyvässä ikkunassa on kaksi lasia, joiden heijastuksista aiheutuvat kuvan yläosan violetit haamukuvat. Näistä voidaan päätellä anturin vastaanottavan vähintään kaksi vastetta yhtä lähetettyä pulssia kohden, sillä haamukuvia on kaksi.

Ouster Studio on pistedatan visualisointiin ja OS-anturien konfigurointiin tarkoitettu ilmainen ohjelma. Se antaa käyttäjän tarkastella ja tallentaa anturin luomaa dataa sekä tarjoaa mahdollisuuden pistepilven muokkaamiseen ja eri ominaisuuksien korostamiseen [12]. Varsinaista datan käsittelyä, kuten kohteentunnistusta varten Ouster tarjoaa hyvin dokumentoituja työkaluja ohjelmakehitykseen sekä Python- että C++-ohjelmointikielillä. [33.]

## 4.2 Anturin asennuspaikka

Yksi alkuperäisen Truck Lift Prevention -järjestelmän heikkouksista oli anturin matalasta asennuskorkeudesta johtuva alttius likaantumiselle ja esimerkiksi pienten lumikasojen aiheuttama haitta. Kehitettävässä järjestelmässä, jossa renkaiden sijaan seurataan konttia, voidaan anturi asentaa ylemmäs esimerkiksi perävaunun yläreunan kohdalle.

Kuorma-auto voi ajaa hyvin lähelle nosturia, lähes kiinni anturiinkin sen ollessa uloimpien osien tasolla. Tästä johtuen koko kontin seuranta vaatisi anturilta lähes 180 asteen avautumiskulman sen ollessa kontin tasolla. Asentamalla anturi konttia korkeammalle kuvan 11 mukaisesti vaadittu kulma pienenesi.



Kuva 11. LiDARilta vaadittu vertikaalinen avautumiskulma anturin ollessa kontin yläpuolella.

Tarkasteltaessa konttia näin voidaan havaita koko kontin korkeus huomattavasti pienemmällä avautumiskulmalla, mikä helpottaisi sopivan anturin löytämistä. Tämän asettelun myötä nousee kuitenkin esiin toinen ongelma. Mikäli konttia tarkastellaan muualta kuin sen alareunan tasosta, ei kyetä yhtä helposti havaitsemaan tilannetta, jossa ainoastaan sinisellä ympyröity, anturista kauempana oleva nurkkalukko on jäänyt kiinni. Tämän ongelman ratkaisemiseksi kontin pohjan tarkastelu on yksinkertainen vaihtoehto. Usein satamissa käytetyn runkotrailerin korkeus on noin 120 cm [34]. Tätä suositellaan LiDARin asennuskorkeudeksi.

Nostureissa, joissa generaattorin tai muun moduulin sijainti estää anturin asentamisen nosturin keskilinjän kohdalle, se voidaan asentaa sivulle. Asennuspaikka on otettava huomioon kontintunnistusohjelmassa, jotta perspektiivin muutos ei aiheuta virheitä. Anturin sijainnille suhteessa nosturiin olisi syytä luoda omat parametrit, joiden avulla kompensoidaan etäisyys keskilinjasta. Anturin ollessa asennettuna muualla kuin keskellä, tulee se asentaa puolelle, josta kuorma-autot saapuvat. Muussa tapauksessa vetoauton hytti tai muut osat voivat estää koko kontin näkemisen.

Mikäli kyetään tekemään ohjelma, joka luotettavasti tunnistaa kontin sijainnin näkemättä sitä kokonaan, LiDARin asennus kontin alareunan tasalle onnistuu. Anturi voitaisiin asentaa telineeseen, joka kiinnitetään nosturin jalkojen väliseen poikkipalkkiin nykyisen ratkaisun tavoin, joskin korkeammalle. Kontin alareuna on suora, sen kulmissa on nurkkalukkojen kohdilla reiät vakiopaikoissa ja nostettavan kontin pituus voidaan lukea nosturin tilatiedoista tarvittaessa. Näillä tiedoilla varustettuna hyvin opetettu tunnistusalgoritmi pystynee tunnistamaan kontin sijainnin ja kulman luotettavasti.

Asennukseen käytettävän telineen on kestettävä nosturin käytöstä aiheutuva tärinä ilman, että anturin asento muuttuu. Asennuspaikan on myös sallittava anturin puhdistus sekä pääsy sen kytkentöihin esteettä. Mitä helpompaa laitteiston huolto on, sen todennäköisempää on, että sataman henkilöstö suorittaa sen ajallaan, ja laitteisto toimii moitteetta.

### 4.3 LiDAR-anturin valinta

Testikäytössä olleessa Ouster OS2 -anturin vertikaalinen resoluutio on riittävän korkea, jotta lähes anturin lähettämien pulssien suuntaisista pinnoista, kuten kuvan 10 sohvan istuinosasta saadaan joitakin pisteitä. Kuvan 5 toimiston pöytien pinnassa ei kuitenkaan ole lähes lainkaan pisteitä, sillä ne ovat juuri anturin korkeudella, ja lähes samansuuntaiset anturin lähettämien valonsäteiden kanssa. Tämän perusteella voidaan todeta, että mikäli kontin pohjasta on saatava mitaustuloksia, on anturin vertikaalisen kulmaresoluution oltava vähintään sama

kuin Ouster OS2 -anturilla. Anturin resoluution ja avautumiskulman perusteella voi laskea anturin kulmaresoluution kaavan 2 mukaisesti.

$$\theta = \frac{a}{n} \quad (2)$$

$\theta$  on kulmaresoluutio  
 $a$  on avautumiskulma  
 $n$  on kanavien määrä.

Ouster OS2-128 -anturin vertikaalinen ja horisontaalinen kulmaresoluutio ovat kumpikin kaavan 2 perusteella noin 0,18 astetta. Muissakin Ousterin antureissa kanavien määrä on korkeimmillaan 128, mutta avautumiskulma on suurempi. Tarkkuus kuitenkin kärsii kulman kasvaessa, joten Ousterin valikoimasta OS2-128 on toistaiseksi paras vaihtoehto. Anturin minimietäisyys pistepilven muodostamiselle on kuitenkin yksi metri, jota lähempänä olevista kohteista ei saada luotettavaa dataa. [31.] Tämä voi asettua haasteeksi anturin ollessa alle metrin etäisyydellä kuorma-autokaistan reunasta.

Ousterin lisäksi esimerkiksi Velodyne Lidar valmistaa 128 tasoa tutkaavia antureita, kuten Alpha Prime, jonka vertikaalinen avautumiskulma on neljäkymmentä astetta. Alpha Prime tarjoaa mahdollisuuden tasojen epätasaiseen jakaumaan, jolloin korkein saavutettava kulmaresoluutio pystysuunnassa on 0,11 astetta. Anturin datalehdessä ei mainita anturin minimietäisyyttä kohteesta. [35.]

Innoviz tarjoaa korkean, jopa 0,05:n asteen kulmaresoluution omaavia antureita, esimerkiksi vuoden 2022 lopulla testaajien saataville tulevan Innoviz360 LiDAR-anturin kerrotaan tutkaavan 1 280:tä tasoa täyden ympyrän alueella 64:n asteen vertikaalisella avautumiskulmalla [36]. Mikäli valmiilla markkinoille astuvalla tuotteella on vielä samat ominaisuudet, on Innoviz360 varteenotettava kandidaatti TLP2-järjestelmän anturiksi. Myös Quanergy tarjoaa hyvin tarkkoja, 0,033:n asteen kulmaresoluutiolla varustettuja antureita, joilla on Ousterin tarjontaa pienempi, puolen metrin minimietäisyys kohteesta. Innovizin anturista poiketen Quanergy M8 Prime on jo markkinoilla, joskin sillä on pienempi, kahdenkymmenen asteen vertikaalinen avautumiskulma. [37.]

Kaikkien tässä luvussa mainittujen anturien IP-luokitus on IP67 tai korkeampi, mikä tarkoittaa, että pöly ei pääse laitteiden sisään ja ne kestävät lyhytkestoisen veteen upottamisen. [38.] Kaikki anturit kestävät myös säilytyksen -40:en asteen lämpötilassa, mutta vain Innoviz360:en kerrotaan toimivan alle kahdenkymmenen asteen pakkasessa. Ainakin Ousterin antureissa on sisäänrakennettu lämmitin, joten LiDAR käynnistyy kylmälläkin, mutta toiminnan alkamiseen kestää pidempi aika anturin odottaessa sopivan käyntilämpötilan saavuttamista. [31; 35; 36.]

#### 4.4 Laskentayksikkö pistedatan tulkintaan

Truck Lift Prevention PC on myös muiden järjestelmien käytössä, eikä siinä ole 3D LiDARin tuottaman datan käsittelyyn vaadittavaa laskentatehoa [5]. Uuteen järjestelmään on siis sisällytettävä tällaiseen datankäsittelyyn soveltuva laskentayksikkö, joka voidaan yhdistää nosturin Profinet-verkkoon. Näytönohjaimistaan tunnettu NVIDIA tarjoaa tekoälyn vaatimaan rinnakkaislaskentaan erikoistuneita Jetson-moduuleja, joihin on sisällytetty NVIDIAn työkalut tekoälysovelusten rakentamiseen tällä alustalla. [39.]

CPU (*Central Processing Unit*) eli prosessori suorittaa tehtäviä sarjassa. Se käsittelee yhtä tehtävää ja siirtyy seuraavaan saadessaan tämän päätökseen. GPU (*Graphics Processing Unit*) eli grafiikkasuoritin on puolestaan erikoistunut rinnakkaiseen laskentaan. Grafiikkasuorittimissa on satoja ytimiä, jotka suorittavat tehtäviä samanaikaisesti. Koneoppimisalgoritmit hyötyvät tästä valtavasti, joten koneoppimista hyödyntävä laitteisto, kuten NVIDIA Jetson-moduulit pohjautuvat usein grafiikkasuorittimeen. Tämän kaltainen laskentamoduuli on hyödyllinen sekä kohteita tunnistavan ohjelman opettamisessa, joka on aikaa ja tehoa vaativa prosessi, että aikaansaadun ohjelman suorittamisessa. [39; 40.]

Ullah Shan ja Kim Deok-Hwan toteavat Jetson-tuoteperheen laitteita koskevassa tutkimusraportissaan [41, s. 6] Jetson Xavier -alustan soveltuvan LiDARin tuottaman pistedatan prosessointiin syväoppimista hyödyntäen reaaliajassa. Jetson Orin on uudempi ja Xavieria tehokkaampi alusta, joten voidaan olettaa

myös sen riittävän pistepilven reaaliaikaiseen analysointiin ja kohteiden tunnistukseen.

Xavier- tai Orin-moduuleja sisältäviä laskentayksiköitä myyvät NVIDIAn itsensä lisäksi lukuisat jälleenmyyjät, esimerkiksi Advantech, Connect Tech ja AAEON [42; 43; 44]. Nosturiin suositellaan yksikköä, jossa on vähintään kaksi Gigabit Ethernet-porttia, jotta LiDARilta tuleva datavirta voidaan ohjata suoraan laskentayksikölle kuormittamatta nosturin muuta verkkoa suurella datamäärällä.

#### 4.5 Ohjelmisto ja kommunikaatio PLC:n kanssa

Järjestelmän suunnittelun ja implementoinnin helpottamiseksi tietokoneen tulisi pyrkiä käyttämään samoja, luvussa 2.2.1 kuvattuja tilatietoja PLC:n kanssa kommunikointiin kuin edeltävässä Truck Lift Prevention -järjestelmässä. Mikäli tunnistussovellus vaatii tiedon nostettavan kontin pituudesta, on rajapintaan liisättävä tämän tiedon välittävä muuttuja. Nostettavien konttien pituudet ovat yleensä 20 tai 40 jalkaa [45], ja nosturin nostolaite säädetään kontin mittaiseksi. Tämä tieto on jo nosturin logiikkaohjaimella, se tarvitsee vain välittää TLP2-ohjelmalohkoon. Nosturinkuljettajan informaationäyttöön olisi hyvä lisätä järjestelmän status kuvaamaan eri tilanteita, esimerkiksi:

- Nostolaite ei ole kuorma-autokaistalla.
- Kontti havaittu.
- Kontin tunnistus epäonnistui.
- Kontti nostettu onnistuneesti.
- Kontti on kiinni perävaunussa.

Liitteessä 1 on kuvattu järjestelmän ohjelmakierto vuokaavion muodossa. Nosturin PLC suorittaa sinisten lohkojen operaatiot, ja vihreiden lohkojen kuvaamat toiminnot suorittaa edellä kuvattu laskentayksikkö. Järjestelmän on hyvä olla ohitettavissa, esimerkiksi kuljettajan kosketuspaneelin tai fyysisen painikkeen avulla. Ohitus voi olla päällä esimerkiksi kolmekymmentä sekuntia kuljettajan kytkettyä sen päälle, jotta kontti ehditään nostaa, mutta järjestelmä on taas var-

masti käytössä ennen seuraavaa nostoa. Ohituksen ollessa aktiivinen on sallitun nostonopeuden hyvä olla normaalia alhaisempi. Näin nosturinkuljettajalla on enemmän aikaa huomata mahdollinen vaaratilanne.

Pistedataa tulkitsevan ohjelmiston suunnittelussa on otettava huomioon, että kuorma-auto voi saapua kummasta suunnasta tahansa. Myös anturin asennuspaikka voi vaihdella riippuen nosturin muista moduuleista. Polykarbonaattilevystä tai muuta suojusta aiheutuvat heijastukset on otettava huomioon sekä tilanteet, joissa nostetaan kahta konttia kerralla. Ainakin anturin sijainnille sekä kulmalle on luotava parametrit, jotka ovat helposti asentajan muutettavissa.

Vianhakua ja parametrien asettamista varten järjestelmän on hyvä kyetä luomaan esimerkiksi verkkopohjainen visualisointi, josta on havaittavissa tunnistetun kontin ääriviivat ja merkityksettömiksi todetut alueet. Järjestelmän statuksen, kuten anturin likaisuuden, kommunikaation toiminnan ja sen, onko seuranta aktiivinen, on oltava sekä nosturinkuljettajan, että huoltohenkilökunnan ja asentajan helposti saatavilla.

## **5 Opinnäytetyön tulos ja tie eteenpäin**

Opinnäytetyön tavoite oli selvittää teknologia, jota hyödyntäen opinnäytetyön kirjoitushetkellä käytössä ollut Truck Lift Prevention -järjestelmää voitaisiin parantaa. Työssä on selvitetty järjestelmän kehityskohteet, sekä tekijät, jotka saattavat johtaa virheellisiin positiivisiin tai negatiivisiin tuloksiin. Tavoitteena oli myös luoda ehdotus, joka voi toimia ohjenuorana valittuun teknologiaan perustuvan järjestelmän kehittämiseen ja sen toiminnan arviointiin.

Valinta kohdistui 3D LiDARiin, teknologiaan, jonka hyödyntäminen osana autonomisia koneita on jatkuvassa kasvussa. Merkittävin haaste uuden teknologian käyttöön ottamisessa tulee olemaan ohjelman kehittäminen. Tähän tarvitaan vahvaa osaamista syväoppimisen ja datankäsittelyn alueilta sekä perustason

ymmärrys RTG-nosturien toiminnasta. Osastojen välinen yhteistyö tuotteen kehittämässä on toivottavaa, sillä osassa yrityshaaroista 3D LiDAReita on jo hyödynnetty osana nosturia.

Hyvin toteutettuna järjestelmällä on mahdollisuudet tunnistaa perävaunun nostaminen suuremmalla varmuudella kuin LMS111-lasertutka. Suurempi asennuskorkeus vähentää lumen ja vesiroiskeiden tuomaa haittaa sekä anturin likaantumista. Kontin tarkkailu renkaiden sijaan tuo merkittävän edun tilanteissa, joissa vain anturista vastakkaisella puolella olevat nurkkalukot ovat jääneet kiinni tai vain yksi lukko on kiinni. Kolmiulotteinen pistepilvi on myös huomattavasti helpompi tarkastella ihmissilmin kuin kaksiulotteisen tutkan kuvat. Tästä voidaan hyötyä esimerkiksi onnettomuustilanteiden tarkastelussa, mikäli anturidataa tallennetaan.

Ennen opinnäytetyön aloitusta tavoitteisiin kuului myös järjestelmän prototyypin kehittäminen ja testaus. Tämä jätettiin kuitenkin pian pois työn määritelmästä, sillä suuri kehitysprojekti on monin kerroin opinnäytetyötä laajempi projekti, ja uuden, julkaisemattoman projektin dokumentointi julkiseksi tiedoksi on haasteellista. Tarkasteltaessa aikaansaattua opinnäytetyötä käy selväksi, että aiheen raja-  
jaus oli tarpeellinen ja onnistunut.

Näiden seikkojen perusteella opinnäytetyön arvioidaan saavuttaneen sille asetetut tavoitteet suunnitellun aikataulun puitteissa. Jatkotoimenpiteenä voitaisiin ryhtyä käynnistämään kehitysprojektia, johon on hankittava osaamista sekä perehdyttävä tarkemmin työssä ehdotettujen laitteiden soveltuvuuteen testaamalla niitä. Projektin ideointiin ja suunnitteluun on syytä sisällyttää jäseniä tiimeistä, jotka ovat olleet kehittämässä muita LiDARiin ja koneoppimiseen pohjautuvia ratkaisuja.



## Lähteet

- 1 Konecranes in Brief. Verkkoaineisto. Konecranes. <<https://www.konecranes.com/about/konecranes-in-brief>>. Luettu 31.8.2022.
- 2 Industrial Cranes Equipment. Verkkoaineisto. Konecranes. <<https://www.konecranes.com/equipment>>. Luettu 25.10.2022.
- 3 Port Solutions Equipment. Verkkoaineisto. Konecranes. <<https://www.konecranes.com/port-solutions-equipment>>. Luettu 25.10.2022.
- 4 Konecranes RTG: from the creator of the modern RTG. 2021. Verkkoaineisto. Konecranes. <[https://www.konecranes.com/sites/default/files/2022-06/Konecranes%20RTG%20Typical%20Tech%20Spec%20EN\\_Final\\_EN.pdf](https://www.konecranes.com/sites/default/files/2022-06/Konecranes%20RTG%20Typical%20Tech%20Spec%20EN_Final_EN.pdf)>. Luettu 28.9.2022.
- 5 Liukko-Sipi Lauri. 2022. Lead Engineer, Port Cranes Technology Automation Engineering, Konecranes, Hyvinkää. Keskustelu 11.10.2022.
- 6 Cespedes, Michael. 2021. Anti-Truck Lift Testing. Konecranes. Testiraportti. 18.8.2021.
- 7 Talala, Marko. 2022. Manager, Tech Core Team Software And Interfaces, Konecranes, Hyvinkää. Keskustelu 5.10.2022.
- 8 Mannari, Ville. 2018. Truck Antilift Installation Instructions. Konecranes. 7.8.2018.
- 9 RTG E2E ANTILIFTING\_VAR. 2022. Lähdekoodi. Konecranes. Luettu 11.10.2022.
- 10 Operating Instructions LMS1xx Laser Measurement Sensors. Käyttöohje. Sick. <[https://cdn.sick.com/media/docs/1/31/331/Operating\\_instructions\\_LMS1xx\\_Laser\\_Measurement\\_Sensors\\_en\\_IM0031331.PDF](https://cdn.sick.com/media/docs/1/31/331/Operating_instructions_LMS1xx_Laser_Measurement_Sensors_en_IM0031331.PDF)>. 12.2.2019. Luettu 6.9.2022.
- 11 Carter ym. 2012. Lidar 101: An Introduction to Lidar Technology, Data, and Applications. Verkkoaineisto. <<https://coast.noaa.gov/data/digital-coast/pdf/lidar-101.pdf>>. Lokakuu 2012. Luettu 29.8.2022.
- 12 Ouster Studio User Guide. 2019. Verkkoaineisto. Ouster. <<https://data.ouster.io/ouster-studio/Ouster%20Studio%20User%20Guide.pdf>>. Kesäkuu 2019. Luettu 27.9.2022.

- 13 Griffiths, Jeff. 2020. Sensor Technology: 2D vs. 3D. Verkkoaineisto. RedZone Robotics. <<https://redzone.com/nr/sensor-technology-2d-vs-3d/>>. 1.12.2020. Luettu 6.9.2022.
- 14 Young, James. 2011. LiDAR for Dummies. Indianapolis: Wiley Publishing Inc.
- 15 Hecht, Jeff. 2019. Automotive Lidar: Safety questions raised about 1550 nm lidar. Verkkoaineisto. <<https://www.laserfocusworld.com/blogs/article/14040682/safety-questions-raised-about-1550-nm-lidar>>. 26.9.2019. Luettu 7.9.2022.
- 16 Pulsed Laser Diodes. 2018. Katalogi. <<https://www.lasercomponents.com/de-en/product/pulsed-laser-diodes-at-1550-nm/>>. 1.3.2018. Luettu 7.9.2022.
- 17 Wojtanowski ym. 2014. Comparison of 905 nm and 1550 nm semiconductor laser rangefinders' performance deterioration due to adverse environmental conditions. Optoelectronics Review 22(3). 29.6.2014, sivut 183-190.
- 18 A Guide to Lidar Wavelengths for Autonomous Vehicles and Driver Assistance. 2018. Verkkoaineisto. Velodyne Lidar. <<https://velodynelidar.com/blog/guide-to-lidar-wavelengths/>>. 6.11.2018. Luettu 29.8.2022.
- 19 Kudinov, Dmitry. 2020. Object extraction from Mobile LiDAR point clouds with Machine Learning. Verkkoaineisto. <<https://medium.com/geoai/object-extraction-from-mobile-lidar-point-clouds-with-machine-learning-cb15fcbb5597>>. Luettu 20.9.2022.
- 20 Ma ym. 2020. LiDARsim: Realistic LiDAR Simulation by Leveraging the Real World. Verkkoaineisto. <[https://openaccess.thecvf.com/content\\_CVPR\\_2020/papers/Manivasagam\\_LiDARsim\\_Realistic\\_LiDAR\\_Simulation\\_by\\_Leveraging\\_the\\_Real\\_World\\_CVPR\\_2020\\_paper.pdf](https://openaccess.thecvf.com/content_CVPR_2020/papers/Manivasagam_LiDARsim_Realistic_LiDAR_Simulation_by_Leveraging_the_Real_World_CVPR_2020_paper.pdf)>. Luettu 27.9.2022.
- 21 Beyrer ym. 2016. Machine Vision Automated Visual Inspection: Theory, Practice and Applications. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag.
- 22 Machine Vision Market. 2022. Fortune Business Insights. Verkkoaineisto. <<https://www.fortunebusinessinsights.com/machine-vision-market-105188>>. Tammikuu 2022. Luettu 14.9.2022.
- 23 Van, Bee. 2019. Ten (10) Basic Camera Components and their uses. Verkkoaineisto. <<https://medium.com/@bvan11556/ten-10-basic-camera->

- components-and-their-uses-4e7b3179831a>. 4.10.2019. Luettu 14.9.2022.
- 24 Hornberg, A. 2017. Handbook of Machine and Computer Vision: The Guide for Developers and Users. New Jersey: John Wiley & Sons.
  - 25 Vinni, Päivi. 2003. Kuva kertoo enemmän kuin tuhat sanaa – Mitä on fotogrammetria? Verkkoaineisto. <<https://sites.google.com/site/feaswindow/texts-and-maps/fotogrammetria>>. Luettu 14.9.2022.
  - 26 Nelson, Joseph. 2020. Why Image Preprocessing and Augmentation Matter. Verkkoaineisto. <<https://blog.roboflow.com/why-preprocess-augment/>>. 26.1.2020. Luettu 28.10.2022.
  - 27 Ahmed & Sultana. 2019. Lane Detection and Tracking under rainy weather challenges. Verkkoaineisto. <[https://www.researchgate.net/publication/355074344\\_Lane\\_Detection\\_and\\_Tracking\\_under\\_rainy\\_weather\\_challenges](https://www.researchgate.net/publication/355074344_Lane_Detection_and_Tracking_under_rainy_weather_challenges)>. 6.4.2019. Luettu 1.9.2022.
  - 28 Faugeras, Olivier. 2001. Three-Dimensional Computer Vision. Lontoo: The MIT Press.
  - 29 Ye, Jerome. 2022. Automation Engineer, Knowledge Center China, Konecranes, Shanghai. Sähköpostikeskustelu. 26.9.2022.
  - 30 Palonen, Eero. 2022. Automation Engineer, Port Cranes Technology, Konecranes, Hyvinkää. Keskustelu. 12.8.2022.
  - 31 Ouster OS2 Datasheet. 2022. Ouster. Datalehti. <<https://data.ouster.io/downloads/datasheets/datasheet-revd-v2p0-os2.pdf>>. 2.11.2021. Luettu 5.10.2022.
  - 32 OS2 Hardware User Manual. 2022. Ouster. Käyttöohje. <<https://data.ouster.io/downloads/hardware-user-manual/hardware-user-manual-revd-os2.pdf>>. 25.7.2022. Luettu 5.10.2022.
  - 33 Ouster Sensor SDK. 2022. Ouster. Verkkoaineisto. <<https://static.ouster.dev/sdk-docs/>>. 26.8.2022. Luettu 28.10.2022.
  - 34 20'/40' Combo Tandem Specifications. 2021. Direct Chassis Link Inc. Verkkoaineisto. <[https://dcli.com/wp-content/uploads/2021/04/20\\_40-Combo-Tandem-Detailed-Specs.pdf](https://dcli.com/wp-content/uploads/2021/04/20_40-Combo-Tandem-Detailed-Specs.pdf)>. Luettu 12.10.2022.
  - 35 Alpha Prime. 2021. Velodyne Lidar. Datalehti. Luettu 2.11.2022.

- 36 Innoviz360. 2022. Innoviz. Verkkoaineisto. <<https://innoviz.tech/innoviz360>>. Luettu 2.11.2022.
- 37 M8 Prime LiDAR Series. 2020. Quanergy. Datalehti. <<https://quanergy.com/wp-content/uploads/2020/11/Quanergy-M8Prime-Datasheet-QPN-96-00098-Rev-A.pdf>>. Luettu 9.11.2022.
- 38 IEC 60529. 2013. International Electrotechnical Commisison. 29.8.2013.
- 39 Jetson Modules. NVIDIA. Verkkoaineisto. <<https://developer.nvidia.com/embedded/jetson-modules>>. Luettu 11.10.2022.
- 40 Murphy, Robert. 2022. Accelerating AI with GPU | How It's Done and Why It Matters. Verkkoaineisto. <<https://www.weka.io/blog/ai-gpu/>>. 21.6.2022. Luettu 3.11.2022.
- 41 Deok-Hwan & Shan. 2020. Benchmarking Jetson Platform for 3D Point-Cloud and Hyper-Spectral Image Classification. Testiraportti. <[https://www.researchgate.net/publication/340812899\\_Benchmarking\\_Jetson\\_Platform\\_for\\_3D\\_Point-Cloud\\_and\\_Hyper-Spectral\\_Image\\_Classification](https://www.researchgate.net/publication/340812899_Benchmarking_Jetson_Platform_for_3D_Point-Cloud_and_Hyper-Spectral_Image_Classification)>. 22.2.2020. Luettu 11.10.2022.
- 42 BOXER-8251AI. AAEON. Tuote-esite. <<https://www.aaeon.com/en/p/nvidia-xavier-nx-embedded-box-pc-boxer-8251ai>>. Luettu 11.10.2022.
- 43 EPC-R7300. Advantech. Tuote-esite. <[https://www.advantech.com/en/products/880a61e5-3fed-41f3-bf53-8be2410c0f19/epc-r7300/mod\\_6b5e01f6-5307-47cf-820c-5159e57f4398](https://www.advantech.com/en/products/880a61e5-3fed-41f3-bf53-8be2410c0f19/epc-r7300/mod_6b5e01f6-5307-47cf-820c-5159e57f4398)>. Luettu 11.10.2022.
- 44 Rudi-NX Embedded System with NVIDIA® Jetson Xavier™ NX. Connect Tech. Tuote-esite. <<https://connecttech.com/product/rudi-nx-embedded-system-nvidia-jetson-xavier-nx/>>. Luettu 11.10.2022.
- 45 Container dimensions. Mr. Box. Verkkoaineisto. <<https://www.mrbox.co.uk/container-dimensions/>>. Luettu 9.9.2022.

## Truck Lift Prevention 2 -järjestelmän ohjelmakierto

