

Riku Karjalainen

LASERKEILAUKSEN HYÖDYNTÄMINEN 3D-SUUNNITTELUSSA

LASERKEILAUKSEN HYÖDYNTÄMINEN 3D-SUUNNITTELUSSA

Riku Karjalainen
Opinnäytetyö
Syksy 2022
Konetekniikan tutkinto-ohjelma
Oulun ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu
Konetekniikan tutkinto-ohjelma, koneautomaatio

Tekijä: Riku Karjalainen

Opinnäytetyön nimi: Laserkeilauksen hyödyntäminen 3D-suunnittelussa

Työn ohjaajat: Jari Viitala, Juha Tervakangas

Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: syksy 2022

Sivumäärä: 40

Opinnäytetyössä selvitettiin laserkeilauksen tarjoamia hyötyjä hoitotasojen 3D-suunnittelun avuksi. Keilauksesta saatavaa pistepilvidataa voidaan hyödyntää rakenteiden suunnittelussa, kunhan data on tarpeeksi tarkkaa eikä sisällä liikaa esimerkiksi ympäristöstä aiheutuvia häiriöitä. Tavoitteena oli selvittää, onko laserskannaus hyödyllinen menetelmä R-tason tarkoituksiin, sekä saada tietoa laitteistoista ja ohjelmistoista, jotka mahdollistaisivat pistepilvidatan keräämisen sekä sen saattamisen suunnittelussa hyödynnettävään tilaan. Laitteiston ja ohjelmiston tuli olla tarpeeksi helppokäyttöisiä, jottei niiden käyttöönotto hidastaisi tai vaikeuttaisi suunnittelijan työtä tarpeettomasti.

Työ toteutettiin kokonaisuudessaan syksyn 2022 aikana, jolloin kerättiin aluksi tietoa saatavilla olevista laitteista ja ohjelmistoista ja niiden ominaisuuksista, minkä jälkeen R-tason tarkoitukseen sopivia ratkaisuja testattiin. Testausten perusteella valittiin skannaukseen sopiva laitteisto sekä menetelmät, joita hyödynnettäisiin myöhemmin suunnittelun apuna.

Työn aikana todettiin pistepilven olevan käytännöllinen työkalu tasojen suunnittelun avuksi. Alkuperäisenä ideana oli myös pistepilvestä jalostettujen solidien käyttö suunnittelussa, mutta kolmiomallien luonnin haasteiden sekä niiden epätarkkuuden vuoksi ideasta luovuttiin tämän työn puitteissa.

Asiasanat: Laserskannaus, 3D-suunnittelu, 3D-mallinnus, hoitotasot

ABSTRACT

Oulu University of Applied Sciences
Mechanical Engineering, Machine Automation

Author: Riku Karjalainen
Title of thesis: Utilization of laser scanning in 3D Modeling
Supervisors: Jari Viitala, Juha Tervakangas
Term and year when the thesis was submitted: Autumn 2022
Number of pages: 40

The purpose of this Thesis was to find out advantages that laser scanning could provide in 3D modelling of maintenance platforms. The aim was to find out whether laser scanning would be helpful in daily tasks for R-taso. Equipment and software used to provide point clouds to the designers was to be as easy to use as possible, in a way that they would not slow down the work carried out compared to when the point clouds were not used.

Work for the Thesis was completed in whole during the autumn semester of 2022. From the beginning it was clear that point clouds would help the designers. During testing suitable equipment and software were found that would be used after the thesis was completed. Secondary aim of the thesis was to find out if there was a possibility to turn point clouds into solid models with little effort. During testing it was found that there was no automated option to create solid models from point clouds, which led to the decision to not add automated solid modelling as a part of the workflow for R-taso just yet.

Keywords: Laser Scanning, 3D Modelling, Maintenance Platforms

SISÄLLYS

| | | |
|-------|--|----|
| 1 | JOHDANTO | 7 |
| 2 | R-TASO | 8 |
| 3 | 3D-LASERKEILAUS | 9 |
| 3.1 | CMM..... | 9 |
| 3.2 | 3D-laserkeilainten tekniikat..... | 9 |
| 3.2.1 | Time of Flight | 9 |
| 3.2.2 | Phase shift | 10 |
| 3.2.3 | Triangulation | 10 |
| 3.2.4 | Structured light..... | 11 |
| 3.3 | Tekniikoiden vertailu..... | 11 |
| 4 | LAITTEISTO | 13 |
| 4.1 | Leica BLK360 G2 | 13 |
| 4.2 | Trimble X7 | 13 |
| 4.3 | Zeb Revo RT | 13 |
| 4.4 | Matterport Pro2 3D-kamera..... | 13 |
| 5 | SKANNAUSDATAN KÄSITTELY | 14 |
| 5.1 | Pistepilven esikäsittely | 14 |
| 5.2 | Mallin luominen pistepilvestä..... | 14 |
| 5.2.1 | Pistepilvi kolmiomalliksi..... | 14 |
| 5.2.2 | Pintamallit | 15 |
| 5.2.3 | Solidimallit..... | 15 |
| 6 | LAITTEISTON JA OHJELMISTON VALINTA | 16 |
| 7 | TESTAUS | 18 |
| 7.1 | Laitteisto..... | 20 |
| 7.1.1 | Matterport Pro2..... | 20 |
| 7.1.2 | Trimble X7..... | 24 |
| 7.1.3 | Leica BLK360..... | 26 |
| 7.1.4 | ZEB Revo..... | 29 |
| 7.2 | Ohjelmisto | 29 |
| 7.2.1 | Autodesk ReCap..... | 29 |
| 7.2.2 | CloudCompare..... | 31 |

| | | |
|-------|---------------------------|----|
| 7.2.3 | PointFuse..... | 32 |
| 7.2.4 | Navisworks..... | 33 |
| 8 | TULOKSET..... | 34 |
| 8.1 | Skannauksen suoritus..... | 34 |
| 8.2 | Ohjelmisto..... | 35 |
| 9 | YHTEENVETO..... | 38 |
| | LÄHTEET..... | 39 |

1 JOHDANTO

Opinnäytetyö on tehty R-tason toimeksiannosta teollisuuden hoitotasojen suunnittelun edistämiseksi. Raportin teoriaosassa käsitellään lasermittausta, siihen tarvittavaa laitteistoa sekä mitauksesta saatavan pistepilvidatan käsittelyä 3D-suunnittelussa hyödynnettävään muotoon. Työn tarkoituksena on selvittää, millainen laserkeilauslaitteisto sopisi R-tason käyttötarkoitukseen sekä miten keilauksesta saatavaa pistepilvidataa jalostettaisiin siten, että sen käyttö suunnittelussa olisi mahdollisimman sujuvaa. Tavoitteena on saada prosessista niin helppokäyttöinen ja sujuva, että kaikki R-tason suunnittelijat voisivat käyttää laserkeilausta apuna omassa työssään pienellä panostuksella.

Lasermittaus on nykypäivänä todella paljon käytetty menetelmä. Teollisuudessa sitä voidaan käyttää esimerkiksi käänteiseen suunnitteluun (reverse engineering) tai valmistettujen tuotteiden laadunvalvontaan. Pistepilvidatan muuttamiseen solidiksi 3D CAD-malliksi ei opinnäytetyön tekohetkellä ole täysin automaattisia ratkaisuja, ja prosessi vaatii lähes aina manuaalista työtä. Työn tekoaikana rajattiin työn tavoitteiden ulkopuolelle laitteen käyttöönotto sekä pistepilvistä tehdyt solidimallit muutoin kuin käsin mallintamalla.

2 R-TASO

R-taso Oy suunnittelee ja valmistaa kulkutieratkaisuja useille teollisuuden eri aloille ja asiakkaille ympäri maailman yli 30 vuoden kokemuksella. Yritys on ollut mukana laatimassa maailmanlaajuisia kulkutiestandardia ISO 14122. (1.)

Tuotteisiin kuuluvat esimerkiksi portaat, porrastornit ja hoitotasot. Tuotteet ovat modulaarisia ja ne ovat kustomoitavissa asiakkaan toiveiden ja tarpeiden mukaisesti. Asennus kohteisiin ei vaadi hitsaamista, vaan tuotteet kasataan käyttäen pulttiliitoksia. (2.)

3 3D-LASERKEILAUUS

3D-skannauslaitteet keräävät paikkatietodataa näkemistään kohteista. Tämä data tallennetaan pistepilvenä, jossa jokaisella pisteellä on X-, Y- ja Z-koordinaatti. Tarkan kuvan saamiseksi kohteesta tarvitaan skannauksia useista eri kohdista. 3D-laserskannaus syntyi tarpeesta mallintaa jo olemassa olevia kohteita ja esineitä. (3, s. 4.) 3D-skannereissa on tätä nykyä usein myös kameroita, jotta ympäristöstä saa pistepilven lisäksi 3D-kuvan.

Monimutkaisten kappaleiden kuvantamiseen oli kehitetty jo CMM- (Coordinate Measuring Machine) laitteita, jotka luovat pistepilven kosketuksen avulla. CMM-laitteiden jäykkyys ajoi kuitenkin kehittämään optisen mittauksen metodeja. (3, s. 9.)

3.1 CMM

CMM-laite tallentaa kappaleen koordinaattitiedot koskettamalla sen pintaa. Kappaleen mittausaika riippuu siitä, kuinka monimutkainen kappale on ja kuinka paljon mittoja siitä tarvitaan. Useimmiten CMM-laitteita käytetään mittojen ja toleranssien tarkastamiseen. Kappaleiden rekonstruktioon CMM-laitteet ovat hitaita, koska ne saavat paikkatiedon vain yhdestä pisteestä kerrallaan XYZ-koordinaatistossa. (3, s. 10.)

3.2 3D-laserkeilainten tekniikat

3D-laserkeilaimet jaetaan kolmeen eri luokkaan niiden käyttämien kuvantamistekniikoiden mukaan: Time of Flight -, Phase Shift - ja Triangulation -keilaimet (3, s. 16).

3.2.1 Time of Flight

Time of Flight -tekniikkaa käyttävät keilaimet lähettävät ja vastaanottavat valonsäteitä skannattavista kohteista. Laitteet laskevat etäisyyden kappaleeseen erittäin tarkasti tunnetun valonnopeuden avulla. Laitteesta lähetetään pulsseittain valonsäteitä, jokainen pulssi lähetetään ja vastaanotetaan yksitellen ja lasketaan sen matkaan mennyt aika. Laskukaava on esitetty kaavassa 1 (4).

$$d = \frac{c\Delta}{2}$$

KAAVA 1.

d = mitattu pituus

c = valonnopeus

Tämäntyyppisen laitteen tarkkuus riippuu siitä, kuinka tarkasti valon kulkemisaikaa voidaan mitata. (3, s. 16.) ToF -laitteita kutsutaan myös pulssiskannereiksi (5, s.6).

3.2.2 Phase shift

Phase Shift -keilaimet lähettävät jatkuvaa lasersädettä mitattavaan kohteeseen ja vastaanottavat sitä. Keilaimet lähettävät kahta eri aallonpituista lasersädettä kohteeseen ja vertaavat näiden vaihe-eroa, josta saadaan edelleen laskettua matka skannattavaan kohteeseen. Myös Phase Shift -laitteet luokitellaan Time of Flight -metodia käyttäviksi, erona mitatun ajan laskeminen, joka ei perustu valonnopeuden käyttämiseen. Vaihe-eron laskenta on esitetty kaavassa 2.

$$t = \frac{y}{2*\pi*f}$$

KAAVA 2.

t = Time of Flight (s)

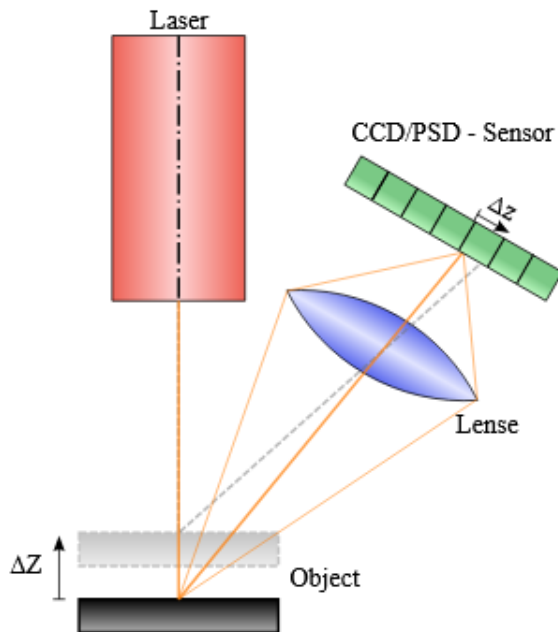
y = vaihe-ero (s)

f = vakiovalonsäteen frekvenssi

Metodi on nopeampi verrattuna valonnopeutta laskeviin keilaimiin, mutta mittaumatkat ovat lyhyempiä. Lisäksi mittaustuloksissa on paljon enemmän häiriötä verrattuna edelliseen. (3, s. 17.)

3.2.3 Triangulation

Triangulation (suom. kolmiointi) on tekniikka, jossa valoa lähettävä lähde on erillään sitä vastaanottavasta sensorista. Tekniikan nimi tulee laitteiden asettelusta: laserlähetin, kamera sekä heijastettu säde muodostavat ylhäältä katsottuna kolmion. Muodostuneen kolmion avulla voidaan laskea trigonometriaa käyttäen kohteen etäisyys. Kolmioinnin periaate on esitetty kuvassa 1. (3, s. 17–18.)



KUVA 1. Triangulation-metodin laitteisto ja periaate (6.)

3.2.4 Structured light

Structured light -laitteissa infrapunaprojektori heijastaa satunnaisen kuvion kuvannettavaan kohteeseen, jonka takaisinheijastuman infrapunakamera tallioi. Takaisinheijastuneista kuvista laite voi päätellä skannatun kohteen muodon esimerkiksi ristikorrelaation avulla. (7, s. 3.) Ristikorrelaatiolla tarkoitetaan esimerkiksi kahden datajoukon tai tässä tapauksessa kuvajoukon vertailua toisiinsa nähden (8).

3.3 Tekniikoiden vertailu

Time of Flight -laitteiden kantama on hyvin pitkä, jopa kilometrejä, joten ne sopivat suurten kappaleiden kuvantamiseen. Laitteita vaivaa kuitenkin epätarkkuus, koska valonnopeus on todella suuri. Tämän vuoksi valon matkaan kuluvan ajan laskenta tarkasti linssistä kohteeseen ja takaisin linssiin on erittäin vaikeaa. (3, s. 18–19.) Phase Shift -skannerit ovat ToF -laitteisiin verrattuna nopeampia ja tarkempia, mutta ne eivät voi kuvantaa kohteita kuin maksimissaan kahteen sataan metriin (5, s. 7). Triangulation-skannereiden kantama on vain muutamia metrejä, mutta tarkkuus on muutamia kymmeniä mikrometrejä (3, s. 19).

Tässä työssä käytetyt laitteet käyttävät skannaustekniikkana pääosin Time of Flightia, poikkeuksena Matterportin tuotteet, jotka toimivat Structured light -periaatteella.

4 LAITTEISTO

4.1 Leica BLK360 G2

Kuvaavan laserskannerin Leica BLK360:n toinen sukupolvi käyttää 3D -datan skannaukseen Time of Flight -teknologiasta Leican kehittämää WFD-teknologiaa (9). Laite yltää skannaamaan 45 metriin asti. Kuvaamiseen laite käyttää neljää 13 megapikselin HDR-kameraa. Tarkkuudeksi luvataan 6 mm:stä 50 mm:iin 10 m:iin asti riippuen asetetusta skannauksen resoluutiosta. Skannauksen etenemistä voidaan tarkastella mobiililaitteella. (10.)

4.2 Trimble X7

Trimble X7 3D -laserskanneri käyttää Time of Flight -teknologiaa. Laitteessa on kamerat, jotka tuottavat kuvannetuista kohteista HDR-kuvaa. Laitteen teknisessä esitteessä luvataan skannattujen 3D -pisteiden tarkkuudeksi 2,4 mm:stä 10 m:iin, 3,5 mm:stä 20 m:iin ja 6 mm:stä 40 m:iin. Laitteen skannausnopeus vaihtelee puolestatoista minuutista aina 15 minuuttiin riippuen kuvantamisasetuksista. Skannauksen helpottamiseksi laitteessa on myös automaattinen tasaustoiminto, jolloin käyttäjän ei tarvitse ennen käyttöä asettaa laitetta tasoon. (11.)

4.3 Zeb Revo RT

Zeb Revo RT on käsikäyttöinen 3D -skanneri, joka yltää kuvantamaan 30 m:iin asti. Laitteelle luvataan 3D-pisteiden tarkkuudeksi 6 mm käytettäessä kuvaamiseen valmistajan omaa sovellusta. Skanneriin on mahdollista liittää myös kamera, jonka avulla pistepilvistä saa värilliset. (12.)

4.4 Matterport Pro2 3D-kamera

Matterport Pro2 käyttää 3D-datan tuottamiseen kolmea Structured Light 3D-sensoria. Kuvamateriaalin se tuottaa kolmella HDR 4K-kameralla. Kameran käyttö tapahtuu mobiilisovelluksen kautta, jossa voi kuvauksen aikana esikatsella kuvattua aluetta pohjapiirustusta ja rajata kuvattua aluetta. Valmistajan esitteessä laitteen tarkkuuden luvataan olevan cm-luokkaa. (13.)

5 SKANNAUSDATAN KÄSITTELY

Pistepilvien käyttö sellaisenaan on mahdollista 3D -suunnittelun apuna. Pistepilvet on mahdollista muuntaa eri sovelluskehittäjien ohjelmistoissa solidimalleiksi.

5.1 Pistepilven esikäsittely

Osa kuvauslaitteista ei automaattisesti rekisteröi eli yhdistele skannattuja kohteita, joten datan yhdistely vaatii usein manuaalista työtä. Lähtökohtaisesti skannaus kannattaisi tehdä siten, että ainoastaan tarvittavat kohteet skannataan. Näin vähennetään huomattavasti jälkikäsittelyyn tarvittavaa aikaa. Laajalta alalta otettu pistepilvi on tiedostokooltaan hyvin suuri, jolloin käsittelyyn tarvitaan suurta prosessointitehoa. Suurien tiedostojen siirtely voi viedä paljon aikaa vähentäen työn tehokkuutta.

5.2 Mallin luominen pistepilvestä

5.2.1 Pistepilvi kolmiomalliksi

Pistepilvi voidaan edelleen muuntaa kolmiomalliksi, joka tarkoittaa erilaisten pintojen jäljittelyä pienten tasopintojen avulla (3, s. 24). Pisteiden määrä kuvannetussa mallissa vaikuttaa siihen, kuinka tarkka kolmiomallista tulee.

Kolmiomalli on paljon kevyempi käsitellä kuin miljoonia pisteitä sisältävä pistepilvi. Kuitenkin skannauksessa pistepilveen päässeet mahdolliset häiriöt tai epätarkkuudet siirtyvät myös kolmiomalleihin. Pistetiheyden alentuessa myös kolmiomallin tarkkuus alenee, jolloin luodut pinnat eivät ole kappaleen todellisten mittojen mukaisia.

Mallien rekonstruktioon käytetään useita metodeja, esimerkkinä paljon käytetty PSR (Poisson surface reconstruction) (14).

5.2.2 Pintamallit

Pistepilvistä voidaan muodostaa pintamalleja esimerkiksi käyttämällä NURBS-tekniikkaa. NURBS tarkoittaa useiden 2D-viivojen avulla luotua pintamallia (15). Kolmiomalliin verrattuna NURBS-tekniikan avulla luotuja malleja on paljon kevyempi käsitellä CAD-ohjelmistoissa (3, s.24).

5.2.3 Solidimallit

Pistepilvistä on mahdollista luoda solidimalleja, jotka ovat erittäin käytännöllisiä verrattuna vaikeasti muokattavaan kolmiomalliin. Ohjelmistotoimittajilla on erilaisia lähestymistapoja solidimallien luomiseen, jotkin ohjelmistot luovat NURBS-viivat, joiden avulla käyttäjä voi valmistaa mallin, jotkin luovat mallin puoliautomaattisesti, jolloin käyttäjä voi muokata vielä mallia tai osa luo mallin lähes automaattisesti jättäen sen kuitenkin muokattavaan muotoon. (3, s. 25).

6 LAITTEISTON JA OHJELMISTON VALINTA

Vaatimuksena laitteistolle oli helppokäyttöisyys sekä mahdollisimman nopea ja tarkka laserskannaus, lisäksi 360-kuvan saaminen kohteista katsottiin olevan tarpeellinen lisä suunnittelijan avuksi. Ohjelmistoilla skannatuista kohteista oli tarkoitus saada tarvittavat mitat suunnitteluun sekä mallintaa tarvittaessa ympäristöä suunnittelun avuksi.

Työn alkuvaiheessa ajateltiin ympäristöjen mallintamisen skannausten pohjalta olevan kohtuullisen suoraviivainen prosessi automaattisilla työkaluilla. Testauksen aikana kuitenkin selvisi, että mallintaminen pistepilvestä tarkasti on maksullisilla automaattityökaluillakin haastavaa sekä aikaa vievää, eivätkä tulokset ole välttämättä R-tason suunnittelun avuksi hyödyllisiä. Pistepilven ollessa tarkka ja kuvattu tasojen suunnittelua ajatellen, onnistuu suunnittelu myös ilman ympäristön mallintamista. Näin ollen valittavaksi jäi hankittava laitteisto sekä pistepilven käsittelyohjelmisto.

Laitteille Raahan pajalla tehdyn testauksen perusteella parhaat tulokset skannauksessa saatiin Trimblen X7:lla. Laitteiden testausten tuloksia käsitellään kappaleessa 7.

Tarjolla olisi ollut myös Trimblen käytetty TX8 sekä käsikäyttöinen ZEB Revo RT. TX8 ei rekisteröi skannauksia automaattisesti, vaan käyttäjän on tehtävä se käsin jälkikäteen, mikä lisäisi tarpeettomasti työmäärää. ZEB Revo RT ei ollut ominaisuuksiltaan eikä hinnaltaan kilpailukykyinen muiden laitteiden kanssa. Laitteiden ominaisuuksia on vertailtu taulukossa 1.

TAULUKKO 1. Skannauslaitteiden vertailu

| Vertailuarvot | Laittevaihtoehdot | | | |
|--|---------------------------|----------------------|---------------------------------|--|
| | Leica BLK360 G2 | Trimble X7 | Trimble TX8 (käytetty) | ZEB Revo RT |
| Skannausnopeus (pienin tarkkuus, 360-kuva) | 20s | 2:35 | 4:00 | Käveltäessä, riippuu ympäristön koosta |
| Kamera | Kyllä | Kyllä | Ei | Ei vakiona |
| Tarkkuus | 4mm@10m, 680 000 p/s | 2,4mm@10m | 6mm@10m, 1 milj. p/s | 43 000 p/s |
| Kantama | 45m | 80m | 120m | 15m |
| Suojausluokitus | IP54 | IP55 | IP54 | IP54 |
| Käytettävyys | Puoliautom. rekisteröinti | Autom. rekisteröinti | Ei automaattista rekisteröintiä | Autom. rekisteröinti |

Skannausten rajaukseen ja muokkaamiseen käytetään Autodeskin ReCapia, johon R-tasolta löytyi lisenssi jo valmiiksi. Mallinnuksessa käytetään yrityksellä valmiiksi käytössä olevaa Autodeskin Inventoria.

7 TESTAUS

Työssä testattiin skannauslaitteistoja sekä skannausdatan jälkikäsittelyyn tarkoitettuja ohjelmistoja. Skannausalueena käytettiin R-Tason Raahen pajan osaa, joka on nähtävissä kuvassa 2.



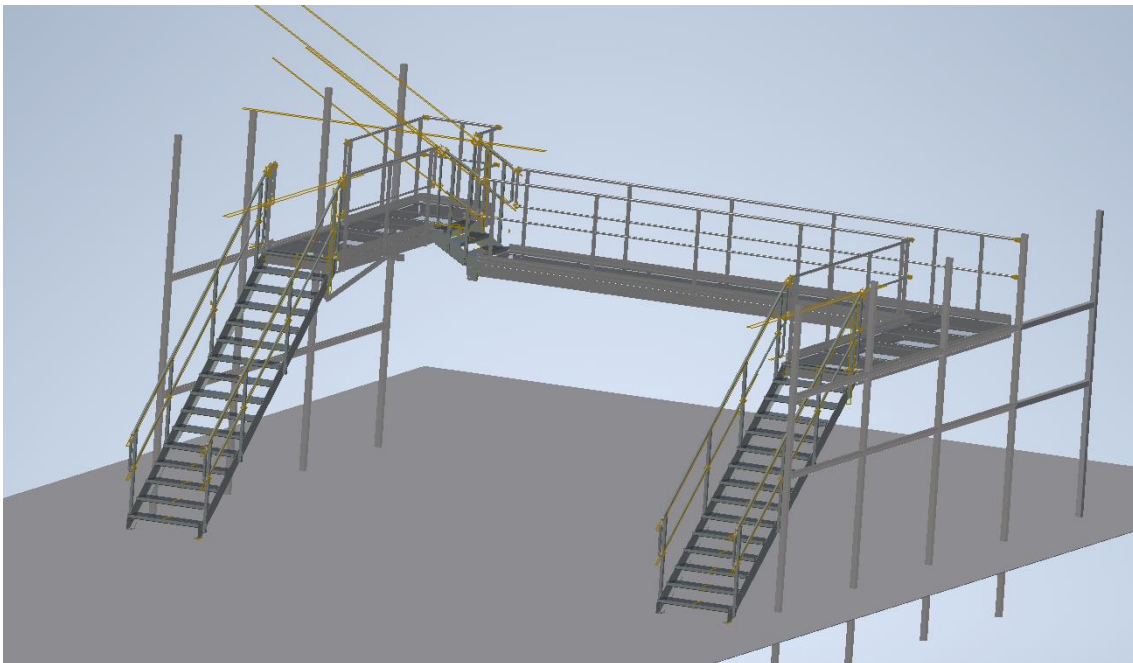
KUVA 2. Raahen paja

Testausvaiheen tarkoituksena oli selvittää toimeksiantajan käyttöön paras skannauslaitteisto ja ohjelmisto. Laitteiston ja ohjelmistojen saamiseksi paremmuusjärjestykseen suunniteltiin pajaan esimerkkitaso.

Esisuunnittelun aikana rajattiin työn ulkopuolelle pistepilvien muuntaminen solidimalleiksi, joten testausvaiheessa käsiteltiin suurimmaksi osaksi skannauslaitteita sekä skannausdatan rajaamiseen ja yhdistelyyn käytettäviä ohjelmistoja. Tästä huolimatta testausvaiheessa tutkittiin mahdollisimman paljon ohjelmistoja ja laitteita.

Suunnittelu- ja mittausmenetelmien vertailemiseksi suunniteltiin pajaan taso mittaamalla käsin tarvittavat mitat, luomalla pajan ympäristö Inventoriin ja suunnittelemalla taso ympäristöön. Ajan säästämiseksi tason suunnittelusta jätettiin pois sen kiinnitykset ympäristöön.

Käsin suunniteltua referenssitasoja varten pajasta käytiin ottamassa tarvittavat mitat rullamitalla ja laseretäisyysmittarilla. Tätä menetelmää käytetään R-tasolla tarvittavien mittojen saamiseksi sellaisista kohteista, joista ei ole saatavilla asiakkaan toimittamaa 3D-mallia tai pistepilveä. Taso suunniteltiin kahden hyllyn väliin. Tasoilta tuli olla pääsy molempien puolen hyllyjen kolmanteen hyllykerrokseen ja sen tuli sisältää tasojen välinen kävelysilta. Suunniteltu hoitotaso käsin otettujen mittojen pohjalta on nähtävissä kuvassa 3.



KUVA 3. Suunniteltu tasokokonaisuus

Oleellisia mittoja tason suunnittelua varten olivat hyllyvälien leveys, hyllyjen etäisyys toisistaan, niiden paikoitus sivuttaissuunnassa toisiinsa nähden ja hyllyjen korkeus lattiasta. Suunnittelun yksinkertaistamiseksi käytettiin esimerkissä todellisten hyllypalkkien sijasta 80x80 neliöputkipalkkeja.

Mittojen perusteella Inventoriin luotiin yksinkertaistettu malli hyllyistä, joiden avulla taso voitiin suunnitella. Tasoon tuli kaksi porrasta, kaksi tasoa hyllyjen viereen sekä taso hyllyjen välin kulkemiseen.

Hyllyjen viereisten tasojen korkeuseron vuoksi jouduttiin hyllyjä yhdistävälle tasolle asettamaan väliaskelma. Suunnittelun kannalta tarpeellisten mittojen saaminen käsin mitattaessa vei aikaa noin tunnin, ympäristön luominen Inventorilla mittojen pohjalta käsin noin kaksi tuntia.

Käsin otettujen mittojen todettiin olevan virheellisiä, kun niiden perusteella suunniteltua tasoa koettiin kopioida suoraan Trimble X7:lla skannattuun pistepilveen. Tasojen välinen silta oli noin 100 mm liian pitkä.

7.1 Laitteisto

Työssä laitteistoa saatiin testiin kohtuullisen lyhyeksi aikaa, ja pääosin laitteistojen testaukset tehtiin laitteistotoimittajien myyntiedustajien kanssa. Poikkeuksena tästä Matterport Pro2, jollainen Oulun ammattikorkeakoululta löytyi jo valmiiksi.

7.1.1 Matterport Pro2

Matterportin Pro2-laitteella kuvattiin R-tason Raahen yksikön pajatilasta yksi alue. Laitteisto on helppokäyttöinen ja kuvauksen aikana pohjapiirustusta voi katsella reaaliajassa kameraan yhdistetyltä mobiililaitteelta. Kuvattu alue ladataan Matterportin pilvipalveluun, jossa sitä voi katsella prosessoinnin jälkeen. 180 m² kokoisen alueen kuvaaminen kesti noin 30 minuuttia. Kameran yksi kuvausykli kestää noin 20 sekuntia, jolloin kuvausaika riippuu alueen koosta sekä siitä, kuinka tarkasti käyttäjä haluaa kuvata alueen. Matterportin kuvauspisteiden väliksi suositellaan yhdestä kahteen metriä.

Matterportin tilan katselussa voidaan kuvatuista kohteista ottaa mittoja, joita verrattiin Matterportin sovelluksessa otettuihin mittoihin rullamitalalla pajasta mitattuihin. Kuvissa 4 ja 5 on nähtävissä putkentaivuttajan mittausta sekä Prevu3D:llä että käsin.



KUVA 4. Putkentaivuttajan alaosan korkeusmitta Prevu3D:ssä



KUVA 5. Putkentaivuttajan alaosan korkeusmitta

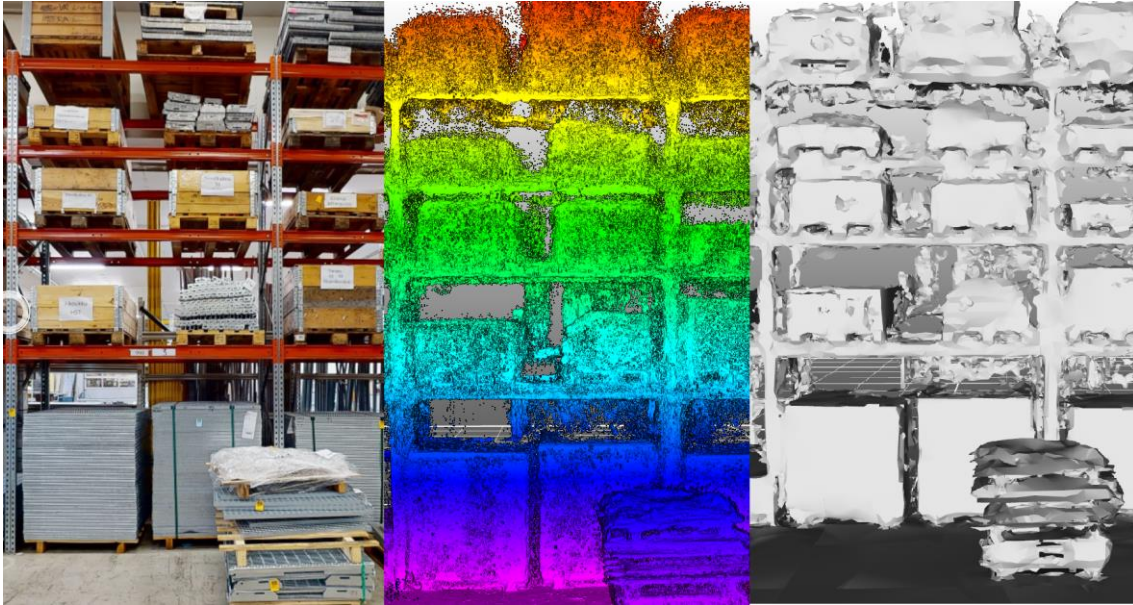
Matterportilla kuvattujen kohteiden mittaaminen osoittautui epäluotettavaksi katselusovelluksen kautta. Mittatyökalulla ei voi tarttua kohteiden reunoihin luotettavasti, eikä sovellus tarjoa erikseen eri koordinaattiakselien mittoja. Sovelluksesta saadut mitat poikkesivat jopa yli kymmenellä senttimetrillä kohteista rullamitalla mitatuista mitoista. Parhaimmassakin tapauksessa erot mittaustuloksissa olivat useita senttimetrejä. Tasojen suunnittelutyön avuksi mittojen varianssi on liian suuri.

TAULUKKO 2. Mittausten vertailu

| Yksikkö | [mm] | [mm] | [mm] |
|---------------------------|------------|-------|---------|
| Kohde | Matterport | Oikea | Prevu3D |
| Hyllypalkin leveys | 2320 | 2288 | 2284 |
| Putkentaivuttimen korkeus | 930 | 920 | 790 |
| Hyllyn korkeus | 1680 | 1665 | 1667 |
| Putken pituus | 2420 | 2390 | 2355 |
| Ritiläpinon korkeus | 1140 | 1004 | |
| Laatikon sivun leveys | 780 | 750 | 754 |

Taulukossa 2 on edellä mainittujen menetelmien lisäksi esitetty Prevu3D- palvelusta otettu mittoja, jonne Matterportilla kuvattu data ladattiin myös. Palvelu prosessoi Matterportin palvelusta ladatun e57-datan ja luo siitä oman tarkasteltavan mallin. Mittaustulokset vaikuttivat olevan tarkempia selaisissa kohteissa, joissa mitattavien kohteiden nurkkiin sai tartuttua ohjelmistolla (esimerkiksi kohdassa Hyllypalkin leveys). Ladattaessa e57-tiedostoa Matterportin sivuilta on mainittu, että tarkkuuteen vaikuttavat ympäristö, skannaustiheys ja käytetty laitteisto. Tämän lisäksi skannauksessa käytettyyn Pro2-kameraan maahantuoja lupaa senttimetrien tarkkuuden, lisäksi tarkkuuteen mainitaan vaikuttavan myös panoraamakuvien määrän. (10.)

E57-tiedosto tuotiin Prevu3D:n lisäksi PointFuseen, joka on pistepilvien jälkiprosessointiohjelmisto, jolla voidaan luoda kolmiomalleja ja niistä edelleen BIM (Building Information Modeling) -malleja. Kuvasta 6 nähdään, että koska Matterportin pistetiheys on harva ja täynnä häiriöitä, myös PointFusesta saatu kolmiomalli oli epätasainen, jolloin se ei sovi suunnittelun avuksi.



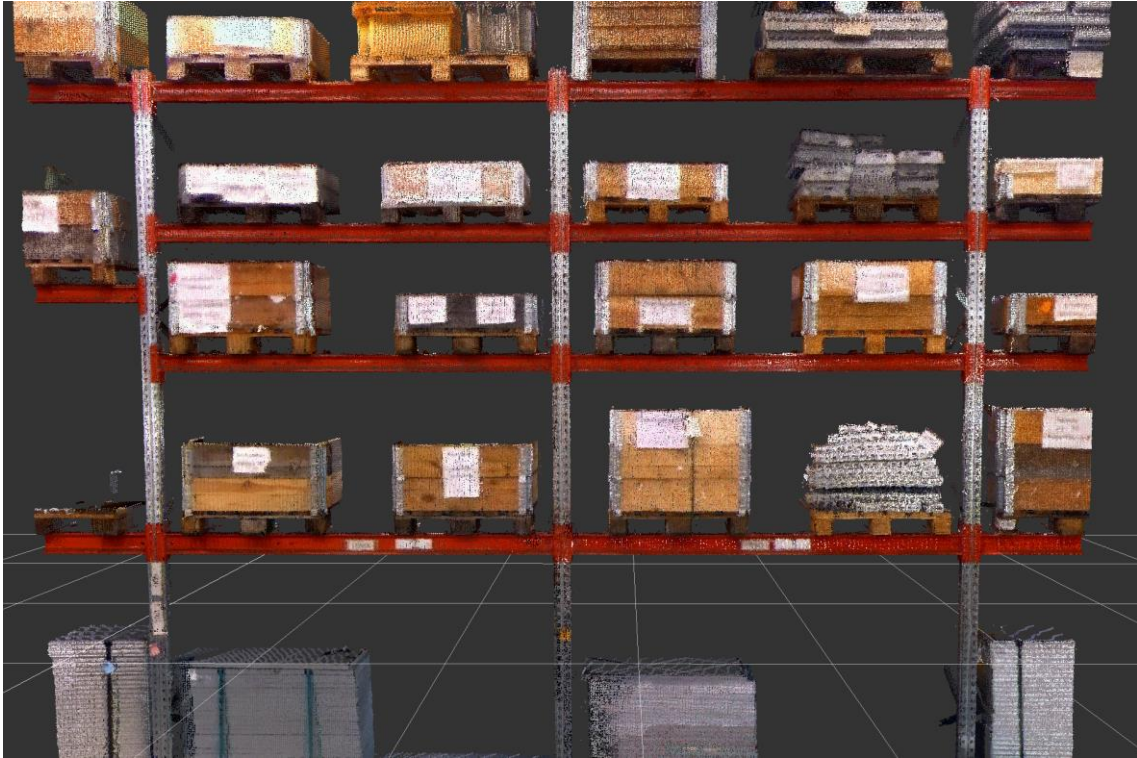
KUVA 6. Matterportin kuvien, pistepilvidatan ja kolmiomallin vertailua

7.1.2 Trimble X7

Trimblen laitteella pajan alueen keilaaminen kesti noin puoli tuntia myyntiedustajan samalla esitelmässä laitetta ja sen ominaisuuksia. Pajasta saatiin tason suunnittelun tarpeisiin tarpeeksi tarkka pistepilvi ottamalla keilaus neljästä eri kohdasta.

Laitteen käyttäminen on helppoa, keilausta varten luotiin oma projekti ja valittiin esiasetukset keilausta varten, valinnoista tärkein ollen keilauksen pituus, joka tässä tapauksessa asetettiin pienimpään asetukseen, 150 metriin. Käyttäjällä ei tarvitse keilauksen aloittamiseksi tehdä muuta kuin odottaa kameran kalibrointia, jonka jälkeen keilaus alkaa yhden napin avulla. Skanneri myös osaa tasata itsensä 10 asteen kaltevuuteen asti, minkä ylittäessä laite ilmoittaa olevansa vinossa eikä enää kuvaa ennen kuin se on tarpeeksi pystyssä.

Trimblen ohjelmisto rekisteröi skannaukset toisiinsa automaattisesti. Pistepilven pystyi tallentamaan jo valmiiksi Autodeskin ReCapin käyttämään rcp-muotoon, missä skannaus rajattiin niihin rakenteisiin, joita tarvittiin tason suunnittelua varten. X7:lla kuvattu pistepilvi oli hyvälaatuinen ja siinä ei esiintynyt paljoakaan häiriöitä verrattuna Matterportilla skannattuun dataan. Esiintyviä häiriöitä ei nähty tarpeelliseksi poistaa ReCapin avulla. Pistepilvi on nähtävissä kuvassa 7.



KUVA 7. Ote Trimble X7:lla skannatusta pistepilvestä

Tason suunnittelu onnistui jouhevasti pistepilven avulla. Verrattuna käsin mallinnukseen ympäristön mallinnukseen ei mennyt aikaa ollenkaan, pistepilven avulla voitiin aloittaa hoitotason mallinnuksesta. Mallinnettu hoitotaso on nähtävissä kuvassa 8.



KUVA 8. Pistepilven avulla mallinnettu hoitotaso

Inventorilla pistepilveen voi kiinnittää referenssipisteitä, joita voi käyttää aputasojen luomiseen mallinnuksen avuksi. Aputasoja käytettiin tässä työssä hyödyksi hoitotason rakenteiden sijoitteluun.

Pistepilveen mallinnettaessa ei tilasta luonnollisesti tarvita samalla tavalla mittatietoja verrattuna kokonaan käsin suunnitteluun, kuitenkin kriittiset, esimerkiksi kiinnitykseen liittyvät mitat olisi hyvä ottaa varmuuden vuoksi myös käsin, mikäli pistepilvidataa ei voida välittömästi tarkastella skannauksen jälkeen käsittelyohjelmistoilla. Pistepilvestä ei saanut kunnolla selville hyllypalkkien profiilia, joihin kiinnitykset olisi tämänkaltaisessa tasorakenteessa voitu tehdä, joten niiden mittaaminen käsin olisi ollut tarpeen. Tihentämällä skannauksia palkkien ympäriltä olisi mitat saatu niistäkin.

7.1.3 Leica BLK360

Laitteiden toimitusongelmien vuoksi Leicalta saatiin testiin ensimmäisen sukupolven BLK360. Laitteen ominaisuudet eivät laitetoimittajan mukaan eroa valtavasti verrattuna seuraajaansa muuten

kuin nopeuden osalta, joten sopivuuden testaamiseksi R-tasolle myös ensimmäisen sukupolven laite sopi hyvin.

BLK360:n tapauksessa kuvattiin pajasta tarvittavat alueet tasojen suunnittelua varten. Poikkeuksena muihin keilauksiin, myös hyllyjen pystypalkit skannattiin, minkä avulla voitaisiin palkkeihin suunnitella esimerkiksi kiinnikkeet. Laitteen käynnistäminen ei vaadi paljoa työtä, se käynnistetään ja yhdistetään mobiililaitteeseen skannausasetusten säätämiseksi. Skannattavan pistepilven tiheyttä, kuvan laatua ja sisäisen salaman käyttöä voidaan säätää ennen skannauksen alkamista. Skannausasetukset voi valita ennen jokaista skannausta, joten saman projektin sisällä voi olla eri laatuista pistepilviä sekä kuvadataa. Laite on pienikokoinen ja sen ei tarvitse olla jalustalla skannauksen aikana. Kahdeksan skannauksen ottamiseen aikaa kului noin tunti. Rekisteröinti Leicalla onnistuu puoliautomaattisesti, käyttäjä orientoi skannaukset oikein päin toisiinsa nähden mobiililaitteella skannauksen aikana tai tietokoneella skannauksen jälkeen ja liittävät ne käsin. Tämän jälkeen ohjelmisto yhdistää skannaukset toisiinsa.

Rekisteröidyn skannauksen voi tallentaa Leican Cyclone-ohjelmiston kautta suoraan rcp-muotoon, jolloin tiedosto voidaan aukaista ReCapissa. Cyclonessa on mahdollista myös muokata pois pistepilvestä esimerkiksi skannauksen aikana paljon liikkuneet kohteet, kuten ihmiset tai työkoneet. Ohjelmistoa ei päästy testaamaan tämän työn aikana.

Laitteella skannatussa pistepilvessä esiintyi paljon häiriöitä, etenkin palkin ympäriltä, josta otettiin useita skannauksia. Oletuksena skannausta tehdessä oli, että enemmän skannauksia tekisi pistepilvestä tarkemman, tässä tapauksessa lopputulos oli kuitenkin päinvastainen. Kuvissa 9 ja 10 on esitetty pajan molemman puolen hyllyt.



KUVA 9. Leican skannaamaa pistepilveä



KUVA 10. Toinen hyllypuolisko

Kuvassa 9 häiriötä on nähtävissä useissa eri kohdissa, niitä vaikutti syntyvän heijastuksena kapaleista sellaisiin paikkoihin, joihin skanneri ei ole yltänyt. Erityisen paljon häiriötä pistepilvessä on nähtävissä kuvassa 10, missä skannauksia on otettu erittäin tiheästi keskimmäisen palkin ympär-

riltä. Häiriöiden poistaminen on mahdollista esimerkiksi Autodeskin ReCapilla, mutta veisi tällaisessa tapauksessa huomattavan määrän aikaa. Kuvissa nähtävä häiriöiden määrä on huomattavan suuri verrattuna Trimblellä suoritettuun skannaukseen, jossa häiriöitä esiintyi hyvin vähän.

7.1.4 ZEB Revo

Paja skannattiin myös käsikäyttöisellä ZEB Revolla. Skannaus suoritettiin pidellen laitetta kädessä ja kävelemällä ympäri haluttua skannattavaa aluetta. Saadun pistepilvidatan todettiin olevan liian harvaa R-tason käyttötarkoituksiin, joten datan pohjalta ei suunniteltu hoitotasoa.

7.2 Ohjelmisto

Työssä testattiin pistepilvien käsittelyyn tarkoitettuja ohjelmia ja pistepilvien meshaukseen tarkoitettuja ohjelmia. Meshausta testattiin suunnittelijan työn helpottamiseksi sekä mahdollisten asennuskuvien luomiseen. Asennuskuvissa eikä suunnittelijan työssä ei meshatuista malleista kuitenkaan ole hyötyä niiden sisältäen tuhansia eri pintoja, jotka esimerkiksi asennuspiirustuksissa näkyisivät ylimääräisinä viivoina. Suunnittelua varten taas pinnat osoittavat niin moneen eri suuntaan, että tasojen sijoittelu ja mittojen saaminen ei helpotu verrattuna pistepilveen, päinvastoin muuttuu haasteellisemmaksi.

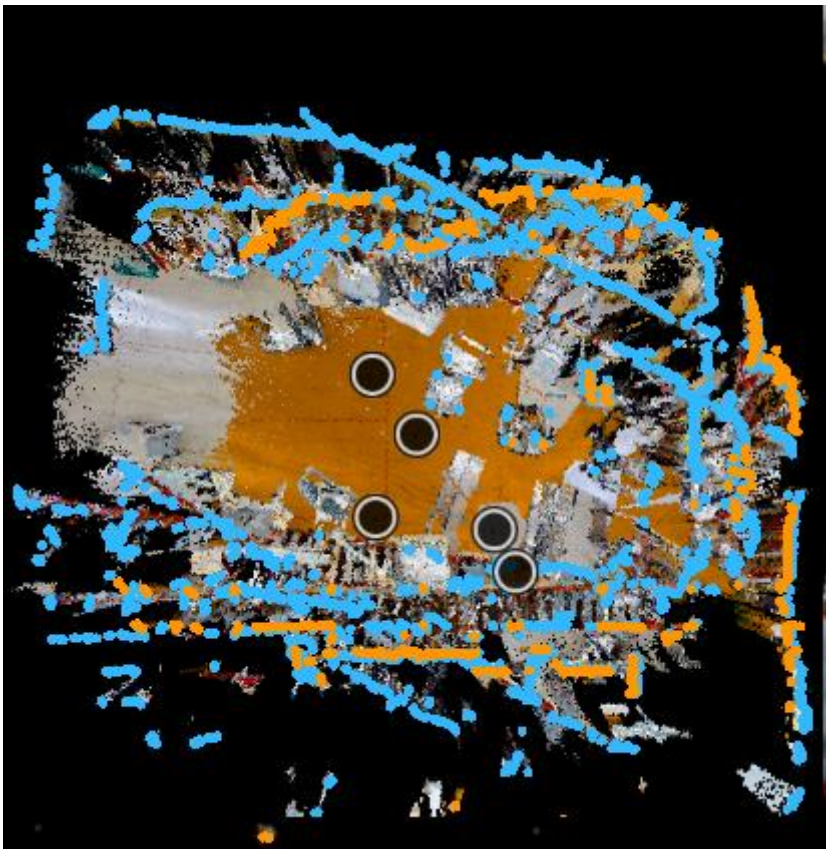
7.2.1 Autodesk ReCap

Autodeskin ReCap-ohjelmisto on tarkoitettu skannattujen pistepilvien prosessointiin. ReCapissa ei ole mallinnusominaisuuksia, ohjelmistolla voidaan esimerkiksi rekisteröidä skannausdataa, uudelleen sijoittaa origo, rajata sekä muuntaa skannatut pilvet tiedostomuotoon, jossa niitä voidaan edelleen käsitellä. Ohjelmisto sisältää useita mittaustyökaluja, esimerkiksi tasopintojen etäisyyden mittaustyökalun.

ReCapilla voidaan rekisteröidä skannattua pistepilvidataa yhdeksi tiedostoksi. Matterportin palvelusta ostettu E57-tiedosto vaati skannausten rekisteröinnin erikseen. 31 skannauksesta ReCapin automaattinen rekisteröinti yhdisti 4 skannausta, loput oli rekisteröitävä manuaalisesti. ReCapissa

on mahdollista suorittaa manuaalista yhdistystä kahdella tavalla; valitsemalla skannauksista yhteisiä tasoja tai valitsemalla skannauksista samoja kohdistustauluja. Kohdistustauluja ei käytetty tässä skannauksessa, joten käytössä oli yhteisten tasojen valinta.

Kuvassa 11 nähdään ReCapin automaattiyhdistysten tulos. Verrattaessa automaattista yhdistystä kuvan 12 Prevu3D-palvelusta otettuun pohjapiirustukseen, huomataan skannausten olevan viivossa toisiinsa nähden. Manuaalisella yhdistykselläkään ei saatu skannauksia suoraan toisiinsa nähden. ReCap vaatisi kohdistustauluja kuvausalueille, jotta skannaukset saisi luotettavasti yhdistettyä toisiinsa.



KUVA 11. ReCapin automaattitunnistus yhdistänyt 4 skannausta

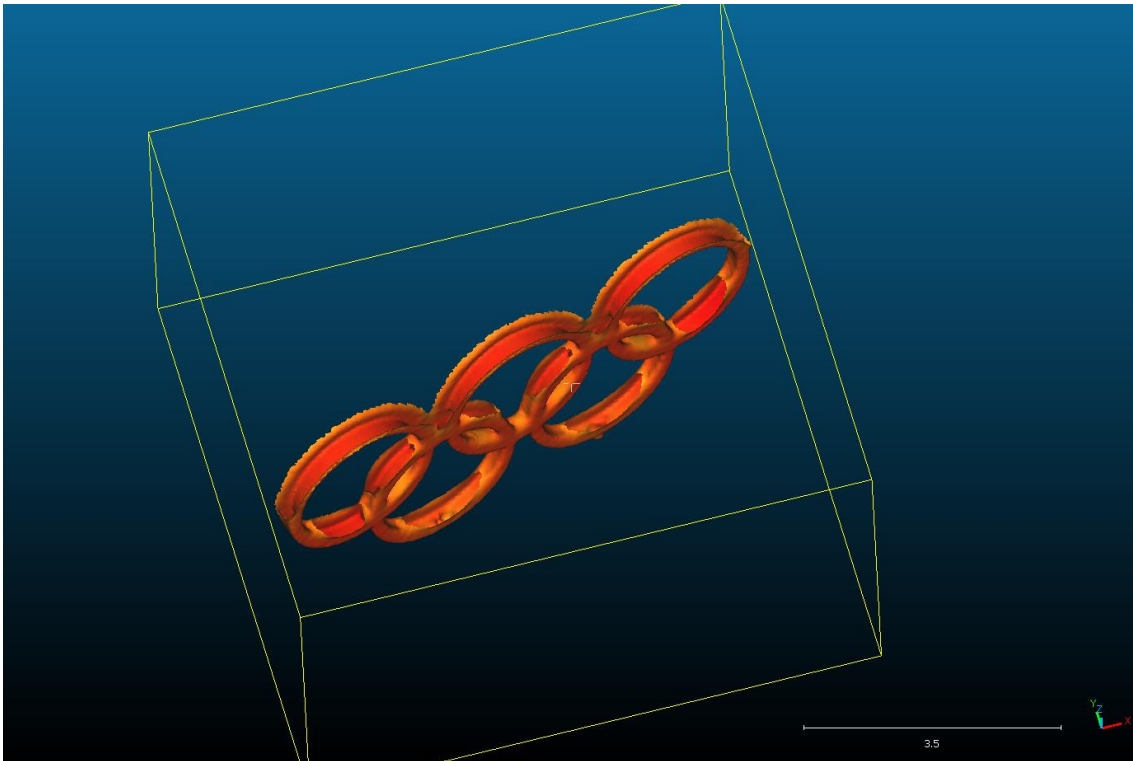


KUVA 12. Pajan pohjapiirustus

7.2.2 CloudCompare

CloudCompare on avoimen lähdekoodin pistepilvien jälkikäsittelyyn tarkoitettu sovellus. Alun perin sovellus on kehitetty vertailemaan 3D-pistepilviä. (16.) Pistepilvenä tässä esimerkissä käytettiin geoSlamin ZEB Horizonilla skannaamaa esimerkkiprojektia Olympic Rings (17.) Aluksi pistepilvi avataan CloudComparessa, jonka jälkeen siitä rajataan pois tarpeettomat pistepilven alueet.

Rajauksen jälkeen voidaan PoissonRecon- lisäosalla luoda pistepilvestä kolmiomalli. Kolmiomallista voidaan suodattaa heikkolaatuisimmat kohdat pois, jonka jälkeen malli on valmis tallennettavaksi haluttuun muotoon. Kolmiomalli on nähtävissä kuvassa 13.



KUVA 13. Luotu kolmiomalli

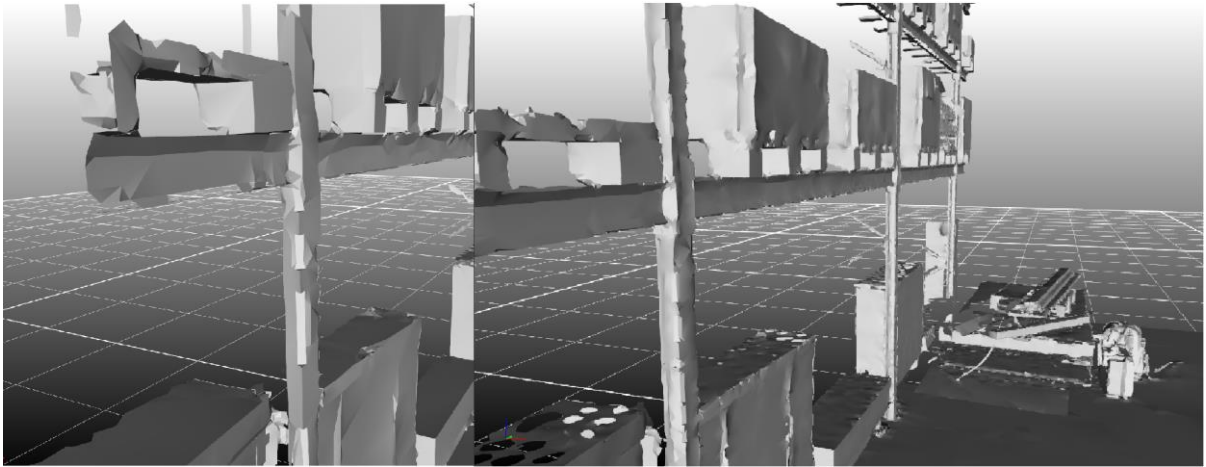
Pistepilvidatan ollen puutteellista ylhäältä otettujen keilausten puuttuessa, jää kolmiomalliinkin aukkoja renkaiden yläpintoihin. Tässä tapauksessa solid-mallin luominen on vaikeaa, koska jo kolmiomallin jälkikäsitteily reikien täyttämiseksi on haastavaa niin, että renkaiden alkuperäiset muodot saataisiin luotua. Suodatettaessa mallia edelleen, alkoi siitä katoamaan jo alhaaltakin pintoja, mikä kertoo harvasta pistepilvestä. On otettava huomioon, että tässä mallissa skannaus on tehty laajalta alueelta lyhyessä ajassa eikä renkaiden pistetiheyteen ole kiinnitetty paljoakaan huomiota. Käyttämällä enemmän aikaa renkaiden kuvaukseen olisi renkaiden pistetiheys suurempi.

CloudComparen kolmiomallit skaalautuivat tuntemattomasta syystä hyvin pieniksi tallennettaessa, useiden metrien malleista tuli vain millimetrien mittaisia. Näin ollen CloudComparen katsottiin olevan epäsopiva tämän työn käyttötarkoitukseen.

7.2.3 PointFuse

PointFusea käytetään pistepilvien muuttamiseen 3D-malleiksi. Ohjelmalla luotiin Trimble X7:lla skannatusta pistepilven osasta mesh-malli. Mesh-mallista huomattiin, että vaikka pistepilvi oli

tarkka, syntyi meshattuun malliin paljon epätasaisia pintoja. Kuvassa 14 nähdään vertailu PointFusen medium ja high-asetuksilla luodusta meshistä.



KUVA 14. PointFusen mesh-mallit. Vasemmalla medium, oikealla high

High-asetuksella malliin näytti syntyvän mediumiin verrattuna enemmän reikiä, mikä luultavimmin johtui reikien kohdalla olevista harvoista kohdista pistepilvessä.

7.2.4 Navisworks

Suunnitellut tasokokonaisuudet pistepilvineen voidaan Inventorista tuoda Autodeskin Navisworksiin. Navisworks on tarkoitettu BIM-mallinnukseen ja rakennussuunnitteluun. Navisworksin katseluversio on ilmainen, lisäksi ohjelmisto on teollisuudessa laajasti käytössä. Näin ollen valmis suunnitelma voidaan lähettää Navisworksin avulla asiakkaalle, jolloin se on helposti tarkasteltavissa. Pistepilven ollessa myös tasojen mukana sijoiteltuna oikein, parantaa se havainnollistavuutta asiakkaalle.

8 TULOKSET

Työn tulosten perusteella R-tasolla on päätetty harkita sijoittamista skannauslaitteistoon. Todettiin, että laserskannaus on todella tehokas apuväline suunnittelijalle sellaisiin kohteisiin, joista ei ole olemassa valmiita 3D-mallia. Kohteiden käsin mittaaminen etenkin vaikeakulkuisista kohteista on haasteellista, eivätkä mittausrvirheet ole harvinaisia. Lisäksi käsin tehtyjen mittausten dokumentointi vaihtelee jokaisen suunnittelijan välillä, jolloin töiden siirtäminen toiselle suunnittelijalle esimerkiksi alkuperäisen suunnittelijan poissa ollessa on haastavaa. Työkohteeseen tullessaan suunnittelijan on usein mietittävä jo valmiiksi ratkaisua, jonka kohteeseen voisi tehdä ja ottaa mitat ratkaisun perusteella. Mikäli alun perin suunniteltu ratkaisu ei toimikaan, voi olla haasteellista ilman uutta mittausta tehdä toisenlaista ratkaisua kohteeseen. Pistepilven kanssa tällaista ongelmaa ei ole, suunnittelijalla on tietenkin mahdollisuus miettiä jo paikalle saapuessaan mahdollista ratkaisua, mutta pistepilven avulla voidaan tasoa suunnitellessa tehdä kohteeseen useita erilaisia sopivia ratkaisuja ja ehdottaa niistä asiakkaalle sopivinta.

Työn aikana tehdyn testauksen perusteella paras laite oli Trimble X7. Sen pistepilvi oli erittäin terävä sisältäen vähän häiriöitä. Skannauksen suoritus oli vaivatonta etenkin automaattisen rekisteröinnin ansiosta. Seuraavissa kappaleissa esitellään työtavat, jotka todettiin tämän työn aikana hyväiksi.

8.1 Skannauksen suoritus

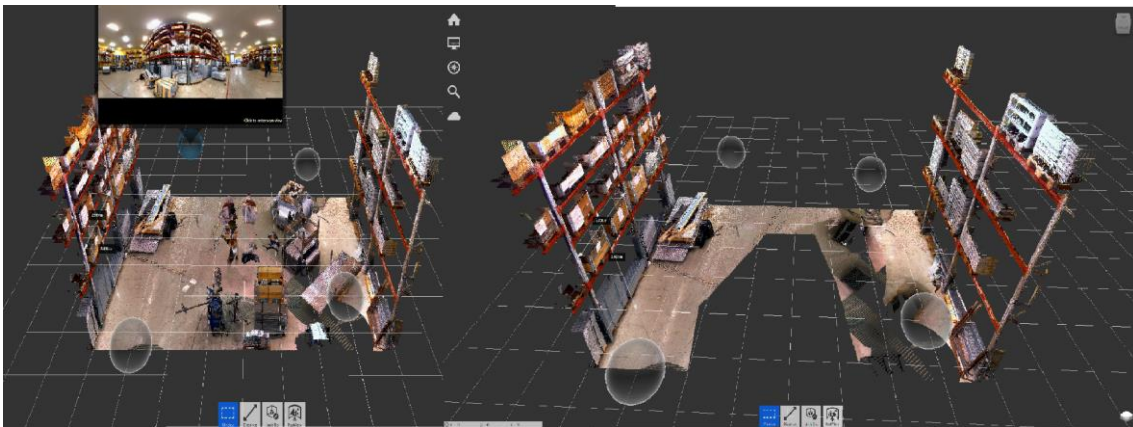
Skannaustyö vaatii suunnittelua: skannaajan on valmiiksi tiedettävä, mitä kohteita skannataan ja suunniteltava skannauspisteet niin, että informaatiota saataisiin tallennettua tason suunnittelua varten tarpeeksi. Skannauksia ei luonnollisesti voi ottaa liikaa, mutta skannauspisteiden lisääntyessä kasvaa myös skannaukseen käytetty aika sekä pistepilven tiedostokoko. Hyvänä sääntönä skannauksen suunnitteluun voidaan pitää suunnitellusta skannauspisteestä kohteen silmämääräistä tarkastelua: sen, mitä skannaaja ei näe omin silmin, ei näe myöskään skanneri.

Skannauspisteiden suunnittelun lisäksi on otettava huomioon ympäristön olosuhteet: esimerkiksi pöly, lika ja liike vaikuttavat olennaisesti tulokseen. Teollisuuslaitoksissa esiintyy usein myös tärinää, joka vaikuttaa erittäin negatiivisesti skannauksen tarkkuuteen. Skannaus olisi hyvä suorittaa

ajankohtana, jolloin kohteessa tapahtuu mahdollisimman vähän, esimerkiksi henkilöstön taukojen aikana.

8.2 Ohjelmisto

Skannauksen jälkeen pistepilvi voidaan rajata Autodeskin ReCapissa. Rajausta on mahdollista tehdä skannatun alueen sivuja siirtämällä, rajaamalla alue käsin tai asettamalla taso-ominaisuus kolmen yhteisen pisteen kautta, jonka avulla tilasta on mahdollista poistaa esimerkiksi kokonainen seinä. Rajaustoiminnot ovat hyödyllisiä skannauksessa mahdollisesti syntyneiden häiriöiden tai suunnittelussa tarpeettomien piirteiden poistamiseen. Esimerkkejä rajauksista on nähtävissä kuvassa 15.



KUVA 15. Rajaustyökalujen käyttöä

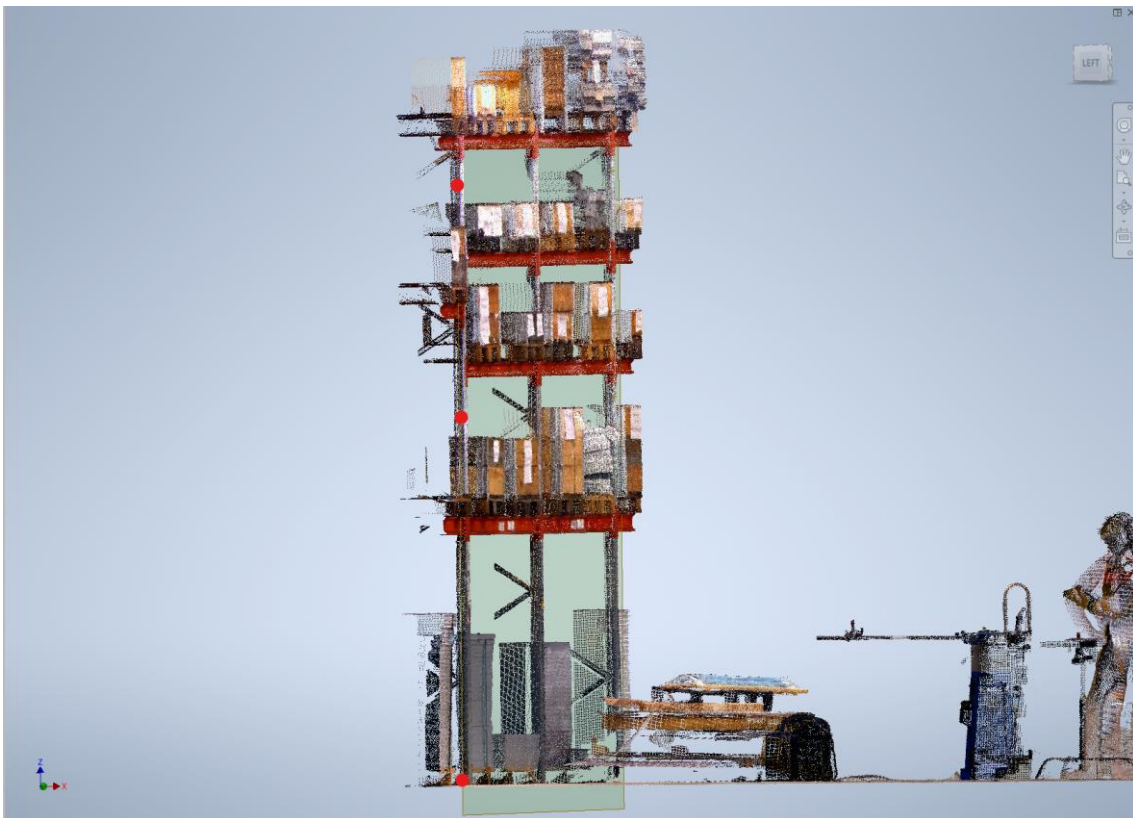
Suunnittelun kannalta on hyödyllistä myös varmistaa skannauksen origon eli nollapisteen sijainti ennen kuin pistepilvi siirretään suunnitteluohjelmistoon. ReCapissa on mahdollista siirtää origo haluttuun kohtaan ja orientoida akselit haluttuihin suuntiin.

Mittaustyökaluja käytettäessä kannattaa mitat ottaa sellaisista pinnoista, joissa on tarpeeksi pisteitä. Häiriörikkaasta tai harvasta pistepilven kohdasta otettaessa ei mittaa voi välttämättä pitää luotettavana. ReCapin mittaustyökaluista erityisen hyödylliseksi voi osoittautua tasopintojen etäisyyden mittaukseen tarkoitettu työkalu tai orthomode -työkalu, jonka avulla mittauksen saa lukittua joihinkin projektin kolmeen pääkoordinaattiakseliin. Ohjelmiston pipe snap -toimintoa ei päässyt kunnolla testaamaan pajasta otetuista pistepilvistä.

Rajausten ja origon paikalleen asettamisen jälkeen on projekti exportattava, jotta tiedoston muutokset jäävät voimaan. Exporttauksen jälkeen tiedosto on valmis tuotavaksi Inventoriin.

Ennen pistepilven tuomista Vault-projektiin on varmistuttava, että projektin Environment on aktiivisena. Tämän jälkeen pistepilvi voidaan tuoda Attach-toiminnolla, jonka yhteydessä voidaan valita pistepilven sijoittelu ja sen orientaatio. Origin ollessa jo valmiiksi sijoitettu haluttuun kohtaan Re-Capissa, voidaan pistepilvi vain sijoittaa Inventor-projektin origoon.

Inventorissa on mahdollista sijoittaa pistepilveen apupisteitä sekä -tasoja suoraan käyttämällä referenssinä pistepilven pisteitä. Tarkkuuden säilyttämiseksi olisi parasta käyttää tasojen luomiseen referenssinä vain pistepilven käyttäjän itse sijoittamia apupisteitä ja projektin origoon nähden sijoitettuja tasoja. Pistepilveen suoraan sijoitettujen tasojen orientaatiota on vaikea hallita, taso ottaa referenssiksi ainoastaan yhden pisteen pistepilvestä ja asettuu sen mukaan. Käytettäessä projektin omia tasoja referenssinä on huomattava, että tasot eivät välttämättä ole linjassa pistepilvessä näennäisesti esimerkiksi pystysuorassa oleviin objekteihin. Rakenteen ollessa selvästi vinossa voidaan siihen sijoittaa referenssipisteitä esimerkiksi kuvan 16 mukaisesti:



KUVA 16. Tason referenssipisteet merkitty kuvaan punaisin pistein

Referenssipisteitä asetellessa on otettava huomioon mahdolliset skannauksen häiriöt: referenssipistettä ei ole suotavaa kiinnittää esimerkiksi palkin ulkopinnassa muusta pinnasta selvästi erossa olevaan yksittäiseen pisteeseen: kyseessä on usein virhe skannauksessa, näin ollen piste tulee väärään kohtaan verrattuna palkin todelliseen sijaintiin ympäristössä. Väärin sijoitetut pisteet voivat aiheuttaa huomattavia virheitä suunnittelussa, jos niitä mahtuu yhteen projektiin useita kerrallaan. Pistepilven avulla voidaan kuitenkin helposti tarkastella suunniteltujen rakenteiden sopivuutta ympäristöön, joten suuria heittoja todelliseen ympäristöön verrattuna ei tarkkaavaisuutta noudattaessa pitäisi tulla.

9 YHTEENVETO

Työssä tutkittiin mahdollisuuksia laserskannauksen käyttämiseen 3D-suunnittelun apuna. Työn alusta asti oli selvää, että R-tason tarkoituksiin laserskannaus olisi hyödyllinen menetelmä, yrityksessä oli jo aiemmin hyödynnetty pistepilviä suunnittelussa. Tarkoituksena oli selvittää, millaista laitteistoa on tarjolla skannaukseen sekä millainen prosessi skannaus on siihen asti, että suunnittelijalla on käytössään skannatusta kohteesta pistepilvi. Tämä tarkoitti myös pistepilvien prosessointiin käytettävien ohjelmistojen tutkimista.

Toiveena oli myös pistepilvien muuttaminen solid-muotoon, jolloin malleja voisi käyttää suoraan asiakkaalle toimitettavissa suunnitelmissa sekä asentajille toimitettavissa asennuskuvissa. Työn aikana kuitenkin selvisi, että täysin automatisoitua tekniikkaa pistepilvien solidiksi muuttamiseen ei ole, vaan prosessiin tarvitaan aina manuaalista työtä. Testausvaiheessa esimerkiksi PointFusesta saadut kolmiomallit sisälsivät liian paljon häiriöitä suunnittelun apuna käytettäväksi. Tuloksena R-tasolla jatketaan tarvittavien solidien mallinnusta käsin asennuskuviin, ja asiakkaille voidaan toimittaa suunnitelmat esimerkiksi skannauksesta saatujen pistepilvien kanssa. Mallinnusratkaisuja pistepilvistä tullaan tutkimaan R-tasolla vastaisuudessakin, jos nähdään, että menetelmät sopisivat sillä hetkellä suunnittelijan työhön jouhevammin.

Työn tuloksiin olen pääosin tyytyväinen, selvityksen perusteella päädyttiin harkitsemaan skannauslaitteiston hankintaa. Ennen työtä ajattelin, että pistepilvien muuntaminen solidiksi kävisi helpommin ja että työhön olisi automaattisia ratkaisuja, joiden tulokset olisivat olleet hyvälaatuisia. Kävi kuitenkin ilmi, että ainakin mesh-mallit olivat ainakin tässä työssä testatuilla työtavoilla ja ohjelmistoilla huonolaatuisia suunnittelun näkökulmasta.

LÄHTEET

1. R-taso Oy 2022. R-taso – Turvallisuuden intohimoinen asiantuntija. Yrityksen internet-sivusto. Hakupäivä 30.11.2022. <https://r-taso.fi/yritys/>.
2. R-taso Oy 2022. Turvalliset kulkutieratkaisut R-tason tuotteilla. Yrityksen internet-sivusto. Hakupäivä 30.11.2022. <https://r-taso.fi/tuotteet/>.
3. Ebrahim, Mostafa 2014. 3D Laser Scanners: History, Applications and Future. Artikkel. Assiut University, Civil Engineering Department. Hakupäivä 21.11.2022. https://www.researchgate.net/profile/Mostafa-Ebrahim-3/publication/267037683_3D_LASER_SCANNERS_HISTORY_APPLICATIONS_AND_FUTURE/links/5442bdf10cf2e6f0c0f93727/3D-LASER-SCANNERS-HISTORY-APPLICATIONS-AND-FUTURE.pdf.
4. Analog Devices, Inc 2022. 3D Imaging with ADI Time of Flight Technology. Hakupäivä 21.11.2022. <https://www.analog.com/en/applications/technology/3d-time-of-flight.html>.
5. Feng, Quanhong 2012. Practical Application of 3D Laser Scanning Techniques to underground Projects, Phase 2-3. Raportti. Tukholma: Rock Engineering Research Foundation. Hakupäivä: 21.11.2022. https://www.befoonline.org/UserFiles/Archive/250/Raport_114_NY_G5.pdf.
6. Abdelhafiz, Ahmed 2009. Integrating Digital Photogrammetry and Terrestrial Laser Scanning. Opinnäytetyö. Egypti: Assiut University. Hakupäivä 21.11.2022. https://www.researchgate.net/figure/Triangulation-scanning-method_fig4_278157315.
7. Wang, Jianfeng & Zhang, Cha & Zhu, Wenwu & Zhang, Zhengyou & Xiong, Zixiang & Chou, Philip A. 3D Scene Reconstruction by Multiple Structured-Light Based Commodity Depth Cameras. University of Science and Technology of China & Microsoft Research & Texas A&M University. 2012. Hakupäivä 21.11.2022. https://www.researchgate.net/publication/261091560_3D_scene_reconstruction_by_multiple_structured-light_based_commodity_depth_cameras/download.
8. Hayes, Adam 2021. What Is Cross-Correlation? Definition, How It's Used, and Example. Artikkel. Investopedia. Hakupäivä 21.11.2021. <https://www.investopedia.com/terms/c/crosscorrelation.asp>.
9. Maar, Hannes & Zogg, Hans-Martin 2021. White Paper: Wave Form Digitizer Technology (WFD). Heerbrugg, Sveitsi: Leica Geosystems AG. Hakupäivä 21.11.2022. Saatavissa: [White Paper: Wave Form Digitizer Technology \(WFD\) | Leica Geosystems \(leica-geosystems.com\)](https://www.leica-geosystems.com/White-Paper-Wave-Form-Digitizer-Technology-WFD)

10. Leica Geosystems AG 2022. Leica BLK 360 Imaging Laser Scanner. Hakupäivä 21.11.2021. Saatavissa: [Leica BLK360 Imaging Laser Scanner | Leica Geosystems \(leica-geosystems.com\)](https://www.leica-geosystems.com)
11. Trimble Inc 2020. Datasheet: Trimble X7, 3D Laser Scanning System. Hakupäivä 21.11.2022. <https://geospatial.trimble.com/sites/geospatial.trimble.com/files/2020-10/Datasheet%20-%20Trimble%20X7%20-%20English%20%28US%29%20-%20Screen.pdf>.
12. GeoSlam 2022. ZEB Revo RT. Tuote-esittely. Hakupäivä 21.11.2022. <https://geoslam.com/solutions/zeb-revo-rt/>.
13. Geotrim 2022. Matterport Pro2 3D-kamera. Hakupäivä 21.11.2022. <https://3d-malli.fi/matterport-pro2-3d-kamera/>.
14. Han, Jiali & Shen, Shuhan 2019. Scalable point cloud meshing for image-based large-scale 3D modeling. Peking, Kiina: National Laboratory of Pattern Recognition, Institute of Automation, Chinese Academy of Sciences & University of Chinese Academy of Sciences. Hakupäivä 21.11.2022. Saatavissa: [https://www.researchgate.net/publication/335027391 Scalable point cloud meshing for image-based large-scale 3D modeling](https://www.researchgate.net/publication/335027391_Scalable_point_cloud_meshing_for_image-based_large-scale_3D_modeling)
15. McNeel, Robert & Associates 2022. What are NURBS? Hakupäivä 21.11.2022. Saatavissa: <https://www.rhino3d.com/features/nurbs/>.
16. CloudCompare 2022. 3D Point Cloud and Mesh Processing Software. Hakupäivä 21.11.2022. <https://www.cloudcompare.org/>.
17. GeoSlam 2022. ZEB Revo-käsiskannerilla kuvattu pistepilvi, esimerkkiprojekti. Hakupäivä 21.11.2022. <https://samples.geoslam.com/Potree/OlympicRings/OlympicRings.html>.