



Triin Bürkland

Laserkeilauksen hyödyntäminen korjausrakentamisessa

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Maanmittaustekniikka

Insinöörityö

18.4.2022

Tiivistelmä

Tekijä:	Triin Bürkland
Otsikko:	Laserkeilauksen hyödyntäminen korjausrakentamisessa
Sivumäärä:	55 sivua
Aika:	18.4.2022
Tutkinto:	insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma:	maanmittaustekniikka
Ohjaajat:	lehtori Ilkka Partonen

Tämän insinöörityön tavoitteena oli selvittää laserkeilauksen hyötyjä rakennusten korjausrakentamisessa.

Aineisto työhön kerättiin kirjallisuudesta, verkkoaineistosta, laitteiden teknisten tietojen esitteistä sekä haastattelusta. Työskentelen maanmittausalan yrityksessä, jossa teen laserkeilausmittauksia korjausrakennettavista kohteista, sekä rekisteröin ja työstän laserkeilattuja aineistoja. Insinöörityössäni käytettiin esimerkkejä työssäni tehdyistä mittausprojekteista ja haastateltiin työnantajaani.

Insinöörityössä käsiteltiin korjausrakentamista, laserkeilausta, pistepilveä ja keilaustyön eri vaiheita. Erityisesti perehdyttiin Leica Geosystems -kalustoon ja -ohjelmistoon.

Työstä ilmeni, että laserkeilaus on erittäin tehokas mittauskeino, jolla saadaan monipuolista tietoa rakenteiden kaikista osista. Verrattuna perinteisiin menetelmiin laserkeilauksen etuja ovat kattava ja runsas havaintoaineisto ja nopea mittaustapahtuma. Laserkeilain kerää tehokkaasti tietoa kaikista rakenteista, jotka jäävät keilaussektorin sisään. Rakennuksissa tällaisia rakenteita ovat mm. kulmat, aukot, putket, palkit ja pilarit. Siksi laserkeilauksen tärkeä soveltamistapa on erilaisten mittapiirrosten tuottaminen saneerattavista kohteista. Keilatun pistepilviaineiston avulla tutkitaan ja mallinnetaan saneerauskohteita tarvittavista kulmista ja suunnista asiakkaan toiveiden mukaisesti. Ajankohtaiset rakennuspiirrokset ovat tärkeä työkalu monissa rakennus- ja remonttiprojekteissa. Piirustuksia voidaan käyttää apuna hankesuunnittelussa, työpiirustuksina ja tarvittavien sähkö- ja LVI-piirrosten pohjina. Luotettava lähtötietomalli toimii laadukkaana pohjana onnistuneelle korjaushankkeelle.

Insinöörityö osoitti, että laserkeilaus on hyödyllinen menetelmä korjausrakentamisessa. Insinöörityötäni pystyvät hyödyntämään erilaiset suunnittelijat ja eri suunnitteluvaiheiden projektihenkilöt.

Avainsanat: laserkeilaus, korjausrakentaminen, Leica Geosystems

Abstract

Author: Triin Bürkland
Title: Laser scanning in Renovation
Number of Pages: 55 pages
Date: 18 March 2022

Degree: Bachelor of Engineering
Degree Programme: Land Surveying
Supervisors: Ilkka Partonen, Lecturer

The purpose of this thesis was to explore how laser scanning can be used in renovations. The thesis discussed construction renovation, the stages of laser scanning, point clouds and Leica Geosystems equipment and software. An expert was interviewed and examples from several laser scanning projects were collected.

The thesis showed laser scanning as an accurate method to capture the details of an existing building as it can receive detailed descriptions from beams, columns, pipes, and gaps. The advantages of laser scanning compared to traditional methods were identified as comprehensive data and a rapid measurement speed. Further-more, it was seen that a point cloud allows the examination and model renovation of sites from different angles and directions.

The final year project identified relevant construction drawings as an important tool in many construction and renovation projects. Thus, a reliable data model is a key for a successful renovation project. The study showed that laser scanning is useful in renovations. Project planners can take advantage of this thesis.

Keywords: laser scanning, renovation, Leica Geosystems

Sisällys

1	Johdanto	1
2	Korjausrakentaminen	2
2.1	Rakennuksen elinkaari	2
2.2	Korjaustarve	3
2.3	Luvat ja dokumentointi	5
2.4	Korjaussuunnitelma	5
2.5	Kuntoarvio ja kuntotutkimus	6
2.6	Korjausrakentaminen ja energiatehokkuus	7
2.7	Peruskorjaus	8
2.8	Perusparannus	8
2.9	Purkaminen	9
3	Laserkeilaus	10
3.1	Pistepilvi	11
3.2	Keilaustyön vaiheet	11
3.3	Suunnittelu ja esivalmistelut	12
3.4	Keilaus	13
3.4.1	Keilausprosessi	13
3.4.2	Keilaimen asetukset	14
3.4.3	Keilaukseen vaikuttavat tekijät	16
3.5	Tähyksien mittaus takymetrillä	16
3.6	Mitattujen pistepilvien yhdistäminen eli rekisteröinti	18
3.6.1	Rekisteröinti yhteisillä koodatuilla tähyksillä	23
3.6.2	Rekisteröinti cloud to cloud -menetelmällä	24
3.6.3	Rekisteröinti virtuaalitähysten avulla	27
4	Laserkeilain	29
4.1	Teollisuuslaserkeilain	29
4.2	Ilmalaserkeilain	30
4.3	Maalaserkeilain	30
5	Kalustot ja ohjelmistot	33
5.1	Leica RTC360	33
5.2	Leica Cyclone FIELD 360	35

5.3	Leica Cyclone REGISTER 360	37
5.4	Leica TruView	39
5.5	Leica CloudWorx	41
5.6	Mallinnus	42
5.6.1	Rakennuspiirustukset	43
5.6.2	Pohjapiirustus	44
5.6.3	Julkisivupiirustus	45
5.6.4	Leikkauspiirustus	47
6	Haasteet ja kehityskohteet	49
7	Yhteenveto	50
	Lähteet	52

Lyhenteet ja käsitteet

ASKO-malli:

Asuinrakennusten teknisen korjaustarpeen ennakointimalli, joka laskee asuinrakennusten koko korjaustarpeen.

GNSS: Global Navigation Satellite System. Maailmanlaajuinen satelliittipaikannusjärjestelmä.

GPS: Global Positioning System. Yhdysvaltain puolustusministeriön ylläpitämä maailmanlaajuinen satelliittipaikannusjärjestelmä.

Koordinaatti:

Koordinaatit ovat kahden tai kolmen mittaluvun ryhmä, joka ilmoittaa kohteen sijainnin.

LGS: Leica Geosystems Universal -projektitiedosto.

Orientointi: Mittauspaikan koordinaatiston ja korkeustason määrittely.

Pistepilvi: Kolmiulotteinen aineisto kohteesta, joka koostuu suuresta määrästä yksittäisistä pisteistä.

PNEZ: Point number, Northing, Easting, Elevation. Koordinaattien esitysjärjestys - piste numero, pohjoinen, itäinen ja korkeus.

Roti-raportti:

Rakennetun omaisuuden tila. Puolueeton asiantuntijoiden arvio rakennetun omaisuuden tilasta.

1 Johdanto

Nykyään rakennusten eliniät vaihtelevat 50:stä noin 150 vuoteen. Korjausrakentamisen tavoitteena on muuttaa, kasvattaa tai säilyttää rakennusta tai rakennelmaa. Ensin pitää selvittää, missä kunnossa rakennus on. Laserkeilaus on osa rakennuksen kuntotarkastusta. Se on erittäin tehokas mittauskeino, jolla saadaan monipuolista mittausdataa rakennuksen kaikista osista, kuten putket, palkit ja pilarit. Keilauksen tuloksena saadaan pistepilvi, jonka työstämisen ja piirtämisen jälkeen voidaan tehdä kohteelle korjaussuunnitelma.

Tämän insinööriyön päätavoitteena on selvittää, kuinka laserkeilausta voidaan hyödyttää korjausrakentamisessa. Insinööriyössäni käsittelen korjausrakentamista, laserkeilausta, pistepilveä ja keilaustyön eri vaiheita. Sen lisäksi perehdyin Leica Geosystems'in kalustoon ja ohjelmistoon.

Työpaikassani (Neotri Oy) teen laserkeilausmittauksia korjausrakennettavista eli saneerattavista kohteista sekä rekisteröin ja työstän laserkeilattuja aineistoja. Insinööriyössäni hyödynnän tekemiäni mittausprojekteja. Työn tarkoituksena on syventää omaa osaamista ja kehittää omia työmenetelmiä. Työssä haastattelin myös työnantajaani ja selvitin hänen kokemiaan ongelmia ja puutteita laserkeilausteknologian soveltamisessa.

Neotri Oy on vuonna 2019 perustettu mittausalan konsultointipalveluita tuottava yritys. Toimitusjohtaja Kalle Susi on työskennellyt laserkeilauksen parissa noin 10 vuotta. Yritys toimii pääasiassa pääkaupunkiseudulla, ja toimisto sijaitsee Espoossa. Yrityksen asiakkaita ovat suunnittelutoimistot, rakennusyrietykset sekä rakennuttajat ja kiinteistönkehittäjät. Yritys tuottaa 2D- ja 3D-aineistoja suunnittelijoiden käyttöön sekä mittauskonsultointia rakennushankkeisiin. Mittauksissa hyödynnetään alan moderneimpia tekniikoita ja ohjelmistoja.

Työstämisprosessin tuloksena voidaan löytää lisää kohteita ja mahdollisuuksia, miten laserkeilausta voidaan käyttää hyödyksi erilaisissa saneerausprojekteissa.

2 Korjausrakentaminen

Korjausrakentamisella eli saneerauksella tarkoitetaan laajaa rakennuksen tai rakennelman korjausta tai muuttamista. Tarkoituksena on säilyttää, kasvattaa tai muuttaa rakennusta niin, että se pidentää rakennuksen tai rakennelman elinkaarta. [1]

2.1 Rakennuksen elinkaari

Elinkaarella tarkoitetaan koko jaksoa maankäytön ja rakentamisen suunnittelusta aina purkutuotteiden lajitteluun saakka. Rakennuksen elinikä voi olla 50 tai jopa 150 vuotta. Keskimäärin rakennusta joudutaan rakentamaan uudelleen aina 50–60 vuoden välin, mikäli sitä halutaan yhä käyttää. [2; 3, s. 11.]

Kuvassa 1 on esitetty rakennuksen elinkaaren vaiheet. [2]



Kuva 1. Rakennuksen elinkaaren vaiheet [2].

Tuotevaiheessa suunnitellaan, hankitaan raaka-aineita ja valmistetaan rakennustuotteita. Suunnitteluvaiheessa päätetään rakennuksen käyttöiästä,

ympäristövaikutuksista ja energiankulutuksista. Rakennusvaiheessa tapahtuu materiaalien kuljettaminen rakennuspaikalle ja itse rakentaminen. [4; 2.]

Käyttövaiheen prosesseja ovat käyttö, ylläpito, huolto ja korjaukset. Suunnittelussa ja rakentamisessa tehtyjen valintojen muuttaminen on kallista ja työlästä. Muutosten ansiosta talon elinkaaren aikainen energiankulutus, ympäristökuormitus ja kustannukset voivat kuitenkin pienentyä huomattavasti. [5; 2.]

Elinkaaren loppuvaiheeseen kuuluu rakennuksen purkaminen sekä materiaalien kierrättäminen tai loppusijoitus kaatopaikalle. Ympäristö- ja kustannusvaikutuksia on tarkasteltava rakennuksen koko elinkaaren ajalta. [2]

2.2 Korjaustarve

Suomen asuinrakennusten korjaustarve vuosina 2016–2025 on vuosittain 9,4 miljardia euroa. Jopa viidennes omakotitaloista tarvitsisi välitöntä suuren tai pienen vaurion korjausta. Korjausrakentamisen tarve kasvaa vuosi vuodelta, koska kunnossapitoa ja korjausinvestointeja ei tehdä riittävästi. Korjaustoimien laiminlyönti johtaa helposti ongelmien laajenemiseen myöhemmin, ja tekee saneerauksen kalliimmaksi. Rakennuksen ulko- ja sisäpintojen sekä talotekniikan korjaustarve ilmenee keskimäärin 20–50 vuoden välein. Rungon käyttöikä vaihtelee 100–1000 vuoden välillä. [6; 3, s.11.]

Suunnitelmallinen kiinteistönpito ja oikea-aikainen korjaaminen pidentävät rakennusten elinikää. Ennakoivaa kunnossapidon rahaa on tapana käyttää pieniin korjaustarpeisiin. [6]

Kuvassa 2 on esitetty Suomen asuinrakennusten korjaustarvetta vuosille 2016–2025. [6]



Kuva 2. ASKO-mallin ennustama Suomen asuinrakennusten korjaustarve vuosina 2016–2025 [6].

Korjausrakentamisen määrä Suomessa on kasvanut viime vuosina voimakkaasti. Korjausrakentamiseen vaikuttavat rakennuskannan ikä, korjausrakentamisen kulttuuri ja yhteiskunnan tuet. [6]

Korjausvuorossa ovat nyt 1960–1980-luvuilla rakennetut talot. Linjasaneeraukset eli putkiremontit moninkertaistuvat lähivuosina juuri tuona aikana rakennetuissa taloissa. Taloyhtiöissä on siis edessä korjausrakentamisen piikki. Samalla kun talossa tehdään saneerausta, olisi rationaalista parantaa rakennusten energiatehokkuutta. [7, s. 12–13; 6.]

ROTI on puolueeton, asiantuntijoiden arviointiin perustuva raportti rakennetun omaisuuden tilasta. Raportti perustuu yli 120 kiinteistö- ja rakentamisalan asiantuntijoiden mielipiteisiin. Vuoden 2021 ROTI-raportin mukaan rakennuskannan heikoimmat lenkit ovat vanhat kerros-, rivi- ja omakotitalot, kuntien ikääntyneet palvelurakennukset, erityisesti koulut, päiväkodit ja toimitilat. [8]

2.3 Luvat ja dokumentointi

Yleensä laajempiin saneeraustöihin vaaditaan kunnan viranomaislupa. Lupa-asiat selvitetään korjaussuunnitteluvaiheessa kunnan tai kaupungin rakennus-tarkastajalta. Rakennuslupa haetaan kunnan rakennusvalvonnasta. Lupaa haetaan ennen töiden aloittamista. Määräykset ja vaatimukset takaavat talon turvallisuuden ja toimivuuden. Rakennuslupa tarvitaan esimerkiksi huonejakojen muuttamisessa tai rakenteellisissa muutoksissa sekä kylpyhuoneen tai saunan laajentamisessa. [9; 5.]

Kaikki rakennukseen tehdyt muutokset on syytä dokumentoida. Dokumentointi antaa tarvittavaa informaatiota rakennuksen kunnosta rakennusta myytäessä tai ostettaessa. Dokumentoinnin avulla pystytään paremmin arvioimaan rakennuksen arvoa. Jos edellä mainitut dokumentaatiot eivät ole ajantasaiset, rakennukselle on syytä tehdä kuntotarkastus. Kuntotarkastuksesta tehdään kuntoarvioraportti, joka antaa kattavan tiedon rakennuksen nykytilasta ja lähivuosina tulevista saneeraustarpeista. [2]

2.4 Korjaussuunnitelma

Korjaussuunnitelma on lakisääteinen, ja taloyhtiön hallituksella on velvollisuus laatia se taloyhtiölle. Asunto-osakeyhtiölain mukaan taloyhtiöllä on velvollisuus käsitellä yhtiökokouksessa kiinteistöön kohdistuvia kunnossapitotarpeita. Kirjallinen kunnossapitoselvitys tehdään viideksi vuodeksi. Se antaa osakkeenomistajille aikaa päätöksentekoon ja auttaa varautumaan taloudellisesti alkavaan remonttiin. Korjaussuunnitelma on tarkastettava vuosittain. [10]

Selvitysvelvoite koskee sellaisia korjauksia, joilla on vaikutusta huoneistojen käyttämiseen, yhtiövastikkeeseen ja huoneistojen käytöstä aiheutuviin kustannuksiin. Ammattimainen isännöitsijä huolehtii ja varmistuu siitä, että hallitus on tietoinen rakennuksen todellisesta kunnosta. [10]

Korjaussuunnitelma laaditaan hallituksen omana työnä tai tilataan isännöitsijätoimistolta tai ulkopuoliselta. Luotettavan korjaustarpeen tiedon saamiseksi tarvitaan riittävä määrä vastaavien asiantuntijoiden tekemiä selvityksiä ja tutkimuksia. Yleensä siihen käytetään vastaavia asiantuntijoita. Yleisin menetelmä on rakennuksen kuntoarvio, jota voidaan täydentää tarkemmilla kuntotutkimuksilla. Korjaussuunnitelma käsittää suosituksen eri korjausten ajankohdasta sekä kustannusarvioista. Hallitus esittelee sen yhtiökokouksessa. Yhtiökokous päättää, hyväksyykö se hallituksen korjausesityksen vai palauttaako sen hallitukselle jatkokehittäväksi. [10]

2.5 Kuntoarvio ja kuntotutkimus

Kuntoarvion ja -tutkimuksen avulla saadaan tietoa rakennuksen todellisesta kunnosta, korjaustarpeesta sekä tulevista kustannuksista. Kuntoarvion pohjalta tehdään 5–10 vuoden korjaussuunnitelma. Ensimmäiset kuntoarviot on suositeltavaa tehdä jo alle kymmenen vuoden ikäisiin taloihin. Kuntoarvio antaa tietoa rakennusten kriittisten osien kunnosta korjaussuunnittelua ja oikeiden korjausmenetelmien valintaa varten. Kuntoarvion ja -tutkimuksen tekemiseen vaaditaan rakennustekniikan asiantuntijoita. Tekijällä edellytetään olevan tarvittavat työkalut ja laitteet näytteiden tekemiseen ja analysoimiseen. Kuntoarvio perustuu kohteen asiantuntijahavainnointiin sekä käytössä oleviin asiakirjoihin ja korjaushistoriatietoihin. Asiakirjoista saadaan yleiskuva rakennuksen ja rakennusosien iästä, rakenteista, asennustavoista sekä LVI- ja sähköjärjestelmistä. Korjaushistoria antaa selostuksen rakennusosien ja järjestelmien korjauksista ja uusimisista sekä korjausvuosista. [11; 3, s. 93–94.]

Kuntoarvio perustuu yksittäisten mittausten tekemiseen ja se tehdään rakenteita rikkomatta. Toisinaan kuntoarvion menetelmillä ei saada riittävästi tietoa rakenteista. Tällöin turvaudutaan kuntotutkimukseen, joka edellyttää jonkinasteista purkamista, mutta joka tuottaa tarkempaa tietoa rakenteiden kunnosta. Kuntotutkimusta vaativia kohteita voivat olla esimerkiksi

- ulkobetonirakenteet

- julkisivut ja parvekkeet
- vesi- ja viemärlaitteet
- sisäilmastojärjestelmät
- sähköjärjestelmät
- asbestikartoitukset. [11]

2.6 Korjausrakentaminen ja energiatehokkuus

Energiatehokkuus tarkoittaa energian tehokasta käyttöä ja kasvihuonepäästöjen vähentämistä kustannustehokkaalla tavalla [3, s. 35].

Korjaushankkeen suunnittelun yhteydessä on selvitettävä, onko rakennuksen energiatehokkuuden hoitaminen toiminnallisesti, teknisesti ja taloudellisesti järkevällä pohjalla. Ennen toimenpiteitä rakennuksen tai kiinteistön omistaja hakee rakennusvalvonnasta rakennus- tai toimenpideluvan. Energiatehokkuuden parantaminen pitää ottaa huomioon rakennus- ja toimenpideluvan yhteydessä. Silloin mietitään, millaiseen energiatehokkuuden vaatimustasoon pyritään ja millä keinoin. [3, s. 36; 6.]

Rakennuskanta Suomessa uusiutuu vain prosentin vuosivauhdilla. Siksi on hyvä toteuttaa energiansäästötoimia korjausrakennushankkeiden yhteydessä, kun se on teknisesti ja taloudellisesti järkevää. Energiansäästöjä saneerausessa tuottavat mm. ilmanvaihdon lämmön talteenotto, käyttöveden kulutuksen tehostaminen, vanhojen ikkunoiden vaihto ja rakennuksen vaipan lisäeristäminen. [6; 3, s. 38.]

Energiamääräysten mukaan energiaremonttia ei tarvitse tehdä, jos korjaukset eivät ole teknisesti, toiminnallisesti tai taloudellisesti mahdollisia. Jos rakennus on ehjä ja toimiva, energiaremonttiin ryhtyminen on kiinteistönomistajan päätettävissä. [6]

Energiatehokkuusmääräykset eivät koske kaikki rakennuksia. Tällaisia rakennuksia ovat muun muassa

- pelkästään kesäkäyttöön varustellut kesämökit
- suojellut rakennukset
- alle 50 m²:n kokoiset rakennukset
- kasvihuoneet
- uskonnon ja hartauden harjoittamiseen tarkoitettut rakennukset
- tietyt tuotantolaitokset. [6]

2.7 Peruskorjaus

Peruskorjauksen lähtökohtana on rakennuksen korjaaminen osittain tai kokonaan vastaamaan sen alkuperäistä kuntoa. Peruskorjaus on ajankohtainen, kun rakenteissa on jotain vikaa, rakenne on tullut teknisen käyttöikänsä päähän tai rakennusta halutaan nykyaikaistaa tai laajentaa. [3, s. 26; 2.]

Peruskorjauksia ovat esimerkiksi

- julkisivuremontti
- kattoremontti
- linjasaneeraus
- lattiarakenteiden uusiminen
- kylpyhuonesaneeraus [3, s. 26].

2.8 Perusparannus

Perusparannuksella tarkoitetaan rakennuksen asumisen laadun ja energiatehokkuuden parantamista, mikä nostaa sen alkuperäisistä laatua. Laatutason nostaminen lisää rakennuksen arvoa ja mahdollisesti pienentää rakennuksen käyttö- ja ylläpitokustannuksia. [3; 12.]

Yleisiä perusparannuksia ovat rakennuksen tilamuutokset ja laajentaminen, hissin rakentaminen hissittömään taloon sekä lämmitystavan vaihto esimerkiksi maalämpöön tai aurinkoenergiaan [3, s. 27].

2.9 Purkaminen

Purkaminen on ajankohtaista, kun rakennus on heikkokuntoinen, vaikeasti korjattava ja energiaa syövä. Tällöin purkaminen on järkevää, koska rakennusten ylläpito, huolto ja korjaaminen vaativat enemmän osaamista ja suurempia investointeja kuin korjaaminen. [6]

3 Laserkeilaus

Laserkeilaus on mittausmenetelmä, joka perustuu lasersäteiden käyttöön erilaisten kohteiden kolmiulotteisessa tiedon keruussa. Laserkeilausta käytettiin aluksi kaukokartoituksessa mittausmenetelmänä, jolloin keilain oli kiinnitettynä lentokoneeseen tai helikopteriin. Laserkeilausta on käytetty suunnitteluhankkeessa esimerkiksi 90-luvun lopulla valtatie 1:n maaston mallinnuksessa Lohja–Suomusjärvi-välillä. Nykyäänkin sitä käytetään maanpinnalla tehtävissä mittauksissa, koska se sopii erityisen hyvin erilaisten rakenteiden mittaamiseen ja mallintamiseen. Laserkeilaamalla nähdään helposti erilaiset rakenteet, kuten putket, palkit ja pilarit. [13; 14; 15.]

Toimitusjohtaja Susi kertoo, että alkuvaiheessa datalähteenä oli lähinnä Maanmittauslaitoksen avoimen datan ilmalaserkeilaus sekä kaupungeilta ostetut tarkemmat ilmalaserkeilaukset. Näitä aineistoja käytettiin pitkälti maastomallien ja karttojen tekemiseen. [15]

Laserkeilaus perustuu mittaussuuntien ja etäisyyksien tarkkaan mittaukseen. Mittauskohteessa pitää olla riittävä määrä tähyksin näkyvöitetyjä liitospisteitä. Paras tulos saadaan, kun asemakohtaisia liitospisteitä on enemmän kuin kolme. [13, s. 272.]

Laserkeilaus on erittäin tehokas mittauskeino, jolla saadaan monipuolista mitausdataa rakenteiden kaikista osista. Sen lisäksi sitä voidaan käyttää maaston kohteiden mittaamiseen. Laserkeilauksessa muodostuu kolmiulotteinen, koordinaatistossa oleva pistepilvi, joka koostuu suuresta määrästä yksittäisiä havaintopisteitä. Pistepilven avulla tutkitaan ja mallinetaan mittauskohdetta. [16; 13.]

Laserkeilauksen laatuun vaikuttavat tärkeät tekijät ovat yksittäisen mitatun pisteen laatu, pistepilven tiheys ja erikseen mitattujen pistepilvien yhdistämisen tarkkuus [17].

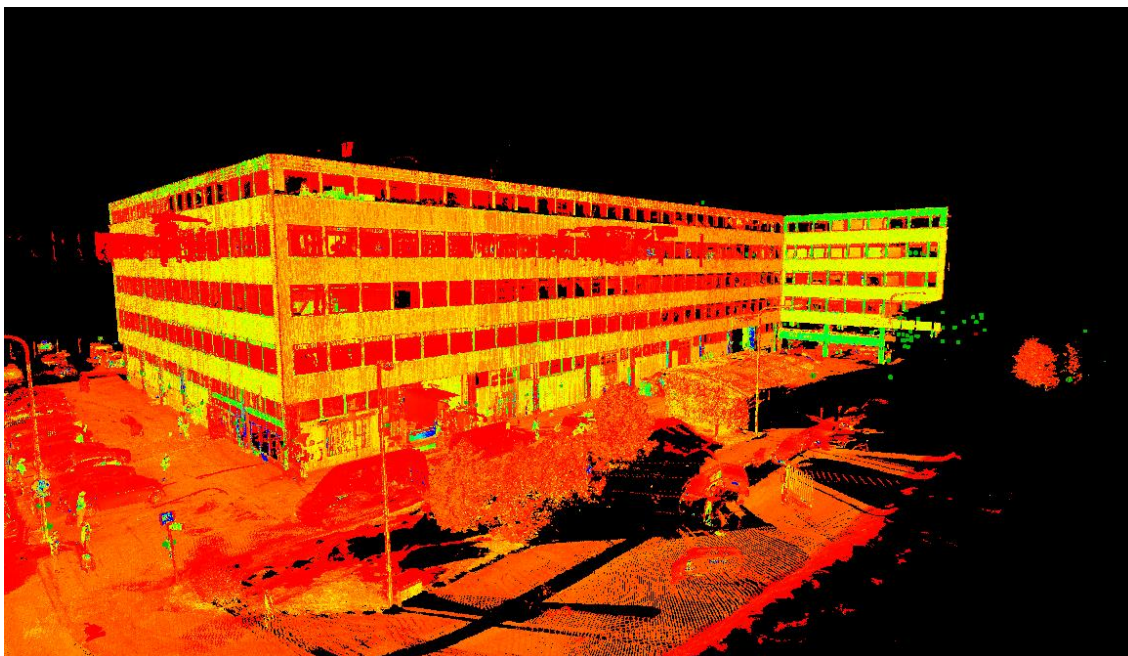
Suden mukaan laserkeilauksen etuja ovat nopea mittaustapahtuma, kattava data sekä se, että mittaajan ei tarvitse keilatessa tietää mitä keilausdatasta

tulevaisuudessa halutaan tehdä. Laserkeilauksen huonoja puolia ovat kalliit laitteet ja ohjelmistot, suuret datamäärät sekä se, että mittausdata itsessään ei tavallisesti ole suoraan käyttökelpoista asiakkaalle. [15]

3.1 Pistepilvi

Pistepilvi on kolmiulotteinen aineisto kohteesta, joka koostuu suuresta määrästä yksittäisiä pisteitä. [13]

Kuvassa on esimerkki laserkeilaimella mitatusta pistepilvestä.



Kuva 3. Laserkeilaimella mitattu toimistotilojen pistepilvi tietokoneen näytöllä. Rakennuksen erilaiset pinnat tuottavat lasersäteistä erilaisia palusignaaleja, mikä vaikuttaa pistepilven pisteiden väreihin. [18]

3.2 Keilaustyön vaiheet

Kuvassa 4 on esitetty laserkeilausprojektin vaiheita.



Kuva 4. Laserkeilauksen työn vaiheet. [17]

3.3 Suunnittelu ja esivalmistelut

Liian harvaan mitattu pistepilvi ei anna riittävästi tietoa mallinnettavasta kohteesta. Toisaalta liian yksityiskohtaiseen mittaukseen kuluu enemmän aikaa, mikä tarkoittaa lisäkustannuksia. Sen takia on tärkeä tutustua mitattavaan kohteeseen etukäteen. [17]

Tilaaajan kanssa sovitaan mallin siirtoformaatit, täydellisyystaso, yksityiskohtaisuustaso, tarkkuusvaatimukset sekä tarvittavan koordinaatiston määrittäminen. Näiden yksityiskohtien ansiosta projekti pystytään suunnittelemaan sujuvammin. [17]

Kalle Suden mukaan projektin suunnittelussa on hyvä pyrkiä laskemaan kohteen työmäärä vanhojen piirustusten pohjalta. Mittaajalle pitää informoida mitattavan alueen laajuus, käytetäänkö pallovalokuvia ja miten toimitaan kontrollin kanssa. Mikäli kohteen luotettava mittaaminen vaatii tähyksien käyttämistä, on etukäteen suunniteltava, mihin tähykset kiinnitetään ja miten ne saadaan mitattua takymetrillä. Suden mukaan kohteessa käytettävä aika tulee informoida tilaajalle, joka järjestää avaimet ja muut mahdolliset järjestelyt. Usein hyvissä ajoin ennen kohteeseen menoa on tiedotettava mittauksista mahdollisimman kattavasti rakennuksen käyttäjille/asukkaille. Varsinkin asuinrakennuksissa tiedottaminen ja tarkan aikataulun laatiminen on tärkeää. [15]

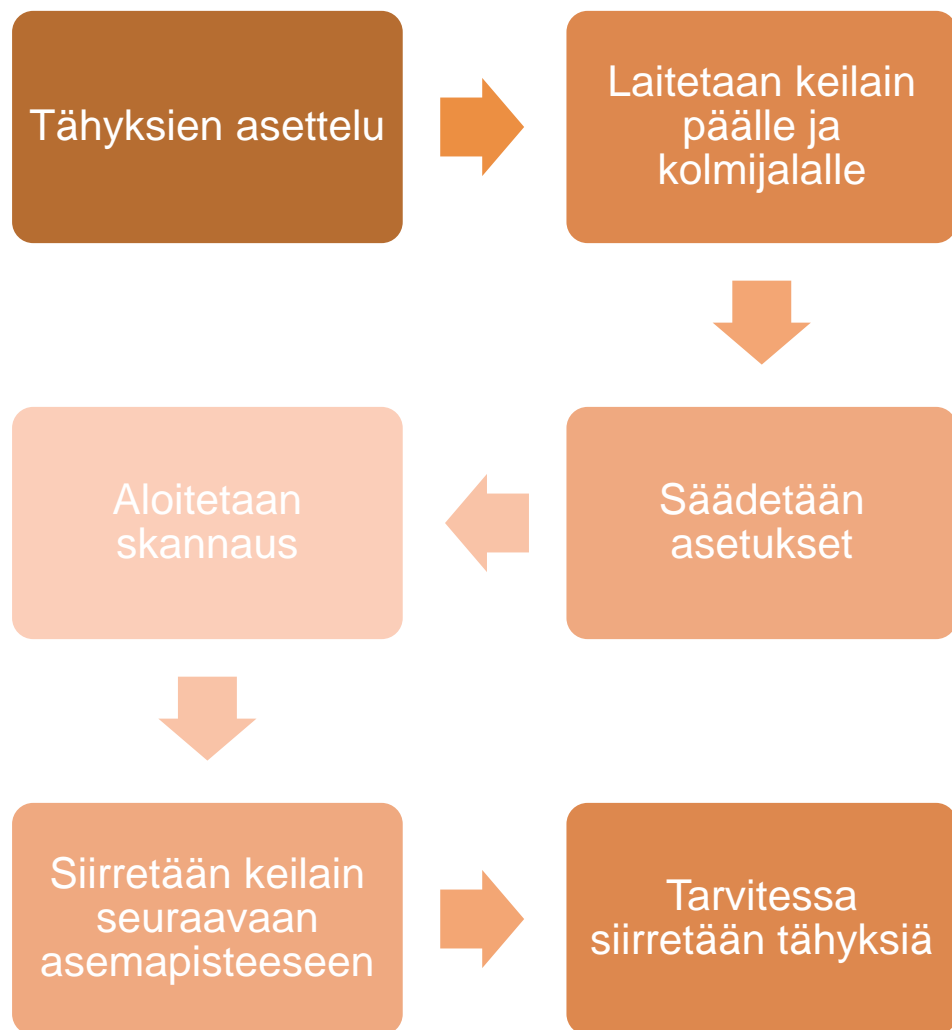
Ennen kohteeseen menoa on tarkistettava, että keilaimen yhteydessä on täydet akut, lisäakut, muistitikku ja tähykset.

3.4 Keilaus

Töissäni käytän Leica Geosystems RTC360 -keilainta. Tavallisesti kattavan pistepilven saaminen koko alueesta edellyttää useita kojeasemia, jotta koko alueelta saadaan pistepilvi. Jokaisesta mitatusta pistepilvestä olisi hyvä löytyä ainakin kolme yhteistä tähytä, joiden avulla pistepilvet yhdistetään samaan koordinaatistoon. [17]

3.4.1 Keilausprosessi

Tyypillinen keilaustehtävä sisältää seuraavat kuvan 5 mukaiset toimenpiteet.



Kuva 5. Keilausprosessi [18].

3.4.2 Keilaimen asetukset

Leica Geosystems RTC360:n asetuksiin kuuluu

- pistepilven tiheyden määrittäminen
- valokuvat
- kaksoisskannaus
- visual inertial system.



Kuva 6. Leica Geosystems RTC360, "play" painike ja asetukset [18].

Laserkeilaimessa voidaan tyypillisesti valita muutaman eri pistetiheyden välillä tai säätää haluttu tiheys tietylle etäisyydelle. Suurempi pistetiheys tuottaa tarkempaa dataa ja poimii esim. tähykset paremmin esiin. Suuren piste tiheyden huono puoli on datan käsittelyn raskaus myöhemmissä vaiheissa, mikä hidastaa prosessia. Suuri pistetiheys on suositeltava asetus ulkona ja suurissa sisätiloissa. Pienemmällä pistetiheydellä saadaan tuotettua kevyempää dataa, ja se voi olla hyvä asetus sisätiloissa, mutta pistetiheys ei välttämättä riitä kauempana olevien kohteiden muotojen tarkkaan mittaamiseen. Pistepilven tiheyden lisäksi oleellinen tieto on keilaimen tuottama pistepilven kohina. Kohinalla tarkoitetaan mittausten välillä tapahtuvaa matkamittauksen virhettä. Esim. optimitilanteessa mitattaessa tasaiselle pinnalle kaikki pisteet olisivat täsmälleen pinnalla. Kohina kuitenkin aiheuttaa sen, että pisteet vaihtelevat jonkin verran pinnan molemmin puolin. Yleisesti laadukkaissa ja kalliissa laserkeilaimissa on pienempi kohina ja edullisemmissa laitteissa suurempi kohina. [15]

HDR-kuvausjärjestelmän ansiosta luodaan värillisiä pistepilvimalleja. Keilaimen sisäisen kameran avulla saadaan jokaiselle pisteelle oikea väri. [20; 17.]

Kaksoisskannaus on toiminto, joka löytyy osasta laserkeilaimia. Sen ideana on skannata kaksi kertaa peräkkäin sama kohta ja verrata näitä pistepilviä. Laite hävittää automaattisesti kaikki liikkuvat kohteet ja tekee yhdistetyn ja siistityn pistepilven. Tätä toimintoa käytetään usein vilkkaasti liikennöityjen kohteiden mittaamisessa. [15]

Visual Inertial System tarkoittaa sijainnin seuraamista. Teknologia perustuu liikkeiden seuraamiseen VIS-kameran avulla. Sen ansiosta keilain automaattisesti tietää oman sijaintinsa edellisten kojeasemien suhteen. [20]

3.4.3 Keilaukseen vaikuttavat tekijät

Suden mukaan varsinaisia rajoituksia laserkeilauksen käyttämiseksi mittauksiin ei juurikaan ole. Ääriolosuhteet sekä tietoturva-asiat voivat joskus rajoittaa laserkeilauksen käyttämistä. [15]

Laserkeilaaminen tietyissä sääoloissa on haastavampaa kuin normaalisti. Varsinaista estettä mittaamiselle sään puolesta ei ole, lukuun ottamatta laitteen raja-arvot ylittäviä kovia pakkasia. Vesisateella laitteen peilit voivat kastua, mikä voi aiheuttaa ongelmia. Myös suuret lätäköt voivat jättää aukkoja pistepilveen tai vääristää mittaustulosta. Susi lisää, että kovalla lumisateella on otettava huomioon maanpinnan "nouseminen" joka vaikeuttaa pistepilvien rekisteröimistä huomattavasti. Maassa ja pinnoilla oleva lumi myös vääristää mittaustuloksia laserin palatessa lumen pinnasta takaisin. [15]

3.5 Tähyksien mittaus takymetrillä

Keilauksen aikana voidaan suorittaa pistepilvien yhdistämisessä käytettävien tähyksien mittaus takymetrin avulla. Kalle Suden mukaan kontrolli on tärkeä osa keilausprosessia, koska sillä varmistetaan aineiston oikeellisuus ja mittojen

pitävyys. Kontrollipisteet mitataan tyypillisesti takymetrillä mustavalkoiseihin tähyksiin. Kuitenkin joissain infrahankkeissa kontrolli mitataan GNSS-pistein. Kontrollitiedosto sisältää kontrollipisteiden pistenumerot, XYZ-koordinaatit ja mahdollisen ominaisuustiedon. Kontrollipisteitä vastaavat tähykset pitää löytyä pistepilvestä. Osa ohjelmista osaa verrata tiedoston ja pistepilven pisteitä asettaakseen kontrollin automaattisesti. Joissakin ohjelmissa taas pitää manuaalisesti syöttää vastinpisteet. [17; 15.]

Takymetrillä määritetään tähysten sijainnit, jolloin saadaan georeferointi tunnetuihin kontrollipisteisiin rekisteröintiä varten. Takymetrillä otetut havainnot tähyksistä estävät pistepilven kallistumista ja mahdollistavat skannausten korkealuokkaisen laadunvarmistuksen. Mittauksen sisäinen tarkkuus saadaan mahdollisimman hyväksi siten, että tähykset mitataan yhdeltä asemalta. Tämä poistaa rekisteröinnistä syntyvää virhettä. Rekisteröintiohjelmaan viedään tekstitiedosto, joka sisältää tähyksien koordinaatit.

Neotri Oy:ssä käyttämällämme menetelmällä tekstitiedosto tehdään Excelissä. Takymetrillä mitatut pisteet siirretään Exceliin (kuva 7) ja siellä ne muokataan sopivaksi rekisteröintiohjelmaa varten (kuva 8).

Tarvittavat Excel-muokkaukset ovat:

- pistenumeroinnin ja koordinaattien järjestys - PNEZ
- sarakkeen leveys - 14
- oikeat desimaalit - kolme desimaalia.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
1	20	25500845	6697925	47.56												
2	21	25500845	6697925	47.56												
3	22	25500839	6697922	46.174												
4	23	25500839	6697922	46.174												
5	24	25500820	6697909	46.024												
6	25	25500820	6697909	46.024												
7	26	25500812	6697877	47.023												
8	27	25500812	6697877	47.023												
9	30	25500780	6697843	46.571												
10	33	25500777	6697842	47.289												
11	34	25500780	6697843	46.57												
12	35	25500812	6697877	47.023												
13																
14																

Kuva 7. Takymetrin alkuperäinen data Excelissä ennen muokkausta [18].

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
1	20	6697924.995	25500844.578	47.560										
2	21	6697924.996	25500844.578	47.560										
3	22	6697921.915	25500838.906	46.174										
4	23	6697921.915	25500838.906	46.174										
5	24	6697909.086	25500820.376	46.024										
6	25	6697909.087	25500820.376	46.024										
7	26	6697877.366	25500812.457	47.023										
8	27	6697877.365	25500812.457	47.023										
9	30	6697843.214	25500779.671	46.571										
10	33	6697842.290	25500776.771	47.289										
11	34	6697843.215	25500779.672	46.570										
12	35	6697877.365	25500812.458	47.023										
13														
14														

Kuva 8. Taulukko muokattuna sopivaksi rekisteröintiohjelmaan [18].

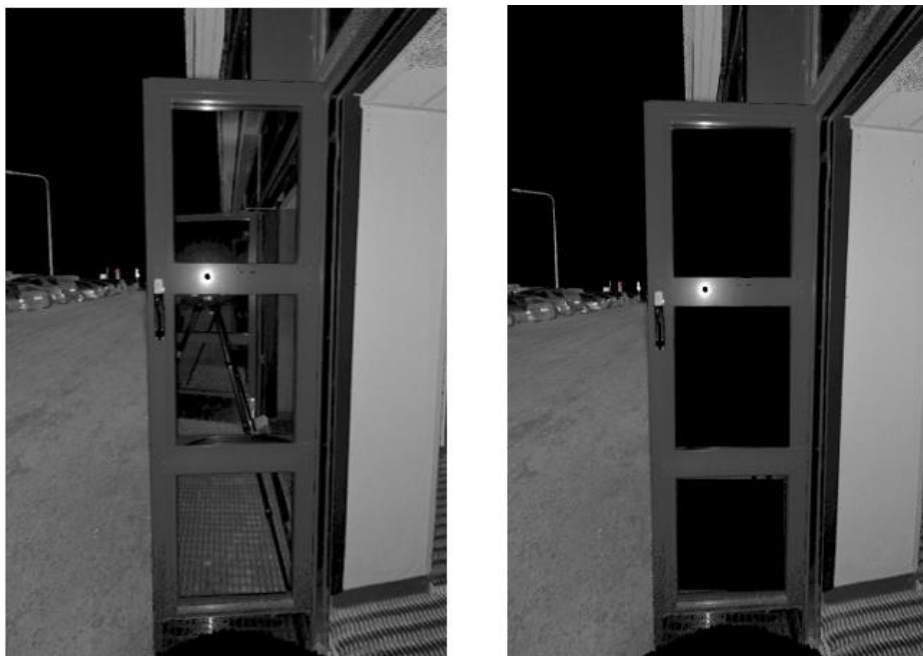
3.6 Mitattujen pistepilvien yhdistäminen eli rekisteröinti

Rekisteröinti tapahtuu pistepilven rekisteröintiohjelmistossa Leica Cyclone REGISTER 360, johon keilausdata viedään. Rekisteröinti on tärkeä osa koko projektissa. [17]

Projektin onnistumisen kannalta on tärkeää täsmällisesti määrittää tähyksien keskipisteitä ja poistaa epäoleellisia alueita sekä heijastuksia, esimerkiksi peilit ja ikkunat.

Yhdistetty pistepilvi siirretään haluttuun koordinaatistoon käyttäen tähyksiä, joille on mitatut koordinaatit. Rekisteröintiohjelmistosta kirjoitetaan ulos .LGS-formaatissa oleva tiedosto (on muitakin vaihtoehtoja esim. E57, RCP). LGS-tiedosto voidaan avata Leica TruView -digitaalisen toteumadatan katsomiseen tarkoitetulla ohjelmistolla.

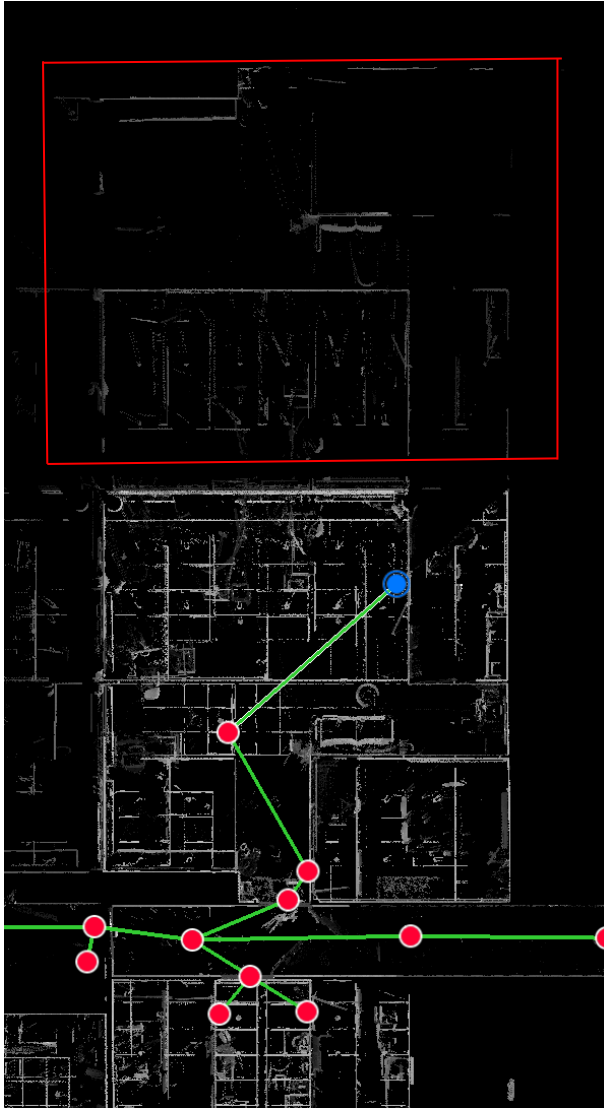
Kuvissa 9–11 on esitetty, miten heijastukset näkyvät rekisteröintiohjelmassa.



Kuva 9. Ulko-oven lasin heijastus ja heijastukset poistettu. [18]



Kuva 10. Ikkunoiden heijastus keilaimen asemapisteestä [18].



Kuva 11. Ikkunoiden heijastuksen vaikutus ylhäältä katsottuna. Sininen pallo on asemapiste, jonka näkymä on kuvassa 10. Suorakulmion sisälle ikkunoista tuleva heijastus rakennuksen ulkopuolella. [18]

Laserkeilaimen luomassa pistepilvessä on paljon ylimääräistä dataa, sillä usein kaikki objektit eivät ole oleellisia rakennusprojektin kannalta. Mallinnusprosessissa "puhdistetaan" pistepilvi mahdollisimman tarkasti ja luodaan siisti 3D-malli kiinteistöstä tarvittavilla yksityiskohdilla. (Kuvat 12 ja 13.) [15]



Kuva 12. Puhdistamaton pistepilvi ylimääräisellä datalla. [18]



Kuva 13. Puhdistettu pistepilvi, josta ylimääräinen data on poistettu [18].

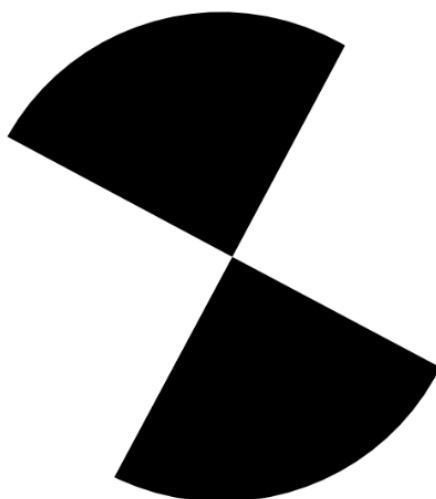
Mitattujen pistepilvien yhdistämiseen yhdeksi isoksi pistepilveksi on erilaisia menetelmiä, joista seuraavassa käsittelen kolmea [17].

3.6.1 Rekisteröinti yhteisillä koodatuilla tähyksillä

Yhtenä yhdistämismenetelmänä on yhteisten koodattujen tähyksien käyttö. Pistepilvet saadaan yhdistettyä samaan koordinaatistoon, jos niillä on ainakin kolme yhteistä koodattua tähyistä. Tähyksien keskipisteet mitataan keilaimella. Tähykset ovat tavallisesti tasomaisia, pallomaisia tai puolipalloja. Parhaan tuloksen saavuttamiseksi vastinpisteiden tulisi olla eri suuntaisilla pinnoilla. [17; 15.]

Kuvissa on mallit mustavalkoisesta paperitähyksestä (kuva 14), joka kiinnitetään pinnoille teipillä sekä pallotähyksestä (kuva 15).

1



Mittaustähys
Ethän poista ilman lupaa!

Kuva 14. Paperinen mustavalkotähys, kokoa A4 [18].



Kuva 15. Pallotähys [18].

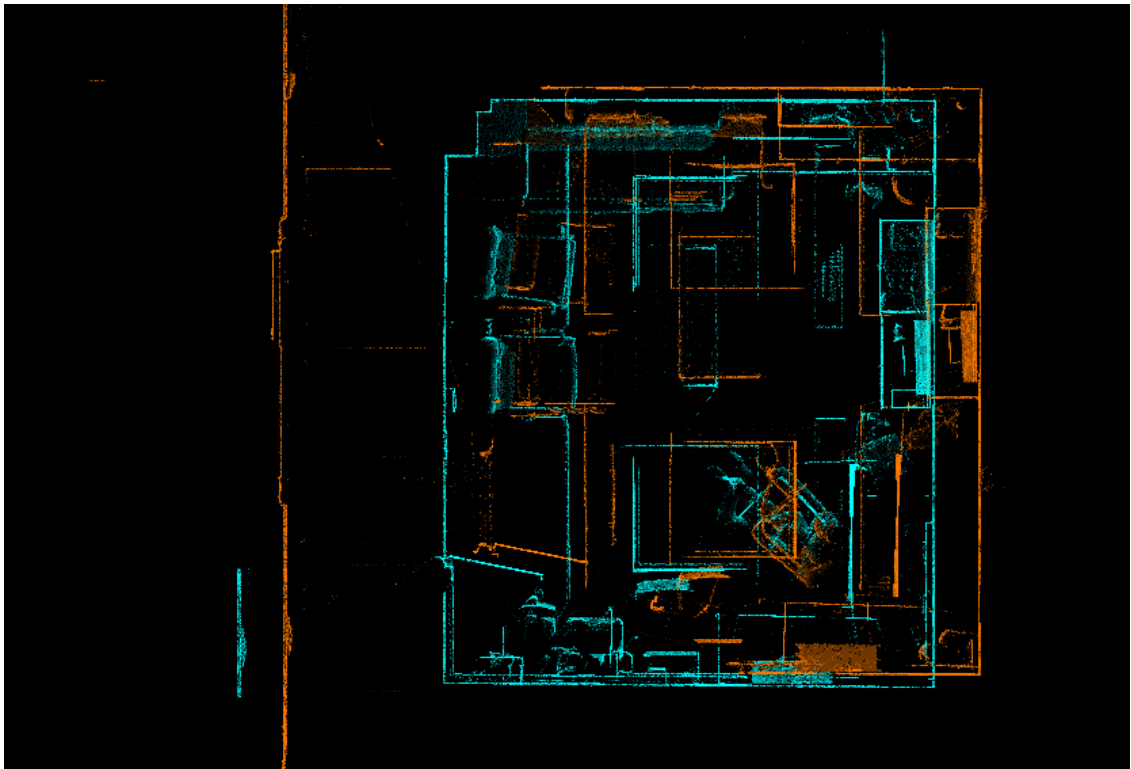
Aiemmin käytettiin tähyksiä jokaisen keilausaseman rekisteröintiin. Tätä menetelmää käytetään edelleen usein sellaisissa kohteissa, jossa ei voida käyttää luotettavasti cloud to cloud -menetelmää. Näin on esimerkiksi ulkotiloissa, joissa heiluvat puut aiheuttavat ongelmia. [15]

3.6.2 Rekisteröinti cloud to cloud -menetelmällä

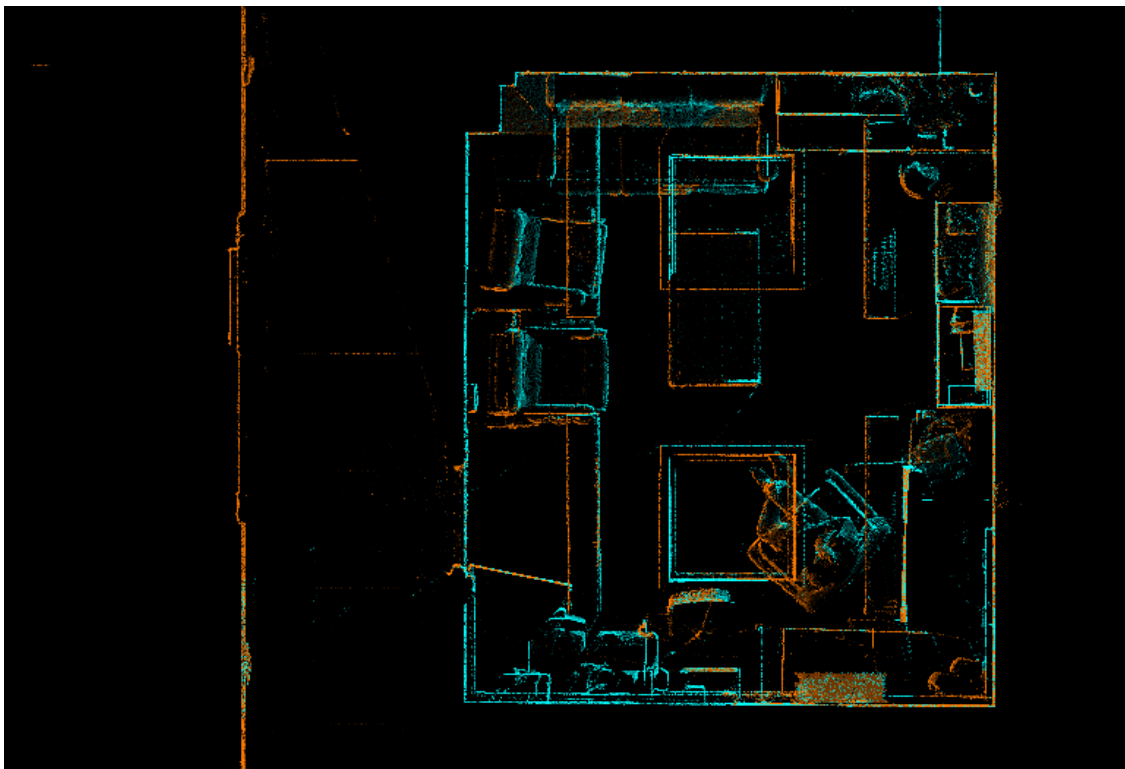
Cloud to cloud on yhdistämismenetelmä, joka perustuu pistepilvien yhteisiin alueisiin. Tässä menetelmässä kahden pistepilven päällekkäisyyksiä verrataan

niiden asettamiseksi keskenään kohdilleen. Jotta pistepilvet voidaan sovittaa samaan koordinaatistoon, täytyy niissä olla riittävästi yhteistä peittoa. Cloud to cloud -menetelmä on yleistynyt, koska nykyään pistepilvet ovat tiheitä ja hyvälaatuisia, jolloin riittävä yhteensopivuus saavutetaan. [17; 15.]

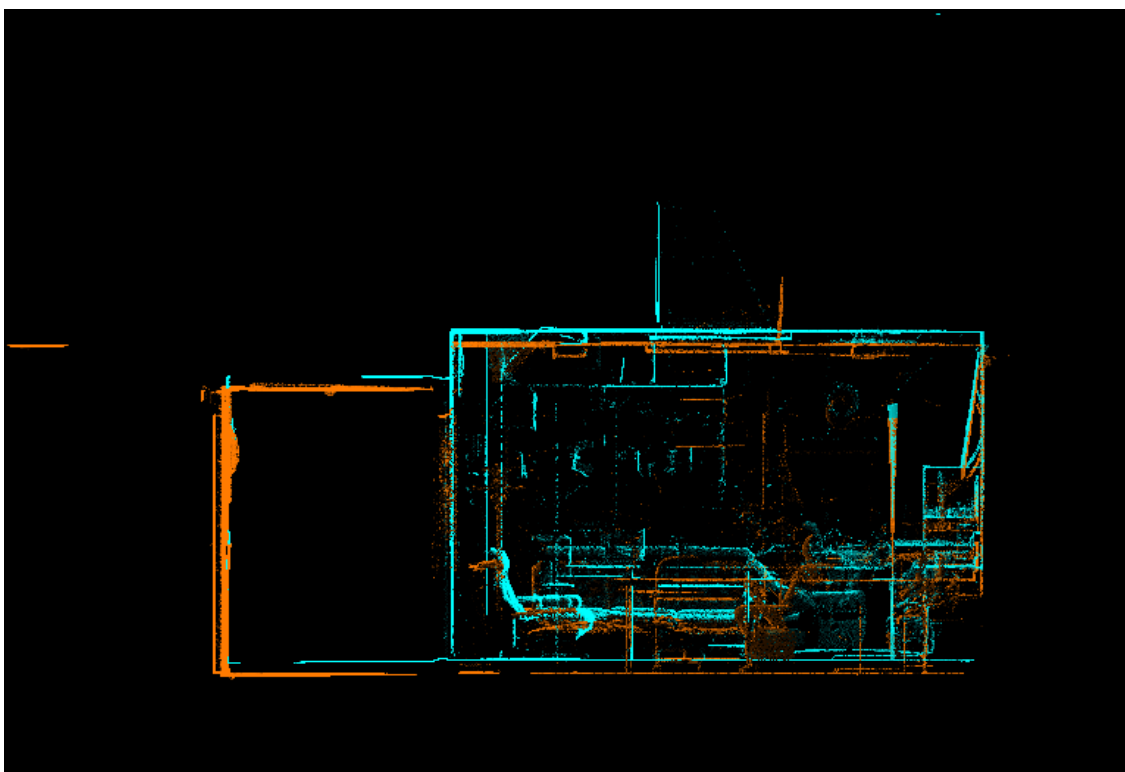
Kuvissa 16–19 on hahmoteltu, miten pistepilvet siirretään samaan koordinaatistoon Cloud-to-Cloud-menetelmällä.



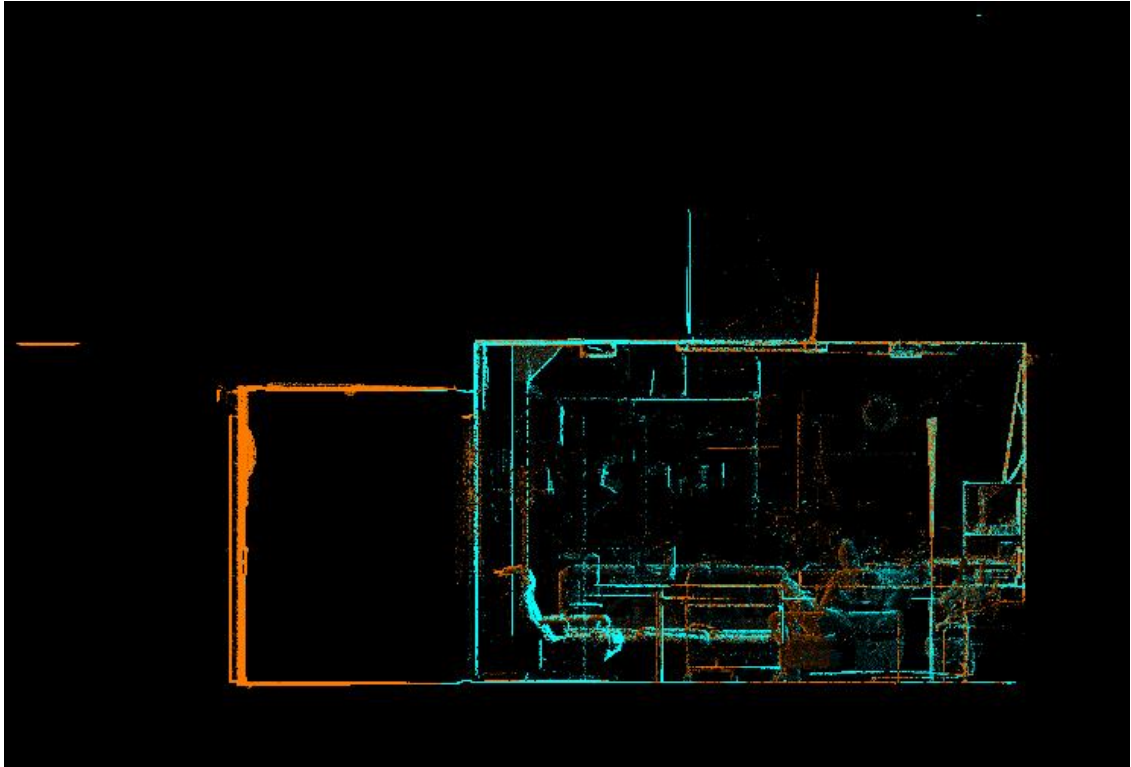
Kuva 16. Pistepilvet (sininen ja oranssi) eri koordinaatistossa ylhäältä katsottuna [18].



Kuva 17. Pistepilvet yhdistettynä ylhäältä katsottuna [18].



Kuva 18. Pistepilvet eri koordinaatistossa sivusuunasta katsottuna [18].

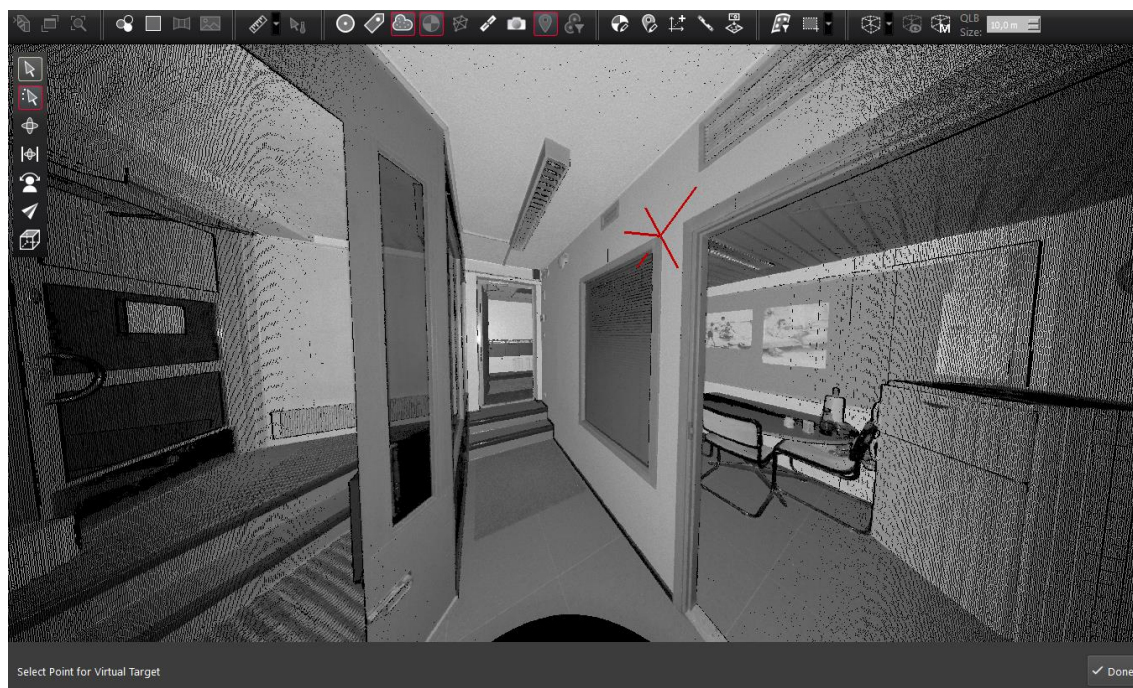


Kuva 19. Pistepilvet samassa koordinaatistossa sivusuunasta katsottuna [18].

3.6.3 Rekisteröinti virtuaalitähysten avulla

”Virtual target” on pistepilvien rekisteröinnissä käytettävä työkalu, jolla voidaan käyttää mitä tahansa pistepilvestä löytyvää selkeätä pistettä tähyksenä. Pistepilvien yhdistämisessä käytetään kahdessa erikseen mitatussa pistepilvessä yhteisiä kohteita ja niille annetaan koodit. Tämä menetelmä ei ole yhtä tarkka kuin yhteisten tähyksien käyttö. Virtuaalitähyksiksi voidaan valita mitä tahansa pistepilvestä löytyviä selkeitä pisteitä. [15; 17.]

Kuvassa 20 virtuaalisena tähyksenä on ikkunakehyksen nurkka.



Kuva 20. Virtuaalisena tähyksenä (punainen ruksi) on käytetty ikkunakehyksen nurkkaa [18].

4 Laserkeilain

Laserkeilaimet luokitellaan joko valon kulkuajan tai vaihe-eromittauksen perusteella. Valon kulku aikaan perustuvat keilaimet ovat hitaita, mutta mittausetäisyydet voivat olla jopa useita kilometrejä. Vaihe-erokeilaimet ovat nopeita, mutta niiden mittausetäisyys on pääsääntöisesti alle 80 metriä. [17]

Susi toteaa, että laserkeilain on nopein ja tehokkain tapa jo olemassa olevien kohteiden mittaamiseen. Laserkeilaimella saa kerättyä pisteitä kaikista kohteista, joihin sillä on suora näköyhteys ja ainestoa voidaan jatko-käsitellä toimistolla. Susi lisää, että verrattuna esimerkiksi vastaavan mittauksen tekemiseen takymetrillä, laserkeilaajan ei tarvitse vielä kohteessa tietää, mitä kaikkea tarvitsee mitata, koska kaikki data tulee kerättyä joka tapauksessa. Takymetrillä tehtäessä mittaaja mittaa manuaalisesti tarvittavat kohteet, ja havaintojen määrä on oleellisesti pienempi. Onnistunut takymetrimittaus vaatii mittaajalta suurta tietämystä jatkokäsittelyssä tarvittavista kohteista. Lisäksi jos mittauskohteen osoite on kaukana, täydentävien mittauskäyntien toteuttaminen ei ole tehokasta. [15]

Käyttökohteen perusteella laserkeilaimet luokitellaan kolmeen pääluokkaan:

1. *Teollisuuslaserkeilaimet*
2. *Maalaserkeilaimet*
3. *Kaukokartoitus-laserkeilaimet eli ilmalaserkeilaimet.* [17]

4.1 Teollisuuslaserkeilain

Teollisuuslaserkeilaimella mitataan pieniä kohteita alle millimetrin tarkkuudella ja alle 30 metrin etäisyydeltä [17].

4.2 Ilmalaserkeilain

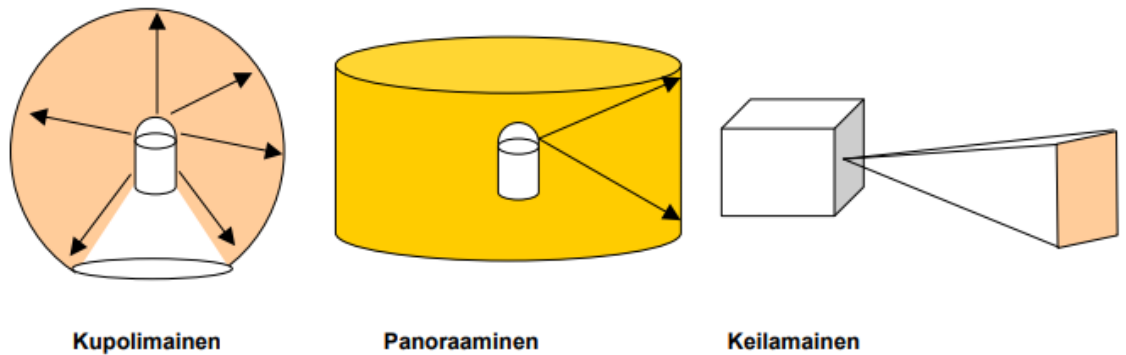
Ilmalaserkeilausta tehtäessä tarvitaan, varsinaisen keilaimen lisäksi paikannusjärjestelmä ja inertiamittausjärjestelmä. Keilain on kiinnitettynä lentokoneeseen tai helikopteriin. Sijainti mitataan satelliittipaikannuksella (GPS/GNSS) ja asento inertiamittausjärjestelmällä. Inertiamittausjärjestelmä havainnoi ja tallentaa tiedon keilaimen asennosta ja sen muutoksista. Ilmalaserkeilainta käytetään mittauksiin matkoille 0,1–100 kilometriä ja mittaustarkkuus on tyypillisesti yli 10 senttimetriä. [13; 17.]

4.3 Maalaserkeilain

Maalaserkeilaimen mittausetäisyys on yhdestä metristä jopa useaan kilometriin ja mittaustarkkuus on alle 2 senttimetriä. Maalaserkeilauksessa pistepilvi orientoidaan jälkikäteen liitospisteiden avulla. Keilain mittaa automaattisesti etäisyyksiä ja suuntia. Tyypillisesti maalaserkeilain asennetaan kolmijalalle kuten takymetri, ja keilain on paikallaan asemoituna yhden keilauksen ajan. Jos laserkeilaus tehdään liikkuvasta ajoneuvosta tai veneestä, voidaan käyttää termiä mobiilikeilaus. [13, s. 270; 19.]

Maalaserkeilaimet jaetaan toimintaperiaatteen mukaan neljään eri tyyppiin (kuva 21):

1. *Kupolimainen mittaustapa*
2. *Panoraaminen mittaustapa*
3. *Keilamainen mittaustapa*
4. *Optinen kolmiomittaus* [17].



Kuva 21. Laserkeilaimien tyyppejä [17].

Nykyisin suurin osa käytettävistä keilaimista on kupolimaisesti mittaavia, joten mittaamatta jää vain pieni alue laitteen alapuolelta [17].

Laserkeilaimella pystytään mittaamaan pisteitä koskematta kohdetta. Mittalaitteen nollapisteestä lähtee liikkeelle lasersäde, joka mittaa kohteen etäisyyden mittalaitteesta. Etäisyyden mittaaminen perustuu valosignaalin kulkuajan mittaamiseen keilaimen ja kohteen välillä. Jokaiselle mitatulle pisteelle voidaan laskea koordinaatit, kun tiedetään mittaussäteen vaaka- ja pystykulmat sekä etäisyys. Järjestelmä tallentaa jokaiselle pisteelle myös intensiteettiä paluusignaalin voimakkuuden pohjalta. Paluusignaalin voimakkuus riippuu kohteen etäisyydestä ja kohdepinnan ominaisuuksista. Signaalin voimakkuus kuvataan etäisyyskuvassa harmaasävyeroina. Tällä tavoin syntyvät mustavalkokuvat, jotka tuottavat kolmiulotteisen vaikutelman. Pistepilven tiheys riippuu mittausetäisyydestä. Samoilla keilausasetuksilla lähellä olevasta kohteesta syntyy tiheämpi pistepilvi kuin kaukana olevasta kohteesta. Pistepilven tiheyttä voidaan säätää ja mittaus voidaan kohdistaa rajattuun alueeseen, joka keilataan muita kohteita tarkemmin. Keilaimet tekevät jopa useita satoja tuhansia mittauksia sekunnissa. Keilauksen tuloksena saatujen pistepilvien jatkokäsittely tehdään tietokoneella toimistotyönä. [17; 13, s. 272.]

Susi on käyttänyt maalaserkeilainta aluksi infrahankkeisiin ja myöhemmässä vaiheessa saneerauskohteiden lähtötietoaineistojen tuottamiseen. Laserkeilaus

valikoitui hänen mittausmenetelmäkseen sen ylivoimaisen tehokkuuden vuoksi laajemmissa kohteissa verrattuna perinteisiin menetelmiin. [15]

5 Kalustot ja ohjelmistot

Neotri Oy:n projekteissa käytämme Leica Geosystems'in laserkeilainta ja 3D-laserskannausohjelmistopakettia sekä AutoDeskin tietokoneavusteista suunnitteluohjelmistoa AutoCAD.

Leica Geosystems'in 3D-laserskannausohjelmistopaketti tarjoaa ratkaisua piste-pilvidatan tallentamiseksi, visualisoimiseksi, poistamiseksi, analysoimiseksi, raportoimiseksi ja tiedoston jakamiseksi. Ratkaisu on suunniteltu olemaan helppokäyttöinen, pitkälle automatisoitu, intuitiivinen ja tuottavuuden maksimoiva. [20]

5.1 Leica RTC360

Leica RTC360 3D -laserskanneri (kuva 22) on laite-edustajan mukaan nopea, tarkka ja helppokäyttöinen. RTC360 3D -laserskannerin avulla voidaan hallita ja kartoittaa monimutkaisia kohteita tarkoilla ja luotettavilla 3D-esityksillä. [20]



Kuva 22. Leica RTC360 3D -laserskanneri [18].

Leica RTC360 -laserskannerin mittausnopeus on jopa 2 miljoonaa pistettä sekunnissa. Kyseisellä laitteella on HDR (High-Dynamic Range) -kuvausjärjestelmä. Pistepilvi voidaan värjätä valokuvan väriinformaation perustella. Työtoimenpiteitä nopeuttaa VIS-teknologia. Teknologia perustuu kiihtyvyyssanturiin ja kameroihin. Siirryttäessä paikasta toiseen laite seuraa sijaintia kameroiden ja kiihtyvyyssanturin avulla. Näin saadaan tietoon asemapisteen keskinäinen sijaintisuhde jo heti mittauskohteessa. Laserskanneri on pieni ja kevyt, se voidaan ottaa helposti mukaan mihin tahansa kohteeseen. Skanneri ja sisään taitettava jalusta mahtuvat hyvin reppuun (kuva 23). [20]



Kuva 23. Leica RTC360-keilaimen reppu ja kolmijalka [21].

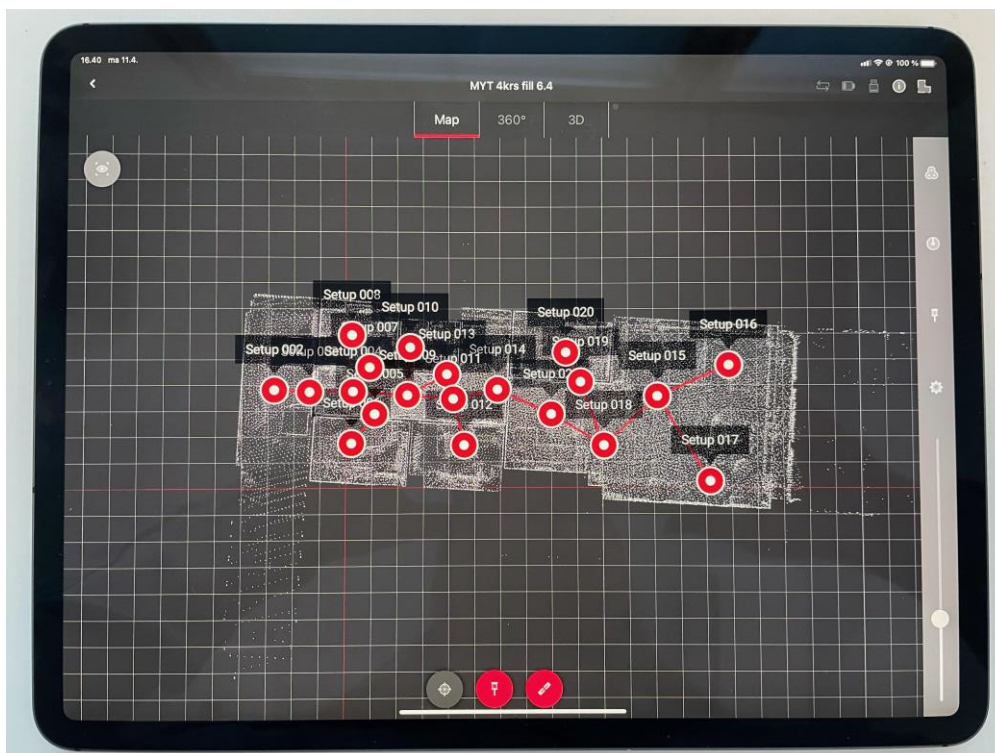
Skannaus Leica RTC360 -keilaimella toimii yhdellä painikkeella.

Leica RTC360:n voi yhdistää tabletilla tai puhelimella Leica Cyclone FIELD 360 -sovellukseen. Se mahdollistaa keilauksen aikana tarkastelemaan sekä pistepilveä että koeasemista otettuja panoraamakuvia. [20]

5.2 Leica Cyclone FIELD 360

Käyttöliittymä mahdollistaa erikojeasemista mitattujen pistepilvien rekisteröinnin välittömästi mittauksen jälkeen. Sovelluksen avulla voidaan jo kohteessa tutkia pistepilviä, tehdä rekisteröinnin esitallennus ja automaattinen kohdistus. [20]

Kuvissa 24–26 on Leica Cyclone FIELD 360:n eri näkymävaihtoehdot.



Kuva 24. Ensitalennettu pistepilven karttanäkymä [18].



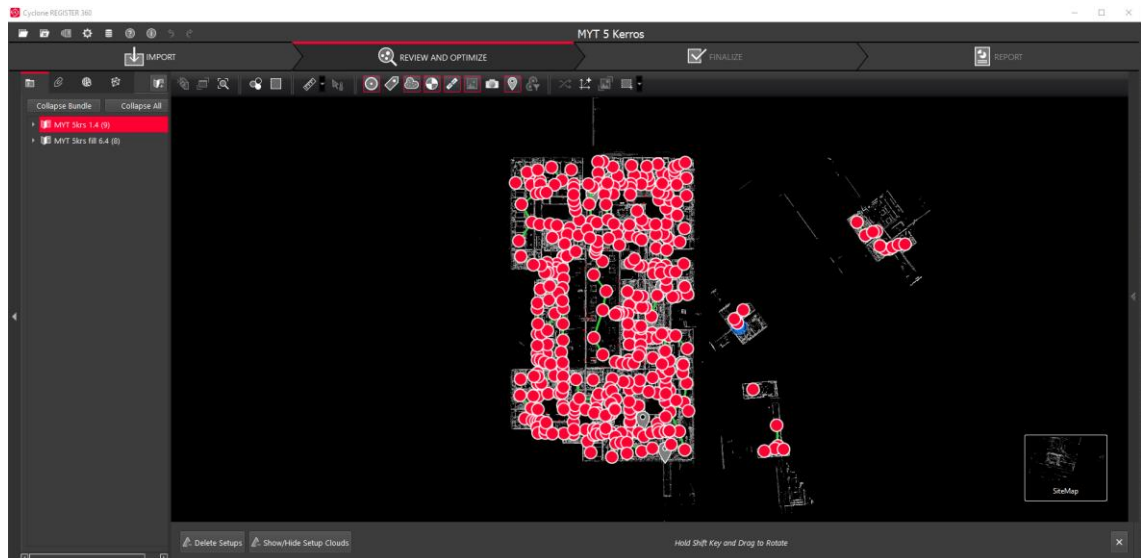
Kuva 25. Yhden asemapisteen 360-asteinen näkymä [18].



Kuva 26. Ensitalennettu pistepilven 3D-näkymä [18].

5.3 Leica Cyclone REGISTER 360

Leica Cyclone REGISTER 360 on pistepilven rekisteröintiohjelmisto. Sovellus sisältää toiminnot pitkälti automatisoituun pistepilvien rekisteröimiseen. Mittauksen toimistolla tehtävää rekisteröintiä nopeuttaa keilaimen Visual Inertial System (VIS) -järjestelmä. VIS-järjestelmä mahdollistaa keilaimen mittausdatan tuomisen lähes valmiiksi rekisteröitynä suoraan rekisteröintiohjelman nopeuttaen projektin läpivientiä oleellisesti (kuva 27). REGISTER 360 on suunniteltu parantamaan tuottavuutta. [20]

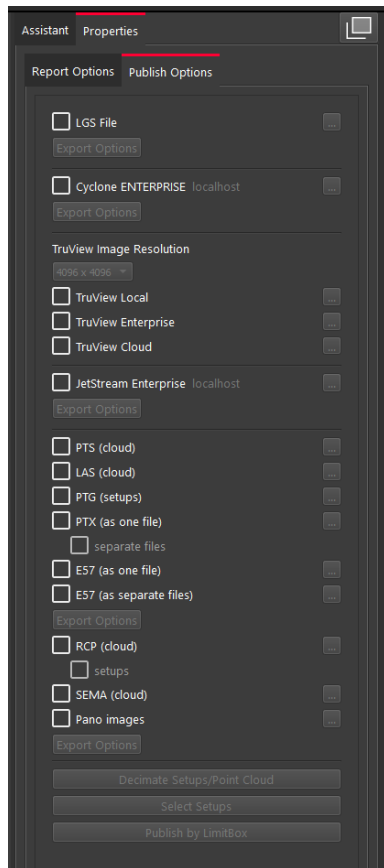


Kuva 27. Esitallennettu projekti siirrettynä Leica REG360 -rekisteröintiohjelmistoon. Punaiset pallot ovat keilaimen asemapisteitä ja vihreät yhdistelyviivoja. [18]

Projektin aikaa säästävät tekijät ovat

- samanaikaiset osatoiminnot
- yksivaiheinen tuonti ja käsittely
- ohjatut työnkulut
- automatisoitu raportointi [20].

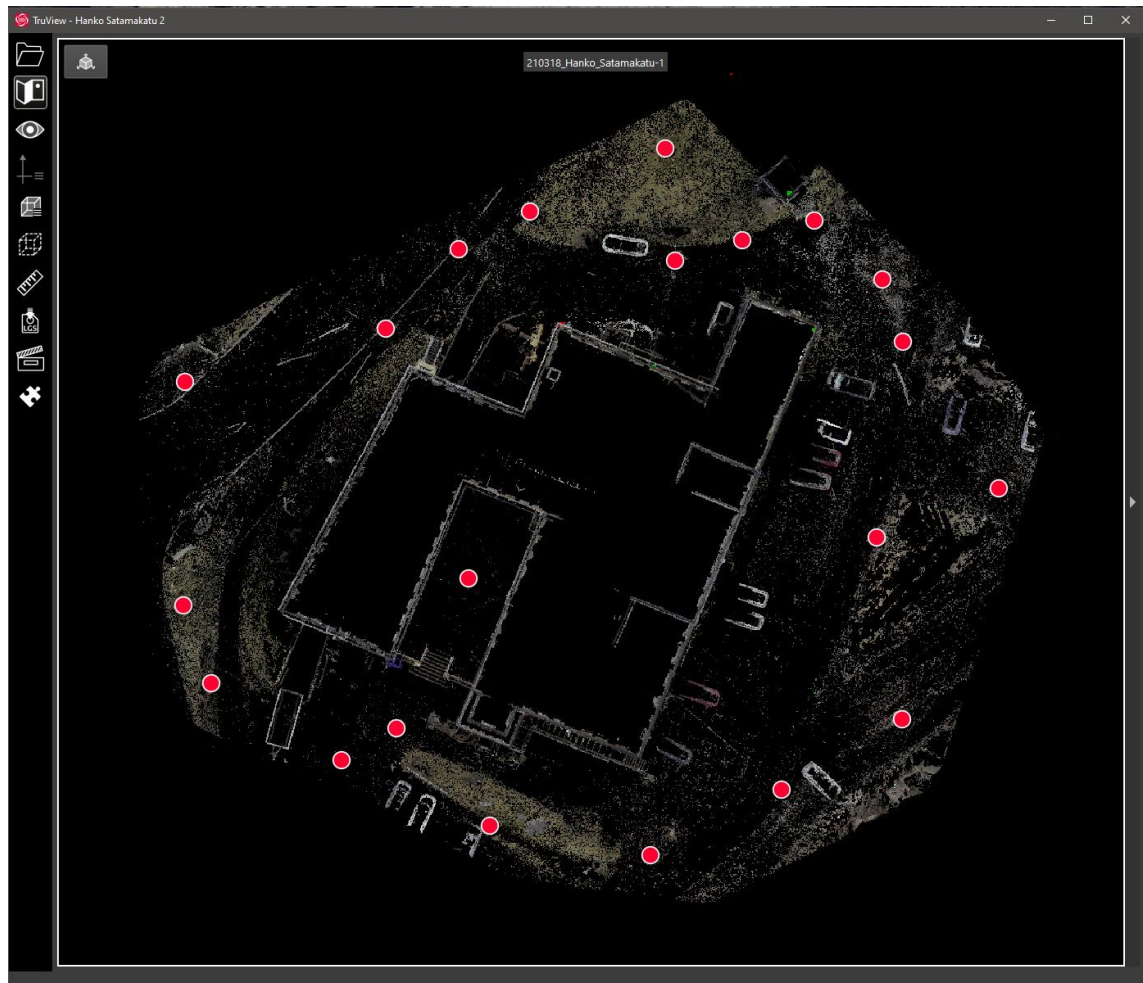
Projektit voidaan julkaista standardeihin muotoihin sekä Leica Geosystems Universal -projektitiedostoon eli LGS. [20]



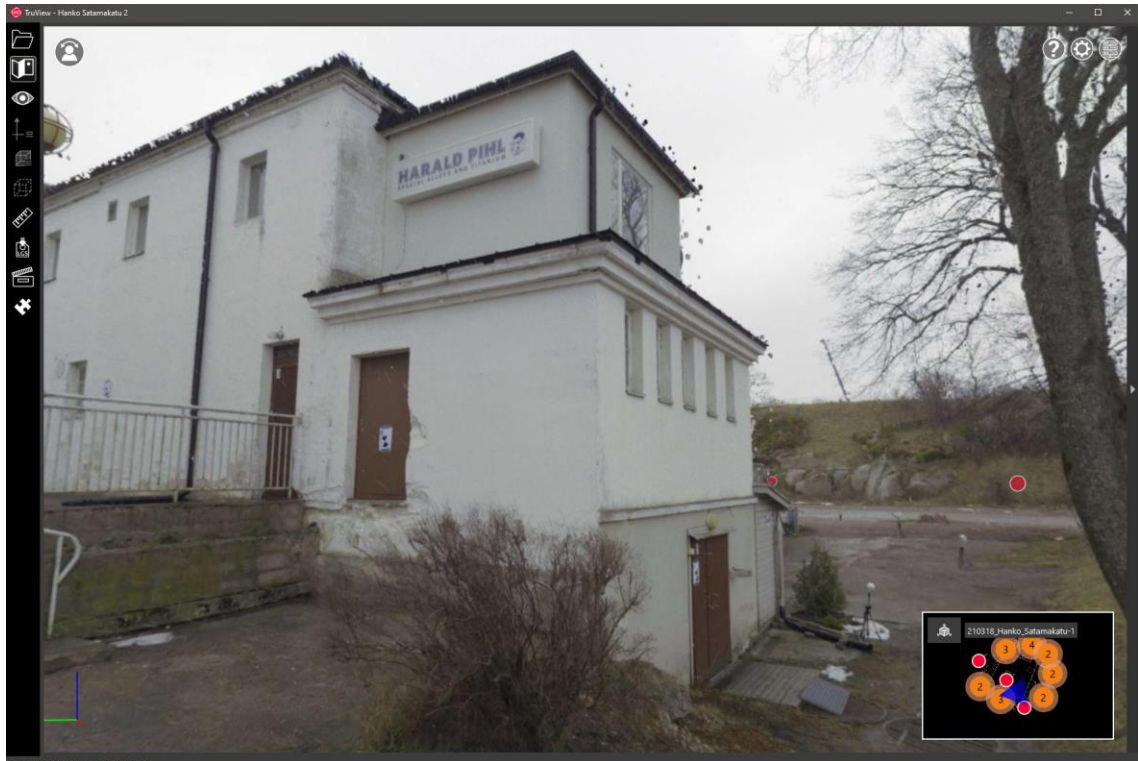
Kuva 28. Leica Cyclone REGISTER 360:n vaihtoehtoiset projektitiedostot [18].

5.4 Leica TruView

Leica TruView on digitaalisen toteumadatan katsomisen ohjelmisto. Ohjelma ei vaadi liitännäistä, sitä voidaan käyttää missä tahansa selaimessa ja laitteessa. Leica TruViewillä pystytään virtuaalisesti käymään projektikohteessa (kuvat 29 ja 30). Sen avulla projektin jäsenet pysyvät käyttämään, tarkistamaan ja analysoimaan toteumaympäristöä. [20]



Kuva 29. Leica TruViewillä avattu julkisivumittausprojekti [18].



Kuva 30. Leica TruViewillä katsottuna asemapisteen värillinen näkymä julkisivusta. Pienessä kuvassa oikealla alhaalla on esitetty kaikki asemoinnit, ja ison kuvan asemointi on sinisen nuolen kohdalla. [18]

Leica TruViewillä toimintoihin kuuluvat mittaus, zoomaus, panorointi ja merkintä [20].

5.5 Leica CloudWorx

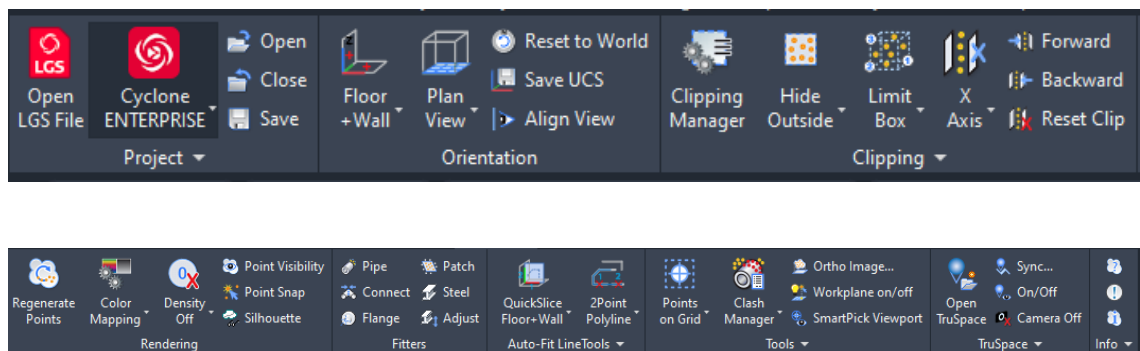
Cloudworx on Leica Geosystems -sovellus, joka toimii useiden eri liitännäisen kanssa. Sovellus mahdollistaa pistepilven käsittely. [20]

Leica CloudWorxia voidaan käyttää seuraavien liitännäisten kautta:

- AutoCad
- Bentley
- Revit
- Navisworks
- PDMS

- BricsCAD
- SOLIDWORKS
- Smart Review
- Smart 3D
- PDS. [20]

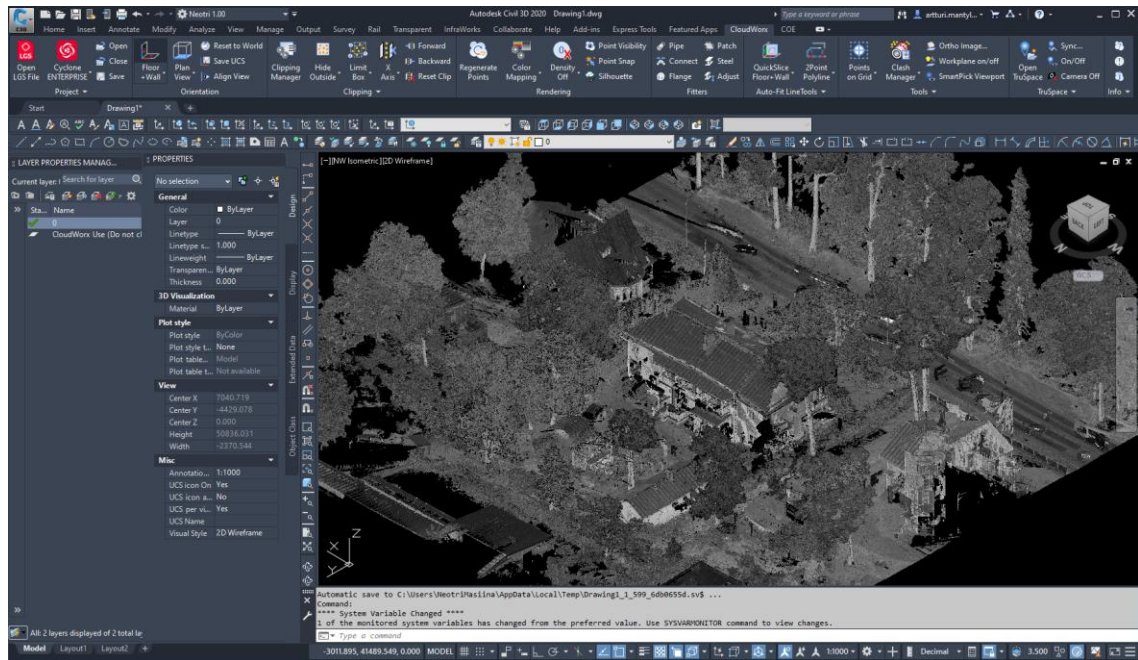
CloudWorxilla on omat erityiset pistepilvikomennot (kuva 31), joilla voidaan käyttää CAD-työkaluja ja komentoja [20].



Kuva 31. CloudWorx pistepilvikomennot AutoCadissa [18].

5.6 Mallinnus

Laserkeilauksella saadaan nopeasti ja luotettavasti mitattua kohde-rakennuksen nykytilanne sisältä ja ulkoa. Pistepilven pohjalta pystytään tekemään kuvat kaikista tarvittavista kulmista ja suunnista ja piirtämään asiakkaan toiveiden mukaisesti 2D-piirustukset tai mallintamaan 3D-inventointimalli. Pistepilvi siirretään suoraan suunnitteluohjelmaan (AutoCAD) ohjelmallisen CloudWorx-moduulin avulla jatkokäsittelyä varten. [15; 20.]



Kuva 32. Omakotitalon pistepilvi AutoCadissa [18].

Keilausaineiston pohjalta eri alojen suunnittelijat voivat tehdä omaa työtään projektinsa parissa. Usein lähtötietoaineisto tuotetaan niin aikaisessa vaiheessa, ettei projektille välttämättä ole vielä kiinnitetty suunnittelijoita tai he eivät ole vielä ehtineet tutustua hankkeeseen mitenkään. Tästä syystä standardoitu luotettava lähtötietomalli toimii laadukkaana pohjana onnistuneelle hankkeelle. [15]

Tavallisessa työnkuvassa laserkeilauksen tekijä laatii myös lähtötietoaineistot pistepilven pohjalta ja toimittaa asiakkaille kevyempiä tiedostoja laajemmin käytössä olevissa formaateissa, kuten esimerkiksi DWG- tai IFC-formaateissa [15].

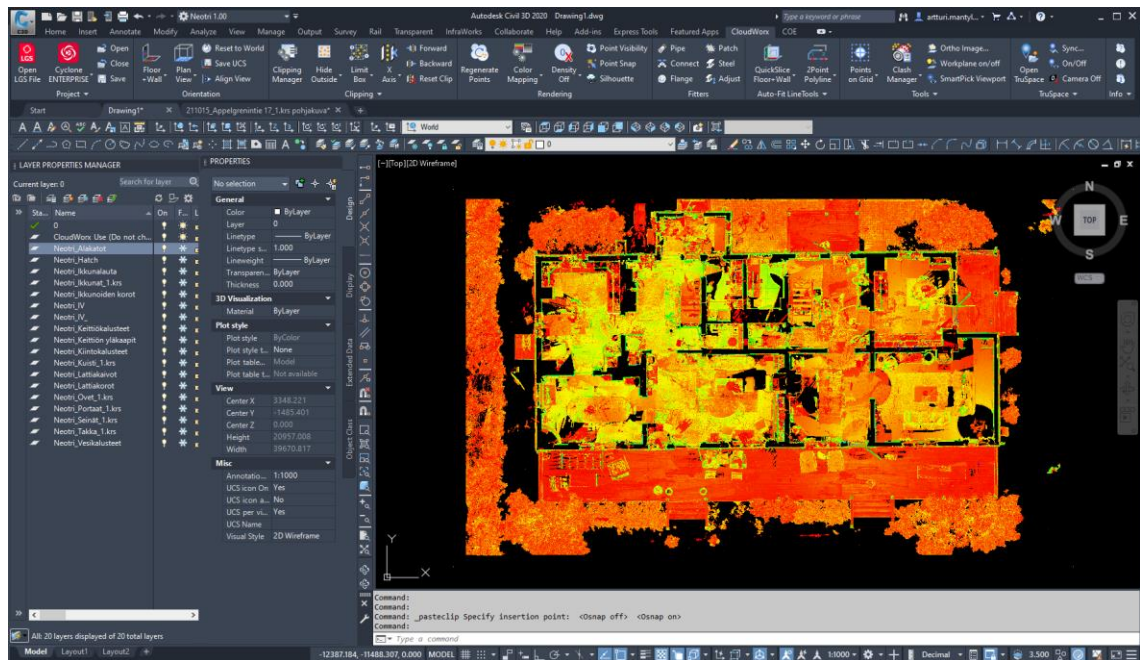
5.6.1 Rakennuspiirustukset

Rakennuspiirustus kuvaa rakennuksen toimintoja, ulkonäköä sekä kokoa. Rakennuslupapiirustukset muodostuvat asema-, pohja- ja julkisivupiirroksista, rakennuksen leikkauspiirustuksista sekä rakenneleikkauksesta sekä rakenneleikkauksista. [22]

Rakennuspiirustukset ovat tärkeä työkalu monissa rakennus- ja remonttiprojekteissa. Laserkeilauksen pohjalta tehdään esimerkiksi vanhojen suunnitelmien päivittäminen nykytilannetta vastaaviin digitaalisiin suunnitelmiin, jotka toimivat osaltaan apuna myös hankesuunnittelussa ja putkiremontissa. [15]

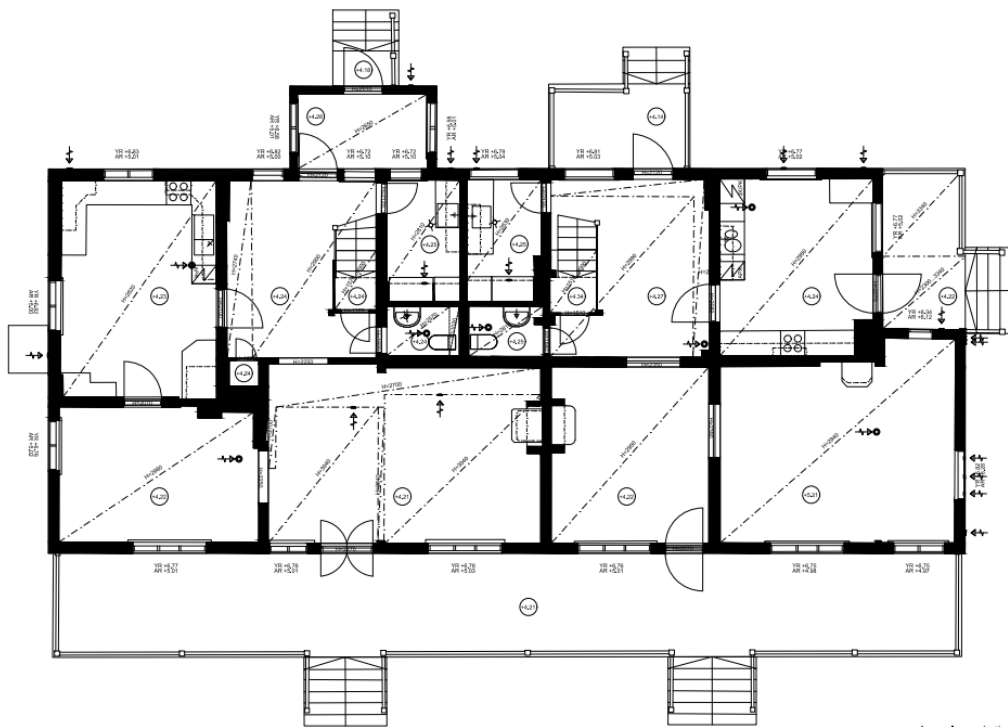
5.6.2 Pohjapiirustus

Pohjapiirroksista (kuvat 33 ja 34) käy esiin tilojen sijoitus ja niiden toiminnallinen suunnittelu. Mittakaavana on yleensä 1:100. Pientaloissa voidaan käyttää myös mittakaavaa 1:50, jolloin piirustuksia voidaan käyttää myös työpiirustuksina ja tarvittavien sähkö- ja LVI-piirrosten pohjina. [22]



Kuva 33. Pohjakuvan pistepilvi. Pistepilviaineisto pohjapiirroksen piirtämistä varten AutoCad-ohjelmassa. Appelgrenintie, Hanko. [18]

Appelgrenintie , Hanko
1.krs pohjakuva



Appelgrenintie , Hanko
1.krs pohjakuva
ETRS-GK24, N2000

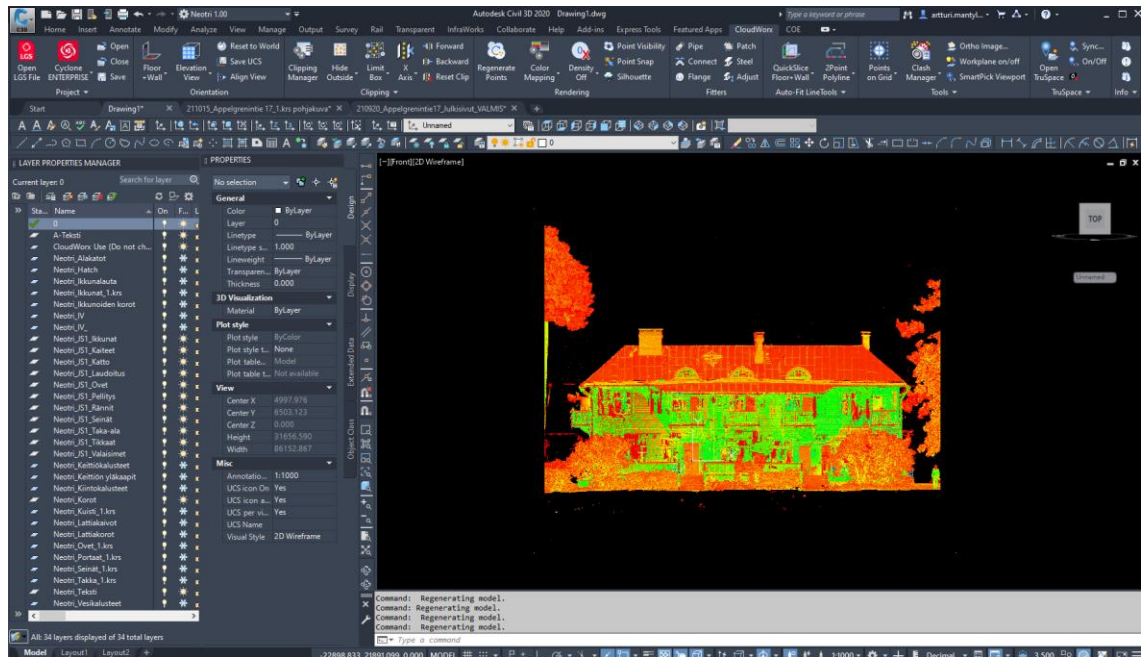
Neotri Oy
toimisto@neotri.fi / Puh. 0405512910
www.neotri.fi

Kuva 34. Pistepilvestä piirretty pohjapiirustus. Appelgrenintie, Hanko [18].

5.6.3 Julkisivupiirustus

Julkisivupiirustus (kuvat 35 ja 36) kuvaa rakennuksen ulkonäköä ja sisältää näkymän rakennuksen kaikista sivuista vesikaton näkyvine osineen. Piirustuksissa käytetään yleensä mittakaavaa 1:100. [22]

Laserkeilaus mahdollistaa kaikkien julkisivun elementtien ja detaljien realistisen sekä mittakaavan mukaisen piirtämisen. [15]



Kuva 35. Julkisivun pistepilvi AutoCadissa [18].

Appelgrenentie , Hanko
Julkisivu pohjoiseen

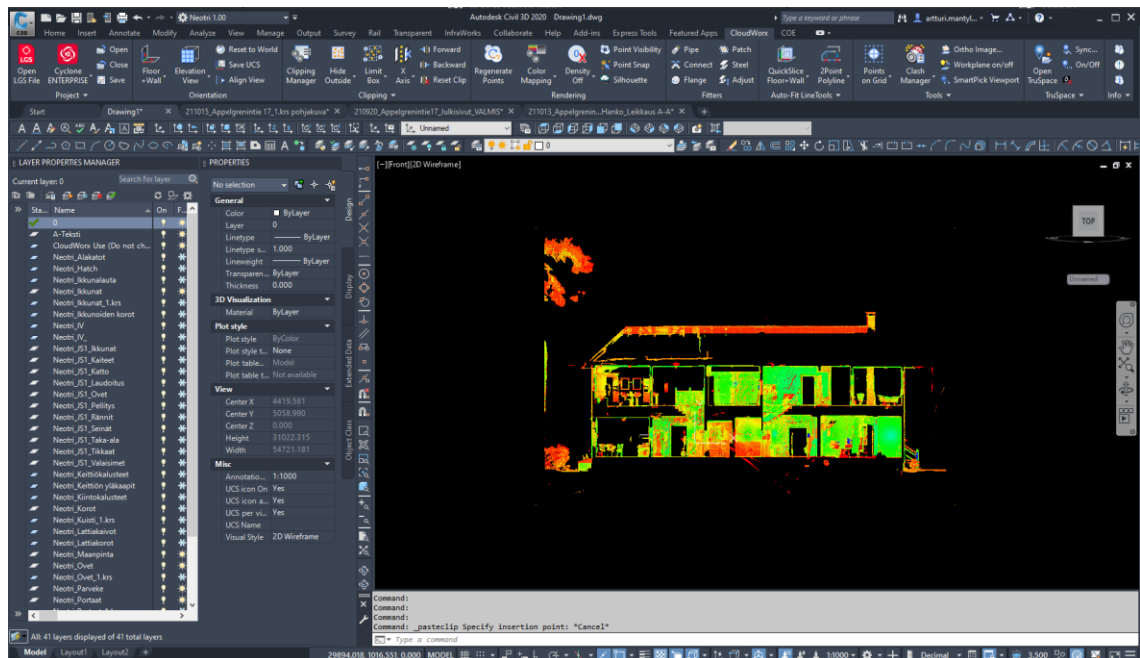


Kuva 36. Pistepilvestä piirretty julkisivupiirustus. Appelgrenentie, Hanko [18].

5.6.4 Leikkauspiirustus

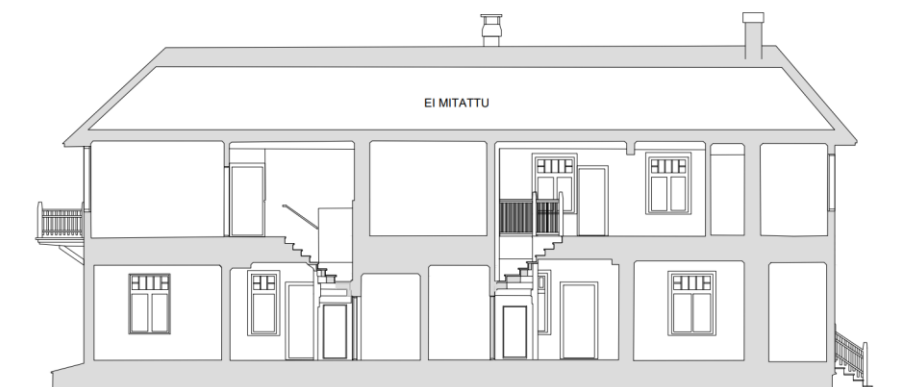
Leikkauspiirustuksista käyvät ilmi pysty- ja vaakasuuntaiset rakenteet ja rakennusosat leikattuina (kuva 38). Leikkauspiirustuksessa esitetään rakennuksen osien korkeustasot ja tarvittavat kerrosten sekä tasojen korkeusasemat. Pohjapiirustuksiin merkitään leikkauspiirustusta vastaava kohta ja katselusuunta. Mit-takaavana on 1:100. [23; 22.]

Laserkeilaimen luomasta pistepilvestä (kuva 37) on mahdollista piirtää kaikki leikkaukset halutuilta korkeuksilta sekä eri kulmista [15].



Kuva 37. Leikkauksen pistepilvi AutoCadissa [18].

Appelgrenintie , Hanko
Leikkaus A-A



Kuva 38. Leikkauspiirustus. Piirretty pistepilvestä koko korkeudelta. [18]

6 Haasteet ja kehityskohteet

Laserkeilauksen mahdollisena haasteena on usein joku pieni virhe rekisteröinnin jälkeisessä exportissa/ulos viennissä, joka vaatii tiedoston uudelleen eksportoinnin. Tähän voi kulua pahimmillaan useita päiviä, jos aineisto on suuri. [15]

Tiedostokoon pienentäminen on jatkuva kehityksen kohde. Nyt tiedostokoko on kyllä selkeästi pienentynyt, mutta vastaavasti keilainten keräämän datan määrä on kasvanut, jolloin aineiston todellinen koko ei ole juurikaan muuttunut. Ohjelmistopuolella import/eport-vaiheiden tehostaminen tai varsinkin exportista kokonaan luopuminen olisivat isoimpia askeleita eteenpäin. Mobiililaserkeilaimet kaipaavat kehitystä datan laadun parantamiseksi. Mobiilikeilaus nopeuttaisi sisätiloissa tehtävää keilaustyötä vielä entisestään mahdollistaen suurienkin projektien läpiviemisen nopeasti ja kustannustehokkaasti. Tekoälyn tuominen piirroksia ja mallinnustyöhön olisi myös tervetullutta. Nyt mallintaminen on manuaalista työtä, mutta ainakin joitakin kohteita voisi pistepilvestä tunnistaa hahmontunnistusta hyväksikäyttäen ja mallintaa automaattisesti. [15]

7 Yhteenveto

Insinööriyössä selvitettiin, miten laserkeilausta hyödynnetään korjausrakentamisessa. Tavoitteena oli perehtyä korjausrakentamiseen, laserkeilaukseen, keilaustyön eri vaiheisiin sekä Leica Geosystems -kalustoon ja-ohjelmistoon. Työ tehtiin kirjallisuuden, verkkoaineistojen, laitteiden teknisten tietojen esitteiden sekä työnantajani haastattelun pohjalta. Insinööriyössäni tuotiin esille esimerkiksi Neotri Oy:n palveluksessa tehdyistä mittausprojekteista.

Työssä havaittiin, että laserkeilaus on nopea ja tehokas tapa jo olemassa olevien rakennusten mittaamiseen sisältä ja ulkoa. Laserkeilain kerää datan rakennuksen nykytilanteesta ja kaikesta muustakin keilaimen eteen osuvasta. Pistepilvien datan avulla tutkitaan ja mallinnetaan saneerauskohteita tarvittavista kulumista ja suunnista asiakkaan toiveiden mukaisesti. Aineiston avulla havaitaan helposti erilaiset rakenteet, kuten putket, palkit ja pilarit, jotka ovat korjausrakentamisen kannalta olennaisia. Keilausprosessin lopputuotteena on tyypillisesti erilaisia asiakkaan toiveiden mukaisia rakennepiirroksia. Ajantasaiset rakennuspiirrokset ovat tärkeä työkalu rakennus- ja remonttiprojekteissa. Piirustuksia voidaan käyttää apuna hankesuunnittelussa, työpiirustuksina ja tarvittavien sähkö- ja LVI-piirrosten pohjana. Luotettava lähtötietomalli toimii laadukkaana pohjana onnistuneelle korjaushankkeelle. Laserkeilauksen etuja ovat nopea mittaustapahtuma, kattava data sekä keilausaineiston monikäyttöisyys, eli keilatessa ei välttämättä tarvitse tietää, mitä keilausdatasta tulevaisuudessa halutaan tehdä.

Laserkeilaus dataa voi hyödyntää erilaisissa saneerauksissa, kuten

- julkisivuremontit
- kattoremontit
- linjasaneeraus
- lattiarakenteiden uusiminen
- kylpyhuonesaneeraus
- sähköremontit
- rakennuksen tilamuutokset ja laajentamiset

- hissin rakentaminen hissittömään taloon
- lämmitystavan vaihdot.

Työssäni olisin halunnut vielä käsitellä rakennuksien suoruus- ja korkeustarkkailua sekä pinta-alamittauksia saneerattavissa kohteissa. Työtä voisi jatkaa tutkimalla, miten eri alojen suunnittelijat lähtevät tekemään omaa työtään laserkeilausaineistosta piirrettyjen rakennuskuvien parissa. Mielenkiintoinen tutkimuskohde olisi myös laserkeilauksen taloudelliset hyödyt saneerauksissa.

Insinööriö osoitti, että laserkeilaus on hyödyllinen menetelmä korjausrakentamisessa. Insinööriötäni pystyvät hyödyntämään erilaisten hankkeiden suunnittelijat, eri suunnitteluvaiheen projektihenkilöt sekä Neotri Oy:n henkilökunta. Laserkeilauksen tehokkuuden ja monikäyttöisyyden ansiosta oletan laserkeilauksen käytön saneerauskohteissa lisääntyvän merkittävästi, kunhan laitteiden ja ohjelmistojen hinnat laskevat.

Lähteet

- 1 Rakennusyritysten korjausrakentaminen. Käsitteet ja määritelmät. Verkkoaineisto. Tilastokeskus. <<https://www.stat.fi/keruu/rako/kasitteet.html>> Luettu 18.03.2022.
- 2 Rakennuksen elinkaari. Verkkoaineisto. Rakennusteollisuus. <<https://www.rakennusteollisuus.fi/Tietoa-alasta/Ilmasto-ymparisto-ja-energia/Kestava-rakentaminen/Rakennuksen-elinkaari/>> Luettu 19.03.2022.
- 3 Myyryläinen, Leevi. 2019. Rakennusten elinkaari, energia ja kunto. Kirja.
- 4 Saneeraus on tärkeä osa rakennuksen ylläpitoa. 2022. Verkkoaineisto. Urakkamaailma. <<https://www.urakkamaailma.fi/saneeraus>> Luettu 18.03.2022.
- 5 Johdatus rakennusten elinkaariarviointiin. 2019. Verkkoaineisto. Ympäristöministeriö. <<https://elinkaarilaskenta.fi/>> Luettu 19.03.2022.
- 6 Korjausrakentaminen. Verkkoaineisto. Rakennusteollisuus. <<https://www.rakennusteollisuus.fi/Tietoa-alasta/Korjausrakentaminen1/>> Luettu 19.03.2022.
- 7 Salminen, Juha. 2015. Toteutusmuodot taloyhtiön korjaushankkeissa. Kirja.
- 8 Airaksinen, Miinu. 2021. Kestävä rakennettu ympäristö on edellytys elinvoimaiselle yhteiskunnalle ja hyvälle arjelle. Verkkoaineisto. ROTI. <https://www.ril.fi/media/2021/vaikuttaminen/roti2021_low.pdf>. Luettu 21.03.2022.
- 9 Halttunen Tony. Korjausrakentaminen – mitä sinun tulee tietää saneerauksesta. Verkkoaineisto. Haaveremontti Oy.

- <<https://www.haaveremontti.fi/korjausrakentaminen-mita-sinun-tulee-tietaa-saneerauksesta/>>19.03.2022.
- 10 Korjaussuunnitelma on lakisääteinen. 2018. Verkkoaineisto. Asumisen rahoitus- ja kehittämiskeskus ARA. <https://www.ymparisto.fi/fi-fi/rakentaminen/korjaustieto/taloyhtiot/suunnitelmallinen_kiinteistonpito/kiinteistonpidon_tyokalut/korjaussuunnitelma> Luettu 20.03.2022.
- 11 Kuntoarvio ja kuntotutkimus. 2018. Verkkoaineisto. Asumisen rahoitus- ja kehittämiskeskus ARA. <https://www.ymparisto.fi/fi-fi/rakentaminen/korjaustieto/taloyhtiot/suunnitelmallinen_kiinteistonpito/kiinteistonpidon_tyokalut/korjaussuunnitelma> Luettu 20.03.2022.
- 12 Kraft, Eemil. 2021. Saneeraus pidentää rakennuksen elinikää. Verkkoaineisto. Urakkadiili. <<https://urakkadiili.fi/mita-tarkoittaa-saneeraus>> Luettu 19.03.2022.
- 13 Laurila, Pasi. 2012. Mittaus- ja kartoitus tekniikan perusteet. Kirja.
- 14 Suominen, Tauno. 2002. Uusi rataosuus pitkästä aikaa rakenteilla. Kera-Lahti-oikorata haasteellinen mittauskohde. Verkkoaineisto. Maankäyttö <http://www.maankaytto.fi/arkisto/mk102/mk102_251_suominen.pdf> Luettu 18.03.2022.
- 15 Susi, Kalle. Neotri Oy toimitusjohtaja. 2022. Haastattelu. Espoo. 21.03.2022.
- 16 Neotri Oy. Verkkoaineisto. Neotri Oy. < <https://neotri.fi/>>. Luettu 25.02.2022.
- 17 Joala, Vahur. 2006. Laserkeilauksen perusteita ja mittauksen suunnittelu. Verkkoaineisto. <<https://sites.google.com/site/laserkeilaus/lukemista/vahur-joala>>. Luettu 17.02.2022.

- 18 Bürkland Triin. 2022. Insinööriyötä varten otetut valokuvat ja kuvakaappaukset. Espoo.
- 19 Partonen Ilkka. 2020. Laserkeilaus. Luento. Verkkoaineisto. Metropolia. Luettu 17.02.2022.
- 20 Leica Geosystems. Verkkoaineisto. Leica Geosystems AG. <<https://leica-geosystems.com/>>. Luettu 21.02.2022.
- 21 Repun ja kolmijalan kuva. 2022. Leica RTC360 Backpack <<https://datumtechsolutions.com/products/leica-rtc360-backpack>> Luettu 01.04.2022.
- 22 Rakennuspiirustukset. 2017. Verkkoaineisto. Rakentaja. <<https://www.rakentaja.fi/artikkelit/11940/rakennuspiirustukset.htm>> Luettu 01.04.2022.
- 23 Pääpiirustus-ohjeita. 2022. Verkkoaineisto. Pääpiirustus. <<http://www.paapiirustus.fi/leikkauspiirustus/>> Luettu 01.04.2022.