



TAMPEREEN
AMMATTIKORKEAKOULU

3D-LASERSKANNAUS KORJAUSHANKKEEN LÄHTÖTIETOJEN HANKINTAKEINONA

Case: Myyrmanni

Kalle Tammi

Opinnäytetyö
Joulukuu 2015
Rakennusalan työnjohto



TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Rakennusalan työjohto

TAMMI, KALLE:

3D-laserskannaus korjaushankkeen lähtötietojen hankintakeinona - Case: Myyrmanni

Opinnäytetyö 37 sivua, joista liitteitä 1 sivu
Joulukuu 2015

Tässä opinnäytetyössä käsitellään Tampereen ammattikorkeakoulun ja BST-Arkkitehdit Oy:n yhteistyössä tekemää case-harjoitusta, jonka tavoitteena oli tutkia maanpäällisen 3D-laserskannauksen soveltumista korjaus- ja muutoshankkeen lähtötietojen hankintata- vaksi. Skannattavana kohteena oli kauppakeskus Myyrmanni. Opinnäytetyössä esitetään 3D-laserskannauksen prosessi sisältäen mittauksen suunnittelun, kohteessa tapahtuvan mittauksen sekä pistepilven tuottamisen mittausaineistosta.

Olemassa olevan rakennetun ja rakentamattoman ympäristön kolmiulotteinen (3D) doku- mentointi on viime vuosina yleistynyt nopeasti. Kolmiulotteisessa dokumentoinnissa yh- distyvät mittaustekniikka ja tietokonegrafiikka. Kehitystä vauhdittavia tekijöitä on useita, ja yhtenä merkittävänä sovellusalueena on juuri rakennusala. Uudisrakentamisessa tieto- mallinnus eli BIM (Building Information Modelling) on jo laajalti korvannut vanhoja toi- mintatapoja ja kaksiulotteisia piirustuksia. Sen sijaan korjausrakentamisessa ja vanhan rakennuskannan dokumentoinnissa 3D-mallinnus on ollut aiemmin vaativaa ja kallista, koska menetelmät ja työkalut eivät ole olleet halutulla käytettävyydellä. Osaltaan uu- sien toimintatapojen käyttöönottoa on jarruttanut myös tietotaidon puute.

Kolmiulotteisen dokumentoinnin yleistyessä rakennushankkeissa myös koulutuksen pi- tää vastata osaamisvaatimuksiin. Tästä johtuen Tampereen ammattikorkeakoulun raken- nustekniikan osastolle on hankittu opetus- ja projektikäyttöön maanpäällinen 3D-laser- skanneri pistepilviohjelmistoinen.

Työn aikana käsitys 3D-laserskannauksen eduista ja puutteista vahvistui. 3D-laserskan- nauus on nopea ja tehokas tapa hankkia monipuolista ja tarkkaa tietoa kohteesta. Se on myös turvallinen keino ja soveltuu niin sisä-, kuin ulkokäyttöön. Menetelmänä 3D-lasers- kannasta rasittaa jonkin verran edelleen tähyksen käyttö ja sen aiheuttama lisätyö. Myös valmistajakohtaiset lukuisat tiedostomuodot sekä isot tiedostokoot ovat vielä toistaiseksi hyödyntämisketjun kompastuskiviä. Näistä pienistä puutteista huolimatta 3D-laserskan- nauksen käytettävyytensä on sellainen, että sen hyödyntäminen on helposti perustelta- vissa pienemmissäkin korjaus- ja muutoshankkeissa.

Asiasanat: 3D-laserskannaus, korjausrakentaminen, pistepilvi, tietomallinnus

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Degree Programme in Construction Site Management

TAMMI, KALLE:

Utilisation of 3D Laser Scanning in Renovation Project Planning - Case: Myyrmanni

Bachelor's thesis 37 pages, appendices 1 page
December 2015

3D documentation of existing environment, both urban and rural areas, has been growing significantly during the last few years. 3D documentation combines together surveying and computer graphics. There exist many reasons why the development of 3D documentation has been accelerating and one of the most important application areas of 3D documentation is the Architecture, Engineering and Construction (AEC) sector. Building Information Modelling (BIM) has been largely adopted in the new building projects. BIM has in many places replaced old conventions and 2D drawings as a format to transfer and store the information. However, 3D modelling has been considered to be expensive and challenging in renovation projects, mainly because the methods and tools have not been on the desired usability level. Often the adoption of new methods has been blocked by the lack of appropriate know-how.

The price and usability of 3D documentation equipment and software have reached a level which makes their utilisation feasible even in small scale renovation projects during this decade. 3D documentation is becoming more and more common in projects and therefore the education of AEC professionals has to be ready to meet the new competence requirements. This is one of the main reasons behind purchasing terrestrial 3D laser scanner and point cloud software for the Tampere University of Applied Sciences. The 3D laser scanner of the university is used for education and research projects.

The scope of this thesis is a case example trialling the terrestrial 3D laser scanning for producing the initial data of renovation plans. The example building is a large mall, Myyrmanni, and the trial project was done in co-operation with the design company BST-Arkitehdit Oy. The thesis defines the 3D laser scanning process including the phases from planning to actual scanning and to post-processing of the point cloud data. One objective of the thesis was to utilise its content as self-learning material especially for the students and personnel of Tampere University of Applied Sciences.

Key words: 3D laser scanning, renovation, building information modelling, point cloud

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	6
2	3D-LASERSKANNAUS	7
2.1	3D-laserskannerit	7
2.1.1	3D-laserskannereiden käyttötavan mukainen jaottelu	9
2.1.2	FARO Focus ^{3D} X330.....	10
2.2	Mittaaminen ja tulokset	11
2.2.1	Pistepilvi.....	12
2.2.2	Rekisteröinti ja tähyksen käyttö	12
2.2.3	Georeferointi	13
2.3	Tietokoneohjelmat ja tiedostomuodot	14
2.4	Sovelluskohteet rakennusosalalla.....	15
2.4.1	Korjauskohteet	16
2.4.2	Julkisivumallinnus ja kohdeympäristön visualisointi	17
2.4.3	Maastomallinnus	18
2.4.4	Historiallisten kohteiden dokumentointi ja tutkiminen.....	18
2.5	3D-laserskannausprojektin vaiheistus.....	19
3	TYÖN TAUSTA	21
3.1	BST-Arkkitehdit Oy	21
3.2	Kauppakeskus Myyrmanni	21
4	MITTAUSTYÖN SUUNNITTELU	23
4.1	Julkisivun skannaussuunnitelma.....	23
4.2	Sisätilojen skannaussuunnitelma	25
5	MITTAUSTYÖ	26
5.1	Julkisivuskannaus	26
5.2	Sisätilojen skannaus	27
6	TULOSTEN KÄSITTELY	28
6.1	Scene-projektin luominen	28
6.2	Esikäsitteily.....	29
6.3	Rekisteröinti ja pistepilven luonti	30
6.4	Konversio ReCap-projekteiksi.....	31
6.5	Tulosten toimittaminen	32
6.6	Jatkokäsittely	32
7	YHTEENVETO	34
	LÄHTEET.....	35
	LIITTEET	37
	Liite 1. Mittaustyön kalustoluettelo.....	37

LYHENTEET JA TERMIT

3D	three dimensional, suom. kolmiulotteinen
3D-laserskannaus	lasersäteen avulla tapahtuva kolmiulotteinen etäisyydenmittaus
BIM	Building Information Modelling, suom. tietomallinnus
laser	Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation, suom. valon vahvistus säteilyn stimuloitulla emisiolla

1 JOHDANTO

Korjausrakentamisen euromääräinen arvo on Suomessa ohittanut viime vuosien aikana uudisrakentamisen. On perustellusti ennustettavissa, että samansuuntainen kehitys jatkuu yhä tulevaisuudessa. Rakennusalan on siis etsittävä kasvu ja kannattavuus korjausrakentamisen kehittämisestä ja sen paremmasta tuotteistamisesta. (Suhdannekatsaus syyskuu 2015)

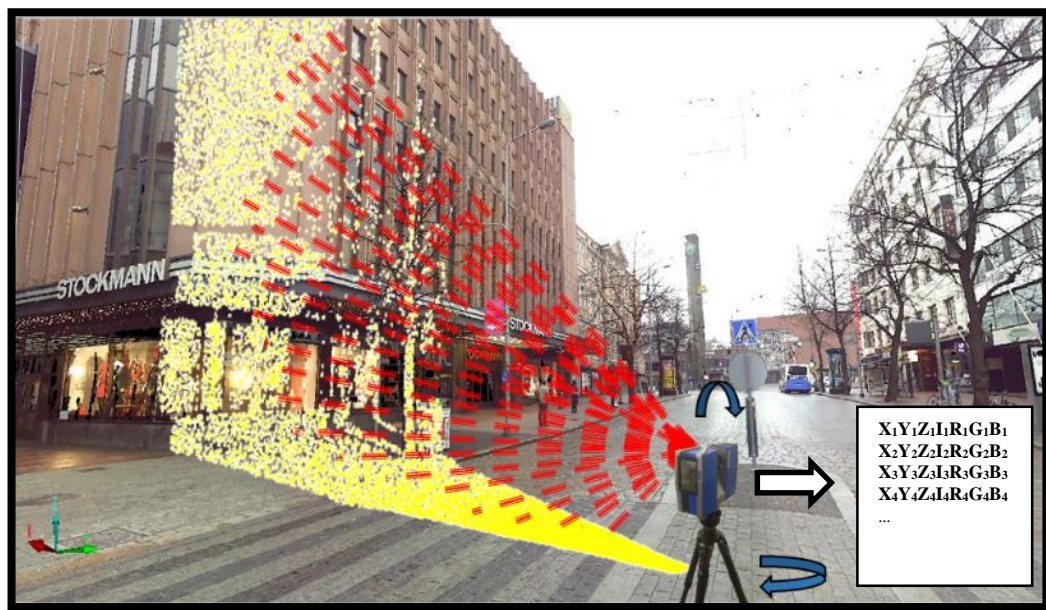
Hyvällä suunnittelulla ei aina pystytä takaamaan korjaushankkeen onnistumista, mutta mitä huolellisemmin lähtötietojen kerääminen ja muutosten suunnittelu hoidetaan, sitä paremmat edellytykset hankkeella on saavuttaa tavoitteensa niin laadullisesti, taloudellisesti kuin aikataulun osalta. Korjaus- ja muutostöiden kohteena olevat kiinteistöt ovat yleensä vuosikymmenien ikäisiä ja niiden rakennusdokumentaatio ei ole ajantasainen tai pahimmassa tapauksessa sitä ei löydy lainkaan. Korjaushanketta suunniteltaessa ja viimeistään hankkeeseen ryhdyttäessä paperiset, jopa sukupolvia sitten käsin piirretyt, piirustukset on aina muutettava nykytyökaluille soveltuvaan digitaaliseen muotoon ja sen ohella on tehtävä tarvittavia tarkistusmittauksia ja -käyntejä kohteessa.

Rakennusalan globaaliksi trendiksi on nousemassa tietomallintaminen (*BIM*), joka osoittaa käytäntöjen ja työkalujen kehittyessä lunastavan sille asetetut tuottavuuden ja laadun parantamisen tavoitteet. Tietomallintamisen prosessin tehokkuus perustuu lähtötietojen digitaalisuuteen, kolmiulotteisuuteen ja luotujen mallien yhteensopivuuteen ja ylläpidettävyyteen. Tietomallintamisen soveltaminen kotimaisessa korjausrakentamisessa on edelleen kuitenkin suhteellisen vähäistä johtuen digitaalisten lähtötietojen ja vakiintuneiden käytäntöjen puuttumisesta. Tilanne on kuitenkin muuttumassa. Ennustettavissa on, että tietomallintaminen ja korjausrakentamisen volyymit yhdessä luovat tulevaisuudessa kasvavan kysynnän rakennetun ympäristön mittaamis- ja mallintamispalveluille.

Digitaalisten lähtötietojen tuottamiseen tarkoitettujen 3D -tiedonkeruulaitteiden ja -ohjelmistojen kehitys on 2010-luvulla ollut nopeaa. Tässä opinnäytetyössä käsitellään menetelmistä 3D-laserskannausta. Case-esimerkin avulla käydään läpi muutos- ja korjaustyökohteen mittaaminen ja tulosten käsittely.

2 3D-LASERSKANNAUS

3D-laserskannaus, josta usein rakennusalalla käytetään myös termiä laserkeilaus, on mitausmenetelmä, jossa lasersädettä hyödyntäen voidaan mitata kohteiden sijainti kolmitoimittaisessa x, y, z -koordinaatistossa. Yksittäisen laserskannauksen origona toimii lasersäteen lähtöpiste eli laite, jota kutsutaan 3D-laserskanneriksi. 3D-laserskannerin toiminta on esitetty yksinkertaistetusti alla olevassa kuvassa.



Kuva 1. 3D-laserskannerin toimintaperiaate

2.1 3D-laserskannerit





3D-laserskannereissa käytetty mittaustekniikka perustuu optiikkaan, joka hyödyntää lasersäteen ominaisuuksia eli monokromaattisuutta (samaa aallonpituutta), koherenttisuutta (samanvaiheisuutta) ja yhdensuuntaisuutta. Laitteen lähettämä lasersäde heijastuu osuessaan kohteeseen ja takaisin heijastuneesta säteestä laite laskee kohteen sijainnin.

Laserit, joita 3D-laserskannereissa yleisesti käytetään, toimivat näkyvän valon ja infrapunaa aallonpituuksilla. Laitteiden käyttämä laserin teho vaihtelee valmistajasta ja mallista riippuen. Uudenaikaisemmissa laitteissa käytetyt aallonpituudet ja tehot ovat sellaisia, että niiden aiheuttama vaara ihmisilmälle on minimoitu. Laserskannereiden laserit

kuuluvat yleensä turvallisuusluokkiin 1 – 3R. Luokitus 1 on kaikkein turvallisin ja luokan 1 laitetta voidaan käyttää ilman silmien suojausta. 3R luokituksen laitteissa laserit ovat tehokkaampia ja vaativat silmien suojaamista tai suoran katsekontaktin välttämistä laser-säteen kanssa. (Säteilyturvakeskus (STUK))

Sijainnin määrittämiseen on erilaisia tekniikoita, joista yleisimmin käytössä ovat 1) säteen kulku-aikaan perustuva menetelmä eli niin kutsuttu pulssilaser ja 2) vaihe-eron mittaukseen perustuva menetelmä eli niin kutsuttu vaihe-erolaser. Vaihe-erolaser on tarkempi ja aiheuttaa tuloksiin vähemmän kohinaa, joskin vaihe-erolaserin kantama on lyhyt. Pulssilasereiden etuna taas on ollut perinteisesti pidempi kilometriluokan kantama. Tätä eroa vaihe-erolaserit ovat viime aikoina kuroneet kiinni pääsemällä nykyään jo satojen metrien kantamaan. Taulukossa on vertailtu eri valmistajien laserskannereita.

Taulukko 1. Eri valmistajien 3D-laserskannereita
(kuvat ja tiedot: Leica; Topcon; Trimble; Faro)

<i>Merkki ja malli</i>				
<i>Tekniikka</i>	Leica	Topcon	Trimble	Faro
<i>Kantama</i>	C10	GLS200	TX5	Focus X 130
<i>Laser-luokka</i>	Pulssilaser	Pulssilaser	Vaihe-erolaser	Vaihe-erolaser
	300 m	350 m	120 m	130 m
	3R	3R	3R	1

2.1.1 3D-laserskannereiden käyttötavan mukainen jaottelu

3D-laserskannerit voidaan kategorisoida myös käyttötavan mukaisesti. Kaikissa käyttötavoissa laitteet toimivat etäältä, eivätkä vaadi kontaktia mitattavaan kohteeseen.

Erilaisia 3D-laserskannereita on esitelty kuvassa alla ja niiden käyttötapoja ovat

- ilmalaserskannerit eli niin kutsutut LIDAR-skannerit (*Light Detection and Ranging*), joita käytetään sekä pienlentokoneissa että miehittämättömissä ilma-aluksissa (engl. UAV, *Unmanned Aerial Vehicle*).
- ajoneuvoon kiinnitettävät eli mobile-skannerit
- maalaserskannerit (engl. terrestrial) (katso Kuva 3.)
- käsikäyttöiset (engl. handheld) skannerit.



Kuva 2. Erilaisia 3D-laserskannereita (Tammi 2015)

Tässä opinnäytetyössä keskitytään maanpäällisen 3D-laserskannerin käyttöön, joskin mittausmenetelmät ja tulosten jälkikäsitteily ovat osin geneerisiä ja sovellettavissa muihinkin laserskannereihin.



Kuva 3. Maanpäällinen 3D-laserskanneri käyttöympäristössä (Tammi 2015)

2.1.2 FARO Focus^{3D} X330

Tässä opinnäytetyössä on käytetty maanpäällistä 3D-laserskanneria mallinimeltään Focus^{3D} X330. Laitteen valmistaja on yhdysvaltalainen FARO Technologies, Inc. Kyseinen malli on pitkän kantaman vaihe-erolaseriin perustuva laserskanneri, joka soveltuu isojen kohteiden mittaamiseen sekä sisällä että ulkona.

Laitteen kantama on 0,6 – 330 metriä ja maksimimittausnopeus 976 000 pistettä sekunnissa. Laitteessa on myös digitaalinen kamera, jonka avulla pistepilveen voidaan yhdistää RGB-värikoodit (*Red-Green-Blue*). Laserin aallonpituus on 1550 nm ja se on turvallisuusluokan 1 laite eli sitä voidaan käyttää ilman erityistä silmäsuojauksia.

Focus^{3D} X330 on kooltaan 240 x 200 x 100 mm ja se painaa 5,2 kg mahdollistaen kohtuullisen helpon siirrettävyyden käytännön mittaus-työssä. Laitetta ohjataan kosketusnäyttökäyttöliittymän avulla tai vaihtoehtoisesti WLAN-yhteyden kautta etäohjauksella tietokoneen tai älypuhelimien avulla.



Kuva 4. FARO Focus^{3D} X330

(kuva: Faro)

Laitteessa on useita eri sensoreita, joilla mittaamista automatisoidaan ja tulosten käsittelyä voidaan parantaa. Tasaussensorin avulla laite korjaa automaattisesti pienet kallistuskulmat ($< 5^\circ$) laitteen asennossa. GPS-vastaanottimen (*Global Positioning System*) avulla laite tallentaa automaattisesti sijaintinsa koordinaatit. Lämpötila-anturin avulla laite ehkäisee ylikuumenemisen ja sen aiheuttamat virheet mittaustuloksissa. (Focus3D X330)

2.2 Mittaaminen ja tulokset

3D-laserskanneri lähettää ympäristöönsä lasersädettä suurella nopeudella ja kerää heijastuneiden säteiden avulla mittausinformaatiota ympäristöstään. Maalaserskannereissa säteiden lähetys ja vastaanotto tapahtuvat pyörivän peilin kautta. Peili pyörii vaaka-akselinsa ympäri ja samalla itse skannerilaitte pyörii pystyakselinsa ympäri. Näiden pyörimisliikkeiden ansiosta maalaserskanneri kykenee mittaamaan ympäristönsä kupolimaisesti kattaen vaakatasossa 360° ja pystytasossakin 300° . Ainoastaan laitteen alle jää pienehkö, 2 metriä halkaisijaltaan oleva mittaamaton alue. Skannausaluetta voidaan rajoittaa myös tätä pienemmäksi.

3D-laserskannerit kykenevät tyypillisesti mittaamaan useita satojatihansia pisteitä sekunnissa ja näin keräämään ympäristönsä näkyvistä geometrisistä muodoista tiheän joukon koordinaattipisteitä, joiden avulla saadaan ympäristö mallinnettua niin kutsuttuna piste-pilvenä.

Kolmiulotteisen koordinaattitiedon lisäksi laitteet pystyvät mittaamaan takaisinheijastuneesta lasersäteestä säteen tehon eli intensiteetin. Intensiteettitieto kertoo pinnan heijas-

tamiskyvystä. Intensiiviteettitiedon avulla voidaan pistepilvet esittää harmaansävyissä. (Focus3D X330) Usein skannereissa on myös digitaalinen kamera, jolla laite voi kuvata ympäristönsä panoraamisesti. Näin saaduista värivalokuvista voidaan pistepilveen tuoda realistinen värikoodaus RGB-koodien muodossa. Skannerin mittaama data tallennetaan laitteessa olevaan massamuistiin, esimerkiksi muistikortille, josta se siirretään tietokoneelle jatkokäsittelyä varten.

2.2.1 Pistepilvi

Yksittäisen 3D-laserskannauksen tuottama tiheä koordinaattipisteiden joukko, pistepilvi, sisältää miljoonia pisteitä. Pistepilvessä olevien pisteiden lukumäärä riippuu skannauksessa käytetyistä parametreista, kuten pistetiheydestä eli resoluutiosta ja skannatun alueen koosta, sekä skannauksen ympäristöstä. Esimerkiksi taivaalta tai vedestä pisteitä ei tallennu. Yksittäisen skannauksen tuottaman pistepilven pisteiden koordinaatit esitetään suhteessa origona toimivaan skanneriin.

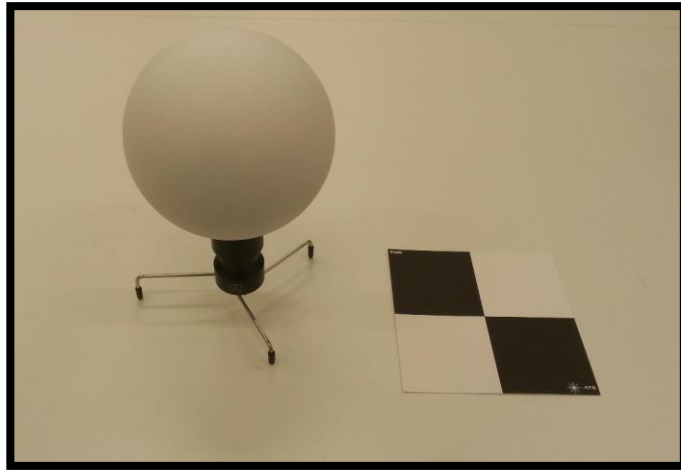
Kun skannerilla suoritetaan useampi skannaus samasta kohteesta, saadut yksittäiset pistepilvet yhdistetään jälkikäsittelyssä tietokoneella yhdeksi kokonaiseksi pistepilveksi. Tällaisen pistepilven koko on yleensä satoja miljoonia, jopa miljardeja pisteitä, riippuen skannausten lukumäärästä ja kohteen koosta.

2.2.2 Rekisteröinti ja tähysten käyttö

Harvoin kohdetta saadaan mitattua kokonaan yhdestä skannausasemasta, joko katveiden ja kohteen monimuotoisuuden takia tai yksinkertaisesti kohteen suuren koon vuoksi. Monesti tarvitaan skannauksia esimerkiksi rakennuksen eri kerroksista tai rakennuksen ulko- ja sisäpuolisia skannauksia. Tällöin tehdään käytännössä useampi skannaus, jotka yhdistetään.

Skannaustulosten yhdistäminen yhteen koordinaatistoon tapahtuu pistepilviohjelmien avulla. Yhdistämistoimenpiteestä käytetään usein termiä rekisteröinti. Skannausten rekisteröinti voidaan tehdä joko täysin automaattisesti tai käyttäjän avustamana.

Rekisteröinnin tekniseen toteutukseen ohjelmissa on useita vaihtoehtoja. Automaattisesti tapahtuva rekisteröinti vaatii, että skannauksissa on riittävä määrä yhteisiä pisteitä, joiden perusteella erillisten skannausten sijainti toistensa suhteen voidaan ohjelmallisesti määrittää. Jos kahdessa erillisessä skannauksessa on riittävästi päällekkäisyyttä ja yhteisiä pisteitä on näin ollen merkittävästi, voidaan rekisteröinti tehdä ilman erityisesti valittuja kohdennuspisteitä. Rekisteröinnissä alan vakiintunein tapa perustuu kuitenkin keinotekoisten kohdennuspisteiden eli tähysten käyttöön. Tähyksinä käytetään yleensä kuvassa 5 esitetyn kaltaisia pallotähyksiä (engl. *sphere*) tai suorille pinnoille kiinnitettäviä, tasomaisia shakkiruututähyksiä. Kuvassa olevan pallotähyksen halkaisija on 14 cm, mutta tähyksiä voi olla monen kokoisia. Isommat tähykset voidaan sijoittaa kauemmas skannerista ja erottaa paremmin pistepilvestä.



Kuva 5. Tähyksiä (Tammi 2015)

2.2.3 Georeferointi

Rekisteröinnissä ohjelma luo pistepilvelle yhtenäisen koordinaatiston. Jos pistepilven koordinaatisto halutaan muuntaa esimerkiksi vastaamaan valtakunnallista koordinaatistoa, pitää ohjelmalle kyetä antamaan riittävä määrä referenssipisteitä, joiden koordinaatit ovat halutussa koordinaatistossa. Tämä saavutetaan helpoimmin mittaamalla käytettyjen tähyksien koordinaatit esimerkiksi perinteisellä takymetrillä tai GPS-järjestelmää hyödyntävällä RTK-laitteistolla (*Real Time Kinematic*).

Mitatut referenssipisteet syötetään ohjelmalle sen haluamassa muodossa, minkä jälkeen ohjelma automaattisesti hakee referenssipisteitä vastaavat tähykset ja muuntaa koko pistepilven vastaavaan koordinaatistoon. Jokaisella yksittäisellä pisteellä on tämän jälkeen oikean koordinaatiston mukaiset koordinaatit. Toimenpidettä kutsutaan georeferoinniksi.

2.3 Tietokoneohjelmat ja tiedostomuodot

3D-laserskannerin mittaaman datan käsittelyyn tarvitaan erityisiä pistepilviohjelmiä, joiden avulla mittaustulokset saadaan yhdistettyä, siirrettyä haluttuun koordinaatistoon ja visualisoitua. Lisäksi pistepilviohjelmilla on usein monia muitakin ominaisuuksia kuten mittausominaisuuksia, luokitteluominaisuuksia sekä leikkaus- ja editointitoimintoja.

Pistepilvien käsittelyn yksi haaste on pisteiden suuri lukumäärä. Kun jokainen piste esitetään graafisesti kolmiulotteisesti, se asettaa ohjelmalle ja järjestelmälle suorituskykyvaatimuksia. Erityisen vaativaksi ohjelmien tietoteknisen toteutuksen tekee georeferointi, koska tällöin kunkin yksittäisen pisteen koordinaatit ovat lukuarvoina erittäin isoja ja vaativat paljon muistitilaa.

Vaikka 3D-skannereiden keräämä data on periaatteessa samankaltaista tuotemerkestä ja -mallista riippumatta, silti jokaisella tuotemerkillä on käytössä oma, epästandardi tiedostomuotonsa, joka on optimoitu kyseisen valmistajan laitteille ja algoritmeille. Tämän vuoksi pistepilviohjelmiä on useita erilaisia ja ne tukevat harvoin kaikkia tiedostomuotoja kattavasti.

Pistepilvien käytön yleistyessä ja laitevalmistajista riippumattomien sovellusohjelmien lisääntyessä on syntynyt tarve standardeille pistepilvien tiedostomuodoille. Tällä hetkellä ainoa alalla standardoitu tiedostomuoto on ASTM Internationalin standardi E57. E57-tiedostoa tukevat nykyään useat pistepilvi- ja sovellusohjelmat. (ASTM E57) Toinen laajasti tuettu tiedostomuoto on ASCII tekstitiedosto (usein .txt- tai .xyz-päätteinen tiedosto), jota ei ole kukaan varsinaisesti standardoinut, mutta jota voi luonnehtia alan de facto standardiksi. Tekstitiedostojen ongelmana ovat kuitenkin koordinaatti-, intensiteetti- ja värikoodikenttien järjestyksen vaihtelu eri ohjelmissa. Lisäksi ASCII-koodattu data vaatii suuremman tallennustilan kuin optimoidummat binäärimuotoiset tiedostot.

Esimerkki laitevalmistajan omasta pistepilviohjelmasta on Faron SCENE-ohjelma, jota on käytetty myös tässä työssä. SCENE on optimoitu ensisijaisesti Faron .lsproj- ja .fls-päätteisiä tiedostomuotoja varten, mutta tukee myös muitakin tiedostoformaatteja etenkin tallennusmuotona.

Esimerkkejä laitevalmistajista riippumattomista ohjelmista ovat Autodesk ReCap ja avoimeen lähdekoodiin perustuva ei-kaupallinen CloudCompare. Autodesk ReCap on optimoitu luomaan pistepilvistä Autodeskin tuotteissa suoraan hyödynnettävissä olevia .rcp- ja .rcs-päätteisiä tiedostoja. ReCap tukee myös muita tiedostoja melko kattavasti. Kattava tuettujen tiedostomuotojen lista on myös CloudCompare-ohjelmalla.

Taulukko 2. Esimerkkejä pistepilviohjelmista

Ohjelma	Valmistaja	Ohjelman tukemia tiedostomuotoja
SCENE	Faro	.lsproj/.fls ; .e57 ; .txt/.xyz
ReCap	Autodesk	.rcp/.rcs ; .lsproj/.fls ; .e57 ; .txt/.xyz
CloudCompare	Avoin lähdekoodi	.txt/.xyz ; .las/laz ; .e57 ; .lsproj/.fls

Pistepilviohjelmilla tuotettu data pitää yleensä siirtää sovellusohjelmistoihin, joissa pistepilveä voidaan hyödyntää osana suunnittelu- ja mallinnustyötä. Yleisimmät tietomallinnus- ja CAD-ohjelmistot ovat viime vuosina kehittyneet siten, että niiden viimeisimmät versiot kykenevät käsittelemään monipuolisesti pistemääriltään isojakin pistepilviä. Esimerkkeinä tällaisista tietomallinnusohjelmista ovat muun muassa Graphisoft ArchiCad sekä Autodesk Revit. Perinteisistä CAD-ohjelmista pistepilviä voidaan hyödyntää esimerkiksi AutoCAD-ohjelmassa.

2.4 Sovelluskohteet rakennusalalla

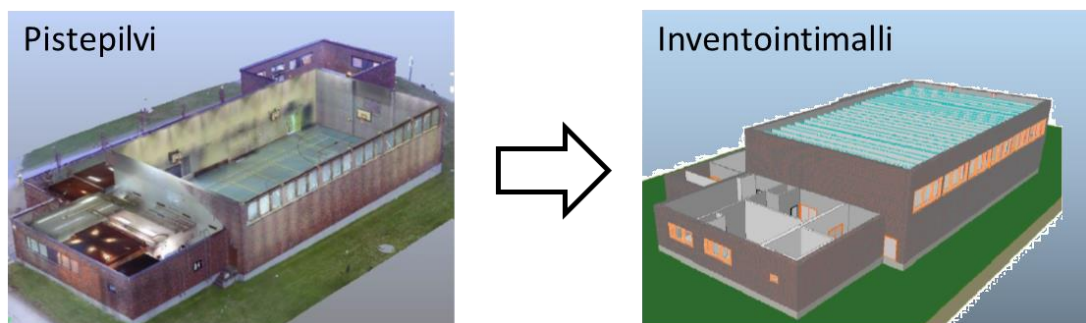
Rakennusala on perinteisesti suurimpia 3D-laserskannauksen sovellusaloja. Laserskannaus tuo suuria hyötyjä mittausnopeudessa ja – tarkkuudessa sekä tarjoaa parhaimman pohjan 3D-mallinnukselle ja tietomalleille. Siksi laserskannausta sovelletaan useissa käyttökohteissa, joista tässä esitellään yleisimmät.

2.4.1 Korjauskohteet

Usein korjauskohteiden rakennuspiirustukset ovat vanhoja paperipiirustuksia, eikä niiden sisältökään ole yleensä kovin kattava saati ajantasainen. Pahimmassa tapauksessa alkuperäisiä piirustuksia ei löydy ollenkaan. Tällaisessa tilanteessa kohteen muutos- ja laajennustöiden suunnittelu on työlästä, koska ensimmäiseksi lähtötiedot on täydennettävä ja olemassa olevat piirustukset saatettava digitaaliseen muotoon ja ajan tasalle.

Tässä avuksi tulee 3D-laserskannaus, jonka hyödyt korjausrakentamisessa ovat moninaiset. Mittausmenetelmänä, miltei kohteen koosta riippumatta, 3D-laserskannaus on nopein ja kattavin, koska se tuottaa mittausdataa suoraan kolmiulotteisena. 3D-laserskannauksen mittaustarkkuus on nykyisillä laitteilla muutaman millimetrin luokkaa. Mittaus tulosten eli pistepilven georeferointi helpottaa ja tarkentaa esimerkiksi asemakaavapiirustusten laatimista.

Laserskannauksen tuloksia voidaan tietokonegrafiikassa esittää monella tavalla, mikä on erinomainen etu korjaussuunnittelussa. Fotorealistinen panoraamanäkymä mahdollistaa yksityiskohtien tarkistamisen ja mittaamisen kohteella käymättä. Ja toisaalta uudet rakennusosat voidaan mallintaa ja liittää osaksi pistepilveä, jolloin alustavia suunnitelmia voidaan jo hankkeen alkuvaiheessa pienellä vaivalla havainnollistaa työntilajalle tai rakennuksen käyttäjille.



Kuva 6. Pistepilvestä inventointimalli (Huhtala R. 2015)

Kun korjauskohteena olevasta rakennuksesta halutaan tehdä lähtötilanteen dokumentoituva tietomalli, käytetään termiä inventointimalli. Inventointimallia varten kohteesta hankitaan tietoa esimerkiksi laserskannauksella ja muilla inventointimenetelmillä. (YTV 2012)

Pistepilven kolmiulotteinen muoto ja tarkkuus antavat hyvät lähtökohdat inventointimallin laatimiselle. Pistepilveä voidaan nykyään käyttää kolmiulotteisen suunnittelun referenssinä yleisimmissä tietomallinnusohjelmissa kuten esimerkiksi Autodesk Revit. Mallin rakennusosat voidaan muodostaa pistepilven pohjalta, joko manuaalisesti tai osin automaattisilla tunnistusohjelmilla, esimerkiksi PointSense for Revit. Kuvassa 6 on esimerkki pistepilven hyödyntämisestä tietomallinnuksessa. Mallinnettavana kohteena oli Tampereen ammattikorkeakoulun kampuksella sijaitseva L-rakennus. Kuva on muokattu Roope Huhtalan opinnäytetyössä esitetyt alkuperäiset kuvat yhdistämällä. (Huhtala R. 2015)

2.4.2 Julkisivumallinnus ja kohdeympäristön visualisointi

Useat kaupungit ovat alkaneet toteuttaa ja ylläpitää kolmiulotteisia kaupunkimalleja. Kaupunkimallit ovat kaupunkitason tietomallinnusta. Tällä tavoin kaupunkisuunnittelu helpottuu, kun mitta- ja paikkatiedon lisäksi kaupunkikuvan muutoksia voidaan visualisoida. Lisäksi kaupunkimallin avulla voidaan tehdä muun muassa valaistus- ja varjostustarkasteluja, suunnitella maanalaisia rakenteita ja tehdä erilaisia simulaatioita opetus- ja koulutuskäyttöön.

Laserskannaus ja sen tuottamat pistepilvet ovat oleellinen osa kaupunkimallinnuksessa käytettävää lähdeaineistoa. Sekä ilma- että maalaserkeilauksella voidaan tuottaa erittäin yksityiskohtaista tietoa maastomallinnukseen ja rakennusten mallintamiseen esimerkiksi kattomuotojen ja julkisivutekstuurien osalta. Kuvassa 7 on pistepilvi Tampereen Hämeenkadulta.



Kuva 7. Pistepilvi Tampereen Hämeenkadulta (Tammi 2014)

2.4.3 Maastomallinnus

Maanrakennustöiden avuksi tarvitaan usein maastomallinnusta, jonka avulla voidaan kaivuutyön määriä ja maa-ainesmassojen tilavuuksia selvittää ja suunnitella. Viime vuosina automaattinen koneohjaus on lisääntynyt merkittävästi infrarakentamisen alalla ja tämä asettaa maastomalleille uusia tarkkuusvaatimuksia. Puhutaankin digitaalisista maastomalleista ja infrarakentamisen tietomalleista, jotka mahdollistavat kaivuutyön automatisoinnin ja seurannan parhaimmillaan millimetrien tarkkuudella. Jotta mallinnus onnistuisi luotettavasti, on maastosta saatava riittävä määrä tarkkaa lähtötietoa ja sen hankkimisessa 3D-laserskannerit ovat uudenaikaisin tapa. Skannauksia voidaan tehdä niin maanpäältä kuin ilmasta käsin. Esimerkiksi Maanmittauslaitos antaa avoimissa aineistoissaan ilmaiseksi käyttöön valtakunnanlaajuisen ilmalaserkeilausaineiston. (Maanmittauslaitos)

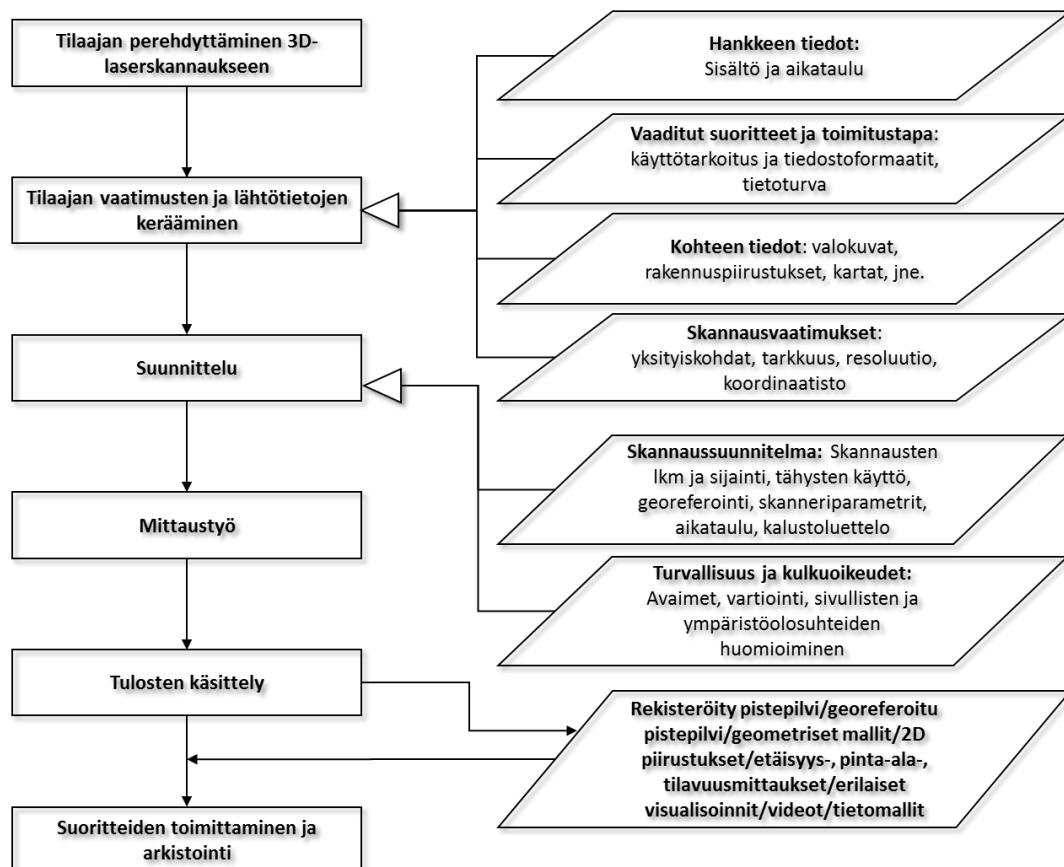
2.4.4 Historiallisten kohteiden dokumentointi ja tutkiminen

Kun rakennuksella tai rakennelmalla on ikää useita vuosikymmeniä tai jopa vuosisatoja, on tavanomaista, että rakennuspiirustuksia ei välttämättä ole olemassa. Jotta mittasuhteita ja rakennusteknisiä ratkaisuja voidaan tällaisissa kohteissa tutkia ja arkistoida, on kohde usein ensin mitattava ja mallinnettava jollakin menetelmällä. Menetelmiä on useita, mutta jos nopeus ja tarkkuus ovat määrääviä tekijöitä, laserskannaus on ylivoimainen. Lasers-

kannauksen dokumentointi- ja mittauskyvykyys korostuvat erityisesti, jos kohde on monimuotoinen (esimerkiksi veistos tms.), vaikeasti saavutettava tai vaarallinen sijainti (esim. kalliojyrkänteellä) tai yksinkertaisesti kooltaan iso (esim. kirkot ja linnat). Kolmiulotteinen pistepilviaineisto on arkistoitavissa yleisessä XYZ-muodossa, jolloin sen digitaalinen säilyvyys on taattu pitkälle tulevaisuuteen. (Senaattikiinteistöt 2015)

2.5 3D-laserskannausprojektin vaiheistus

Laserskannausprojektit noudattelevat yleensä kuvan 8 mukaista vaiheistusta. Kaaviokuva on laadittu mukailien lähteitä Ahonen P. 2015, Cronvall T. ym. 2012 sekä BIM Task Group 2013.



Kuva 8. 3D-laserskannausprojektin vaiheet

Laserskannausprojektin aloitus vaatii monesti ensimmäiseksi tilaajan perehdyttämisen 3D-laserskannauksen teknisiin mahdollisuuksiin ja rajoitteisiin. Yhdessä tilaajan kanssa on myös kerättävä lähtötiedot, sovittava skannauksen tavoitteista ja käytännön toteutuksesta. (Nichols T. 2015)

Varsinaista mittaustyötä edeltää suunnitteluvaihe, joka vaatii toisinaan myös etukäteiskäynnin skannauskohteessa varsinkin, mikäli kyseessä on laaja ja monimutkainen kohde tai kohteen lähtötiedot ovat vajavaiset (esimerkiksi rakennuspiirustuksia ei ole käytettävissä). Suunnitteluvaiheessa luodaan skannaussuunnitelma ja kerätään tarvittava kalusto sekä valmistellaan tarvittavat käytännön toimet turvallisuuden ja kulkuoikeuksien osalta.

Mittaustyö on kohtuullisen nopeaa ja siksi sen suorittaminen vaatii usein pienemmän työpanoksen tulosten käsittelyyn verrattuna. Tulosten käsittely pitää minimissäänkin sisällään pistepilven rekisteröinnin, mutta useimmiten pistepilvestä jatkojalostetaan erilaisia tuotoksia kuten 2D-piirustuksia, mittauksia ja geometrisiä 3D-malleja. Nämä toimitetaan tilaajalle sovitussa tiedostomuodossa ja käyttäen sovittua toimitusmediaa.

3 TYÖN TAUSTA

Tampereen ammattikorkeakoulun Rakentaminen ja teknologia -yksikköön hankittua 3D-laserskanneria on käytetty opetus- ja harjoittelukäytössä useissa erilaisissa projekteissa. Lyhyen käyttöhistorian aikana on havaittu, että vaikka teknologia ja laserskannerit ovat olleet olemassa jo pidemmän aikaa, niin laserskannaus ei ole vakiintunut rakennusalalle kovin yleiseksi käytännöksi ja sen hyödyntämismahdollisuudet tunnetaan huonosti.

Tämän vuoksi TAMKissa on ryhdytty järjestelmällisesti kehittämään opetusta ja alan toimijoiden koulutusta, jotta laserskannauksen hyödyntäminen ja tietotaito lisääntyisivät. Erityisenä kohdesektorina on korjausrakentaminen, jossa 3D-laserskannauksen hyödyt ovat selkeitä.

Luonnollisena osana koulutustavoitteeseen pyrkimisessä on yritysysteistyön lisääminen ja erilaisten pilottikohteiden löytäminen. Yritysysteistyössä sekä TAMK että yritykset saavat arvokasta tietoa ja kokemusta käytännön kokeilujen kautta. Tässä opinnäytetyössä esitellään BST-Arkkitehdit Oy:n kanssa tehdyn yhteistyön kautta pilottikohteeksi valituneen kauppakeskus Myyrmannin 3D-laserskannaus.

3.1 BST-Arkkitehdit Oy

BST-Arkkitehdit Oy on tamperelainen arkkitehtitoimisto, jonka toiminta-alueena on koko Suomi. Yritys hyödyntää suunnittelutyössä tietomallinnusta ja käyttää työkaluina muun muassa Autodeskin ohjelmistoja esimerkiksi Revit Architecture-ohjelmaa. Yrityksen referenssilistalla on monipuolisesti niin asunto-, toimisto- ja liikerakennuksia kuin korjausrakentamisen kohteita. (BST-Arkkitehdit Oy)

3.2 Kauppakeskus Myyrmanni

Pilottikohteeksi 3D-laserskannaukseen valittiin Vantaan Myyrmäessä sijaitseva kauppakeskus Myyrmanni, jonka tietyistä osista tarvittiin *as-built* -mittaukset. Myyrmannin valintaan vaikutti erityisesti, että se on mittauskohteena monipuolinen ja perinteisillä menetelmillä vaativa mitattava ison kokonsa vuoksi.

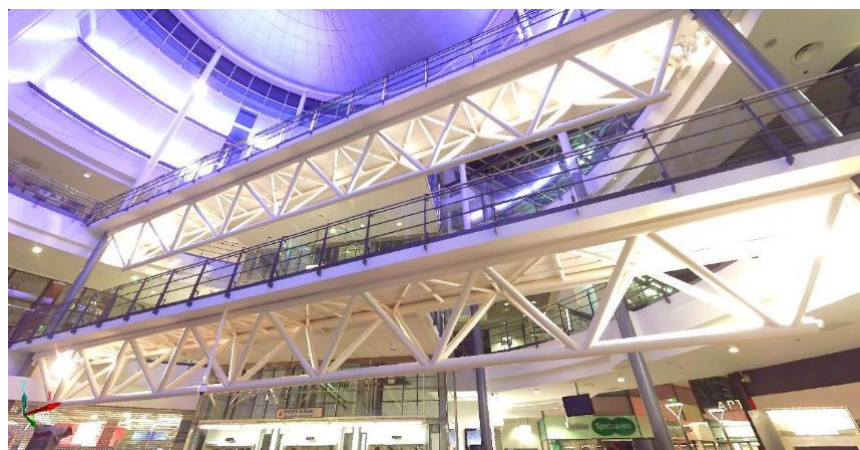


Kuva 9. Kauppakeskus Myyrmanni, Vantaa (kuvalähde: Citycon Oyj)

Taulukko 3. Perustietoja Myyrmannista (Citycon Oyj)

Kauppakeskus Myyrmanni	
Sijainti	Myyrmäki, Vantaa
Rakentamisvuosi	1994
Pinta-ala	Kerrosala 42 000 m ² , josta vuokrattavaa tilaa 39 600 m ²
Liikkeiden lukumäärä	89

Eri laajuisia muutos- ja asennustöitä Myyrmannissa on suunnitteilla sekä julkisivuun että sisätiloihin. Tämän vuoksi laserskannattaviksi kohteiksi sovittiin pohjoisen puoleinen julkisivu sekä sisätiloista erityisesti pääkäytävä sekä keskusaukio. Mittausdataa oli tarpeen saada myös eri kerrostasanteilta mahdollisten liukuporrasasennusten vuoksi. Keskusaukiolta mittatietoja tarvittiin erityisesti kupolin sekä teräksisten avaruusristikoiden mallintamiseen (Kuva 10). Ennen 3D-laserskannausta lähtötietoina kohteesta oli käytettävissä rakennuspiirustuksia ja valokuvia.



Kuva 10. Keskusaukion kulkusiltojen teräksiset ristikot

4 MITTAUSTYÖN SUUNNITTELU

Onnistuneen 3D-laserskannauksen perusedellytys on asiakkaan ja projektin tarpeiden sekä aikataulun selvittäminen ja itse mittaustyön suunnittelu. Mittaustyön suunnittelu alkoi pitämällä lyhyt kokous BST-Arkkitehdit Oy:n toimitusjohtajan Sergej von Bagh'n kanssa. Hänen kanssaan sovimme, mitkä olisivat oleellimmat mitattavat asiat ja keskustelimme tarvittavasta pisteresoluutiosta sekä halutusta tiedostoformaattista. Georeferointi ei ollut pakollinen vaatimus.

Palaverissa toimitusjohtaja von Bagh näytti havainnollistavana materiaalina joitakin valokuvia sisätilojen rakenteista ja paikoista, joista haluttiin saada mittaustietoa. Samalla saimme käyttöömmme kopiot Myyrmannin pohjapiirustuksista, joiden avulla tarkempi skannaussuunnitelma voitiin laatia. Tutustuimme myös karttapalveluista löytyviin ilma- ja julkisivuvalokuviiin, joiden avulla nähtiin esimerkiksi naapurirakennusten sijainti.

Mittauspäiväksi sovittiin keskiviikko 19. elokuuta. Skannaus suunniteltiin tehtävän illan ja yön aikana siten, että ensiksi suoritetaan tarvittavat julkisivuskannaukset ulkotiloissa ja kauppakeskuksen sulkeuduttua kello 21, siirrytään skannaamaan sisätiloja. Ulkotiloissa skannaus onnistuu vain poutasäällä, joten suunnitelmassa piti huomioida säävaraus.

4.1 Julkisivun skannaussuunnitelma

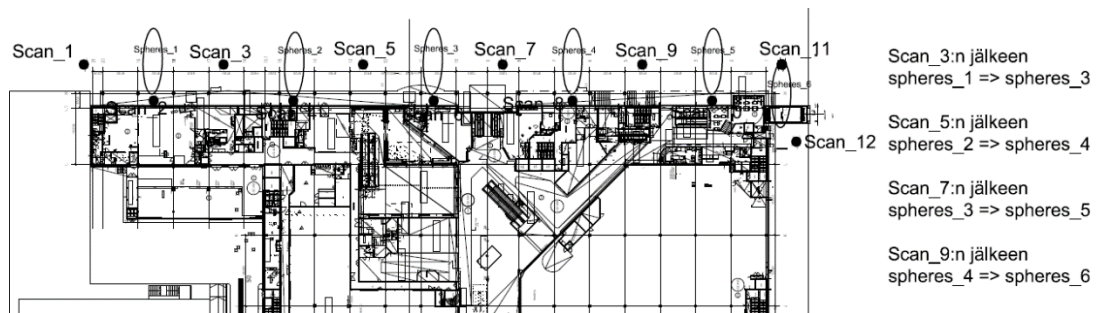
Kilterinraitille avautuva Myyrmannin pohjoisenpuoleinen julkisivu on muodoiltaan yksinkertainen ja pääosin sen edustalla on avointa tilaa ja Paalutori, mahdollistaen melko suoraviivaisen mittaussuunnitelman. Julkisivun itäpäässä sijaitseva kirjastorakennus, rautatie sekä alaspäin laskeva kevyenliikenteenväylä toivat suunnitelmaan kuitenkin oman haasteensa, koska väljää tilaa oli vähän eikä skanneria saada vietyä kovin etäälle rakennuksesta.

Skannausten suunnittelussa yleensä huomioitavia asioita ovat erityisesti

- skannerin kantama
- kohteen koko ja muoto
- tähysten käyttö sekä
- ympäristön olosuhteet.

Lisäksi oma huomionsa vaatii myös mahdollinen georeferointi ja sen tarvitsemat tiedot, esimerkiksi kiintopisteiden sijainti.

Skannattavan julkisivun pituus on yli 150 metriä ja korkeutta julkisivulla on yli 20 metriä, joten skannauspositioita suunniteltiin useita. Näin varmistettiin riittävän yksityiskohtaisen pistepilven muodostaminen ja katveiden minimointi. Skannauspositioiden sijoittelu suunniteltiin etenevän julkisivun suuntaisesti noin 30 - 40 metrin välein. Lisäksi suunnitteluvaiheessa ajatuksena oli skannata myös katoksen alla, pilareiden takana. Ote pohjapiirustuksen päälle tehdystä julkisivun skannaussuunnitelmasta on esitetty kuvassa alla.



Kuva 11. Julkisivun skannaussuunnitelma

Noin 30 - 40 metrin etäisyyteen päädyttiin, koska tähyksinä päätettiin käyttää pallotähyksiä, joiden automaattinen tunnistaminen jälkikäsitellyssä asettaa ehtoja pistetiheydelle ja tähyksen etäisyydelle. Pistetiheyden valintaan taas vaikuttaa eniten skannaamiseen käytävissä oleva aika ja haluttu tarkkuus. Julkisivun osalta päädyttiin ¼ resoluutioon, mikä käytännössä tarkoittaa n. 43 miljoonaa pistettä ja reilun 11 minuutin skannausaikaa per skannaus. Suunnitelmaan skannauspositioita määriteltiin lopulta 12 ja näin ollen koko julkisivun skannaukseen laskettiin aikaa kuluvan kolme tuntia.

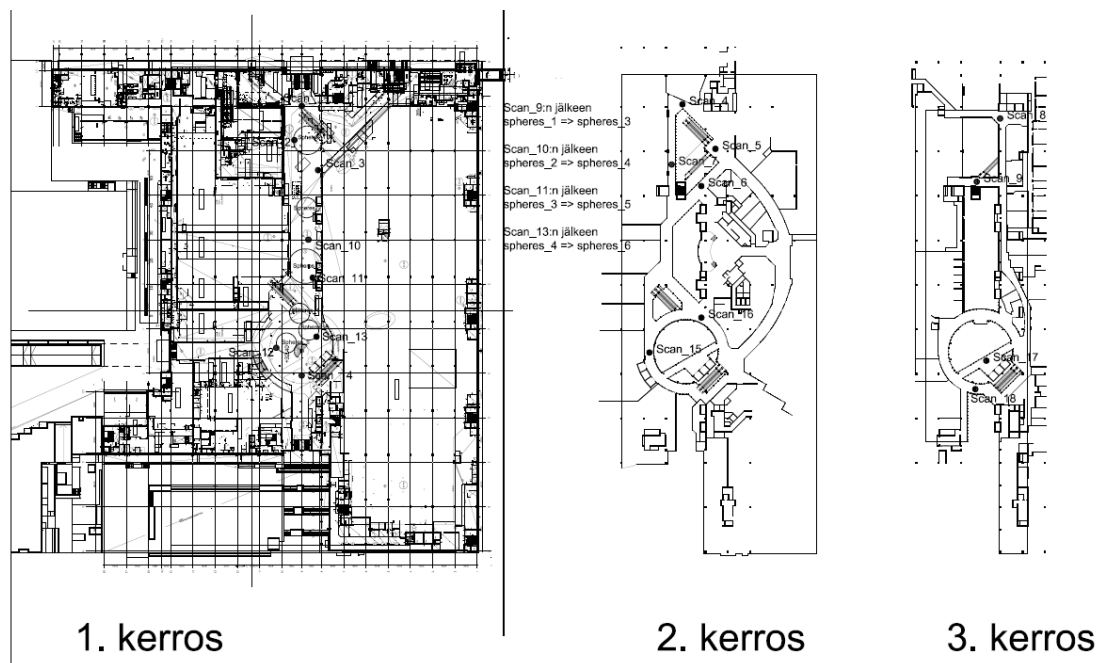
Käytössä olevien tähyksien määrä oli yhteensä 7 kappaletta ja ne suunniteltiin jaettavan kahteen tähyksiryhmään (3 kappaletta ja 4 kappaletta). Näitä tähyksiryhmiä vuorotellen siirtämällä skannausposition vaihtuessa saadaan jokaiseen skannaukseen riittävä määrä tähyksiä, jotka ovat yhteisiä jonkin toisen skannauksen kanssa. Skannauksia rekisteröitäessä kolme yhteistä tähystä on yleensä riittävä määrä.

Suunnitteluvaiheessa varauduttiin myös skannausten georeferointiin hankkimalla Vantaan kaupungilta tiedot lähimmistä kiintopisteistä ja suunnitteleamalla mukaan otettava kalusto sen mukaisesti.

4.2 Sisätilojen skannaussuunnitelma

Kauppakeskuksen sisätiloissa skannattavana kohteena oli pääkäytävä ja keskusaukio. Suunnittelussa oli huomioitava erityisesti tilojen monikerroksisuus. Erityisesti oli sovittu skannattavan sisääntulotilan 2. ja 3. kerrostasanteen mittoja mahdollisia liukuporrasmuutoksia ajatellen. Lisäksi tarpeen oli skannata tarkemmin teräsrakenteita, kuten keskusaukion kulkusiltojen avaruusristikkorakenteet. Myös keskusaukion kupoli oli sovittu skannattavaksi.

Suunnitelma laadittiin samalla tavalla kuin julkisivunkin osalta eli pallotähysten käyttö ja skannausparametrit määrittelisivät reunaehdot skannauspositioiden määrälle ja etäisyyksille. Pohja- ja leikkauspiirustusten perusteella eri kerrostasanteilla tehtävien skannausten rekisteröinti suunniteltiin tehtävän siten, että pallotähykset voitiin sijoittaa pelkästään 1. kerrokseen ja minimoida näin niiden siirtely. Lisäksi varauduttiin paperisten shakkirutähysten käyttöön, jotta tähyksiä olisi varmasti riittävästi. Ote sisätilojen skannaussuunnitelmasta on esitetty alla.



Kuva 12. Sisätilojen skannaussuunnitelma

5 MITTAUSTYÖ

Varsinaisena skannauspäivänä sää oli poutainen ja julkisivuskannaukseen erittäin sopiva. Mittausvälineistö pakattiin pakettiautoon ennalta laaditun kalustolistan mukaisesti (Liite 1). Valmistautuminen mittaustyöhön oli aloitettu jo edellisenä päivänä varmistamalla kaluston käyttökunto esimerkiksi lataamalla laitteiden akut.

Mittaustyössä mukana oli TAMKilta mittaustekniikan lehtori Ilkka Tasanen. Paikantäällä aloitimme hänen kanssaan kohteeseen tutustumisen etsimällä lähimpiä Vantaan kaupungin kiintopisteitä. Karttoihin merkityistä kolmesta lähimmästä kiintopisteestä paikoillaan ei ollut ainutkaan. Niitä oli poistettu esimerkiksi asfalttitöiden aikana. Tästä syystä georeferointia ei voitu tehdä.

5.1 Julkisivuskannaus

Julkisivun skannaamisessa tehtiin muutoksia suunniteltuun verrattuna sen verran, että katoksen alle suunnitellut skannauspositiot jätettiin pois. Havaittiin, että pilarien taakse jäävien katveiden määrä on lopulta minimaalinen ja katoksen alta saadaan mittauspisteitä kattavasti, kun skannataan useasta paikasta edestä. Lisäksi katoksen alla skannaamista olisi hankaloittanut liiketilojen toiminta, esimerkiksi ravintolan terassi.



Kuva 13. Skannerin tuottama 360° panoraamakuva julkisivusta

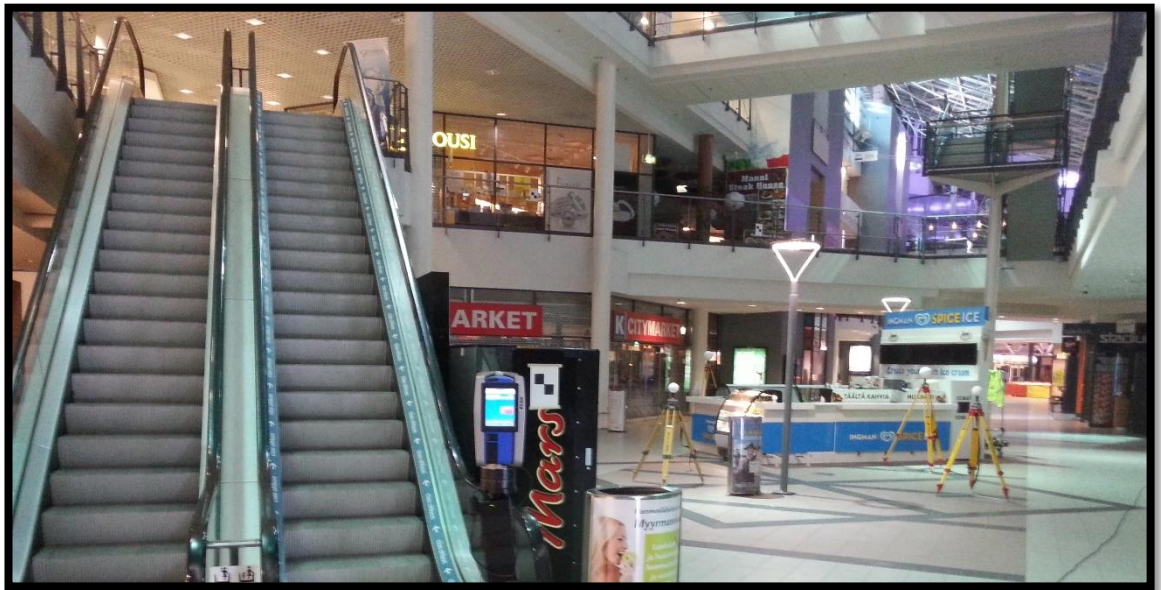
Ulkona skannauksia tehtiin lopulta yhdeksän kappaletta, joista käyttökelpoisia oli kahdeksan. Yksi skannauksista epäonnistui ja piti uusia, kun ohikulkenut lapsi siirsi tähyistä. Aikaa julkisivun skannaukseen kului lopulta vain kaksi tuntia.

5.2 Sisätilojen skannaus

Sisätilojen skannaus suoritettiin alkuperäisen suunnitelman mukaisesti. Ainoastaan joidenkin skannausten suoritusjärjestys vaihtui ja viimeinen 18. skannaus jätettiin pois tarpeettomana.

Mittaustyön tekeminen suljetussa ostoskeskuksessa sujui ripeästi, koska häiriötekijöitä ei ollut. Ylimääräistä aikaa kului eniten eri kerrostasanteiden välillä siirtymiseen. Alkuperäisen suunnitelman mukaisesti pallotähykset voitiin pitää ensimmäisessä kerroksessa, koska ne näkyivät hyvin kolmanteen kerrokseen asti eikä etäisyys kasvanut liian suureksi. Tämä varmistettiin vielä laseretäisyysmittarilla ennen skannausta.

Skannausten rekisteröitävyys varmistettiin käyttämällä pallotähysten lisäksi paperisia shakkiruututähyksiä, jollainen on nähtävissä alla olevassa kuvassa.



Kuva 14. Yleiskuva sisätilojen skannauksesta (Tammi 2015)

Sisätilojen skannaamiseen kului aikaa neljä ja puoli tuntia. Skannerin akun toiminta-ajaksi on luvattu noin 5 tuntia, joten skanneria jouduttiin osittain käyttämään verkkovirralla.

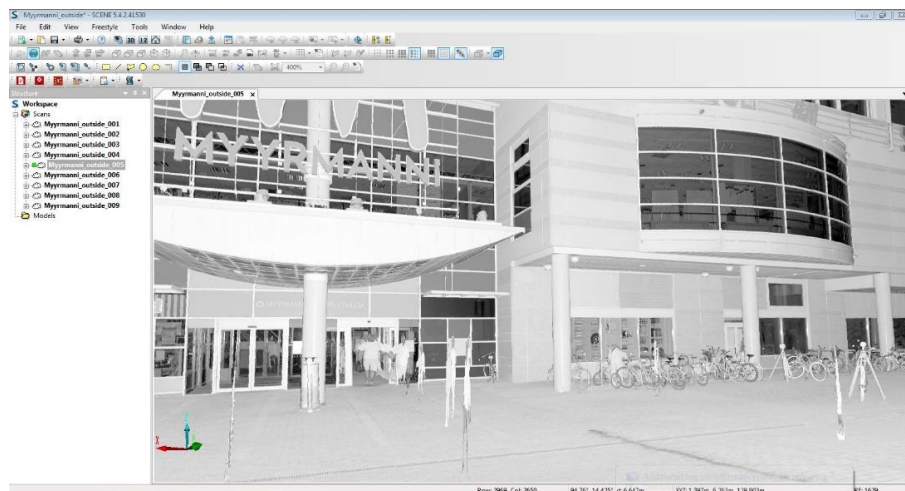
6 TULOSTEN KÄSITTELY

Julkisivun ja sisätilojen skannausten jälkikäsitteily tehtiin Faron Scene-pistepilviohjelmalla. Käytössä oli ohjelman versio 5.4. ja laptop-tietokone. Skannerin tuottaman mitausdatan sisältävät skannauskansiot siirrettiin aluksi muistikortilta tietokoneen kovalevylle, minkä jälkeen aloitettiin niiden käsittely Scene-ohjelmalla. Käsittely tehtiin kahdena Scene-projektina: ensimmäisenä ulkona tehdyt skannauksen ja toisena sisätilojen skannaukset. Eri käsittelyvaiheiden kuvaamisessa käytetyt esimerkit ovat pääsääntöisesti ulkoskannausten tulosten käsittelystä. Vastaavat toimenpiteet suoritettiin luonnollisesti myös sisätilojen skannaustulosten osalta.

6.1 Scene-projektin luominen

Scene-ohjelmassa luotiin ensimmäiseksi uusi projekti ulkona tehdyille skannauksille. Projekti nimettiin kuvaavalla nimellä ja valittiin sopiva tallennushakemisto tietokoneen kovalevyltä. Luotuun projektiin liitettiin julkisivusta mitattujen skannausten kansiot ja projekti tallennettiin.

Skanneri taltioi skannauksen aikana datan laitevalmistajan määrittelemään kansio- ja tiedostorakenteeseen, jonka Scene-ohjelma purki ja järjesteli uudelleen ensimmäisen tallennuksen yhteydessä. Lisäksi Scene suoritti virheellisten pistetietojen eli niin kutsutun kohinan suodattamista. Tallennuksessa Scene kirjoitti varsinaiset pistetiedot kutakin skannausta vastaavaan .fls-päätteiseen tiedostoon. Ensimmäisen tallennuksen jälkeen skannaukset olivat vielä yksittäisiä ja niitä voitiin tutkia intensiteettitietojen perusteella harmaan sävyihin värjättyinä (Kuva 15).



Kuva 15. Kuvaruutukaappaus, jossa skannauksen tulokset on esitetty harmaan sävyissä

6.2 Esikäsittely

Seuraavana vaiheena skannaustiedoille tehtiin esikäsittely, mikä Scenessä tarkoittaa eräajoa, johon voidaan yhdistää useampi toimenpide. Toimenpiteinä on mahdollista suorittaa esimerkiksi pisteiden suodatus sekä tähysten ja muiden kohteiden tunnistaminen. Pallotähysten tunnistamisen onnistumiseksi tarkastettiin ensin tunnistuksessa käytetyt tähykoot, minkä jälkeen esikäsittelyn toimenpiteiksi valittiin hajapisteiden suodatus ja pallotähysten tunnistaminen.

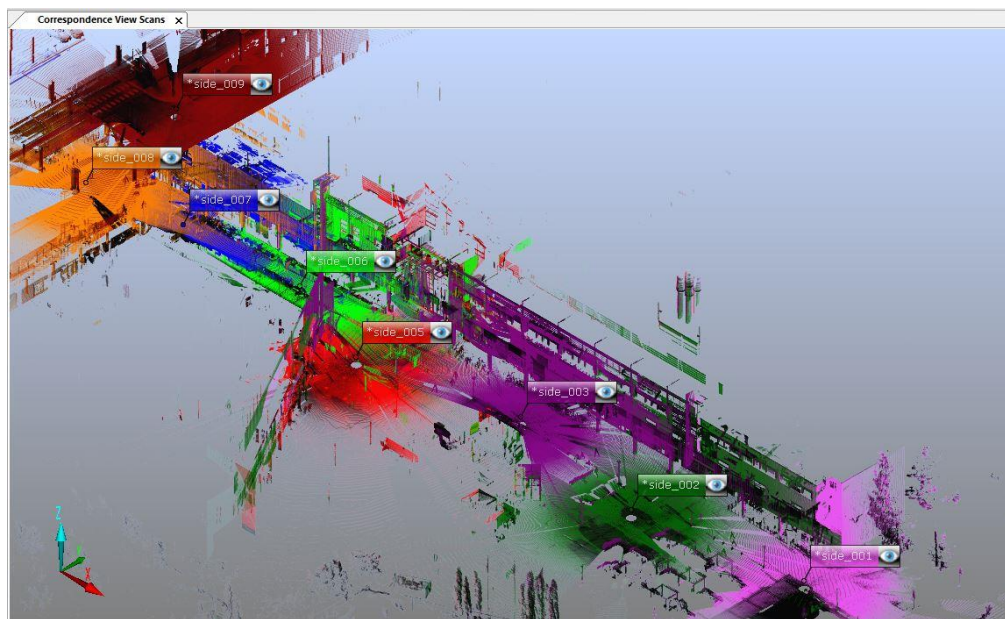
Alla olevassa kuvassa on esimerkki tähysten tunnistamisesta. Esimerkissä ulkona tehdyn skannauksen tuloksista on tunnistettu onnistuneesti kaksi tähyä (vihreällä värillä merkityt) sekä yksi tähy on tunnistettu tyydyttävästi (keltaisella merkitty). Lisäksi kuvassa näkyy tunnistusalgorithmien tekemä virheellinen tunnistus, jossa se ehdottaa tähykseen lähellä istuvan henkilön päätä (vihreä pallo keskellä). Virheellisten tunnistusten poistamiseksi ohjelman tunnistamat tähykset tarkastettiin myös silmämääräisesti skannauksista.



Kuva 16. Pallotähysten automaattinen tunnistus

6.3 Rekisteröinti ja pistepilven luonti

Varsinainen pistepilven muodostaminen aloitettiin skannausten rekisteröinnillä. Rekisteröinnin aikana skannaukset yhdistettiin toistensa kanssa yhteiseen koordinaatistoon. Yhdistäminen tapahtui pallotähysten avulla siten, että ohjelma etsii tähysten vastaavuudet ja niiden perusteella sijoittaa skannaukset suhteessa toisiinsa. Yksi skannauksista toimii referenssiskannauksena, joka määrittelee käytetyn koordinaatiston. Alla olevassa kuvassa on värikoodattu näkymä skannausten sijoittumisesta toisiinsa nähden eli niin kutsuttu vastaavuusnäkö (engl. *correspondence view*).



Kuva 17. Rekisteröinnin tulos on visualisoitavissa vastaavuusnäkössä

Visuaalisen tutkimisen lisäksi rekisteröinnin onnistuminen varmistettiin sekä tulosikkunasta että rekisteröintiraportista, jossa ilmoitetaan rekisteröinnissä käytettyjen tähysten poikkeamat eri skannausten välillä.

Rekisteröinnin jälkeen pistepilven yhdistettiin valokuvista saatava väritieto. Värien avulla pistepilvestä tulee informatiivisempi ja esimerkiksi ylimääräisten virheellisten pisteiden erottaminen on käyttäjälle helpompaa. Tässä vaiheessa pistepilveä siivottiin hienan poistamalla esimerkiksi lasipintojen aiheuttamia karkeimpia virhepisteitä. Koska tarkoitus oli testata pistepilven perustuvaa suunnitteluaineiston tuottamisprosessia ja pistepilven soveltuvuutta eri tarkoituksiin, oli sovittu, että pistepilven sisältöä ei karsita kuitenkaan tässä vaiheessa vielä liiaksi.

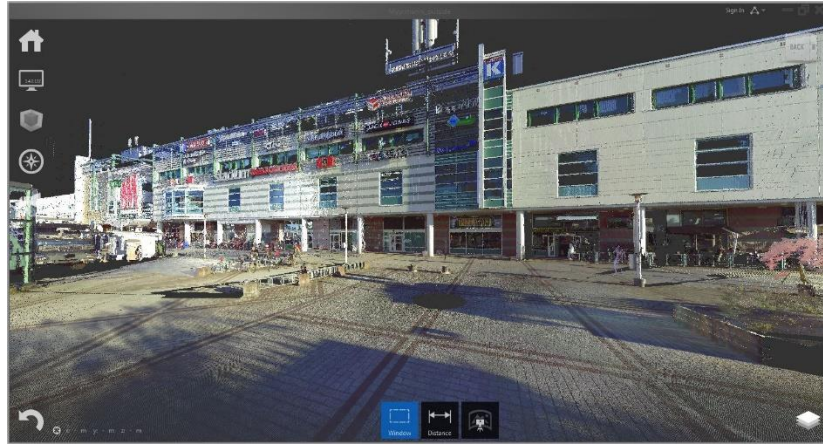
Lopuksi projektista ajettiin niin kutsuttu projektipistepilvi, joka on tietokonegrafiikan kannalta optimoitu esitysmuoto pistepilvelle. Projektipistepilvessä pistepilvi strukturoidaan spatiaalisesti, jotta voidaan visualisoida vain ne pisteet tietokoneen ruudulla, jotka ovat katsojan kannalta oleelliset. Täten voidaan etenkin suurten pistepilvien käsittelyä nopeuttaa huomattavasti. Julkisivuskannausten tuloksista muodostettu projektipistepilvi on esitetty kuvassa alla.



Kuva 18. Ulkoskannausten projektipistepilvi

6.4 Konversio ReCap-projekteiksi

BST-Arkkitehdit Oy toivoi pistepilvet ReCap-projekteina, koska Autodeskin ohjelmissa, kuten esimerkiksi Revit, pistepilven hyödyntäminen vaatii sen esittämistä ReCap-formaatissa. ReCap-ohjelmalla voidaan konvertoida useita eri tiedostomuotoja ja jotkin Autodeskin suunnitteluohjelmat, kuten AutoCad, pystyvät myös itse konvertoimaan erilaisia pistepilvitiedostoja.



Kuva 19. Julkisivuprojekti konvertoituna ReCap-ohjelmassa

Tässä työssä ReCap-projektin luomisessa hyödynnettiin kuitenkin SCENE-ohjelman export-ominaisuutta. SCENE-ohjelmalla tallennettiin kumpikin, sekä julkisivu- että sisätilaprojekti, omiksi ReCap-projekteikseen. Projektien konversio oli jonkin verran aikaa vievä operaatio, koska dataa projekteissa oli useita gigatavuja.

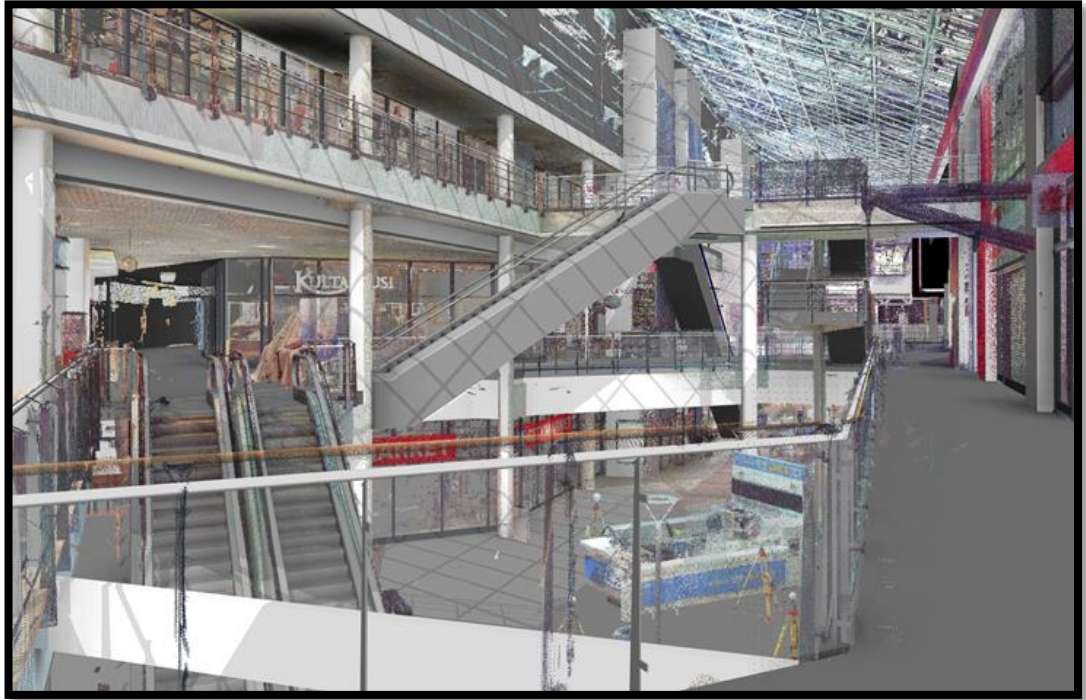
6.5 Tulosten toimittaminen

Pistepilviedostojen siirtäminen henkilöltä toiselle on perinteisesti ollut hankalaa tiedostojen suuren koon vuoksi. Nopeat tietoliikenneyhteydet ja niiden myötä viime vuosina suosituiksi tulleet pilvipalvelut ovat tehneet pistepilvien siirrosta ja jakamisesta hieman helpompaa. Myös ulkoisten USB-muistien kapasiteettien kasvu ja hintojen edullisuus lisäävät pistepilvien käytettävyyttä. Tässä työssä tuotettujen ReCap-projektien yhteiskoko oli noin 14 gigatavua ja toimitustavaksi valittiin neuvottelun jälkeen USB-muisti.

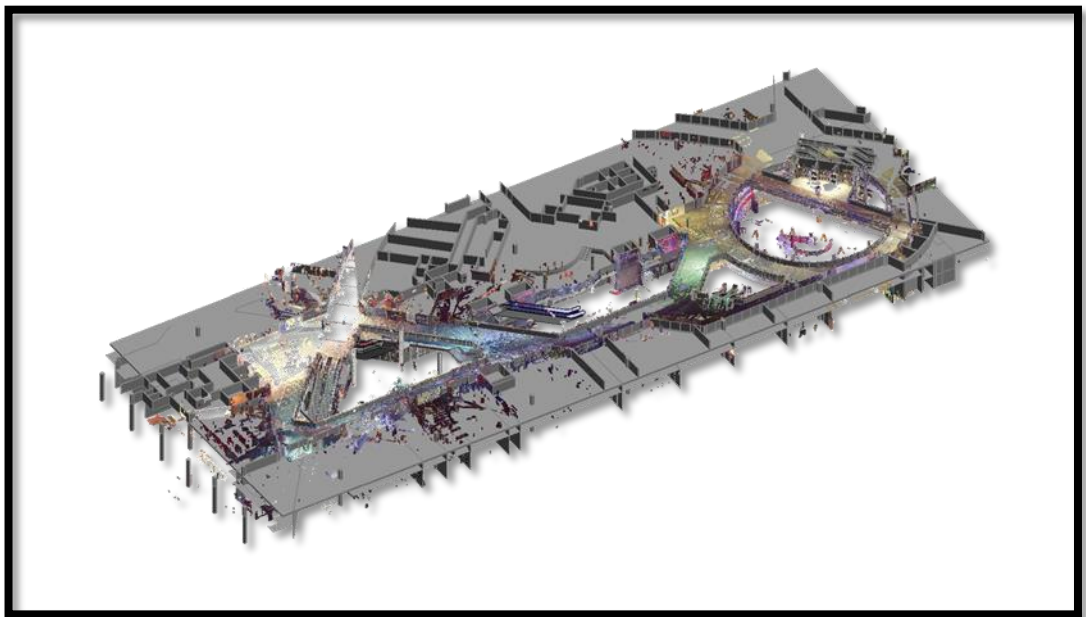
6.6 Jatkokäsittely

BST-Arkkitehdit Oy käytti pistepilviaineistoa muun muassa Revit-ohjelmassa tehdyssä tietomallinnuksessa. Toimitusjohtaja von Baghin mukaan pistepilviaineistoa oli helppo käsitellä ja siitä oli selkeästi hyötyä mallintamisessa. Hänen mukaansa ”laserkeilaus tuo arkkitehdin näkökulmasta selkeää säästöä ajankäytöllisesti, sekä tuo luotettavuutta mittaukseen”. Von Bagh painotti myös, että tarve mennä kohteeseen paikanpäälle valokuvaamaan vähenee merkittävästi tai jopa poistuu, eikä perinteinen mittaus ole ajankäytöllisessä ja taloudellisessa mielessä perusteltua, jos 3D-laserskannausta on mahdollista käyttää kohteessa. (von Bagh S. 2015)

Kuvissa 20 ja 21 on esitetty kohteesta laadittuja malleja päällekkäin mitatun pistepilven kanssa. Kuvan 20 keskellä näkyy suunnitteilla olevat uudet liukuportaat mallinnettuna 2. ja 3. kerrosten välille. Kuvassa 21 on esitetty leikkaus 2. kerroksesta aksonometrisesti.



Kuva 20. Näkymä keskikäytävältä (Kuva: BST-Arkkitehdit Oy 2015)



Kuva 21. Mallin aksonometrinen esitys (Kuva: BST-Arkkitehdit Oy 2015)

7 YHTEENVETO

Tässä työssä tutkittiin käytännön esimerkin kautta 3D-laserskannauksen soveltuvuutta korjaus- ja muutoshankkeiden lähtötietojen keräämismenetelmäksi. 3D-laserskannauksen hyödyntäminen ei ole vielä saanut kovin laajaa jalansijaa ja tämän vuoksi niin yritykset kuin koulutusorganisaatiotkin tarvitsevat empiiristä tutkimusta laitteiden ja ohjelmistojen käytöstä.

Kasvava tietomallinnuksen käyttö hankkeissa lisää myös tarvetta 3D-laserskannaukselle ja sen myötä ala tarvitsee uusia vakiintuneita käytäntöjä sekä ajantasaista koulutusta. Niiden luomisessa tämän opinnäytetyön kaltaiset pienimuotoiset, nopeat ja kokeiluluonteiset yritysyhteistyöprojektit ovat välttämättömiä.

Työssä edettiin soveltaen 3D-laserskannausprojektiohjeistuksia, joita on määritelty niin kotimaassa kuin ulkomaillakin. Ohjeiden nykyinen taso havaittiin riittäväksi yleistasoksi. Käsitys 3D-laserskannauksen eduista ja puutteista vahvistui eri työvaiheiden osalta. 3D-laserskannaus on nopea ja tehokas tapa hankkia monipuolista ja tarkkaa tietoa kohteesta. Se on myös turvallinen keino ja soveltuu niin sisä- kuin ulkokäyttöön.

Menetelmänä 3D-laserskannausta rasittaa jonkin verran edelleen skannausten rekisteröinnin onnistumiseksi vaadittu tähyksen käyttö ja sen aiheuttama lisätyö. Laitteiden laadun paranemisesta huolimatta kohinan määrä skannaustuloksissa vaatii yhä nykyisellään manuaalista tulosten käsittelyä. Myös valmistajakohtaiset lukuisat tiedostomuodot sekä isot tiedostokoot ovat vielä toistaiseksi hyödyntämisketjun kompastuskiviä.

3D-skannereiden ja pistepilviä käyttävien tietokoneohjelmien kehitykseen satsataan tällä hetkellä globaalisti merkittävästi, joten lähitulevaisuudessa on odotettavissa huomattavia edistysaskelia, niin mittaus- ja mallintamisprosessien automatisoimisessa kuin laitteiden hintatasossa. Tämä kehitys tulee madaltamaan osaltaan 3D-laserskannauksen käyttöönottokynnystä korjaushankkeissa niiden koosta riippumatta.

LÄHTEET

Ahonen P. 2015. Laserkeilaus, laserkeilausmittauksen suorittaminen ja pistepilven käsittelyohjelmien vertailu, opinnäytetyö 2015, Saimaan Ammattikorkeakoulu.

ASTM E57. ASTM International, Technical Committee E57 on 3D Imaging Systems. Luettu 1.12.2015. <http://www.astm.org/COMMITTEE/E57.htm>

BIM Task Group 2013. Client Guide to 3D Scanning and Data Capture, The Building Information Modelling (BIM) Task Group, 2013. Saatavissa <http://www.bimtaskgroup.org/wp-content/uploads/2013/07/Client-Guide-to-3D-Scanning-and-Data-Capture.pdf>

BST-Arkkitehdit Oy. Kotisivut. Luettu 11/2012 <http://www.bst-ark.fi/>

Citycon Oyj. Kauppakeskus Myyrmannin perustiedot. Luettu 11/2015. <http://www.citycon.com/fi/kauppakeskukset/myyrmanni>

Cronvall, T., Kråknäs, P. ja Turkka, T. 2012. Laserkeilauksen käyttö liikennetunneleiden kunnossapidon hallinnassa, Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 41/2012, Liikennevirasto. Saatavissa http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf3/lts_2012-41_laserkeilauksen_kaytto_web.pdf

Faro. Focus3D X130 features. Luettu 9.12.2015. <http://www.faro.com/products/3d-surveying/laser-scanner-faro-focus-3d/features#main>

Focus3D X330. Faro Laser Scanner Focus^{3D} X330 Manual. 10/2010

Huhtala R. 2015. Pistepilven hyötykäyttö tietomallinnuksessa, opinnäytetyö 2015, Tampereen Ammattikorkeakoulu

Leica. ScanStation C10 datasheet. Luettu 9.12.2015 http://www.leica-geosystems.fi/downloads123/hds/hds/ScanStation%20C10/brochures-datasheet/Leica_ScanStation_C10_DS_fi.pdf

Maanmittauslaitos. Avoimien aineistojen tiedostopalvelu. Luettu 11/2015. <https://tiedostopalvelu.maanmittauslaitos.fi/tp/kartta>

Nichols T. 2015. 9 best practices for effective laser scanning, Building Design + Construction, 23.2.2015. Luettu 2.12.2015. <http://www.bdcnetwork.com/9-best-practices-effective-laser-scanning>

SCENE 5.4. User manual, February 2015, Faro.

Senaattikiinteistöt 2015. Senaatti-kiinteistöjen mittauksen tietoisuuden 12.6.2015 esitykset. Luettu 11/2015. <https://oneline.live.com/?authkey=!ALc9k3mAKm7quao&id=9A6BD33C483F49C6!145&cid=9A6BD33C483F49C6>

Säteiluturvakeskus (STUK). Laserluokat. Luettu 30.11.2015 <http://www.stuk.fi/aiheet/laserit/laserluokat>

Suhdannekatsaus syyskuu 2015. 10/2015, Rakennusteollisuus. Saatavissa <https://www.rakennusteollisuus.fi/globalassets/suhdanteet-ja-tilastot/suhdannekatsaukset/2015/lokakuu-2015/rtsyksyn-suhdanne.pdf>

Topcon. GLS-2000. Luettu 9.12.2015 https://www.topconpositioning.com/sites/default/files/product_files/gls-2000_broch_7010_2152_revb_tf_sm.pdf

Trimble. TX5-laserkeilain tekniset tiedot. Luettu 9.12.2015 http://trl.trimble.com/docushare/dsweb/Get/Document-636294/022504-122-FIN_Trimble_TX5_DS_1012_LR.pdf

Von Bagh S. 2015. Haastattelu 19.11.2015 sekä sähköpostiviesti 10.12.2015.

YTV 2012. Osa 2 Lähtötilanteen mallinnus. COBIM 2012. Luettu 2.12.2015. http://files.kotisivukone.com/buildingsmart.kotisivukone.com/YTV2012/ytv2012_osa_2_lahtotilanne.pdf

LIITTEET

Liite 1. Mittaustyön kalustoluettelo

Laserskannaus: Myyrmanni 19.8.2015

Varusteluettelo:

- robottitakymetri Topcon 9001A + akkuja (4 kpl) kuljetuslaukussa
- maastotalentimet FC-200 akkuineen, 2 kpl
- laserskanneri + akku, virtalähteet, muistikortti ja maastokolmijalan sovitin kuljetuslaukussa
- skannerin kolmijalka (hiilikuitu)
- pallotähyssalkut sisältöineen
- pakkokeskitysalustoja 7 kpl
- pallotähysten kolmijalan sovitinkappaleet 5 kpl
- maastokolmijalkoja 7 kpl
- lattiatähtiä 5 kpl
- rullamitta 5m (x2)
- jatkojohtoa (kela)
- shakkiruututähyksiä (n. 40 kpl)
- (maalarin)teippiä
- muistiinpanovälineet
- laptop, muistitikku