

LASERKEILAIMEN KÄYTTÖ SUUNNITTELU MITTAUKSEEN

Teemu Jokelainen
Pekka Mäkynen

Opinnäytetyö
Tekniikka ja liikenne
Maanmittaustekniikka
Insinööri (AMK)

2015

Tekniikka ja liikenne
Maanmittaustekniikka

Tekijät	Teemu Jokelainen	Vuosi	2015
	Pekka Mäkynen		
Ohjaaja	Timo Karppinen		
Toimeksiantaja	Lapin ammattikorkeakoulu		
Työn nimi	Laserkeilaimen käyttö suunnittelumittaukseen		
Sivu- ja liitemäärä	42 + 4		

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on kartoittaa Lapin ammattikorkeakoulun tarpeisiin Rantavitikan kampuksen tiloissa sijaitseva maapohjainen kellari. Kellariin on mahdollisesti tulossa muutoksia. Muutosten suunnittelua varten kellarista tarvitaan mittaustuloksia. Mittaustulokset toimitetaan rakennustekniikan opiskelijalle, joka tekee suunnitelman omana opinnäytetyönään.

Kellarin kartoitukseen käytettiin laserkeilainta. Laserkeilain on tällaiseen tehtävänkuvaaan järkevin vaihtoehto mittaussuunnitteluksi. Laserkeilaimella saadaan koko kellaritila muutamalla keilausasemalla kartoitettua tarkasti ja luotettavasti.

Ongelmaksi mittauksessa muodostuvat kellarissa säilytettävät tavarat, jotka häiritsevät mittausta ja vääristävät lattian pintamallia. Keilausasemat täytyi suunnitella siten, että tavarat häiritsevät keilausta mahdollisimman vähän.

Opinnäytetyön tuloksena ovat kellaritilan lattian ja katon pintamalli sekä poikkileikkaukset. Pintamallista ja poikkileikkauksista voidaan tutkia halutulta kohdalta lattiapinnan korkeuksia ja korkeuseroja.

Technology, Communication and
Transport
Degree Programme in Land Surveying

Author	Teemu Jokelainen Pekka Mäkynen	Year	2015
Supervisor(s)	Timo Karppinen		
Commissioned by	Lapland University of Applied Sciences		
Subject of thesis	Laser Scanning in Design Surveys		
Number of pages	42 + 4		

The purpose of this thesis was to survey the ground basement located in the Lapland University of Applied Sciences campus building at Rantavitikka. The ground basement will possibly be renovated in the future.

The basement was surveyed using laser scanning technology. The laser scanner was the most viable choice for this kind of task. Laser scanning provided accurate and reliable data from the whole basement at a few scan stations. The basement is being used as storage for old furniture and other goods which caused a problem. They disturbed the scan as they blocked clear view to some specific spots on the basement floor and the walls. This resulted as holes in the surface model of the basement. Scanning stations had to be planned so that the furniture piles would bother the scan as little as possible.

The result of thesis was the surface model of the basement floor and the ceiling. The model includes cross-sections. The surface model and the cross-sections can be examined from the desired point for heights and height differences. The results of the measurement were forwarded to a construction engineering student. He is designing the renovation in his thesis.

Key words

laser scanning, surface model, terrain model, 3D-Win

SISÄLLYS

KUVIO- JA TAULUKKOLUETTELO	5
KÄSITTEITÄ JA LYHENTEITÄ	6
1 JOHDANTO	7
2 LASERKEILAUS	9
2.1 Toimintaperiaate	9
2.2 Käyttötavat ja -kohteet	10
2.3 Laserkeilaimen valinta	12
2.4 Z+F Imager 5006i -laserkeilain	14
3 KELLARIN KARTOITTAMINEN	16
3.1 Lapin ammattikorkeakoulun maapohjakellari	16
3.1.1 Yleistä	16
3.1.2 Tulevat muutokset	16
3.2 Kartoitusprosessi	17
3.2.1 Mittauksen suunnittelu ja esivalmistelut	17
3.2.2 Laserkeilaus	18
4 MITTAUSTULOSTEN KÄSITTELY	20
4.1 Z+F Laser Control –ohjelmisto	20
4.1.1 Pistepilven suodatus	20
4.1.2 Pistepilven rekisteröinti	22
4.2 Trimble RealWorks Survey Advanced -ohjelmisto	25
4.3 3D-Win –ohjelmisto	27
4.3.1 Pintamallin luonti	27
4.3.2 Poikkileikkausten luonti	29
4.4 Lopputulos	32
5 JOHTOPÄÄTÖKSET	36
LÄHTEET	40
LIITTEET	42

KUVIO- JA TAULUKKOLUETTELO

Kuvio 1. Pulssilaserin toimintaperiaate (Kukko 2005, 7)	10
Kuvio 2. Vaihe-erolaserin toimintaperiaate (Kukko 2005, 7)	10
Kuvio 3. Vapaasti piirretty mittaus suunnitelma	18
Kuvio 4. Harmaasävykuva	21
Kuvio 5. Suodatetut pisteet	21
Kuvio 6. Tähykseen tähtäyksen tarkistaminen	23
Kuvio 7. Virheraportti ensimmäisen keilauspäivän keilauksista	24
Kuvio 8. Virheraportti toisen keilauspäivän keilauksista	25
Kuvio 9. Harventamaton pistepilvi	26
Kuvio 10. Katon ja lattian harventamattomat pistepilvet	27
Kuvio 11. Harvennettu pistepilvi	28
Kuvio 12. Kolmioitu pistepilvi lattiasta	29
Kuvio 13. Sahalaitakuvioinen poikkileikkaus lattiasta paaluluvulta 9	30
Kuvio 14. Katon ja lattian poikkileikkaukset paaluluvulta 19 sekä eromitta	31
Kuvio 15. Eromitta	31
Kuvio 16. Lopputuote	32
Kuvio 17. Lattiataso	33
Kuvio 18. Kattotaso	33
Kuvio 19. Estynyt näkymä	34
Kuvio 20. Terävät kuviot katon poikkileikkauksessa	35
Taulukko 1. Z+F Imager 5006i laserkeilaimen teknisiä tietoja. (Zoller+Fröhlich GmbH, 2009, 8–9)	14

KÄSITTEITÄ JA LYHENTEITÄ

Intensiteetti	Laserkeilauksessa käytettävän lasersignaalin paluuvoimakkuus.
Kiintopiste	Maastoon pysyvästi merkitty kohta, jonka sijainti ja korkeus on tarkasti määritelty suhteessa tiettyyn koordinaatistoon
mrاد	Milliradiaani, radiaanin tuhannesosa. Kulmayksikkö.
N43	Korkeusjärjestelmä
Pistepilvi	Laserkeilaimen tuottama aineisto, jossa piste on yksittäisen säteen takaisin heijastumispiste.
Rms	Neliöllinen keskiarvo (root mean square)
Siniaalto	Jaksollinen, sinifunktion muotoinen aaltomuoto.

1 JOHDANTO

Opinnäytetyön taustana ja lähtökohtana on tarve saada mittaustuloksia Lapin ammattikorkeakoulun maapohjakellarista. Kellaritiloihin on mahdollisesti tulossa muutoksia, joten syntyi tarve kartoittaa kellaritiloja tarkemmin suunnitteluprosessin mahdollistamiseksi. Muutoksien myötä kellaritila on tarkoitus ottaa tehokkaampaan käyttöön. Mittaustulokset toimitettiin rakennustekniikan insinööriopiskelijalle hänen omaa opinnäytetyötään varten. Rakennustekniikan opiskelija tekee kellaritilojen muutoksista suunnitelman, jonka perustana hän käyttää tämän opinnäytetyön mittaustuloksia.

Opinnäytetyön tavoitteena on saada mitattua pintamalli maapohjakellarin lattiasta sekä huonekorkeus. Tavoitteena on myös vertailla ja tutkia käytettyjä mittausmenetelmiä ja mittaustuloksia sekä toimittaa mittaustulokset rakennustekniikan opiskelijalle. Opinnäytetyössä myös esitellään pistepilviaineiston käsittelyyn käytettyjä ohjelmia ja annetaan yksityiskohtainen kuvaus pistepilven käsittelyprosessista ja sen eri vaiheista. Opinnäytetyössä pohditaan keilausprosessia sekä projektin toteutuksen aikana tapahtunutta oppimista. Johtopäätöksissä kerrotaan, millä tavoin tehdyn keilausten ja pistepilven käsittelyn tekisi uudestaan opinnäytetyön tekemisestä kertyneen kokemuksen perusteella.

Kartoitettavan kohteen luonteen vuoksi mittaukset suoritettiin maalaserkeilaimella. Laserkeilain on ylivertainen työkalu sisätilojen mittaukseen sen toimintaperiaatteen vuoksi. Mittaus suoritettiin Zoller+Fröhlich Imager 5006i laserkeilaimella ja sen orientointiin käytettiin Topcon GPT-9003A -takymetriä. Mittauksen koordinaatistona käytettiin Lapin ammattikorkeakoulun maapohjakellarin omaa koordinaatistoa. Kyseinen koordinaatisto ei ole sidottu pohjois- ja itäkoordinaattien osalta mihinkään valtakunnalliseen koordinaattijärjestelmään. Korkeudet ovat N43-korkeusjärjestelmässä. Kellaritilojen keilaus suoritettiin yhteensä neljällä keilausasemalla kahtena eri keilauspäivänä. Laserkeilaimen tuottaman pistepilviaineiston rekisteröintiä varten mittausalueelle asetettiin neljä kappaletta tähyksiä, joiden koordinaatit on tunnettava jotta pistepilviaineisto saadaan rekisteröityä eli sidottua koordinaatistoon. Tähykset mitattiin takymetrillä.

Mitatusta pistepilvestä voidaan tarvittaessa tehdä kattava 3D-malli jälkikäsitteilyllä. Pistepilven jälkikäsitteily suoritettiin kolmella eri ohjelmistolla, joita ovat seuraavat: keilainvalmistajan oma Z+F Laser Control, Trimblen RealWorks Survey Advanced sekä 3D-systemin 3D-Win. Z+F Laser Control -ohjelmalla siistittiin pistepilveä sekä vähennettiin keilauskohteen pisteitä, jolloin tiedostoista tuli pienempiä. RealWorks Survey Advanced -ohjelmalla leikattiin kellarin tiloista erilliset mallit lattiasta ja katosta sekä käytettäviä pisteitä harvennettiin kuvien käsittelyn helpottamiseksi. Lopullinen muoto tiedostoista luotiin 3D-Winillä, jolloin käsittelyn jälkeen pintamallista voitiin tarkastella maapohjakellarin lattia- ja rakennepintojen muotoa ja mittoja.

Mittaustyön lopputuloksista tehtiin syventävä analyysi tulosten tarkkuudesta, hyödyllisyydestä sekä ilmenneistä ongelmakohdista. Näitä havainnointiin esimerkkikuvien, jotta lukijan on helpompi ymmärtää tekstin sisältöä. Lukijalle pyrittiin luomaan selkeä ja johdonmukainen kokonaisuus työn kulusta ja lopputuloksen kuvauksesta.

2 LASERKEILAUS

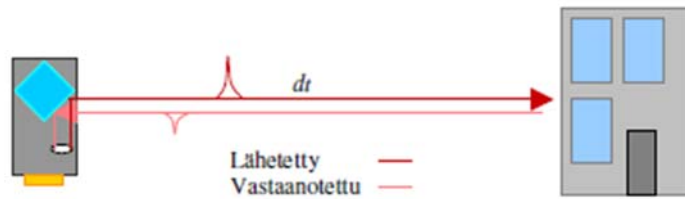
2.1 Toimintaperiaate

Laserkeilaaminen perustuu keilaimesta lähtevään lasersäteeseen, jonka avulla saadaan mitattua pisteitä koskematta kohteeseen. Mitatun pisteen etäisyys ja koordinaatit saadaan laskemalla lasersäteen kulku kohteeseen ja takaisin laitteeseen. Kohde keilataan yleensä useammasta suunnasta, jotta saadaan mahdollisimman kattava ja tarkka kuva. Näin virheiden mahdollisuus pienenee ja erilaisien esteiden, kuten seinien muodostamat katvealueet saadaan poistettua. Mittauksesta muodostuu kolmiulotteinen pistepilvi, jota voidaan käsitellä myöhemmin tietokoneella. Yhdessä pistepilvessä voi olla useita miljoonia ja keilausprojektissa helposti yli miljardi pistettä. (Ahlavuo, Hyyppä & Kukko 2009, 19; Korpela 2008, 38)

Laserkeilaimet voidaan jakaa kahteen ryhmään etäisyysmittausmenetelmän mukaan. Niitä ovat valon kulkuaikaan perustuvat aikaero- eli pulssilaserit (kuvio 1) ja vaihe-erolaserit (kuvio 2). Valon kulkuaikaan perustuvan keilaimen mittausaika on hitaampi, mutta niiden mittausetäisyydet ovat pidempiä ja niillä saadaan tarkkoja pistepilviä pitkienkin matkojen päästä. Vaihe-ero-keilaimet ovat nopeita ja ne mittaavat jopa 500 000 pistettä sekunnissa. Niiden keilaustapa perustuu jatkuvan signaalin lähettämiseen,

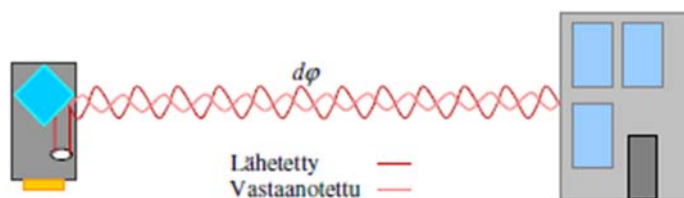
”jonka intensiteetti on moduloitu siniaallolla tai jollain monimuotoisemmalla aaltomuodolla, jossa on useampia eri kanta-aallonpituuksia. Kuten aikaerolaserin tapauksessakin, signaali heijastuu kohteesta ja lähetetyn ja vastaanotetun signaalin välinen vaihe-ero mitataan (Kukko 2005, 7)”.

Huono puoli on, että niiden mittausetäisyys on vain noin 80 metriä, kun valon kulkuaikaan perustuvilla keilaimilla päästään muutamien kilometrien mittausetäisyyksiin. Lisäksi vaihe-ero-keilaimien tuottaman pistepilven pistetiheyttä on vaikeampi säätää kuin pulssilaserin tuottaman pistepilven. (Heiska 2009, 31; Joala 2006, 2; Kinnunen 2013, 15; Kukko 2005, 7)



Kuvio 1. Pulssilaserin toimintaperiaate (Kukko 2005, 7)

Intensiteettiin vaikuttavia tekijöitä ovat kohteen etäisyys ja lasersäteen ja keilattavan kohteen pinnan välinen tulokulma. Lisäksi kohteen pinta-aineksella on merkitystä lasersignaalin paaluvoimakkuuteen. Tutkimustyön myötä on voitu kehittää intensiteetin kalibroimiseksi erilaisia korjausmenetelmiä tulokulman ja etäisyyden vaikutuksen korjaamiseksi. Intensiteettidatasta saadaan selville millaisesta kohteesta signaali on kimmonnut takaisin ja näin pistepilvestä voidaan luokitella erilaisia kohteita. (Hyyppä, Kaasalainen & Kukko 2011, 160, 162, 164)



Kuvio 2. Vaihe-erolaserin toimintaperiaate (Kukko 2005, 7)

2.2 Käyttötavat ja -kohteet

Laserkeilaus on alunperin kehitetty teollisuuden käyttötarpeisiin suurten kohteiden korjausten suunnitteluun. Keilainten hintojen halpenemisen myötä käyttömahdollisuudet ovat laajentuneet. Nykyisin keilaimet voidaan jakaa kolmeen pääluokkaan: ilma-, maa- ja lähilaserkeilaimiin. Ilmasta tapahtuva keilaaminen tehdään helikoptereilla, lentokoneilla tai joissain tapauksissa avaruusaluksilta. Mittausetäisyys on 0,1-100 kilometriä ja mitatun pisteen tarkkuus on joitakin sentti-

metrejä, normaalisti yli kymmenen senttimetriä. Ilmakuvauksella saadaan kuvattua maanpinnan muodot ja korkeuserot. Niistä saatuja tietoja voidaan hyödyntää tavallisessa kaavoitus- ja rakennussuunnittelussa, mutta myös esimerkiksi tulvariskien ja arkeologisesti kiinnostavien paikkojen kartoittamisessa. Metsäteollisuuden ja metsäkauppojen osalta ilmakuvausta voidaan käyttää metsän kasvun ja puuston määrän määrittämiseen, jolloin saadaan arvioitua metsän todellinen arvo. Myös liikennemäärien arviointiin käytetään ilmasta suoritettua keilausta, jolloin voidaan arvioida tielle kohdistuvaa käyttöä. Näin voidaan suunnitella yhteydet paremmin ja parantaa niitä reittejä joihin kohdistuu suurempia liikennemääriä. (Joala 2006, 1; Maanmittauslaitos 2015.)

Maalaserkeilaimien osalta mittausetäisyydet ovat 1–300 metriä ja mittaustarkkuus on jo alle kaksi senttimetriä. Sen käyttökohteita ovat erikokoisten rakennusten, siltojen, tunneleiden ja tieosuuksien mittaaminen ja mallintaminen. Alkuperäisten piirustusten puuttuessa tai jälkeensä lisättyjen elementtien vuoksi, laserkeilaus on nopein ja helpoin tapa saada kohteen tarkat mitat. Lisäksi laadunvalvonta on tehokkaampaa, kun mahdollisten vaurioiden havaitseminen ja korjaaminen on helpompaa. Esimerkiksi siltojen korkeuserojen muutoksia voidaan seurata laserkeilaamalla rakenteet, jolloin pienetkin eroavaisuudet havaitaan (Ekman 2010, 35; Joala 2006, 1; Ylönen 2006, 5, 7)

Tarkimpaan mittaustulokseen pääsee teollisuus- eli lähilaserkeilaimilla. Ne on suunniteltu pienten kohteiden yksityiskohtaiseen mittaamiseen ja 3D-mallin luomiseen. Niiden mittausetäisyys on alle 30 metriä ja tarkkuus alle millimetrin luokkaa. Lähilaserkeilausta voidaan hyödyntää vanhojen taideteosten entisöintiin ja kaksoiskappaleiden tekemiseen. Alkuperäiset teokset voidaan laittaa varastoon, kun tilalle on tehty täydellinen kopio 3D-mallinnuksen avulla (Ahlavuo ym. 2009, 18; Joala 2006, 1)

Laserkeilainta voidaan hyödyntää nykyisin myös onnettomuuksien ja rikoksien tutkimuksissa. Keilaamalla onnettomuuspaikka saadaan selville autojen jarrutusmatkat ja kasaan menneiden autojen tarkat muodot, jolloin kolari voidaan tutkia ja analysoida tarkemmin. Rikospaikkatutkinnassa alueen keilaamisella saadaan

nopeasti kartoitettua ruumiin asento, tavaroiden sijainnit ja etäisyydet toisiinsa. Näin vältetään tärkeän todistusaineiston katoaminen. Keilaamalla alue, saadaan muodostettua 3D-malli alueesta, jolloin tutkinta voidaan suorittaa tietokoneen näyttöä tutkimalla. Samalla voidaan vahvistaa silminnäkihavaintoja. Kuvamalla luodinreiät, voidaan päätellä kuinka pitkä epäilty on. Näin nopeutetaan epäillyn profiilin muodostamista, jolloin kiinnisaaminen on todennäköisempää. (Zoller+Fröhlich GmbH, 2009, 6–7).

2.3 Laserkeilaimen valinta

Laserkeilainten vertailu keskenään on hankalaa, sillä keilainvalmistajat ilmoittavat keilainten tekniset tiedot yleensä maksimiarvoina. Todelliset arvot ovat käytännön tehtävissä erilaisia. Valmistajat myös käyttävät eri termejä teknisiä tietoja listatessaan, joten vertailu on vaikeaa ilman syvempää tietoa aihepiiristä. Keilaimen valintaa ei pidä perustaa pelkästään teknisiin tietoihin, vaan huomioon tulee ottaa keilattavan kohteen ominaisuudet. Tällaisia ominaisuuksia ovat esimerkiksi pintojen heijastus, muoto, etäisyys sekä vallitsevat sääolosuhteet mikäli keilaus tehdään ulkoilmassa. (Heiska 2009, 33).

Antero Kukko vertailee laserkeilaimia ja perustelee keilaimen valintaa fotogrammetrian erikoistyössään asettamalla laserkeilaimille arviointikriteerejä. Arvioitavia asioita määriteltiin yhteensä kahdeksan.

- 1) Kulmaresoluutio niin pysty-, kuin vaakasuunnassa
- 2) Kulmanmäärityksen tarkkuus
- 3) Etäisyysmittauksen epätarkkuus
- 4) Säteen hajoamiskulma
- 5) Keilaimen kantama
- 6) Mittausten toistotaajuus
- 7) Keilauskulman suuruus
- 8) Profiilimittauskyky ja keilaustaajuus

Profiilimittauskyky ja keilaustaajuus merkittiin arviointitaulukkoon, mutta niitä ei pisteytetty. Kohdat 5–7 ovat yleisiä käyttöominaisuuksia. (Kukko 2005, 11).

Keilainten ominaisuudet pisteytettiin ja asetettiin paremmuusjärjestykseen suunniteltujen käyttökohteiden asettamien toiminnallisten laitteistovaatimusten pohjalta. Keilaimen yhteispistemäärä saatiin laskemalla yhteen arvioitaville ominaisuuksille annetut pisteet. Keilaimia vertailtiin myös toimintavarmuuden osalta. Toimintavarmuuden arviointikriteereinä käytettiin käytettävyyttä, säänkestävyyttä sekä takuu- ja ylläpitohuoltojen osalta. (Kukko 2005, 11).

Laserkeilaimen kaksi tärkeintä ominaisuutta ovat sen kulmaerotuskyky ja mittaustarkkuus. Korostaakseen tätä Kukko pisteyttää nämä kaksi ominaisuutta pistein yksi, kolme ja viisi, kun muut arvioitavat ominaisuudet on pisteytetty pistein 1–3. Kulmaerotuskyky määrittää, kuinka tarkasti keilattavan kohteen pinta saadaan mitattua. Kulmaresoluutio on kahden vierekkäisen lasersäteen välinen kulma. Kulmaresoluutio ei välttämättä ole sama pystysuunnassa kuin vaakasuunnassa. Mittaustarkkuus on etäisyysmittauksen tarkkuus, eli kuinka tarkka laserkeilaimesta lähtevän lasersäteen etäisyyshavainto on. (Kukko 2005, 11–12)

Kukko jakaa kulmaerotuskyvyn kolmeen luokkaan: karkeaan, keskikarkeaan sekä hienoon. Karkean luokan kulmaresoluutio on suurempi kuin $0,01$ astetta, keskikarkealla kulmaresoluutio on $0,005^{\circ}$ – $0,01^{\circ}$ ja hienolla kulmaresoluutio on pienempi kuin $0,005^{\circ}$. Käytännössä nämä luvut tarkoittavat sitä, että 30 metrin etäisyydellä oleva 5 millimetrin suuruinen kohde näkyy $0,01^{\circ}$ kulmaresoluutiolla. Tätä huonommalla kulmaresoluutiolla varustetut keilaimet soveltuvat ainoastaan karkeisiin mittauksiin. Hienon erotuskykyluokan keilaimella havaitaan 30 metrin päästä noin 2,5 millimetrin kokoinen kohde. (Kukko 2005, 12).

Etäisyysmittauksen tarkkuus määrittää, kuinka tarkasti keilattavan kohteen pinnan pienimmätkin vaihtelut saadaan mitattua. Kukko jakaa etäisyysresoluution karkeaan, keskikarkeaan ja hienoon luokkaan. Karkeassa luokassa mitaustarkkuus on suurempi kuin kahdeksan millimetriä, keskikarkeassa 3–8 millimetriä ja hienossa luokassa pienempi kuin kolme millimetriä. (Kukko 2005, 12–13).

2.4 Z+F Imager 5006i -laserkeilain

Z+F Imager 5006i on päivitetty versio vuonna 2006 julkaistusta Z+F Imager 5006 -laserkeilaimesta. Z+F Imager 5006i julkaistiin vuonna 2009 ja sen uusia ominaisuuksia ovat laajempi käyttölämpötilaväli (taulukko 1) ja parannukset tallennettuun pistepilveen. Z+F Imager 5006i on vaihe-erolaserkeilain ja sen toiminta perustuu tietyn aaltomuodon tai useampien kanta-aallonpituuksien mukaisesti muuttuvan signaalin käyttöön. (Zoller+Fröhlich 2009, 1–2)

Taulukko 1. Z+F Imager 5006i laserkeilaimen teknisiä tietoja (Zoller+Fröhlich GmbH, 2009, 8–9)

Kantama	0,4–79 m	
Resoluutio	0,1 mm	
Tiedonkeruunopeus	≤508 000 pistettä sekunnissa	
Etäisyystarkkuus keilausmatkan ollessa		
10m	≤1,2 mm rms	
25m	≤2,6 mm rms	
50m	≤6,8 mm rms	
Käyttölämpötila	-10°C–45°C	
Akkukesto	2,5 h	
Sisäinen tallennuskapasiteetti	≥60 GB	
Säteen hajoamiskulma	0,22 mrad	
Laserin luokitus	Näkyvä, turvallisuusluokka 3R	
Näkökenttä pysty/vaaka	310°/360°	
Kulmaresoluutio	0,0018°	
Kulmatarkkuus	0,007° rms	
Keilausresoluutio	Pistettä/360°	Skannausaika/360°
Esikatselu	1 250	25 s
Keski	5 000	1 min 40 s
Korkea	10 000	3 min 22 s
Superkorkea	20 000	6 min 44 s
Ultrakorkea	40 000	26 min 40 s
Suurin resoluutio valitulle alueelle	100 000	vaihteleva

Z+F Imager 5006i on suunniteltu itsenäiseksi laitteeksi. Siinä on vaihdettava ja ladattava akku sekä sisäinen kiintolevy pistepilvien tallennusta varten. Laitetta voi käyttää laitteen kyljessä olevasta näppäinpaneelistä tai langattomasti laitteen luoman WLAN-verkon kautta. Verkkoon voi yhdistää esimerkiksi puhelimella, kannettavalla tietokoneella tai tabletilla. Langattomasti Z+F Imager 5006i -laserkeilainta ohjataan internetselaimella. (Zoller+Fröhlich GmbH 2009, 2)

Laserkeilaimen tuottama pistepilviaineisto on yhteensopiva myös muiden valmistajien kuin Zoller+Fröhlichin ohjelmistojen kanssa. Z+F Imager 5006i kerää tietoa nopeasti, jopa 508 000 pistettä sekunnissa. Pistepilvet voidaan siirtää ulkoiselle tallentimelle USB-portin kautta tai langattomasti lähiverkon kautta. (Zoller+Fröhlich GmbH 2009, 3, 8)

Z+F Imager 5006i –laserkeilaimen näkökenttä on vaakasuunnassa täysi ympyrä ja pystysuunnassa 310° (taulukko 1). Pystysuuntaisen näkökentän mahdollistaa pyörivä peili. Keilaamatta jää keilaimen alla oleva kartion muotoinen alue. Kartion kärjen kulma on 50°. Keilaimen maksimikantama on 79 metriä. Etäisyydet saadaan laitteesta kohteeseen lähtevän ja sieltä takaisin tulevan signaalin vaihe-eron suuruuden laskemisesta. (Zoller+Fröhlich GmbH 2009, 2, 8)

3 KELLARIN KARTOITTAMINEN

3.1 Lapin ammattikorkeakoulun maapohjakellari

3.1.1 Yleistä

Lapin ammattikorkeakoulun Rovaniemen Rantavitikan kampuksen maapohjainen kellari on säilynyt sellaisenaan kampusrakennuksen valmistumisesta lähtien. Kellari toimii nykyään varastotilana ylimääräisille ja käytöstä poistuneille istuimille sekä muulle tavaralle. Maanmittaustekniikan opiskelijat harjoittelevat eri kojeiden ja laitteiden käyttöä kellaritiloissa. Tästä syystä kellarin seinälle on sijoitettu kolme kappaletta heijastavia tarroja, jotka toimivat kellarin koordinaatiston kiintopisteinä.

Maapohjakellarin voi jakaa useaan osaan: aulan alaiseen osaan, Borealis-salin alaiseen osaan sekä huolto-oven takaiseen osaan. Aulan alaista osaa hallitsevat betoniset perustuspilarit anturoineen sekä eteläisessä päädyssä sijaitseva porraskuilun betonirakenteet. Borealis-salin alaisessa osassa on puolestaan lukuisia väliseiniä, jotka haittaavat laserkeilausta estäen näkyvyyttä. Huolto-oven takaa löytyvän osan maisemaa hallitsevat aulan alaisen osan tapaan betoniset pilarit ja säilötyt vanhat romut.

3.1.2 Tulevat muutokset

Kellaritilan mittaustulokset toimitetaan rakennustekniikan opiskelijalle, jolta saatiin yleispiirteinen käsitys maapohjakellariin tulevista rakennemuutoksista. Viimeimmän tiedon mukaan kellarin perälle rakennetaan uusi ajoluiska yläpuolella olevalta Lapin ammattikorkeakoulun Rantavitikan kampuksen piha-alueelta. Lisäksi kampusrakennuksen aulatiloista lähtevä porraskäytävä puhkaistaan ja portaita jatketaan alaspäin yhdistämään kellarikerros muihin kerroksiin. Kellarin maapohjasta mahdollisesti poistetaan massaa ja tilalle rakennetaan oikea lattia. Uuden lattian mahdollisesta materiaalista ei ole tarkempaa tietoa. Massaa pois-

tetaan, mikäli huonekorkeutta ei ilman poistotoimenpidettä saada tarpeeksi suureksi. Muutostöillä oletettavasti halutaan saada kellaritila tehokkaampaan käyttöön. (Honkanen 2015.)

Maapohjakellari on nykyisellään hyvin viileä tila. Tekeillä oleva suunnitelma sisältää muutoksia myös kellaritilan lämmitysjärjestelmään (Honkanen 2015). Tilan tehokkaan käytön ja yleisen viihtyisyyden vuoksi huonelämpötilan tulee olla normaali. Viihtyisyyden vuoksi hengitysilman tulee olla raikasta, joten ilmanvaihtoon on myös tulossa muutoksia. Mahdollisesti kellaritiloihin rakennetaan myös muutama vesipiste.

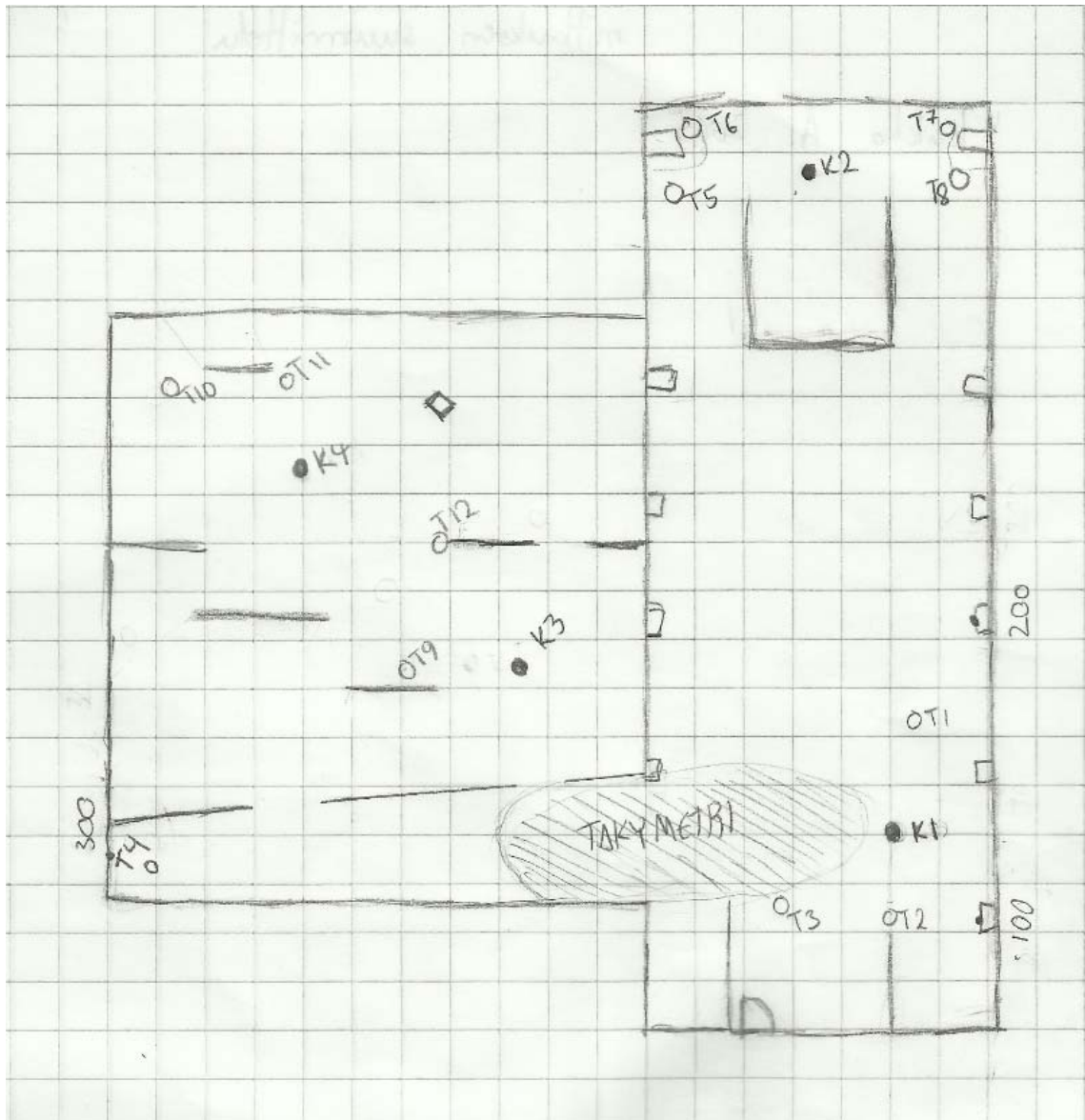
3.2 Kartoitusprosessi

3.2.1 Mittauksen suunnittelu ja esivalmistelut

Mittauksen suunnittelu aloitettiin tutustumalla mittauskohteeseen. Koska käytössä ei ollut kellaritilojen pohjapiirustusta, piirrettiin kohteesta vapaalla kädellä kuva paperille (kuvio 3). Käsin piirretty kuva ei ole mittakaavassa. Kellarissa olevat väliseinät ja oviaukot pyrittiin piirtämään mahdollisimman tarkasti oikeille paikoilleen, jotta keilausasemat ja laserkeilaimen tähyksen paikat pystyttiin suunnittelemaan etukäteen. Paikkoja valitessa täytyi myös huomioida kellaritiloissa olevat seinäpisteet, joiden avulla takymetri orientoitaisiin. Keilausasemat valittiin siten, että mahdollisimman pienellä määrällä keilauksia saataisiin mahdollisimman kattava pistepilviaineisto kellarin geometriasta.

Takymetrin orientointiin päätettiin käyttää vapaan asemapisteen menetelmää sen tuomien etujen vuoksi. Riittävän luotettavuuden saavuttamiseksi asemapisteen määrittämisessä käytettiin kolmea liitospistettä (Laurila 2012, 260). Liitospisteinä käytettävät kolme seinäpistettä 100, 200 ja 300 määrittivät takymetrin mahdolliseksi sijoituspaikaksi kuviossa 3 varjostetun alueen. Keilausasemat suunniteltiin siten, että laserkeilaimen tähykset saatiin sijoiteltua paikkoihin, joista ne voitiin varjostetulle alueelle sijoitetulta takymetrillä mitata. Mahdollisimman esteettömän

laserkeilauksen aikaansaamiseksi kellaritiloihin varastoituja huonekaluja ja muita tavaroita täytyi siirtää väliseiniä taakse piiloon. Käytävissä olevien resurssien vähyyden vuoksi kellaritilaa ei voitu tyhjentää kokonaan tavaroista.



Kuvio 3. Vapaasti piirretty mittaussuunnitelma

3.2.2 Laserkeilaus

Mittauksen suunnittelu ja valmistelu oli aikaa vievää, joten varsinainen keilaus täytyi suorittaa useampana päivänä. Ensimmäisen keilauspäivän tavoitteeksi

asetettiin kellaritilojen aulan alaisen puolen mittaus. Mittauksen suunnitteluvaiheen jälkeen aseteltiin keilaimen neljä tähystä suunnitelman osoittamiin paikkoihin T1–T4. Tähyksen koordinaatit mitattiin takymetrillä. Laserkeilain pystytettiin suunnitelman osoittamaan keilausasemaan K1 ja keilaus suoritettiin yhdistämällä puhelimesta keilaimen omaan langattomaan verkkoon. Keilausasetuksina jokaisella keilauskerralla käytettiin keilaimen antamia oletusasetuksia. Oletuksena keilausten tarkkuus oli high-asetuksella, joka oli keilausten nopeuden ja tarkkuuden osalta juuri sopiva tarkoitukseen. High-asetuksella 360 asteen keilaus valmistuu kolmessa minuutissa ja 22 sekunnissa (Zoller+Fröhlich 2009, 8).

Ensimmäisen keilausaseman keilausten valmistuttua laserkeilain siirrettiin seuraavaan keilausasemaan K2. Tähykset siirrettiin paikoille T5–T8 ja ne mitattiin takymetrillä. Keilaus suoritettiin samoilla asetuksilla kuin edellisenkin. Keilausten aikana takymetristä vietiin USB-muistitikulle mitatut tähyksen koordinaatit keilausten rekisteröintiä varten. Toisen keilausten valmistuttua laserkeilaimesta vietiin vastikään mitatut pistepilvet muistitikulle ja edelleen tietokoneelle pistepilvien jatkokäsittelyä varten.

Toisena keilauspäivänä tavoitteena oli keilata loppuosa kellarista, eli Borealisalin alainen osa. Takymetri pystytettiin jälleen suunnitelmapiirustuksessa varjos-
tetulle alueelle siten, että kojeasemalta oli näkyvyys orientointiin käytettäviin seinäpisteisiin 100, 200 ja 300 sekä tähyksen paikoille T9–T12. Tähyksen koordinaatit mitattiin samaan työhön takymetrillä kuin edellisinkin. Toisen keilauspäivän ensimmäinen keilaus suoritettiin keilausasemalta K3. Keilausten aikana tähyksen koordinaatit vietiin jälleen muistitikulle päivän keilausten rekisteröintiä varten.

Viimeinen eli neljäs keilausasema K4 valmisteltiin edellisen keilausten loputtua. Tähyksen suunta käännettiin osoittamaan keilausasemaa ja keilain siirrettiin asemalle. Keilausten jälkeen toisen päivän mittausten tuloksena syntyneet pistepilvitiedostot siirrettiin muistitikulle ja edelleen tietokoneen kiintolevylle jatkokäsittelyä varten.

4 MITTAUSTULOSTEN KÄSITTELY

Lapin ammattikorkeakoulun Rovaniemen Rantavitikan kampuksen kellaritilojen laserkeilaus suoritettiin kahtena eri keilauspäivänä. Ensimmäisen keilauspäivän tuloksena saadut pistepilvet käsiteltiin ennen toisen keilauspäivän mittauksia. Aineiston käsittely täytyi aloittaa ennen kuin kaikki tilat oli keilattu, koska rakennustekniikan opiskelija tarvitsi mittoja kellaritulasta pikimmiten omaa työtään varten.

Toisen keilauspäivän mittaukset tehtiin heti kun ensimmäisen päivän mittaustulokset saatiin käsiteltyä ja lähetettyä rakennustekniikan opiskelijalle. Toisen keilauspäivän mittaukset käsiteltiin heti mittausta seuraavana päivänä. Lopuksi eri keilauspäivien mittaukset yhdistettiin yhdeksi pistepilviaineistoksi aineiston käsittelyn ja tutkimisen helpottamiseksi. Näin saatiin muodostettua yhtenäinen kuva keilauskohteesta.

4.1 Z+F Laser Control –ohjelmisto

4.1.1 Pistepilven suodatus

Pistepilviaineiston käsittely aloitettiin avaamalla ohjelma Z+F Laser Control -ohjelmisto. Z+F Laser Control on keilainvalmistajan oma ohjelmisto, jolla voi tehdä perusasioita pistepilviaineistolle, kuten harventaminen, tarvittavat suodatukset ja pistepilviaineiston rekisteröinti. Z+F Laser Control -ohjelmalla voi myös tehdä yksinkertaisia leikkauksia. (Mäkelä 2010, 12)

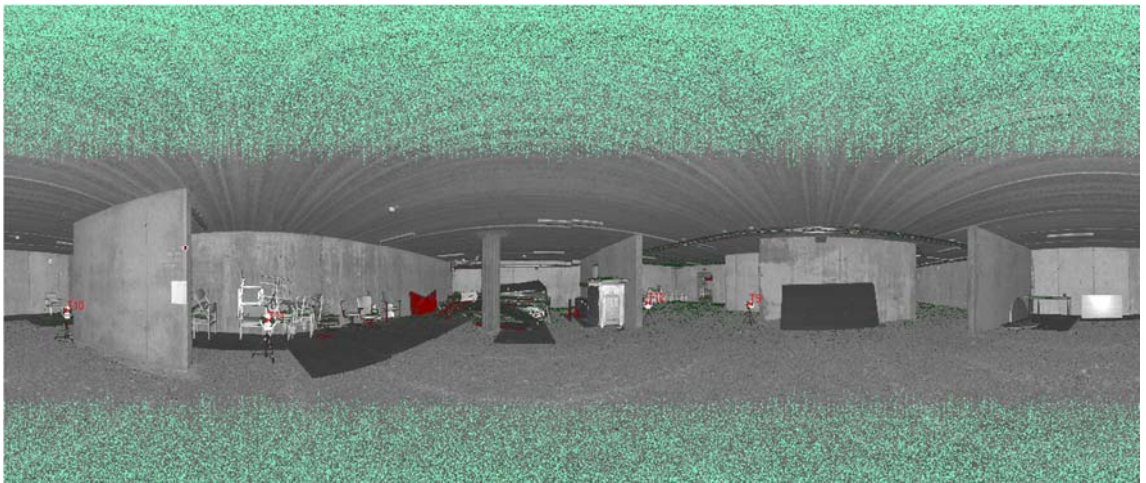
Ohjelmiston avaamisen jälkeen luotiin uusi projektikansio, jota käytetään aineiston käsittelyyn ja tiedostojen tallennuspaikkana. Alkuperäiset tiedostot säilyvät tällä tavoin muuttumattomina ja ovat varmuuskopioituna siltä varalta että jokin menee pieleen pistepilvien käsittelyssä. Ohjelmassa ei ole peruuta-toimintoa, joten kaikki pistepilviaineistolle tehdyt toimenpiteet, kuten suodattaminen, ovat peruuttamattomia.

Pistepilviaineistot aktivoidaan kaksoisnapauttamalla tiedostoja ohjelman vasemmassa reunasta löytyvästä projektivälilehdeltä. Aktivoinnin jälkeen ne aukeavat välilehdiksi ohjelman pääikkunaan oletuksena kaksikulotteisena harmaasävykuvana (kuvio 4). Harmaasävyt syntyvät laserkeilaimen mittaamista intensiteettiarvoista. Aktivoinnin jälkeen skannaukset ovat muokattavissa.



Kuvio 4. Harmaasävykuva

Joskus laserkeilaimella mitatessa syntyy turhia ja virheellisiä pisteitä. Ne voivat syntyä esimerkiksi ilmassa leijuvasta pölystä. Z+F Laser Control ohjelmasta löytyvä ”Preprocessing” -toiminto suodattaa pois pistepilviaineiston turhat ja häiritsevät pisteet. Suodatetut pisteet näkyvät vihreinä ja punaisina harmaasävykuvassa (kuvio 5).



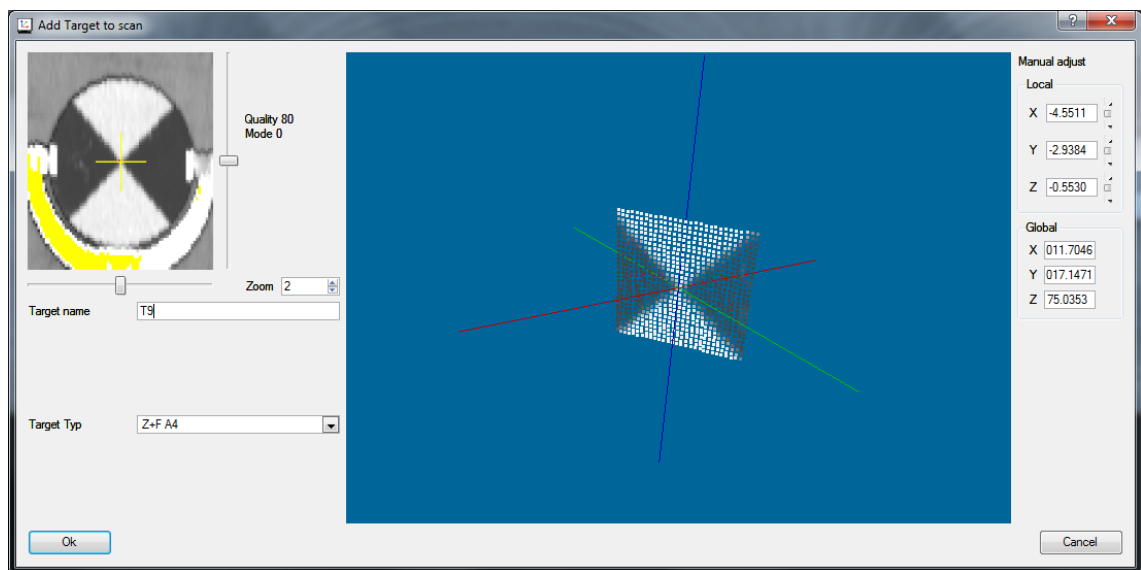
Kuvio 5. Suodatetut pisteet

4.1.2 Pistepilven rekisteröinti

Pistepilviaineistojen rekisteröintiä eli koordinaatistoon sovittamista varten täytyy luoda tähysten koordinaatit sisältävä tiedosto Caplan-formaattiin. Caplan-tiedosto luodaan 3D-Win -ohjelmalla. Takymetrillä mitatut tähysten koordinaatit vietään USB-muistitikulle GT-formaatissa, jota 3D-Win tukee. Tähysten koordinaattipisteet on syytä nimetä johdonmukaisesti, jotta oikeat tähykset ovat helppo tunnistaa ja nimetä Z+F Laser Controlin harmaasävykuvalta. Caplan-formaatin tiedosto ja pisteet eroavat takymetrin mittaamista pisteistä siten, että X- ja Y-koordinaatit ovat eri järjestyksessä sekä tiedoston riviformaatti on eri. 3D-Winillä tähysten koordinaattipisteisiin täytyy myös lisätä pintatunnukset jotta Z+F Laser Control tunnistaa ne oikein.

Pistepilviaineistojen rekisteröinti jatkuu Z+F Laser Control -ohjelmassa tähysten tunnistamisella. Käytetään ”Help find targets” -toimintoa helpottamaan tähyksien etsintää äskettäin luodun Caplan-tiedoston avulla. ”Fit Target” -toiminto avaa valintaikkunan johon hiirellä ja Ctrl-näppäimellä etsitään tähykset harmaasävykuvalta. Hiirellä napautetaan tähyksen keskiosaa ja se nimetään samoin kuin aiemmin luodussa Caplan-tiedostossa. Tähyksiä asetettaessa on syytä tarkistaa, että ohjelma on tunnistanut tähyksen oikein ja kolmiulotteinen risti osoittaa tähyksen keskelle (kuvio 6). Kahden asetetun ja tunnistetun tähyksen jälkeen auta löytämään tähykset -toiminto tunnistaa loput kaksi tähyistä automaattisesti. Ne kuitenkin varmistetaan käsin mahdollisten virheiden välttämiseksi.

Varsinainen rekisteröinti tapahtuu napauttamalla ”Register all scans” -toimintoa. Rekisteröinti-ikkunaan avataan aiemmin luotu Caplan-tiedosto sekä valitaan keilaukset, jotka halutaan rekisteröidä. Rekisteröinnin jälkeen Z+F Laser Control antaa raportin, josta voidaan tarkastella keilauksen virhearvoja. Raporteista (kuviot 7 ja 8) kävi ilmi että keilauksien virhearvot olivat ohjelman oletuksena asettaman sallitun rajan (seitsemän millimetriä) sisällä.



Kuvio 6. Tähykseen tähtäyksen tarkistaminen

Kuviot 7 ja 8 ovat kuvakaappauksia Z+F Laser Controlin tulostamista virheraporteista. Raporteissa on eritelty taulukoina neljän eri keilausaseman keilaukset. ”Position of the Scanner” ilmoittaa keilausaseman sijainnin kellarin omassa koordinaatistossa. keilauksessa käytettyjen tähyksien virheet. ”Deviation of the targets of the scan: n.zfs” -otsikolla merkityt taulukot esittävät yksittäisten tähyksien kokonaisvirheet sekä virheet koordinaattien x, y ja z suhteen. Pieni n tarkoittaa tässä tapauksessa keilauksen tiedostonumeroa 1, 2, 4 tai 5. Osa koordinaattien suuntaisista virheistä eli poikkeamista ovat merkiltään negatiivisia. Virhearvon merkki tarkoittaa poikkeaman suuntaa koordinaatin suhteen (Karppinen, 2015).

”Standard Deviation of the Targets, with respect to the Totalstation-Data” tarkoittaa keskihajonnan suhdetta takymetrillä mitattuihin tähyksien koordinaatteihin. Yksikään tähyksistä ei ylittänyt ohjelman oletuksena asettamaa seitsemän millimetrin rajaa, joten pistepilven rekisteröintiprosessi ei hylännyt niistä yhtään. Ensimmäisen keilauspäivän keilausten keskihajonta on 0,8 mm ja toisen keilauspäivän keilausten 0,6 mm. Keilauspäivien keskipoikkeamat ovat 1,6 mm ja 1,1 mm, kun suurin poikkeavuus keilauksilla on 2,8 mm ja 2,2 mm.

Position of the Scanner

Scan-File	Position x [m]	Position y [m]	Position z [m]	Scale
1.zfs	2003.978	1002.369	75.611	1.0000

Deviation of the targets of the scan: 1.zfs

Target	d [mm]	dx [mm]	dy [mm]	dz [mm]
'T4'	0.8	-0.4	-0.7	0.1
'T3'	2.2	2.1	0.2	-0.5
'T2'	1.2	-1.0	-0.5	0.4
'T1'	0.7	-0.6	-0.3	0.0

Position of the Scanner

Scan-File	Position x [m]	Position y [m]	Position z [m]	Scale
2.zfs	2025.963	1004.477	75.682	1.0000

Deviation of the targets of the scan: 2.zfs

Target	d [mm]	dx [mm]	dy [mm]	dz [mm]
'T8'	2.4	2.4	-0.7	0.1
'T7'	2.8	-2.7	-0.7	-0.2
'T6'	1.8	1.2	1.3	-0.2
'T5'	0.9	-0.9	-0.2	0.1

Standard Deviation of the Targets, with respect to the Totalstation-Data

Summary:

0 of 8 Targets whose deviations are greater than the defined threshold 7.0 mm	
Total number of targets	8
Number of disabled targets	0
Average Deviation	1.6 mm
Standard Deviation	0.8 mm
Maximal Deviation	2.8 mm

Kuvio 7. Virheraportti ensimmäisen keilauspäivän keilauksista

Viimeisenä toimenpiteenä pistepilviaineisto vietiin XYZ.ASC-formaatissa ulos ohjelmasta. Viennin asetukseksi valittiin koko pistepilven tallennus. Tiedoston kokoa kuitenkin päätettiin rajoittaa asettamalla pisteiden subsample-arvoksi kaksi. Asetus muuttaa vientiä siten, että pisteistä vain joka toinen otetaan mukaan ulosvietyyn tiedostoon. Menettely on täysin riittävä, sillä pistepilvessä on useita miljoonia pisteitä.

Position of the Scanner

Scan-File	Position x [m]	Position y [m]	Position z [m]	Scale
4.zfs	2009.461	1013.157	75.664	1.0000

Deviation of the targets of the scan: 4.zfs

Target	d [mm]	dx [mm]	dy [mm]	dz [mm]
'T9'	0.9	-0.0	-0.9	0.2
'T12'	0.7	-0.4	0.5	-0.2
'T10'	0.2	0.1	0.0	-0.2
'T11'	0.8	-0.6	-0.4	0.2

Position of the Scanner

Scan-File	Position x [m]	Position y [m]	Position z [m]	Scale
5.zfs	2016.758	1019.099	75.587	1.0000

Deviation of the targets of the scan: 5.zfs

Target	d [mm]	dx [mm]	dy [mm]	dz [mm]
'T12'	2.2	2.0	0.7	-0.3
'T11'	1.8	-1.7	-0.6	0.3
'T10'	1.0	1.0	0.3	-0.2
'T9'	1.1	-1.1	-0.1	0.3

Standard Deviation of the Targets, with respect to the Totalstation-Data

Summary:

0 of 8 Targets whose deviations are greater than the defined threshold 7.0 mm	
Total number of targets	8
Number of disabled targets	0
Average Deviation	1.1 mm
Standard Deviation	0.6 mm
Maximal Deviation	2.2 mm

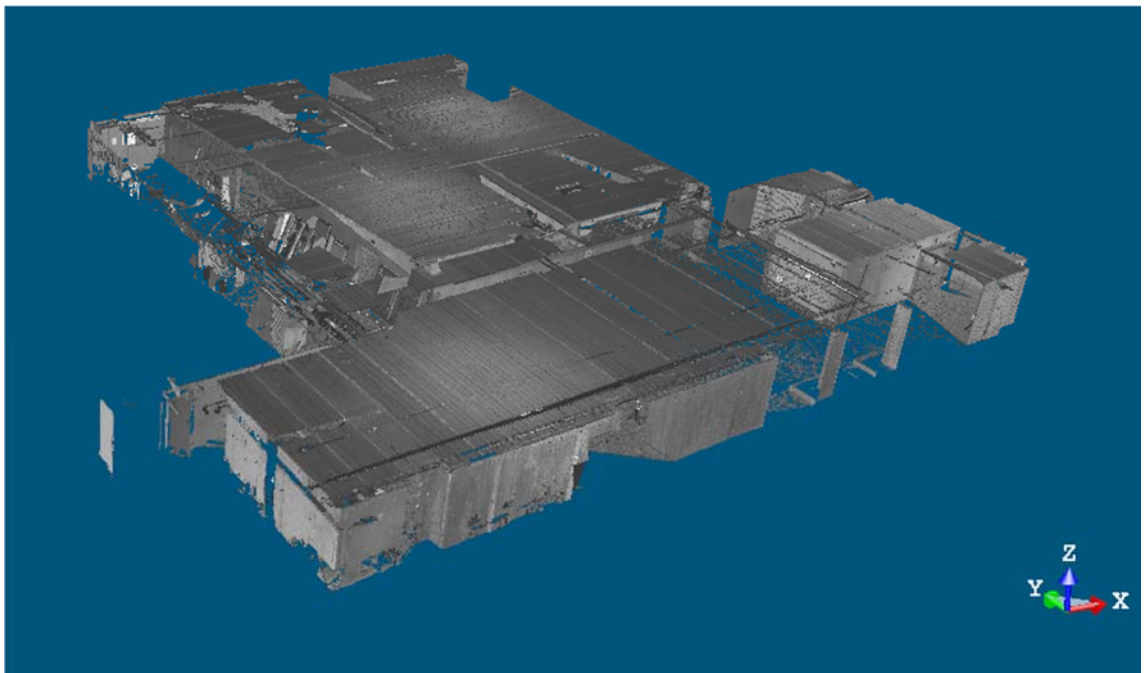
Kuvio 8. Virheraportti toisen keilauspäivän keilauksista

4.2 Trimble RealWorks Survey Advanced -ohjelmisto

Trimble RealWorks Survey Advanced -ohjelma on Trimblen kehittämä ohjelmisto laserkeilausaineiston käsittelyyn. Ohjelmalla on monipuolisempi käyttövalikoima mittausaineiston käsittelyyn, kuin Z+F Laser Control -ohjelmassa. Tämä mahdollisti aineiston hyödyntämisen tehokkaasti. Kellarin aulan alaisen osan ja Borealis-

salin alaisen osan pistepilvet mitattiin ja käsiteltiin eri aikoihin, mutta niille tehtiin samat toimenpiteet. Pistepilviaineistot yhdistettiin myöhemmin 3D-Winillä käsitellessä kahdeksi aineistoksi, katoksi ja lattiaksi.

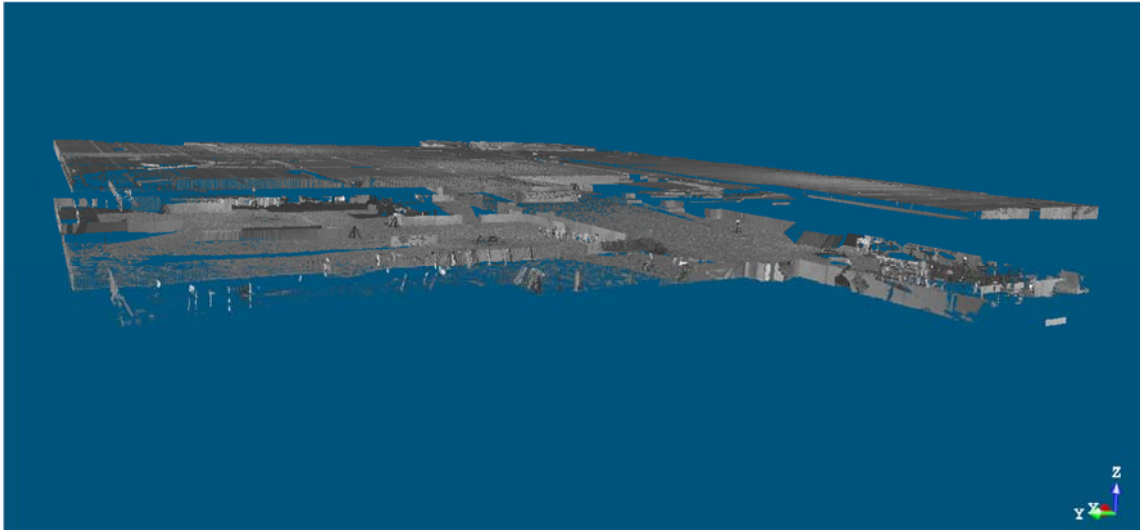
Z+F Laser Control -ohjelmalla käsitelty aineisto avattiin Trimble RealWorks Survey Advanced -ohjelmalla ja ensimmäisenä toimenpiteenä pistepilvi ositettiin eli jaettiin pienempiin osiin ”Segmentation tool” -toiminnolla. Näin saatiin käyttöön vain tarvittava osa tiedostosta, jolloin sen käsittely oli nopeampaa ja helpompaa. Pistepilven osittelu oli pakollinen toimenpide, koska kokonaisen tiedoston avaaminen 3D -Winillä ei onnistunut sen suuren koon vuoksi. Pistepilvestä (kuvio 9) ositettiin lattia ja katto erilleen. Seinät jätettiin lattianrajaa lukuunottamatta osituksen ulkopuolelle, koska tilasta tarvittiin lattian pintamalli ja huonekorkeus (kuvio 10).



Kuvio 9. Harventamaton pistepilvi

Seuraavana toimenpiteenä oli jäljelle jääneen pistepilven harvennus ”Sampling tool” -toiminnolla. Harvennusväliksi valittiin useiden kokeilujen jälkeen 0,25 metriä. Näin saatiin riittävä pistetiheys pintamallin muodostamiseksi ja kuitenkin tarpeeksi pieni pistemäärä, jotta pistepilvet saatiin auki 3D-Winillä (kuvio 11). Har-

vennetuista pistepilvistä muodostettiin pintamallit ”Mesh creation tool” -toiminnolla, jolloin saatiin todellisen näköinen 3D-kuva lattiasta ja katosta. Luotua pintamallia ei kuitenkaan käytetty kuin harvennetun pistevälin tarkoitukseen sopivuuden tarkastamiseen. Pisteväli todettiin tarkoitukseen sopivaksi.



Kuvio 10. Katon ja lattian harventamattomat pistepilvet

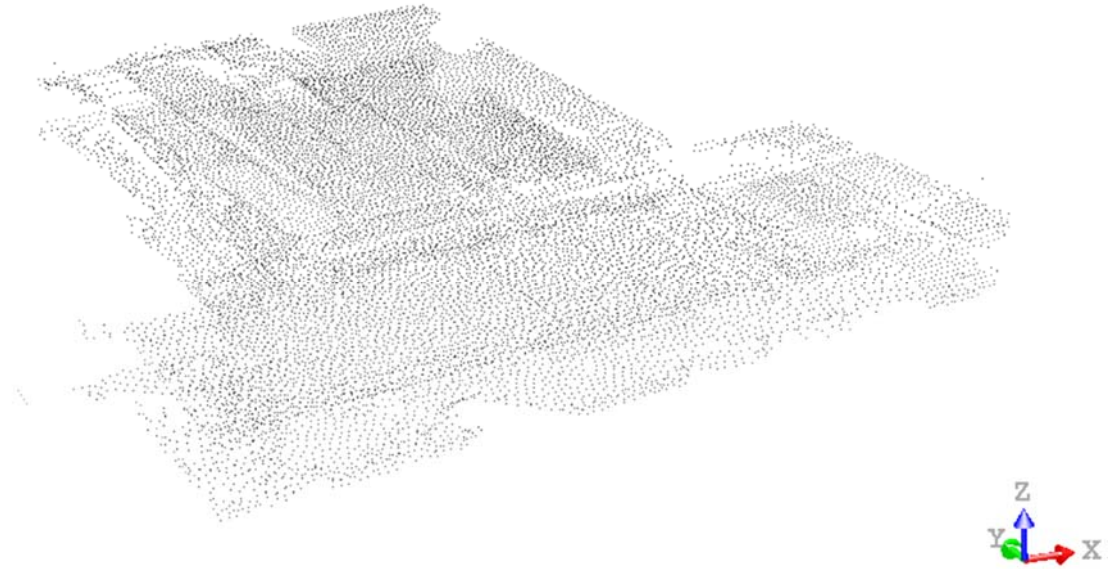
Kahden keilauspäivän mitatuista pistepilvistä muodostettiin yhteensä kuusi osiota. Koko kellaritilan lattia jaettiin kolmeen osioon, aulan alainen osa kahteen puoliskoon ja Borealis-salin alaiseen osaan. Osat harvennettiin ja sitten ne tallennettiin dxf-formaatissa. Katto osioitiin samalla tapaa. Harvennettujen ja osioitujen pistepilvien jatkokäsittely tapahtui 3D-Win -ohjelmalla, joka lukee dxf-tiedostoja suoraan.

4.3 3D-Win –ohjelmisto

4.3.1 Pintamallin luonti

3D-Win on suomalaisen 3D-Systemin kehittämä maanmittausalan ohjelmisto. Se on tarkoitettu maastomittaustiedon tuottamiseen ja käsittelyyn. Ohjelma tukee yhtäaikaaisesti useampaa vektoritiedostoa, joita voi hallita erikseen (3D-system, 2015, 2). Keilausaineiston jatkokäsittely aloitettiin lukemalla aiemmin Trimble

RealWorks Survey Advanced -ohjelmalla luodut dxf-tiedostot. Aluksi luettiin vain kellaritilan lattian pistepilvet. Pistepilvistä poistettiin harvennuksen jälkeen jääneitä turhia pisteitä, jotka sijaitsivat kellaritilan ulkopuolisella käytäväalueella. Laserkeilain näki käytävälle kellarin oviaukosta.



Kuvio 11. Harvennettu pistepilvi

Ennen lattian kolmiointia eli pintamallin luontia kolme dxf-tiedostoa yhdistettiin yhdeksi vektoritiedostoksi käsittelyn helpottamiseksi. Pintamallin luonti tapahtuu 3D-Winillä yksinkertaisesti valitsemalla "Maastomalli" -valikosta "Kolmiointi...". Avautuu ikkuna, jossa määritellään kolmiointin parametrit, kuten esimerkiksi pintatunnus ja kolmioiden sivun pituuden maksimi. Oletuksena maksimiasetuksena on 30 metriä, joka on tässä tapauksessa liian suuri. Kellaritilan pituus on noin 30 metriä ja tilan muoto on kulmikas, joten liian pitkä maksimisivuasetus tekee ylimääräisiä kolmioita varsinaisen kolmiointivan alueen ulkopuolelle. Kolmion sivun maksimipituudeksi valittiin viisi metriä ylimääräisten kolmioiden välttämiseksi. Kuten kuvio 12 käy ilmi, myös viiden metrin maksimisivulla tulee ylimääräisiä kolmioita varsinaisen alueen ulkopuolelle, mutta ne voidaan tarvittaessa poistaa käsin. Alle viiden metrin maksimisivuasetus jätti liikaa kolmioita tekemättä lattian pintaan.

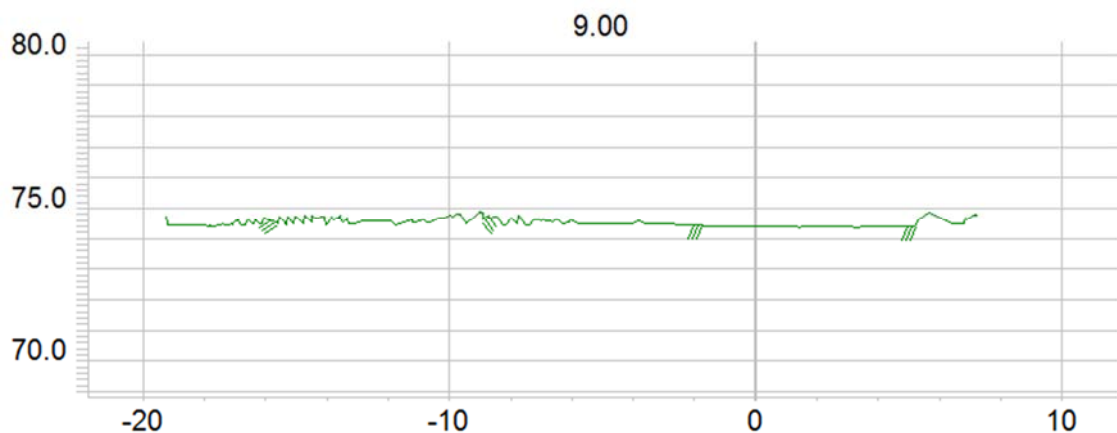
4.3.2 Poikkileikkausten luonti

Pintamallin luomisen jälkeen lattian pistepilviaineistoon aloitettiin poikkileikkausten työstäminen. Poikkileikkauksia varten täytyy luoda mittalinja, joka menee alueen poikki. Mittalinja täytyi tehdä samoihin X- ja Y-koordinaatteihin jotta poikkileikkaukset tulevat samasta kohtaa kellaria. Jotta mittalinja saatiin täsmälleen samalle kohtaa niin lattian kuin katonkin pintamallille, täytyi mittalinjan lähtö- ja loppupisteiksi luoda uudet pisteet. Pisteet luotiin ja niille valittiin summittainen korkeus, joka oli samalla tasolla lattian kanssa. Mittalinjan alkupisteeksi luotiin piste kellaritilan sisäänkäynnin viereiseen ulkonurkkaan. Loppupiste tehtiin sisäänkäynnistä katsoen kellaritilan peräseinälle samaan X-koordinaattiin, jotta mittalinja on suorassa. Molemmille pisteille valittiin sama korkeus, jotta mittalinja on vaakasuorassa. Mittalinja luotiin valikosta ”Maastomalli” napauttamalla kohtaa ”Mittalinja → Tee” Linjalle valittiin pisteiksi äskettäin luodut alku- ja loppupisteet. Paaluväliksi valittiin yksi metri ja alkupaaluksi nolla, eli poikkileikkaukset lähtisivät heti mittalinjan alkupisteestä.



Kuvio 12. Kolmioitu pistepilvi lattiasta

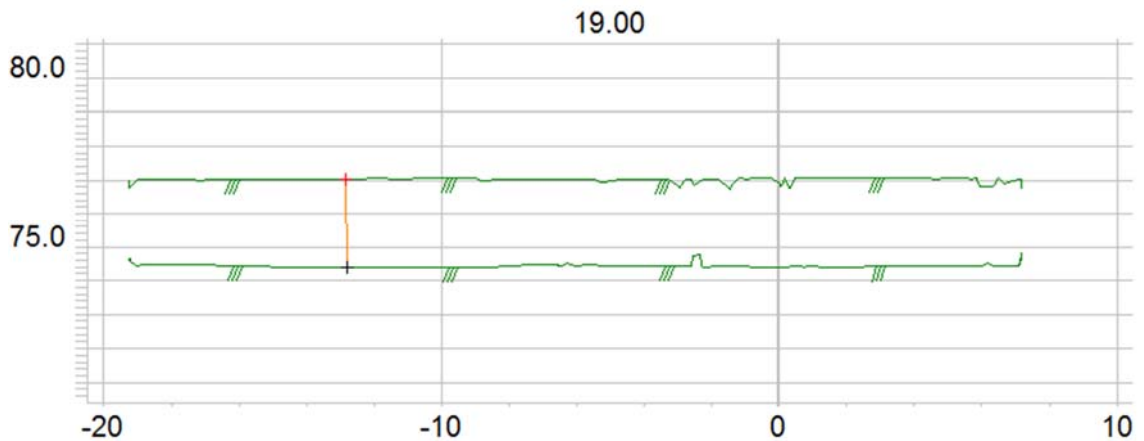
Poikkileikkaus luotiin ”Maastomalli” -valikosta kohdasta ”Poikkileikkaus...”. Asetuksiksi valittiin oletusasetukset, eli poikkileikkaus tehdään 25 metriä kumpaankin suuntaan mittalinjasta. Oletusluvut riittivät hyvin koko kellaritilan poikkileikkausten piirtämiseen. Kellariin on sijoitettu paljon erilaista tavaraa, jota ei kaikkea saatu siirrettyä pois laserkeilauksen ajaksi, joten leikatussa lattiassa on paljon puolikkaita tuoleja tai muuta tavaraa, jotka näkyvät poikkileikkauksissa sahakuviona (kuvio 13). Sahakuvioiset kohdat eivät tästä syystä sovellu korkeuksien tarkasteluun. Pienet, leveydeltään alle puolen metrin sahalaitakuviot tai piikit poikkileikkauksissa kuvaavat seinälinjoja ja väliseiniä. Seinät näkyvät poikkileikkauksissa edellä mainituin tavoin, koska kellaritilan pistepilvestä otettiin käsittelyyn ainoastaan lattia ja katto. Seinät ovat epäoleellisia työn tarkoitusta varten, joten riittää että ne pystytään erottamaan lattiasta tai katosta poikkileikkauksia tarkasteltaessa. Hyvälaatuinen ja tarkasteluun soveltuva poikkileikkaus on esitetty kuviossa 14. Kohdalle ei ole sattunut mitään esteitä.



Kuvio 13. Sahalaitakuviainen poikkileikkaus lattiasta paaluluvulta 9

Kellaritilan lattiataason poikkileikkauksien laatimisen jälkeen tehtiin kattotasosta poikkileikkaukset ja sitä edeltävät toimenpiteet samoin kuin lattiatasoa tehdessä. Ensin lattiataason elementit eli vektoritiedosto, pintamalli, mittalinja ja poikkileikkaukset piilotettiin näkyvistä ”Elementtien valintalista” -painikkeesta avautuvasta ikkunasta, jotta ne eivät häiritse kattotasoa käsittelyä. Kattotasoa aiemmin ositetut pistepilvet luettiin 3D-Win -ohjelmaan. Turhat pisteet alueen ulkopuolelta poistettiin ja RealWorks Survey Advancedilla tulostetut dxf-tiedostot yhdistettiin yh-

deksi xyz-vektoritiedostoksi. Kattotason pistepilvestä luotiin pintamalli. Pintamallin asetuksina käytettiin samoja asetuksia kuin lattiatason pintamallia luodessa. Mittalinjaa varten pisteet luotiin samoihin X- ja Y-koordinaatteihin kuin lattiatasollekin, vain korkeus muutettiin vastaamaan kattotason korkeutta. Mittalinja luotiin samoilla asetuksilla kuin aikaisemminkin kulkemaan äskettäin luotujen mittalinjan alku- ja loppupisteiden kautta. Poikkileikkaus tehtiin myös samoilla asetuksilla kuin aiemminkin.



Kuvio 14. Katon ja lattian poikkileikkaukset paaluluvulta 19 sekä eromitta

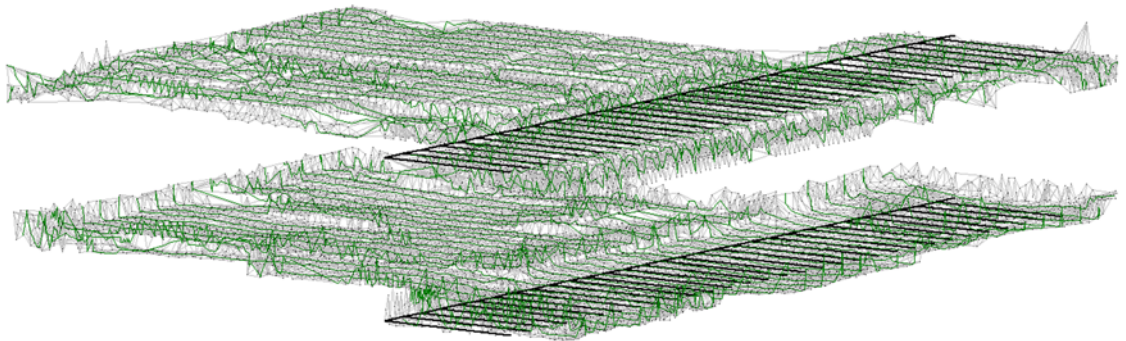
Lopputuloksena "Ikkuna" -valikosta voidaan tarkastella lattia- ja kattotasojen poikkileikkauksia yhtä aikaa napauttamalla kohtaa "Poikkileikkaus". Avautuu ikkuna, josta voidaan "Laskenta" -valikosta löytyvällä "Eromitat..." -toiminnolla mitata huonekorkeuksia ikkunassa kulloinkin näkyvältä paaluluvulta. Toiminnolla saa itse valita mitattavan kohdan napauttamalla ensin lattian tai katon poikkileikkausta ja sitten tasoa mikä jäi jäljelle. Ikkunasta (kuvio 15) tarkasteltava luku on dZ, eli korkeuden muutos. Mikäli ensin napauttaa kattotasoa ja jälkeenpäin lattiatasoa, on dZ:n arvo negatiivinen. Arvon merkillä ei ole merkitystä mittausten kannalta, mutta asia on syytä pitää mielessä eromittoja laskiessa.

dB	-0.045	dBZ	2.638	<input type="button" value="Sulje"/>
dZ	2.637	dBZA	2.638	<input type="button" value="Ohje"/>
dA	0.000	Suunta	98.9111	<input type="checkbox"/> Vakio P1
<input type="checkbox"/>	Tallenna *	Kaltevuus	58.4571:1	<input checked="" type="checkbox"/> 1:X

Kuvio 15. Eromitta

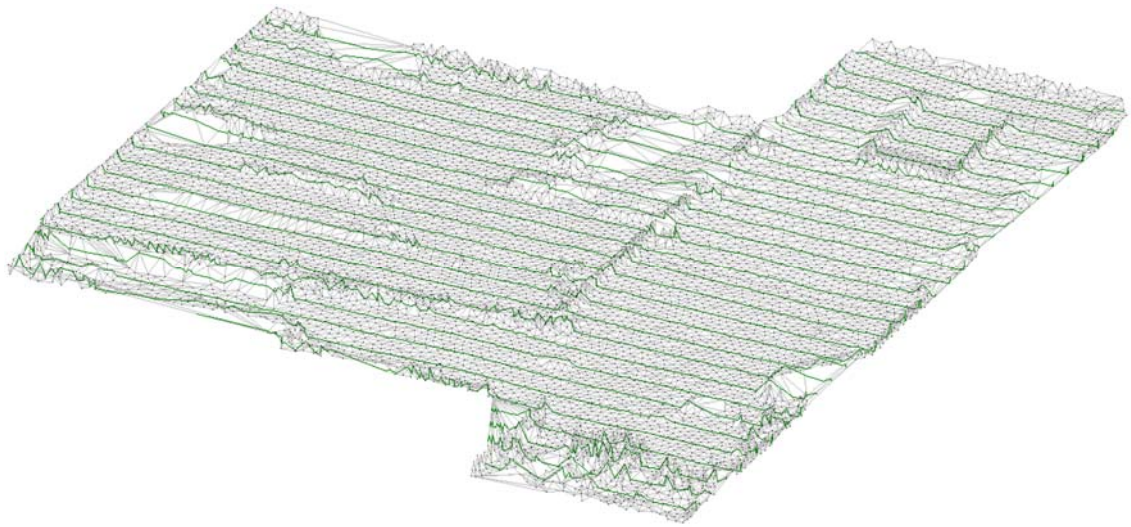
4.4 Lopputulos

Työn tavoitteena oli saada rakennustekniikan opiskelijalle helposti luettava tiedosto, josta pystyi selvittämään kellaritilan mittoja. Lopullinen versio syntyi aineiston käsittelyssä ja tuotoksena saatiin 3D-Winillä avattava mittalinjamalli, johon sisältyi poikkileikkaukset. Mittalinjoja kuvaavat kuviossa 16 näkyvä kampamainen musta ja paksu viiva. Kamman harjakset merkitsevät poikkileikkausten sijaintia pintamallissa. Poikkileikkaukset ovat yhden metrin välein. Paalulukujen kohdalla on poikkileikkaukset, jotka on esitetty kuvissa vihreinä viivoina. Poikkileikkauksista voidaan tarkastella kellarin korkeutta ja lattian muotoa pituussuunnassa metrin välein. Tällä tavoin korkeuksia voitiin vertailla eri kohdista ja saatiin kattava tieto kellaritilan kaltevuuksista ja korkeuseroista.



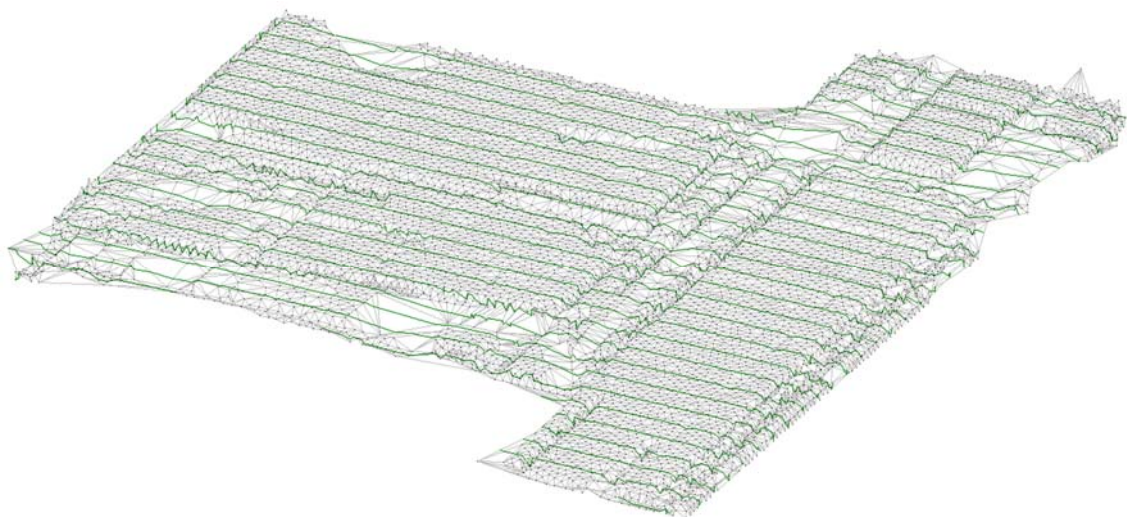
Kuvio 16. Lopputuote

Kuten kuvioista 16 ja 17 näkyy, on kellarin lattiapinta suhteellisen tasainen, senkin seikan huomioon ottaen että korkeuskoordinaattia on korostettu kaksinkertaiseksi kuviolla 16. Pieniä korkeuden muutoksia on kuitenkin havaittavissa paljaalla silmälläkin tarkastellessa. Yksittäisen noin neliödesimetrin suuruisen alueen korkeus saattaa vaihdella lattiatasolla lattian materiaalin luonteen vuoksi. Materiaalina käytetty sora elää sen päällä kävellessä ja korkeudet muuttuvat. Tällaiset pienet muutokset korkeudessa ovat kuitenkin merkityksettömiä mittausten ja mittaustulosten lähemmän tarkastelun kannalta.



Kuvio 17. Lattiataso

Kuvio 18 on ylhäältä sivusta päin kuvattu pintamalli kellaritilan kattotasosta. Kuviossa näkyvät valkoiset aukot pintamallissa ovat keilaimen katvealueita. Laserkeilain ei ole erinäisistä syistä nähnyt kyseiselle alueelle. Tässä tapauksessa syynä ovat kellarin katon geometrian vaihtelut. Kattopalkit ovat paksuja, eikä niiden taakse näe. Katvealueita on sen verran vähän, ettei keilausvaiheessa nähty tarvetta lisätä keilausasemien lukumäärää katvealueiden synnyn estämiseksi.



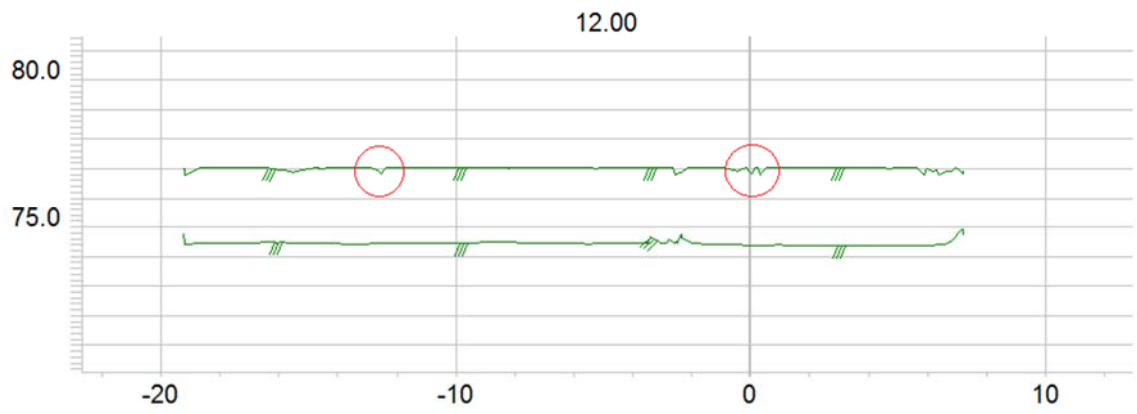
Kuvio 18. Kattotaso

Lattiatason aukot kolmioverkossa (kuvio 17) ovat jääneet keilaimen näkökentän ulkopuolelle hiukan eri syystä kuin kattotason aukot. Lattialle varastoidut tavarat peittivät keilaimen näkyvyyden lattiatasolle niistä kohdin. Käsittelemättömässä pistepilviaineistossa kaikki keilaimen näkemät objektit ovat tarkasteltavissa. Lattian kolmiointia varten leikattiin lattian ja katon välissä olevat seinät ja kaikki muu pistepilviaineisto pois lattiatason tarkastelun helpottamiseksi. Tästä syystä tavararykelmät näkyvät aukkoina kolmioverkossa ja sahalaitaisina poikkileikkauksissa. Joissakin tapauksissa tavararykelmät näkyvät poikkileikkauksissa tasaisina viivoina terävien sahalaitakuvioiden välissä (kuvio 19). Tasainen viiva syntyy poikkileikkaukselle, kun kasa tavaroita leikataan alkuperäisestä pistepilviaineistosta pois. Jäljelle jää tasareunainen aukko, kun normaalisti paikalla olisi useita tuhansia pisteitä.



Kuvio 19. Estynyt näkymä

Kaikenlaisten pintamallissa ja poikkileikkauksissa näkyvien terävien kuvioiden kohdalta eromitan mittaamista on syytä välttää. Terävät kuviot kattotasossa tarkoittavat sitä, että kohdalla on joko valaisin, kattopalkki tai seinä. Kattopalkit ovat huomattavasti alempana kuin valaisimet ja ne voidaan erottaa seinistä tarkistamalla onko lattiatasolla samalla kohtaa terävää kuviota. Mikäli myös lattiatasolla on terävä kuvio, on kyseessä seinä. Jos kuviolle ei löydy vastinetta kellarin lattiatasosta, on kyseessä silloin kattopalkki. Esimerkkejä tällaisista tapauksista on esitetty kuviossa 20. Esimerkkikohdat on ympyröity punaisella ympyrällä.



Kuvio 20. Terävät kuviot katon poikkileikkauksessa

5 JOHTOPÄÄTÖKSET

Mittaustulosten ja jälkikäsitelyssä luodun maapohjakellarin pintamallin perusteella voidaan todeta, että laserkeilaus on hyvä menetelmä rakennusten sisätilojen mittaukseen. Vaihe-erolaserkeilain, kuten opinnäytetyön tekemisessä käytetty Z+F Imager 5006i, on erittäin nopea työväline sisätilojen kartoitukseen. Neljän keilausaseman keilaukset toteutettiin kahdessa päivässä. Kokeneempi mitaustyöryhmä olisi toteuttanut mittaukset muutamaan tuntiin.

Keilattavaan kohteeseen etukäteen tutustuminen on tehdyn keilauksen perusteella keilauksen tärkeimpiä vaiheita. Mittauksen huolellinen suunnittelu helpottaa maastotöitä hyvin paljon. Etukäteen suunnitellut keilausasemat, tähysten paikat sekä takymetrin kojeasema nopeuttavat mittausta huomattavasti. Mittausta aloittaessa voi suoraan asetella tähykset suunniteluille paikoille, mitata ne takymetrillä ja käynnistää keilaimen.

Laserkeilain on käytettävissä olevista laitteista ja menetelmistä käytännöllisin vaihtoehto opinnäytetyön kaltaisen kohteen mittaukseen. Vaihtoehtoisesti takymetrillä voisi mitata maastomallin kellarista, mutta se olisi hyvin aikaa vievää puuhaa. Katon mittaaminen tuottaisi ongelmia prismallisella mittauksella katon geometrian sekä prisman asettelun vuoksi, joten olisi helpointa käyttää pintamittavaa takymetriä. Laserkeilaimella saa mitattua suuren osan tilasta muutamassa minuutissa, kun taas takymetrimittaukseen kuluisi useampia tunteja, eikä siltikään päästäisi vastaavaan pistetiheyteen kuin keilaimen tuottamassa ja jälkikäsitelyllä harvennetussa pistepilvessä.

Laserkeilauksien tuotoksena saadut neljä pistepilveä yhdistettiin kahdeksi suureksi pistepilveksi keilauspäivien ja kellarin seinillä erotettujen osien mukaan. Yhteensä näiden kahden pistepilven pistemäärä esikäsitelyn jälkeen on 34,2 miljoonaa pistettä. Valmiissa pistepilvessä, jota käsiteltiin 3D-Winillä, oli käsittelyä aloittaessa noin 16 000 pistettä. Valmiissa lopputuotteessa pintamalleineen, mittalinjoineen ja poikkileikkauksineen on noin 42 000 pistettä.

Lopputuotteen tekemisessä käytetyn harvennetun pistepilven suuruus on vain murto-osa esikäsitellyn pistepilviaineiston suuruudesta, tarkalleen ottaen 0,047 prosenttia. Keilausta aloittaessa kuitenkin tiedettiin, ettei kaikkia keilaimen tuottamia pisteitä voida hyödyntää, mutta yllättävää oli se että lopulliseen tuotteeseen tuli alle puoli promillea alkuperäisestä esikäsitelystä pistepilvestä.

Laserkeilauksen olisi edellä mainitun huomioon ottaen voinut toteuttaa pienemällä tarkkuusasetuksella kuin valitulla "high"-asetuksella, eli korkealla tarkkuudella. Opinnäytetyön tarkoitukseen, eli kellaritilan pintamallin tuottamiseen olisi riittänyt "middle", eli keskitason tarkkuusasetus. Keskitason tarkkuus olisi helpottanut pistepilvien käsittelyä jonkin verran, sillä esikäsittelemättömät pistepilvet olisivat olleet puolet pienempiä. Korkea tarkkuusasetus mittaa 10 000 pistettä/360° ja keskitason tarkkuus 5 000 pistettä/360° (Taulukko 1). Tällöin pistepilvien esikäsitteilyn jälkeinen pistemäärä olisi todennäköisesti ollut noin 17,1 miljoonaa pistettä. Arvio on tehty olettaen, että virheellisiä pisteitä on suhteessa saman verran, eli myös esikäsitteilyn suodattamia virheellisiä pisteitä on puolet vähemmän. Tarkkuusasetuksen vaihtamisella pienempään keilausaika olisi ollut nopeampi. Korkealla tarkkuudella keilausaika on kolme minuuttia 22 sekuntia yhdelle keilausasemalle, kun taas keskitason tarkkuudella keilausaika on yksi minuutti 40 sekuntia (Taulukko 1).

Keilaustöitä tehdessä on otettava huomioon jatkokäsittelyssä käytettävissä olevien tietokoneiden kapasiteetti. Helposti voi käydä niin, että pistepilvestä tulee niin suuri, ettei se aukea tehokkaallakaan koneella. Keilaustarkkuudella voidaan vaikuttaa lopulliseen pistepilven tiedostokokoon. Mitä harvemmallalla tarkkuudella keilataan, sen pienempi tiedostosta tulee ja sitä helpompi sitä on käsitellä. Tällaiset rajoitteet vaikuttavat keilaimesta saatavaan hyötyyn, jolloin niiden käyttö jää puoliteholle. Puolet pienempi pistemäärä ja tiedostokoko olisivat keventäneet kellarista mitatun keilausaineiston käsittelyä paljon. Käsittelyyn käytetyistä Lapin ammattikorkeakoulun Rantavitikan kampuksen maanmittauslaboratorion tietokoneista loppui laskentateho kesken suuria pistepilviä käsitellessä. Tästä syystä keilausaineiston pistepilvet jouduttiin segmentoimaan pienempiin osiin. Mikäli

pistepilvi olisi pystytty käsittelemään kokonaisena, olisi 3D-Winillä suoritettu loppukäsittely ollut suoraviivaisempi tehtävä.

Keilausaineistot käsiteltiin yhteensä kolmella eri ohjelmalla. Opinnäytetyön tekemiseen ja pistepilvien käsittelyyn valittiin useampia ohjelmia. 3D-Winistä oli työn aloitusvaiheessa eniten kokemusta, joten keilausaineiston käsittely suunniteltiin siten, että loppukäsittely tehdään 3D-Winillä. Mikäli tietotaitoa ja kokemusta muista ohjelmista olisi ollut enemmän, olisi pistepilvien segmentointiin ja harvennukseen käytetyllä Trimblen RealWorks Survey Advancedilla voinut toteuttaa kaiken, mihin 3D-Winiä käytettiin. RealWorksillä olisi myös voinut tehdä keilauksen rekisteröinnin, mutta työhön päätettiin käyttää keilanvalmistajan omaa Z+F Laser Controlia.

Kellaritilan keilauksessa ei tarvinnut huolehtia keilaimen tarkkuudesta tai keilaimen mittauskyvyn rajallisuudesta. Kellarin suurin etäisyys on noin 31 metriä, joten keilaimen etäisyydenmittauskyky ja erotuskyky riittivät hyvin kellarin mittaukseen. Sisätilojen mittaus laserkeilaimella on olosuhteiden osalta helpompaa kuin ulkoilmassa keilaaminen. Sisällä ei ole tuulen vaikutusta eikä huoneilman laadusta riippuen niin paljoa mittaussädettä häiritseviä pienhiukkasia kuin ulkona. Ilmassa olevat pienhiukkaset vaikuttavat valon takaisinsirontaan, eli tässä tapauksessa laserkeilaimen mittaussäteen takaisin heijastumiseen (Ilmatieteen laitos 2015).

Laserkeilaamiselle ei ole asetettu mitään yleisiä mittaustarkkuusvaatimuksia, vaan jokaisen mittauksen hyväksyttävissä oleva tarkkuus tulee joko työn toimeksiantajalta tai mittaajalta itseltään. Yleisesti ottaen mitään erillisiä tarkkuusvaatimuksia ei tarvittaisikaan, sillä jokainen mittaus on yksilöllinen ja virheen sallittu suuruus määriteltäisiin tehtävän työn mukaan. Näin vältetään turhaa työtä sellaisissa kohteissa, joissa mittaustarkkuuden ei tarvitse olla millimetreissä.

Laserkeilainten välisissä tarkkuuksissa ei ole suuria eroja, vaan niiden eroavaisuudet ovat keilaustyypeissä ja suoritusnopeuksissa. Laserkeilain on hyvä valita

keilattava kohde lähtökohdaksi asetettuna, ja miettiä, millaisia ominaisuuksia keilaimelta tarvitaan kohteen onnistuneeseen keilaamiseen. Kuten luvussa 2.3 käy ilmi, kulmaresoluutio on yksi laserkeilaimen tärkeimpiä ominaisuuksia tarkkuuden kannalta. Tilanteessa, jossa täytyy useammasta keilaimesta valita paremmin kohteeseen sopiva, on syytä ensin ottaa selvää kohteen ominaisuuksista ja selvittää työn tilaajalta kohteeseen liittyviä tarkkuusvaatimuksia ennen keilaimen valintaa.

Omaehtoista oppimista tapahtui opinnäytetyön tekemisen aikana erityisen paljon laserkeilaamisen osalta. Keilausprosessia on opeteltu aikaisemmin eräällä vapaasti valittavalla kurssilla muutaman luennon verran, joten tietotaitoa sen osalta ei ollut paljoa. Kurssilla ei käyty läpi pistepilven käsittelyä keilausaineiston rekisteröintiä pidemmälle. Laserkeilauksen perusteet olivat tiedossa, mutta mittauksen suunnittelun, toteutuksen ja pistepilven käsittelyn joutui opettelemaan opinnäytetyötä tehdessä enimmäkseen yrityksen ja erehdyksen kautta.

Opinnäytetyön tekeminen oli kuitenkin äärimmäisen opettava kokemus, erityisesti kun aihe ei ollut alkujaan kovin tuttu. Tietoa joutui hakemaan epäselvistä asioista kirjoitusprosessia varten. Ajatustyötä joutui myös tekemään mittauksen suunnittelun yhteydessä kellarin monimutkaisen pohjaratkaisun vuoksi. Kellaritalan väliseinät pakottivat suunnittelemaan mittauksen hyvin. Huolimattomilla keilauspaikkojen valinnalla keilauksia olisi joutunut tekemään enemmän ja tämä olisi puolestaan kasvattanut käsittelyvaiheen pistepilven pistelukumäärää huomattavasti. Käytetyillä neljällä keilausasemalla muutama nurkkaus kellarista jäi katveeseen, mutta kaikki oleellinen saatiin mitattua. Kaiken kaikkiaan lopputulos on tyydyttävä ja täyttää toimeksiannon vaatimukset vaivatta.

LÄHTEET

3D-system, 2015. 3D-Win. Esite. Viitattu 9.3.2015.

<http://www.3d-system.fi/index.php/3d-win>.

Ahlavuo, M., Hyyppä, H. & Kukko, A. 2009. Lähilaserkeilauksella kohde kolmiulotteiseksi. Positio 1/2009, 18.

Ekman, V. 2010. Rakennusmittaukset, niiden laatu ja dokumentointi. Saimaan ammattikorkeakoulu. Tekniikka Lappeenranta. Opinnäytetyö.

Heiska, N. 2009. Universaaliskanneria etsimässä eli miten valita maalaserkeilain? Maankäyttö 1/2009, 31.

Honkanen, V. 2015. Lapin ammattikorkeakoulu. Rakennustekniikan insinööriopiskelija. Keskustelu 17.2.2015.

Hyyppä, H., Kaasalainen, S. & Kukko, A. 2011. Intensiivitetiedon hyödyntäminen laserkeilauksessa. The Photogrammetric Journal of Finland, Vol. 22, No. 3, 159.

Ilmatieteen laitos. 2015. Pienhiukkasten pinnan karheus vaikuttaa valon sirontaan. Uutinen. Viitattu 16.3.2015.

<http://ilmatieteenlaitos.fi/tiedeuutisten-arkisto/>-

[/asset_publisher/1R4q/content/pienhiukkasten-pinnan-karheus-vaikuttaa-valon-](http://ilmatieteenlaitos.fi/tiedeuutisten-arkisto/)

[sirontaan?redirect=http%3A%2F%2Filmatieteenlaitos.fi%2Ftiedeuutisten-arkisto%3Fp_p_id%3D101_INSTANCE_1R4q%26p_p_lifecycle%3D0%26p_p_state%3Dnormal%26p_p_mode%3Dview%26p_p_col_id%3Dcolumn-2%26p_p_col_count%3D1](http://ilmatieteenlaitos.fi/tiedeuutisten-arkisto/).

Joala, V. 2006. Laserkeilauksen perusteita ja mittauksen suunnittelu. Viitattu 11.2.2015.

[https://drive.google.com/file/d/0B3MfAq-](https://drive.google.com/file/d/0B3MfAq-wXowIN2Q4MzJIYjktZTA5Ni00ZGM5LTlkOWUtNTQzMdlwZTI3NDVm/view?pli=1)

[wXowIN2Q4MzJIYjktZTA5Ni00ZGM5LTlkOWUtNTQzMdlwZTI3NDVm/view?pli=1](https://drive.google.com/file/d/0B3MfAq-wXowIN2Q4MzJIYjktZTA5Ni00ZGM5LTlkOWUtNTQzMdlwZTI3NDVm/view?pli=1).

Karppinen, T. 2015. Lapin ammattikorkeakoulu. Maanmittaustekniikan lehtori. Keskustelu 9.3.2015.

Kinnunen, J-P. 2013. Maalaserkeilaus ja sen tulosten geologiset käyttömahdollisuudet. Turun yliopisto. Viitattu 16.3.2015.

http://users.utu.fi/jpkinn/08_Kinnunen_Bachelors_thesis_23.3.2013_Maalaserkeilaus.pdf.

Korpela, H. 2008. Laserkeilaus kannattavampaa käytön yleistyessä. Maankäyttö 2/2008, 36.

- Kukko, A. 2005. Laserkeilaimen valinta lähifotogrammetrisiin mittauksiin. Viitattu 10.3.2015.
http://foto.hut.fi/opetus/290/julkaisut/Antero_Kukko/Laserkeilaimen_valinta_la_hifotogrammetrisiin_mittauksiin.pdf.
- Laurila, P. 2012. Mittaus ja kartoitustekniikan perusteet. Rovaniemi: Rovaniemen ammattikorkeakoulun julkaisusarja D nro 3.
- Maanmittauslaitos. 2015. Laserkeilaamalla tarkkaa kolmiulotteista tietoa. Viitattu 12.2.2015.
<http://www.maanmittauslaitos.fi/laserkeilaus>.
- Mäkelä, L. 2010. Zoller+Fröhlich LaserControl 7.5 Manuaali. Rovaniemen ammattikorkeakoulu. Tehty osana opinnäytetyötä.
- Ylönen, P. 2006. Liikennejärjestelmien kuvaaminen laserkeilauksen avulla. Viitattu 3.3.2015
http://foto.hut.fi/opetus/270/esitelmat/2006/YI_Pa.pdf.
- Zoller+Fröhlich GmbH, 2009. Z+F IMAGER 5006i. Esite. Viitattu 16.3.2016.
http://www.laserscanning-europe.com/sites/default/files/Z+F/BROSCHUERE%20Z+FIMAGER_5006I_E_01.07.09.kompr.pdf.

LIITTEET

Liite 1. Valokuva. Kellarin aulan alainen osa

Liite 2. Valokuva. Kellarin aulan käytävän alainen osa

Liite 3. Valokuva. Kellarin Borealis-salin alainen osa

Liite 4. Valokuva. Kellarin Borealis-salin alainen osa



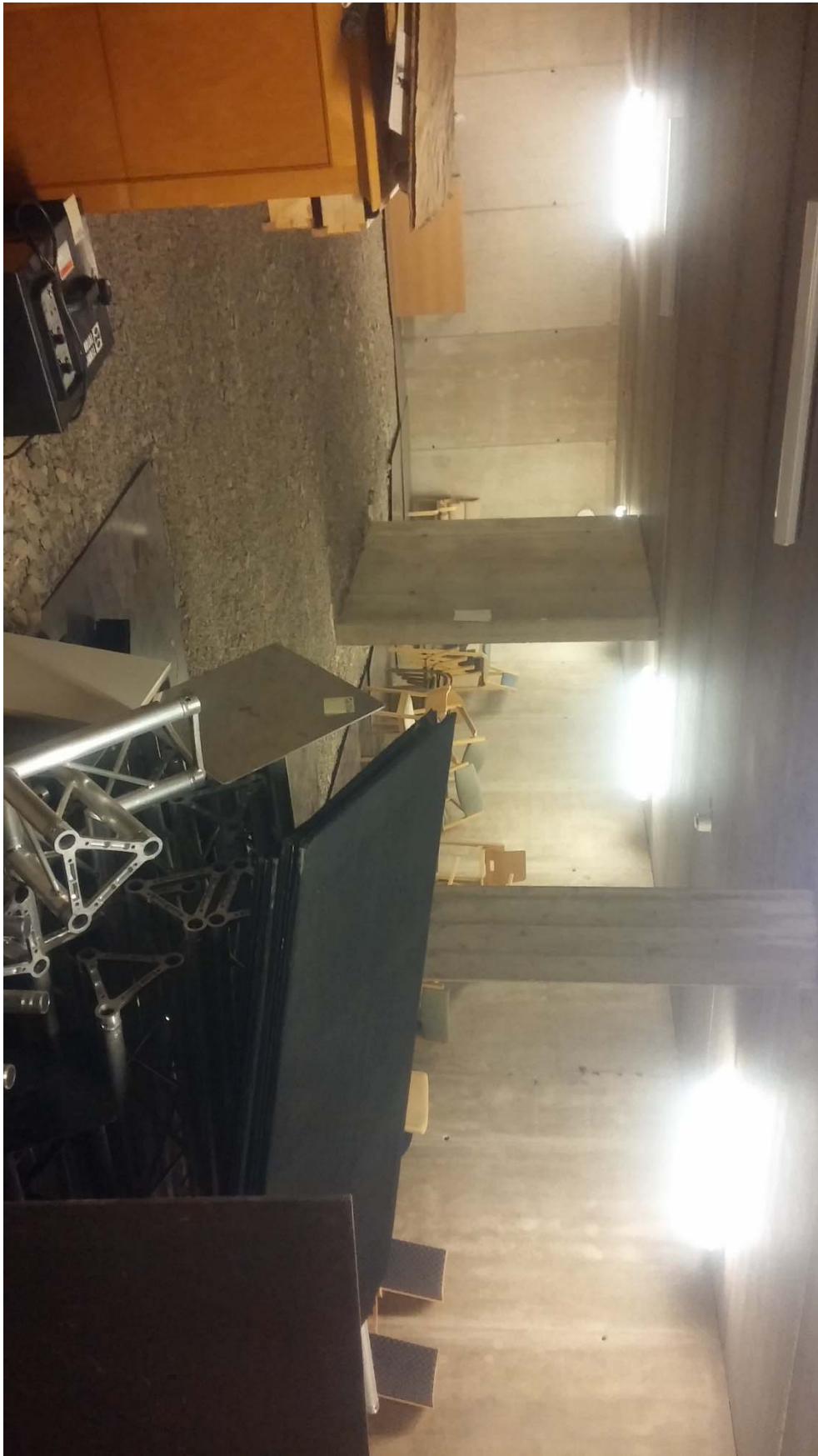
Liite 1. Valokuva. Kellarin aulan alainen osa



Liite 2. Valokuva. Kellarin aulan käytävän alainen osa



Liite 3. Valokuva. Kellarin Borealis-salin alainen osa



Liite 4. Valokuva. Kellarin Borealis-salin alainen osa