

LASERKEILAUS JA 3D- MALLINNUS PYHÄTUNTURIN
ISOKURUSTA JA AUTTIKÖNKÄÄN UITTORÄNNISTÄ

Filpus Eetu
Kivimäki Joonas

Opinnäytetyö
Maanmittaustekniikka
Insinööri (AMK)

2021

Tekniikka ja liikenne
Maanmittaustekniikka
Insinööri (AMK)

Tekijät	Eetu Filpus & Joonas Kivimäki	Vuosi 2021
Ohjaaja	Timo Karppinen	
Toimeksiantaja	Metsähallitus	
Työn nimi	Laserkeilaus ja 3D-mallinnus Pyhätunturin Isokurusta ja Auttikönkään Uittorännistä	
Sivu- ja liitesivumäärä	35 + 3	

Opinnäytetyön tavoitteena oli toimittaa kaksi valmista laserkeilattua pistepilviaineistoa sekä GNSS-mittauksella tuotettu korkotietoaineisto. Opinnäytetyön tavoitteena oli myös pohtia laserkeilauksen soveltuvuutta maastokohteiden mallintamiseen. Työssä käsiteltiin laserkeilauksen lisäksi GNSS-mittausta haastavissa maasto-olosuhteissa sekä niiden virhearvoja. Aineiston käsittelyä tutkittiin Trimble Business Center- ja sekä Autodesk ReCap Pro -ohjelmistoissa.

Opinnäytetyö tehtiin Metsähallituksen toimeksiannosta vuosina 2020 ja 2021 Pelkosenniemen Pyhätunturilla ja Rovaniemellä Auttin kylässä Auttikönkällä. Mittaukset on suoritettu Lapin ammattikorkeakoulun laitteistolla ja aineiston käsittely tehty koulun tehotietokoneella.

Opinnäytetyössä totesimme, että laserkeilauksella saatiin tuotettua visuaalisesti ja toimeksiantajalle riittävällä tarkkuudella aineisto. Mittaustarkkuus keilausaineistoissa on alle <50 millimetriä. Tämän lisäksi työssä käsitelimme, mistä systemaattinen virhe johtuu mittausaineistossa ja kuinka tätä voisi parantaa. Tarkkuutta voisi parantaa esimerkiksi laajemmalla keilauksella, suuremmalla apupistemäärällä ja paremmalla valmistautumisella. Pohdimme myös, mitä muita käyttötarkoituksia laser- ja mobiilikeilauksesta voisi olla Metsähallitukselle eri luonto tai maastokohteiden tutkimisessa. Mahdollisia maastokohteita, joissa laserkeilausta voisi hyödyntää, ovat esimerkiksi luontopolut.

Technology, Communication and
Transport
Degree Programme in
Land Surveying
Bachelor of Engineering

Authors	Eetu Filpus & Joonas Kivimäki	Year 2021
Supervisor	Timo Karppinen	
Commissioned by	Metsähallitus	
Subject of thesis	Laser scanning and 3D modelling of Isokuru Nature Stairs and Auttiköngäs Log Launder	
Number of pages	35 + 3	

The aim of this thesis was to deliver two finished point clouds of two different targets. In addition, the goal was to determine whether laser scanning is suitable for projects involving natural attractions such as gorges or embankments. The thesis was commissioned by Metsähallitus and was carried out during years 2020 and 2021. Surveying in thought terrain and data errors are also a core part of our thesis.

A ground level file of the wooden walkway was also produced by a survey using GNSS technology. Surveying in the planned terrain and data errors were also a core part of our thesis. Analysis, correction, and evaluation of the collected data were made with software such as Trimble Business Centre and Autodesk ReCap Pro. The field work was done in Pelkosenniemi at Pyhätunturi and in Rovaniemi at Autti village. Laser scanning, GNSS surveys and data processing were done with the equipment of the Lapland University of Applied Sciences.

The conclusion of the study was that laser scanning can be used to create point clouds of the targets in the desired accuracy of under <50 millimeters. In addition, it was discussed how and to what degree did systematic errors happen in the measurement data and how these errors could be avoided. Alternative uses for laser scanning in different kinds of projects were also considered, one being nature trails and their surface erosion.

Key words

laser scanning, land surveying, 3D modelling

SISÄLLYS

1 JOHDANTO	6
1.1 Yleiskuvausta	7
1.1.1 Pyhätunturi	7
1.1.2 Auttiköngäs	8
2 LASERKEILAUS	10
2.1 Mitä on laserkeilaus?	10
2.2 Keilausmenetelmät	10
2.3 Laitteisto	11
2.4 Sovellukset	12
2.5 Hyödyt ja haitat	13
3 TYÖKOHTEET	15
3.1 Pyhätunturi syksy 2020	15
3.2 Pyhätunturi syksy 2021	18
3.3 Auttiköngäs 2021	22
4 MITTAUSTULOKSET	25
4.1 Tiedonsiirto ja tiedonkäsittely	25
4.2 Mittaustarkkuus	26
4.3 Pistepilviaineistot	27
5 POHDINTA	32
LÄHTEET	34
LIITTEET	36

KÄYTETYT MERKIT JA LYHENTEET

Keilain	mahdollistaa 3D-mallintamisen ulko- ja sisätiloista.
GNSS-mittaus	Global Navigation Satellite Systems eli yhteisnimitys satelliittipaikannustekniikkaa käyttäville järjestelmille.
Pistepilvi	valmis tuotos laserskannauksesta
Orientointi	takymetrin suuntaamista eli kojeen sijainnin määrittäminen haluttuun koordinaatistoon
Asemapiste	Takymetrin asemointipiste, kun koje on orientoitu.
Apupiste	Mitattu kiintopiste, käytetään sijainnin määrittelyyn.
Tarrapiste	Mitattu heijastinpintainen kiintopiste, joka liimattu yleensä näkyvään paikkaan.
MML	Maanmittauslaitos

1 JOHDANTO

Opinnäytetyön tarkoituksena on luoda Metsähallitukselle kahdesta eri maasto-kohteesta 3D-pistepilvitiedosto, jota voisi hyödyntää kohteiden kunnostus- ja uudelleenrakentamistöissä. Lisäksi tarkoitus oli tutkia Trimble Business Center sekä Autodesk ReCap Pro- ohjelmistoissa aineiston käsittelyä ja viimeistelyä.

Opinnäytetyössä käsitellään myös työmenetelmiä maastomittauksissa, perinteistä GNSS-mittausta verrattuna laserkeilaukseen, aineiston mittaustarkkuuksia ja sitä, mistä niiden mahdolliset poikkeamat johtuvat. Lisäksi pohditaan myös aineiston käytettävyyttä tilaajalle, kuinka laserkeilaustekniikkaa ja 3D-pistepilviaineistoa voisi hyödyntää tulevaisuudessa erilaisissa Metsähallituksen luontokohteiden rakennuskohteissa ja seurantamittauksissa.

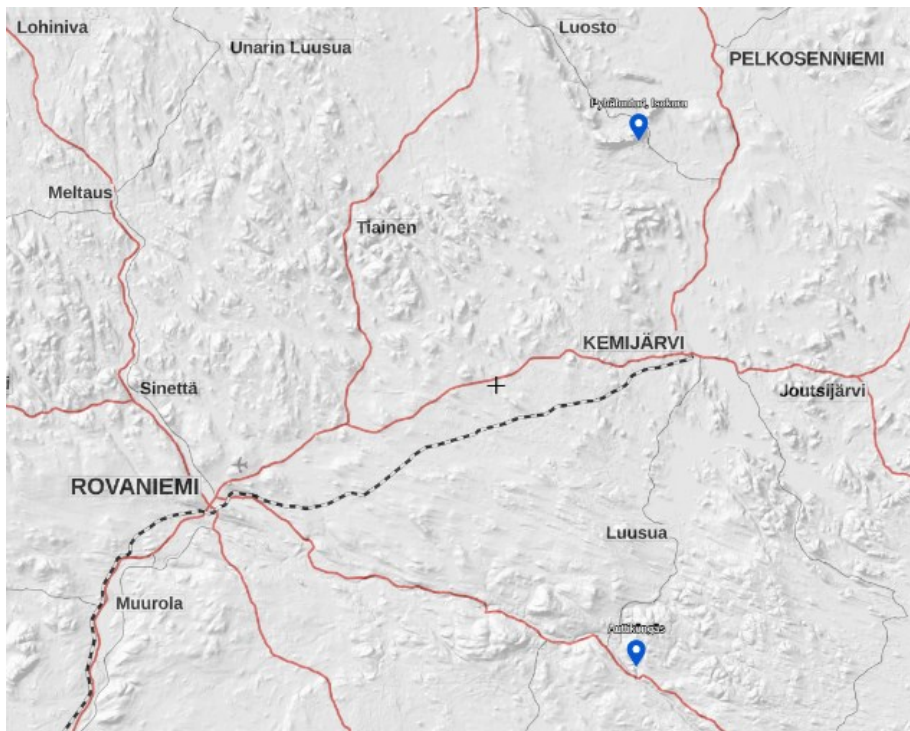
Opinnäytetyön aihe valittiin sen kiinnostavuuden, vaativuuden ja ajankohtaisuuden vuoksi. Kokemus laserkeilaamisesta oli rajallista ennen opinnäytetyön toteuttamista. Tämän myötä uuden oppiminen ja mielenkiintoiset ongelman ratkaisuun liittyvät tilanteet houkuttelivat aiheen parissa työskentelyyn. Laserkeilausta Pyhäkurulla on havainnollistettu alla (Kuva 1).



Kuva 1. Pyhänturilta kurun pohjalta

1.1 Yleiskuvausta

Työkohteina oli Pelkosenniellä sijaitseva Pyhätunturin Isokuru sekä Rovaniemellä Auttin kylässä sijaitseva Auttiköngäs. Kohteiden maastotyöt on tehty vuosien 2020 ja 2021 aikana. Molemmat kohteet ovat historiallisia luontonähtävyyksiä ja suosittuja kohteita turismille. Alla olevassa kuvassa on esitetty työkohteiden sijainti kartalla suhteessa Rovaniemeen (Kuva 2).



Kuva 2. Työkohteiden sijainnit suhteessa Rovaniemeen (Karttapaikka MML)

1.1.1 Pyhätunturi

Pyhätunturin kansallispuisto on yksi Suomen vanhimmista kansallispuistoista, ja ensimmäisen kerran matkailua siellä on alettu järjestää 1920-luvulla. Pyhätunturin kansallispuisto on perustettu vuonna 1938 ja yhdistetty vuonna 2005 yhteiseksi Pyhä-Luoston kansallispuistoksi, jonka pinta-ala on 142 km². (Metsähallitus 2021a.) Alla olevassa kuvassa näkyy kohteena olevan portaikon yläosa (Kuva 3).



Kuva 3. Pyhätunturin kurun portaati

Pyhätunturilla kohteina olivat Isokurun pitkospuut sekä kuruun vievät puuportaati kurun eteläosassa. Pyhätunturilla oli tarkoituksena saada uusimiskohteiden mitattiedot suunnittelua sekä materiaali- ja massalaskentaa varten. Näiden tietojen saaminen oli tärkeää Metsähallitukselle, jotta ylimääräistä kulkemista kuruun ei tarvitsisi. Lisäksi oli tärkeätä, että pitkospuurakenteen rakentamiseen tarvittavat materiaalit saataisiin määrittään mahdollisimman tarkasti laskettua. Tarkalla laskennalla minimoidaan ylijäävää rakennusmateriaalia ja kustannuksia.

1.1.2 Auttiköngäs

Auttiköngään uittoränni ja patorakenteet olivat toinen Metsähallituksen kohde laserkeilausaineiston tuottamiselle. Uittoränni on esitetty alla (Kuva 4). Auttiköngäs on Auttin kylässä sijaitseva luontokohde. Auttiköngään koskeen on rakennettu pato seuraavan syyn vuoksi: ”Koska puun uitto oli mahdotonta jyrkässä ja kivisessä Auttiköngäessä, oli ainoa mahdollisuus ohjata puut köngään ohi uittoränniä eli uittoruhta pitkin. Jotta uittorännissä virtaisi riittävästi vettä, rakennettiin köngään yläpuolelle veden pintaa nostava pato.” (Metsähallitus 2021b.)



Kuva 4. Auttikönkään uittoränni

Ajan kuluessa ankarien sääolosuhteiden ja korjaamisen puutteen takia puurakenteinen uittoränni on huonossa kunnossa ja osittain rikki. Tämä kulttuurihistoriallisen tärkeä kohde on ollut Metsähallituksen kunnostamisen kohteena vuosina 1939 ja 1965. Ensimmäinen virallinen tieto asiakirjoissa uittorännistä on peräisin jo vuodelta 1889 (Metsähallitus 2021b).

2 LASERKEILAUS

2.1 Mitä on laserkeilaus?

Laserkeilaus on halutun ympäristön muodostamista pistemäiseen muotoon lasersäteiden avulla. Lasersäteet ammutaan laserkeilaimesta halutulle alueelle osuen erilaisiin pintoihin, joista lasersäteet kimpoavat takaisin keilaimeen. Tämän avulla keilain osaa laskea etäisyyden ja suuntakulman jokaiselle pisteelle ja sen myötä muodostaa pisteaineiston, jossa kaikki pisteet näkyvät. Laserkeilauksen muodostamaa pistetiedostoa kutsutaan yleisimmin pistepilveksi (Mitta Oy 2021.)

2.2 Keilausmenetelmät

Laserkeilausmenetelmiä on olemassa monia erilaisiin ympäristöihin ja tilanteisiin. Laserkeilausta voi suorittaa nykyään staattisesti tai liikkeestä. Staattisesti tapahtuvaa laserkeilausta käytetään enemmän sisätilakohteiden ja pienien ulkoilma-kohteiden, kuten huoneiden, hallien, tunneleiden, puistojen ja luontokohteiden, keilaamisessa riippuen laitteen teknisistä ominaisuuksista. Muutaman keilaus-aseman avulla koko kohde saadaan keilattua tarkasti ja tehokkaasti. Staattista laserkeilausta kutsutaan myös maalaserkeilaukseksi. Maalaserkeilauksen mittatarkkuus voi olla jopa alle 1 senttimetrin ja ne kykenevät jopa miljoona pistettä sekunnissa mittaussnopeuteen (Cronvall, Kråknäs & Turkka 2012.)

Liikkeestä tapahtuvaa laserkeilausta eli mobiilikeilausta käytetään yleisesti isompien kohteiden keilaamiseen, joissa staattinen laserkeilausmenetelmä veisi liikaa aikaa ja resursseja. Sen avulla voidaan kerätä aineistoa päivässä jopa satojen kilometrien matkalta. (Geotrim 2021a.) Sitä käytetään myös silloin kun lentolaserkeilaaminen ei ole mahdollista katvealueiden takia. Liikkeestä keilattavia kohteita ovat esimerkiksi rakennukset, kaupunkialueet tai jopa kaupungit, metsäpalsat, tunnelit ja valtatie. (Terratec 2021.)

Laserkeilausta voi myös suorittaa kädessä pidettävillä keilaimilla, joilla on mahdollista muodostaa pistepilviaineisto pienistä ja hankalista kohteista. Esimerkkinä tästä on GeoSLAM ZEB Go -keilain. Käsien suoritettava keilaus soveltuu parhaiten

pienien, kulmikkaiden ja sisäosan sisältävän kohteen pistepilven muodostukseen. Esimerkkeinä näistä kohteista ovat autot, erilaiset säiliöt ja koneet. Käsien operoitavilla laserkeilaimilla voidaan myös keilata rakennuksen sisätiloja nopeasti 3D-mallin muodostamiseksi. (Geotrim 2021c.)

2.3 Laitteisto

Laserkeilaimia valmistavat lukuisat eri yritykset, kuten Leica, Trimble, Hokuyo ja Artec. Nämä yritykset, ja monet muut, valmistavat monia erilaisia laserkeilaimia eri käyttötarkoituksiin. Laitteet valitaan kohteen suuruuden ja haasteellisuuden perusteella.

Yleisimmät laserkeilaimet ovat isoja, hyvin tehokkaita, rakennushankkeisiin tarkoitettuja teollisuuslaserkeilaimia. Nämä keilaimet mahdollistavat tarkan, laajan ja alastandardien mukaisen pistepilven. Esimerkiksi Z+F IMAGER 5016 -laserkeilaimella on mahdollista skannata isot alueet helposti ja tehokkaasti, kun mitausnopeus on jopa miljoona pistettä sekunnissa (MLT Finland 2021).

Pienten ja keskisuurten kokonaisuuksien laserkeilaamiseen soveltuvat erinomaisesti hybridikeilaimet. Näillä keilaimilla on mahdollista suorittaa takymetrimittauksia sekä laserkeilausta. Tietyissä rakennushankkeissa ja joustavuutta vaativissa tehtävissä hybridikeilaimella voidaan säästää ajassa ja kustannuksissa, kun ei ole tarvetta omistaa kahta eri laitetta.

Pienten ja hyvin pienten kohteiden laserkeilaamiseen käytetään käsien operoitavia laserkeilaimia. Niitä käytetään esimerkiksi isojen koneistojen osien tai vaikeassa sijainnissa olevien kohteiden keilaamiseen joihin tavanomainen keilain ei kelpaa. Leica BLK2GO laserkeilainta voidaan käyttää tilasuunnitteluun, entisöintiin, kiinteistökauppaan ja insinööriratkaisuihin. Esimerkiksi Italialainen Natisoft tarjoaa valmiiksi rakennettujen kohteiden dokumentointia asiakkailleen käyttäen käsien käytettävää BLK2GO-laitetta. Sen käyttöönotosta on huomattu välittömiä työnkulkuun liittyviä etuja (Leica Geosystems 2021.) Ne eivät sovellu isojen kohteiden tarkkaan keilaamiseen yhtä hyvin kuin tavanomaiset laserkeilaimet, sillä ne eivät ole käytännöllisiä siihen tarkoitukseen pienen kokonsa sekä keilausnopeutensa ja -alueensa vuoksi.

Opinnäytetyössä käytetty laserkeilain oli Trimble SX10 -keilaintakymetri, joka on esitetty kuvassa 6 (Kuva 6). Tätä laitetta voidaan käyttää niin takymetrimittaukseen kuin laserkeilaukseen, eli se on niin sanotusti hybridikeilain (Geotrim 2021b). Tähän laitteeseen viitataan myöhemmin myös takymetrinä ja laserkeilaimena selkeyden vuoksi. SX10 toimintaperiaate on tavanomaisesta poikkeava. Yleisesti laserkeilaimet pyörivät oman akselinsa ympäri jalustalla ja objektiivilinssi pyörii pohjois-eteläsuunnassa ympäri keilaten niin laitteen edestä kuin takaa. Tämän avulla laserkeilain muodostaa kupolimaisen pistepilven. Leican HDS6200-laserkeilain kykenee keilaamaan ympäristöään lähes täytenä kupolina $360^{\circ} \times 310^{\circ}$ näkökentällä, mikä tarkoittaa, että keilausasemia tarvitaan vähemmän. (Leica Geosystems 2010.) Trimblen SX10-laite sen sijaan liikehtii pohjois-eteläsuunnassa nytkähtäen uuteen kulmaan. SX10 näkökenttä on hieman pienempi kuin HDS6200. Eroavaisuutena on, että Trimble SX10 -keilaintakymetrin linssi ei pyöri akselinsa ympäri toisin kuin Leican HDS6200:n linssi. Laite saatiin käyttöön Lapin ammattikorkeakoululta ja sitä käytettiin sekä Pyhätunturin että Auttikönkään laserkeilauksissa. Trimble SX10 tekniset tiedot tulevat ilmi liitteestä yksi (1).



Kuva 6. Trimble SX10 -keilaintakymetrin toiminta skannauksen aikana

2.4 Sovellukset

Laserkeilauksesta saatavaa aineistoa voi hyödyntää monilla eri osa-alueilla. Siitä saatavaa pistepilviaineistoa voidaan käyttää rakentamisessa, suunnittelussa, massanlaskennassa, mainostuksessa ja videopeleissä (Edl, Mizerák & Trojan 2018). Uusia tapoja soveltaa laserkeilausta keksitään jatkuvasti, ja menetelmät nykyaikaistuvat teknologian kehittyessä.

Laserkeilausta hyödynnetään rakentamisessa paljon. Kohteiden, kuten rakennusten ulottuvuudet, saadaan selville laserkeilaamisella tarkasti. Rakennusprosessin eri vaiheissa voidaan laserkeilata esimerkiksi rakennuksen perustukset, seinät ja katto niiden valmistuessa. Laserkeilausaineistoa voidaan hyödyntää materiaalitarpeiden määrän selvittämiseen myös esimerkiksi korjaushankkeissa (MP-Map Oy 2021.)

Suunnittelun kannalta laserkeilausta voidaan hyödyntää esimerkiksi tilasuunnittelussa. Sen avulla saadaan selville tilan ulottuvuus ja voidaan suunnitella tilan käyttämistä esimerkiksi teollisuuskohteissa tai toimistossa. Esimerkkinä tästä ovat esimerkiksi vanhat ja uudet putkistot (Simetek Works Oy 2021.)

Laserkeilauksella voidaan selvittää kohteen massa ja tilavuus. Tilavuuksia ja massoja laskettaessa keilausaineiston pohjalta tulee huomioida kohteen suhde vertailupintaan. Tarkimmat laskelmat saadaan, kun kohde on sijoitettu tasaiselle maalle ja kohde on keilattu monesta kulmasta suurinta keilaustarkkuutta käyttäen (Pikkupirtti 2013.) Laserkeilaus on myös yleistä kaivoksissa tunneleiden tilavuuksien arvioinnissa (Edl, Mizerák & Trojan 2018).

Laserkeilaimia voidaan käyttää myös turvallisuuden näkökulmasta turvalaserkeilainten avulla. Nämä keilaimet on yleisesti asetettu vaarallisten koneiden ja alueiden läheisyyteen ilmoittamaan turva-alueista. Keilain käyttää lasersädetekniikkaa liikkeen tunnistamiseen ja antaa hälytyksen vaara-alueelle astuttaessa. Ne tarkastelevat ympäristöään mittaamalla etäisyyksiä valon kulkuaikaa hyväksikäyttäen (SICK 2021, turvalaserskannerit).

2.5 Hyödyt ja haitat

Laserkeilausmenetelmän ison etu on se, että fyysistä kontaktia kohteen kolmiulotteiseen muodostamiseen ei tarvita. Tämä mahdollistaa turvallisen ja nopean toiminnan keilainjärjestelmällä maastossa kuin maastossa (Liikennevirasto 2015.) Laserkeilaamisen etu on myös kohteiden realistinen muodostaminen pistemäiseen muotoon, jota voidaan käyttää hyväksi esimerkiksi suunnittelussa.

Vaikka laserkeilain on erinomainen työkalu isojen hankkeiden mallintamiseen, on sen käytössä myös tiettyjä kompastuskiviä. Keilainjärjestelmä on iso kokonaisuus laitteiston, sovelluksien, tarkkuuden sekä tietotaidon osalta. Sen käyttämiseen tarvitaan hyvin koulutettuja ihmisiä, joilla on kokemusta laserkeilaamisesta vaaditussa maastossa tai kohteessa.

Laserkeilain on fyysisesti yleensä iso ja kallis laite, joten sen kuljettaminen on työläämpää kuin esimerkiksi GNSS-laitteen. Tämä koettiin molemmilta osin Pyhällä Isokurun mittaamisessa ja laserkeilaamisessa. GNSS-mittaukset oli helppo suorittaa vaativassa maastossa Trimblen R10-laitteen avulla. Se oli helppo kantaa kohteeseen Isokuruun, ja sen käyttäminen oli helppoa lumisista olosuhteista huolimatta. Yksittäisten pisteiden ja pienien pisteryhmien mittaaminen on GNSS-laitteiden voimavara.

Laserkeilamen kuljettaminen haastaviin maastokohteisiin on vaikeampaa ja työläämpää. Laserkeilauksen suorittamiseen tarvittavat laitteet ovat isoja ja painavia, ja niitä on paljon. Tämän takia hieman kaukaisempien ja eristyksissä olevien kohteiden laserkeilaus on haastavaa. Onneksi käytössä oli Trimblen hybriditakyometri, joka toimi myös laserkeilaimena, joten takymetriä ei erikseen täytynyt kuljettaa kohteeseen Pyhätunturilla ja Auttikönkäällä. Laserkeilain häviää myös käytävyydessään GNSS-laitteille etäisissä ja hankalissa maasto-oloissa. Laserkeilain on hankala asettaa oikeaan paikkaan, ja sen orientoiminen koordinaatioon apupisteverkon avulla on aikaa vievää.

3 TYÖKOHTEET

3.1 Pyhätunturi syksy 2020

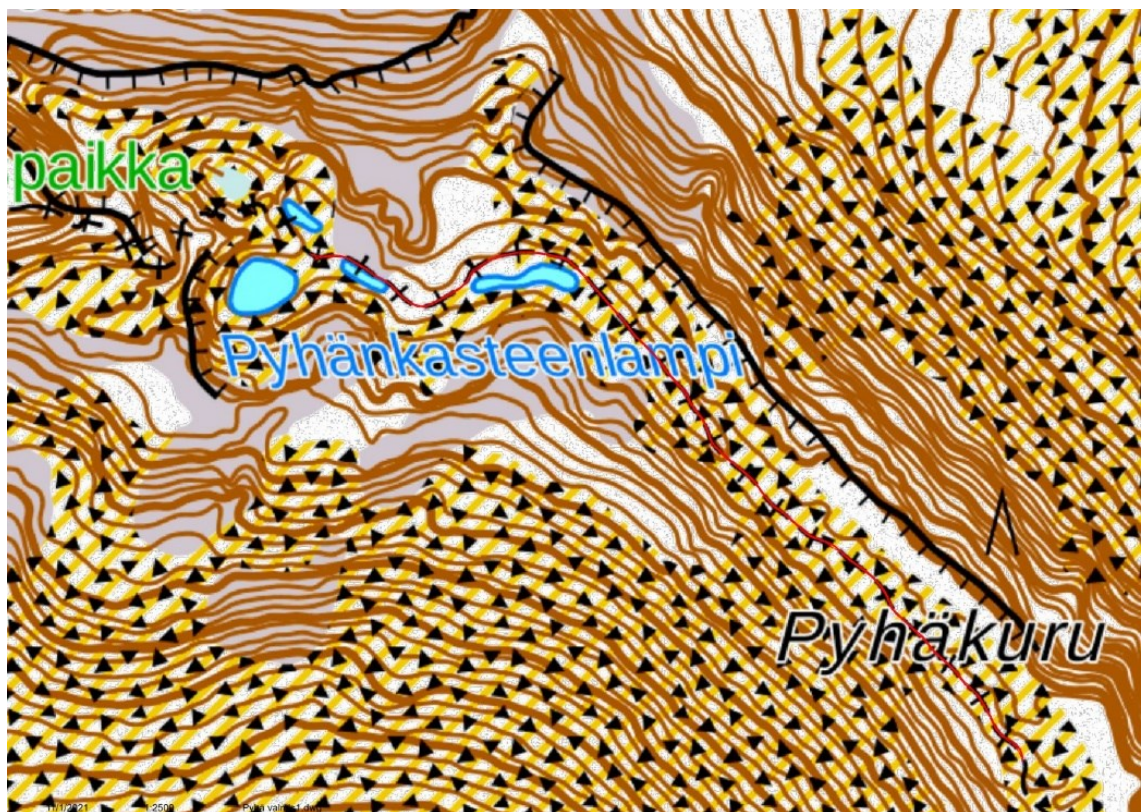
Ensimmäisen kerran Pyhätunturilla oltiin 20.–21.10.2020. Alkuperäisen suunnitelman mukaan oli tarkoitus mitata Isokurun pitkospuurakenteet tietyltä matkasuudelta. Tämä olisi mitattu Trimble SX10 -keilaintakymetrillä, jolla olisi saatu pistepilvi kohteesta. Tätä olisi voinut hyödyntää helposti materiaalilaskentaan. Ennen saapumista Pyhäkurulle sääolosuhteet Lapissa olivat muuttuneet radikaalisti. Ensilumi oli juuri saapunut pohjoiseen Lappiin mittausta edeltävinä päivinä, ja maa oli kokonaan lumen peitossa. Lumipeite oli paikoin jopa 40 senttimetriä paksu ja vähintään 20 senttimetriä. Alla olevassa kuvassa on mittausta Isokurun lumisissa maisemissa (Kuva 7).



Kuva 7. Pyhätunturin kurun mittaus, talvi 2020

Lumen tuomien ongelmien myötä laserkeilaus Isokurussa oli vaikeaa suorittaa ja lisäksi turhaa. Laserkeilaus oli mahdotonta, koska lumen määrä peitti maan pintojen muodot, mikä vei tarkoituksen mittaamisesta. Myös liikkuminen vanhan ja lumisen pitkospuurakenteen päällä oli hankalaa puhumattakaan asemapisteidien ja tukipisteverkoston rakentamisesta laserkeilausta varten. Laserkeilausta ei ollut järkevää suorittaa talvisen olosuhteiden takia.

Olosuhteiden myötä päädyttiin kompromissiin työn toteuttamisesta. Laserkeilaus päätettiin jättää tekemättä ja työ tehtiin pelkistetyimmän Trimblen R10-GNSS-laitteella. Laitteen avulla oli mahdollista saavuttaa tyydyttävät tarkkuusvaatimukset x-, y- ja-z arvoilla. Laitteella mitattiin pitkospuurakenteen reunasta sekä maanpinnasta pisteet 3–8 metrin välein polun molemmin puolin. Satelliittien kuuluvuus jyrkässä kurussa oli paikoin huonohko, koska taivasta näkyi kapealta alueelta. Laitetta piti alustaa ja odottaa vähän väliä, kun tarpeeksi montaa satelliittia ei löytynyt luotettavan mittaustuloksen saamiseksi. Tarkkuusvaatimuksena oli ± 10 cm, johon päästiin vastoinkäymisistä huolimatta. MML:n maastokartassa erottaa hyvin Isokurun korkeuserot ja mitattu reitti näkyy punaisella viivalla (Kuva 8).



Kuva 8. MML:n maastokartta, 3D-Win-ohjelmistolla yhdistetty mitattu reitti

Ortokuvassa (Kuva 9) näkyy mitattu reitti punaisena viivana yhdistettynä Maanmittauslaitoksen maastokarttaan. Taustakartasta näkyy mustalla katkoviivalla merkitty vaellusreitti, ja mitattu aineisto seuraa samaa reittiä täydellisesti. Tämän mittaustavan avulla saatava aineisto on epätarkempi ja suppeampi verrattuna laserkeilauksella saatavaan pistepilviaineistoon. Päivän aikana kurussa mitattiin 556 pistettä, josta tehtiin CAD-tiedosto. CAD-tiedostosta pystyi tarkastelemaan sijainti- sekä korkotietoja maanpinnan ja vanhojen pitkoksien väliltä. Tästä tiedosta selvisi kuitenkin tärkeät korko- ja sijaintitiedot, jotka auttoivat uusien pitkospuurakenteiden suunnittelussa.



Kuva 9. MML:n ortokuva, yhdistetty 3D-Win-ohjelmistolla mitattu reitti

Kuvassa 9 mitattu reittitieto on yhdistetty Maanmittauslaitoksen ortokuvaan, josta käy ilmi reitin sijainti maastossa. Ortokuva sekä maastokartta ovat 1:2500 mittakaavassa. Aineistossa käy ilmi, kuinka reitin kulku muotoilee kurun pohjaa ja kiertää olemassa olevat lammet aivan niiden vierestä.

3.2 Pyhätunturi syksy 2021

Pyhäkurun portaiden laserkeilaus suoritettiin perjantaina 3.9. ja lauantaina 4.9. vuonna 2021. Suunnitelmana oli ensimmäisenä päivänä tehdä apupisteet kurun rinteeseen, jotta lauantaina ei menisi aikaa näiden rakentamiseen. Sinne rakennettiin yhteensä kahdeksan apupistettä, joista hyödynnettiin kaikkia. Puiden ja muiden esteiden lisäksi huomattiin, että niitä olisi voinut olla jopa muutama enemmän näkyvyyden parantamiseksi. Näiden määrä oli kuitenkin riittävä, kun suunniteltiin hyvät paikat laserkeilaimelle. Pisteet rakennettiin molemmin puolin porraskennetta sekä ylhäälle ja alhaalle kurun rinnettä. Apupisteiden tuli ihanteellisesti näkyä vähintään kahdelle asemapisteelle. Tämän myötä ajankäyttöön saatiin tehokkuutta ja apupisteet saivat isomman arvon työn toteutuksessa. Alla olevassa kuvassa on mittausta Trimble R10-GNSS-laitteella kurussa (Kuva 10).



Kuva 10. Trimble R10, apupisteiden tekoa Pyhätunturilla

Apupisteet rakennettiin tukeville alustoille, kuten isoihin kiviin, betoniin, pitkospuurakenteisiin ja tiiviille sorapoluille. Sorapoluille rakennetut apupisteet rakennettiin apupistenauloja hyödyntämällä. Naulat lyötiin maahan apupisteille valituille kohdille, jotta asemapisteet havaittaisiin helposti ja niitä voisi hyödyntää vaivattomasti uusia asemapisteitä rakennettaessa. Kiviin, pitkospuihin ja betoniin apupisteen mittausta paikka merkittiin sinisellä maalilla maalimerkin ja ympyrän muodossa ja keskelle vielä mustalla tussilla.

Apupisteverkoston rakentaminen aloitettiin portaikon yläpäästä. Toimeksiantaja ei ollut antanut apupisteiden koordinaattitarkkuudelle mittaustarkkuusvaatimuksia. Apupisteiden mittauksessa pyrittiin mittaamaan apupisteet mahdollisimman tarkasti. Apupisteiden tarkkuudelle tuli suuri arvo, koska apupisteitä käytettiin monella asemapisteellä ja niitä oli vähän. Apupisteiden mittaamisessa hyödynnettiin keskiarvomittausta, jolla saadaan määritettyä pisteen tarkka sijainti monen mittauksen avulla. Maastotietokone laskee samasta kohdasta mitattujen pisteiden pisteryhmän keskipisteen ja käyttää sijaintia koordinaatin määrittämiseen. Keskiarvomittausta varten mitattiin kolmella eri mittauskerralla, 20 epookkia merkityn apupisteen kohdalta. Alla olevassa kuvassa on laserkeilauksen valmistelua Isokurussa (Kuva 11).



Kuva 11. Laserkeilausta kurussa Pyhätunturilla

Laserkeilauksessa käytettiin Trimble SX10 -keilaintakymetriä, joka soveltuu hyvin kohteisiin, joissa ei tarvitse kuvata isoa 360° aluetta kerralla vaan pienempiä kaisaleita. Tämä myös helpottaa jälkikäsitelyä, kun asemoi keilaintakymetrin paikan päällä koordinaatistoon. Jos olisi laserkeilain ilman takymetrin ominaisuuksia, pitäisi paikanpäälle mitata ensin referenssipisteitä, joiden avulla jälkikäsitelyssä orientoitaisiin mitattu aineisto oikeaan koordinaatistoon. Tämä veisi kauemman

aikaa ja vaatisi enemmän laitteistoa maastokohteeseen, mikä on ajankäytöllisesti hankalaa varsinkin, kun autolla ei pääse lähelle.

Asemapisteitä tehtiin yhteensä kymmenen kappaletta ympäri porraskrakennetta sen viereen ja päälle. Hankaluuksia oli löytää sopivia paikkoja hybriditakymetrille, sillä maastotöihin liittyi monia riskejä. Uusittava portaikko sijaitsee jyrkässä rinneessä ja vie retkeilijät rinteeseen yläpäässä sijaitsevasta nuotio- ja retkipaikasta Isokuruun vievään pitkospuureitille. Rinne on portaikon ympärillä lähes täysin isoa lohkarekivikkoa. Rinne oli haastava työympäristö etenkin irtonaisten kivien vuoksi. Kivet liikkuivat niille astuttaessa, minkä vuoksi nilkat ja tukilihakset olivat kovilla. Kivet aiheuttivat myös ongelmia keilaintakymetrin paikan valinnassa. Ongelmana paikanvalinnalle oli, että tarvittavat apupisteet näkyisivät asemapisteele puiden ja muiden esteiden välistä. Kivikkoon viety keilaimen kolmijalka oli haastava asetella maastoon, ja keilain oli vaarassa kaatua kivien liikkumisen vuoksi. Tämän takia keilaimen paikan valinta oli hidasta. Vieressä täytyi olla vahtimassa, että laserkeilaimelle ei tapahdu mitään. Kivet olivat myös tietyillä paikoilla hyvin lähellä lähteä vierimään rinnettä pitkin kohti alla olevaa pitkospuurakennetta.

Asemapisteet tehtiin orientoimalla GNSS-mittauksella tehtyihin apupisteisiin prismaa hyväksi käyttämällä. Ajallisesti tämä tapa oli nopeampaa kuin esimerkiksi tarrapisteiden rakentaminen vaikeakulkuiseen maastoon. Asemapisteet orientoitiin 1- sekä 2.-asennossa takymetrillä, jotta tarkkuustaso pysyisi mahdollisimman hyvänä. Näin oli tärkeätä saada orientoitua takymetri mahdollisimman monen apupisteen avulla, jotta asemapisteeistä tulisi riittävän tarkka eikä se vaikuttaisi liikaa lopputuotokseen ja aiheuta mittausvirheitä.

Asemapisteeiden orientointiin käytettiin Trimblen MultiTrack Target -aktiiviprismaa, joka helpottaa tiheässä maastossa takymetrin mukana pysymistä eikä kadota sitä helposti. Takymetrin orientointia auttoi myös kahdestaan työskentely. Tällöin toinen ohjasi tietokoneella takymetriä ja toinen meni apupisteille prisman kanssa, mikä nopeutti asemapisteeiden orientointia (Kuva 12).



Kuva 12. Asemapisteen orientointia käyttämällä prismaa ja apupistettä

Pyhätunturilla oli mittauksen aikana ihmisistä aika paljon häiriötä, sillä laserkeilaus suoritettiin suosituilla luontoreitillä ruskakauden aikaan. Laserkeilaus piti näin pysäyttää useita kertoja, ettei ihmisistä tule häiriötä valmiiseen tuotokseen. Välillä pysäytettiin ihmisiä hetkeksi, jos näytti siltä, että keilaus olisi juuri valmis ja keilaus tauotuksessa kestäisi kauan ihmisten takia. Tarvittavat mittaukset saatiin tehtyä kahdella maastokäynnillä noin 12 tunnissa, mutta ajan puutteen takia aineisto jäi paikoittain vajavaiseksi.

3.3 Auttiköngäs 2021

Auttiköngään uittorännin mittaus suoritettiin 5.9.2021. Aikataulun takia mittaukset tuli suorittaa yhden päivän aikana. Tarkoitus oli laserkeilata uittoränni mahdollista tulevaa uudelleenkorjausta varten tai vähintään saada aineistoa tuleville sukupolville, mitä paikalla on ollut siltä varalta, jos rahaa kunnostamiseen ei olekaan.

Ensimmäisenä GNSS-mittauksena tehtiin viisi kappaletta apupisteitä maastoon. Apupisteiden sijainnit näkyvät punaisina pisteinä alla olevalla kartalla (Kuva 13). Apupisteiden rakentaminen oli hankalaa, koska suuret korkeuserot kalliorinteillä ja tiheäkasvuinen puusto aiheuttivat näkö- ja kulkuesteitä. Apupisteet olivat joko nauloja tai kiviin maalattuja merkkejä. Ajanpuutteen takia ei tehty tarrapisteitä kyseiseen paikkaan, vaikka se olisi ollut mittaustarkkuuden kannalta tarkempi vaihtoehto. Apupisteiden mittaamisessa hyödynnettiin keskiarvomittausta. Jokaisella apupisteellä mitattiin kolmella eri mittauksella 20 epookkia, joista maastotietokone laski keskiarvon mitatulle apupisteelle. Apupisteiden tekemisen jälkeen suunniteltiin, miten saadaan mahdollisimman laaja aineisto uittorännistä laserkeilattua. Mittauspaikat olivat asemapisteillä rajatut, sillä uittorännin alas ei päässyt ja ympärillä oli pystysuorat kallioseinät.



Kuva 13. Auttiköngään apupisteet merkitty kartalle (MML, karttapaikka)

Laserkeilaimena käytettiin myös Auttissa Trimble SX10 -keilaintakymetriä. Asemapisteitä, joista kohdetta laserkeilattiin, tehtiin kahdeksan kappaletta, joista suurin osa oli patorakenteen päällä ja muutama molemmin puolin Auttijokea. Patorakenteen päältä saatiin keilattua uittorännin joen puoleisen rännin rakenteen hyvin, mutta kallion puoleinen osa jäi pimentoon. Tämän havaitsee valmiissa aineistossa melko selkeästi, eikä kyseistä kohdetta pystynyt kuvaamaan tällä aikataululla ja kalustolla kokonaisuudessa mitenkään. Alla olevasta kuvasta (Kuva 14) voidaan todeta huono näkyvyys uittorännin oikealle puoliskolle. Kyseinen asemapiste on ainoa, jolta saatiin näkyvyys tälle puoliskolle rakennetta. Jos haluttaisiin parempaa materiaalia kohteesta, pitäisi keksiä jokin ratkaisu, miten alas pääsee turvallisesti laitteiston kanssa. Toinen keino on, että kuvaisi kohteen myös drone-kuvauksella ja yhdistäisi aineistot yhdeksi 3D-pistepilvimalliksi.



Kuva 14. Laserkeilausta Auttikönkäältä

Auttikönkäällä mittaukset tehtiin samalla periaatteella ja samalla laitteistolla kuin Pyhätunturilla. Auttikönkään haastavammat työskentelyolosuhteet hidastivat ja haittasivat työn tekemistä vielä enemmän kuin Pyhätunturilla. Asemapisteiden määrä oli rajallinen, minne takymetri oli mahdollista pystyttää, sillä kummallakin puolella jokea oli lähes pystysuorat kallioseinämät. Yhdelle asemapisteelle löydettiin sopiva paikka joen reunamalta, missä puusto ei haitannut huomattavasti keilausta. Poissulkien tämän asemapisteen kaikki loput olivat patorakenteen

päällä tai padon yläjuoksun puolella. Alla olevasta kuvasta (Kuva 15) voidaan nähdä tämä ainoa keilauspaikka tällä puolella jokea. Tästä katsottuna vastapuolen jyrkältä kallioseinältä ei löytynyt sopivaa paikkaa, minne olisi päässyt tai saanut materiaalia.



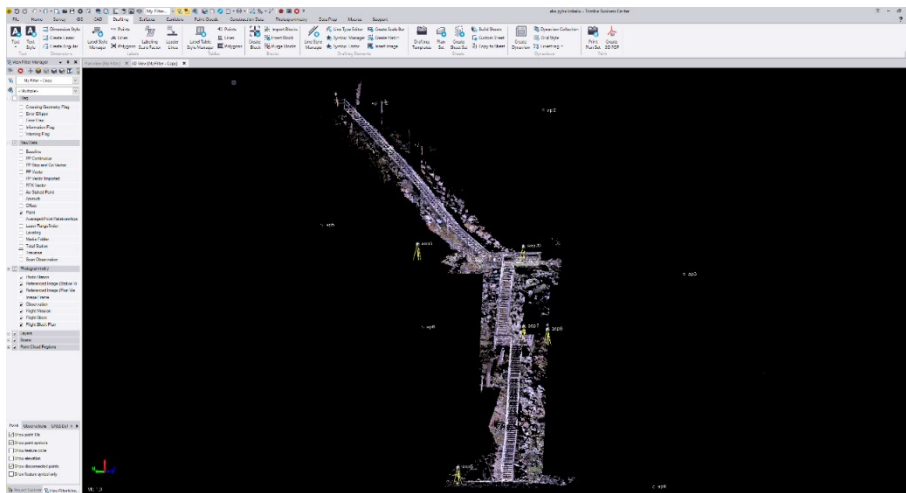
Kuva 15. Auttikönkään uittoränni

Muita haittoja oli virtaava vesi sekä siitä muodostuvat vesipisarot. Lasersäde heijastaa eri lailla kosteasta pinnasta, mikä haittasi osittain märän uittorännin laserkeilausta. Ajankohta olisi pitänyt olla keskikesä, jolloin vedenpinta olisi ollut matalimmalla. Näin olisi saanut parempaa materiaalia laserkeilaukselle.

4 MITTAUSTULOKSET

4.1 Tiedonsiirto ja tiedonkäsittely

Pyhätunturin kurun portaiden aineiston käsittely tehtiin pääasiassa Trimble Business Center -ohjelmistolla. Ensinnäkin aineisto siirrettiin Trimblen TSC7-maastotietokoneelta työasemalle. Tärkeää tiedoston siirrossa on varmistaa, että kaikki tarvittavat kuva- ja datatiedostot siirtyvät samaan kansioon, josta ohjelma osaa lukea nämä. Tiedonsiirron jälkeen avataan Business Centerissä tiedostot, josta saadaan auki alla näkyvä työ (Kuva 16).



Kuva 16. Kuvankaappaus Trimble Business Center -ohjelmistosta

Työssä nähdään osa asemapisteistä, joita Pyhätunturilla tehtiin, mutta näkyvässä kaikki eivät ole esillä. Osan apupisteitä erottaa kuvasta, mutta osa peittyi pistepilven alle. Tiedoston muokkauksessa rajattiin pois turhia pisteitä, jotka olivat hyödyttömiä työn tarkoitukselle. Tämä selkeytti työtä, eivätkä turhat pisteet olleet tiellä tiedoston tarkastelussa. Valmis työ kirjoitettiin las.-tiedostomuotoon, joka on yleisesti tunnettu pistepilven tallennusmuoto, jota moni eri ohjelma tukee. Ennen tiedoston kirjoittamista oli tärkeää tarkistaa, että ohjelman ja mitatun pistepilven koordinaattijärjestelmä ETRS-35FIN on sama sekä ETRS-GK-kaista on sama. Jos nämä eroavat vähänkin, ohjelma kirjoittaa koordinaatit väärin valmiiseen työhön, mikä johtaa aineiston rikkoontumiseen.

4.2 Mittaustarkkuus

Tilaajan tarkkuusvaatimus kohteissa oli 50–100 millimetrin luokkaa, mihin kyseisellä laitteistolla oli helppo päästä. Suuressa arvossa tarkkuuden lisäksi olivat GNSS-laitteistolla mitatut apupisteet, jotka määrittelivät asemapisteen paikan oikeaan koordinaatistoon. Pyhätunturin ja Auttikönkään kohteissa käytettiin reaaliaikaista GNSS-mittausta, jonka tarkkuusvaatimus oli riittävä työlle. GNSS-mittaus suoritettiin kolmena mittausarjana, joiden välissä mittaukset alustettiin. Maastotietokone laski siten näistä kolmesta mittauskerrasta keskiarvon, jotta tarkkuus pisteelle olisi mahdollisimman hyvä.

Tarkempia kiintopisteitä tehdessä olisi hyvä pitää vähintään kahden tunnin väli mittauskertojen välissä, jotta tarkkuus paranisi, mutta tässä työssä piti huomioida ajalliset haasteet. JHS184-ohjeessa todetaan seuraavaa: ”EUREF-FIN-koordinaattijärjestelmässä reaaliaikaista GNSS-mittausta voidaan käyttää käyttökiintopisteiden (E5-E6) mittaamiseen.” Luokat E5–E6 ovat kunnan alempia ja ylempiä käyttökiintopisteloluokkia. Ohjeessa on myös todettu: ”E6-luokka on tarkoitettu epätarkemmille kiintopisteille mm. muunnetuille pisteille ja apupisteille.” (EUREF-FIN-kiintopisteet ja niiden luokittelu – JHS184.) Tämän perusteella voidaan todeta, että kohteissa tehtyjen apupisteiden pitäisi riittää JHS184-ohjeen mukaan takymetrin orientointipisteiksi.

Asemapisteen orientointitarkkuudet saatiin GNSS-mittauksesta suoritetuista apupisteistä. Näin tarkkuus eri asemapisteillä vaihteli hieman riippuen apupisteiden tarkkuudesta. Yhden asemapisteen korjaustiedot, jotka takymetri ilmoitti orientoinnin jälkeen kolmelta eri apupisteeltä, oli pohjoiseen 0,006 metriä, itään 0,006 metriä ja korkeus 0,006 metriä. Orientointikorjaus, jonka takymetri laski näiden virheiden pohjalta, oli $0^{\circ}00'32''$. Kyseinen virhemarginaali on hyväksyttävä tarvittu tarkkuudelle, mutta kauemmas mentäessä näilläkin tulee tarkkuusvääristymää mitattuun työhön.

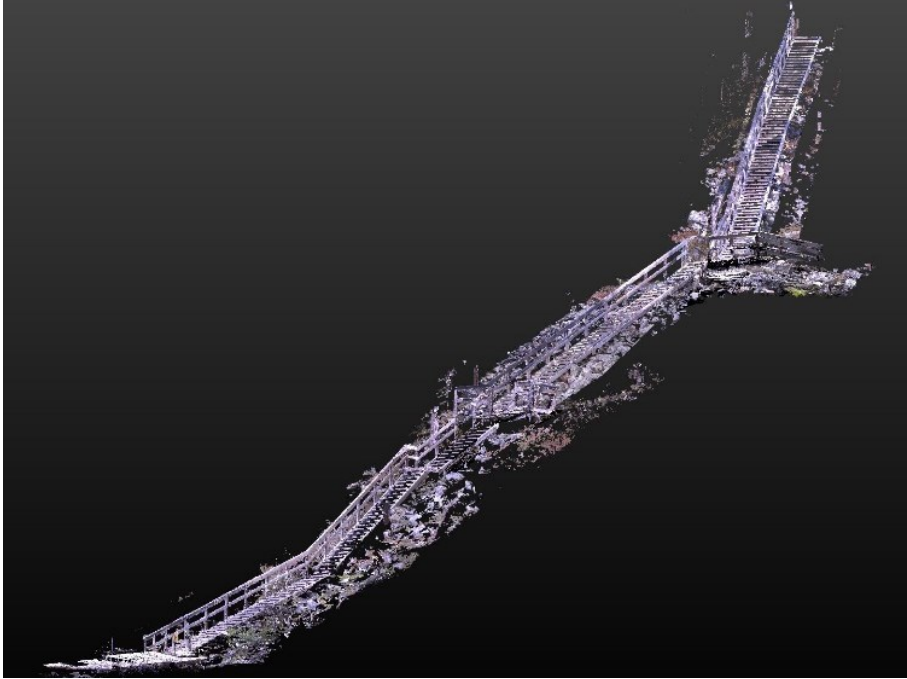
Jokaisella asemapisteellä tuli jonkin verran mittausvirheitä, jonka takymetri parhaansa mukaan korjasi. Systemaattisia virheitä tapahtui näin jokaisella asemapisteellä, sillä apupisteverkoston tarkkuus oli osin heikko. Niemelän (2021) mukaan ”Systemaattinen virhe ilmenee saman suuruisena merkkeineen uusittaessa

saman suureen tietyn arvon mittausta samoissa olosuhteissa, tai se vaihtelee säännönmukaisesti olosuhteiden mukaan”, Näin voidaan verrata apupisteen virhettä orientointitarkkuuteen, jota tapahtuu jokaisen takymetrin orientoinnin aikana. Virhettä olisi voitu ehkäistä paremmalla ja laadukkaammalla apupisteverkostolla, mutta ajanpuutteen takia tähän ei ollut mahdollisuuksia. Voidaan todeta, että mittauksessa on tapahtunut virhettä, mutta se on verrattain pientä suhteutettuna annettuihin tarkkuusvaatimuksiin. Siten ulkoinen tarkkuus apupisteitä tehdessä on hyvä, mutta pisteiden hajonnan takia pisteet ovat toisiinsa nähden sisäisesti epätarkkoja.

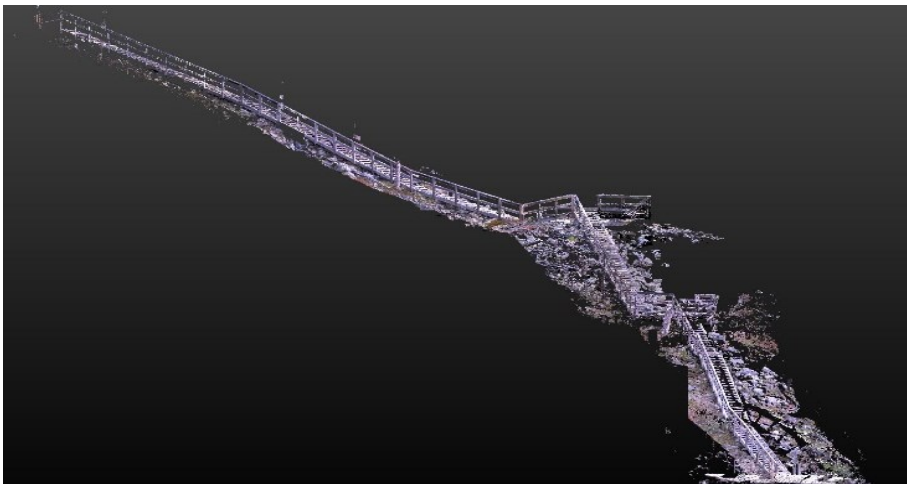
Väyläviraston laserkeilauksen tarkkuusvaatimukset ovat seuraavat: Suuri < 0,05 m, Keskitaso 0,05–0,20 m ja Matala > 0,20 m. Virheet saavat olla tämän ohjeiston mukaan suhteellisen väljiä. Suuressa tarkkuudessa on määritelty kohteiksi esimerkiksi maastomallit, 3D-suunnittelu ja insinöörimittaukset. Valmiin pistepilviaineiston tarkkuus on ± 50 millimetriä, mikä on saatu vertailemalla pisteitä Trimble Business -ohjelmassa mitattuihin apupisteisiin. Väyläviraston viitearvoja tarkistelemalla voidaan todeta, että työn tarkkuudeksi voidaan määritellä suuri tarkkuus, joka on < 0,05 m. (Liikennevirasto 2015.)

4.3 Pistepilviaineistot

Kuvat on otettu Autodeskin Recap -ohjelmasta valmiista työstä Pyhätunturilta. Kuvissa (Kuva 17 ja Kuva 18) on Isokurun portaista keilattu pistepilvi, jossa on sisällytetty värit valokuvista. Aineisto luovutettiin tilaajalle kuvankaappauksissa sekä las.-tiedostomuodossa, missä sitä pystyy hyödyntämään tarvittaviin mittauksiin.



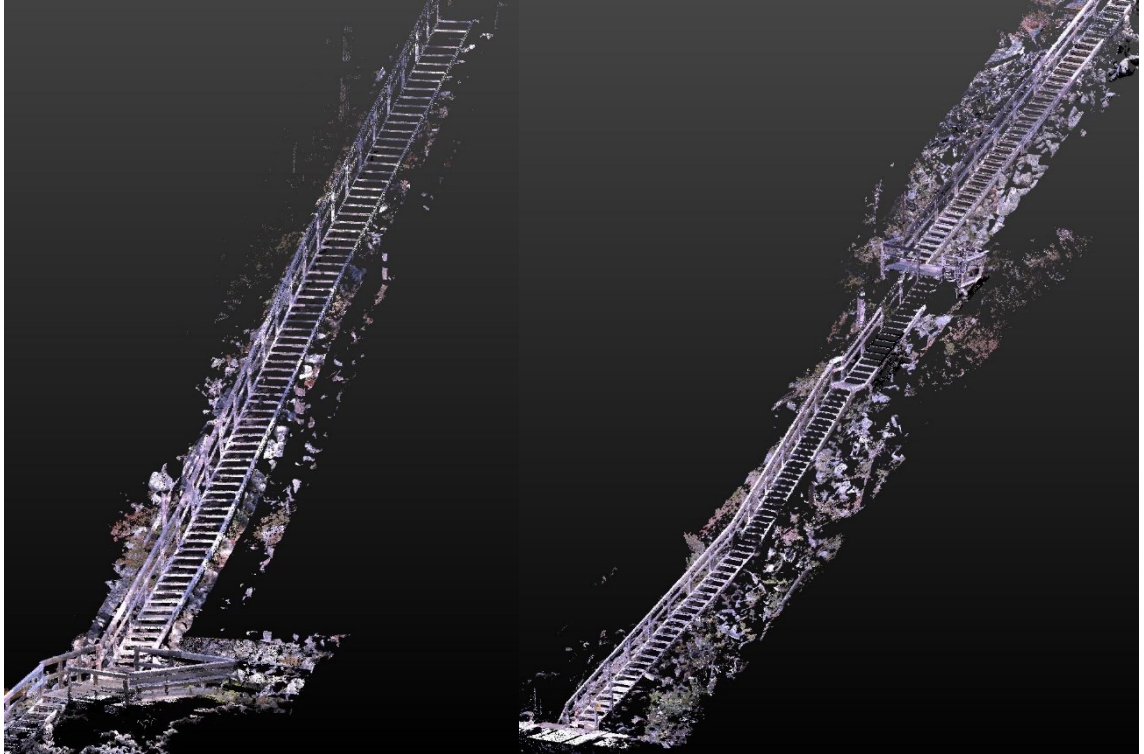
Kuva 17. Pyhätunturin kurun portaat kokonaisuudessa oikeasta sivu suunnasta



Kuva 18. Pyhätunturin kurun portaat vasemmasta sivu suunnasta

Valmiissa aineistossa voidaan havaita epäkohtia, jotka ovat esimerkiksi reikäisiä kohtia pistepilvessä tai ihmeellisen värisiä osia. Rinne muodostui lähes kokonaan suurista kivilohkareista, joiden muoto peittää näkyvyyttä laserkeilaukselta. Tästä johtuu portaiden vieressä kivien välissä olevat tyhjät kohdat (Kuva 19). Tämä olisi saatu ratkaistua suuremmilla määrillä asemapisteitä tai dronekuvauksella, joka olisi yhdistetty pistepilvitiedostoon. Ajan puutteen sekä tilaajan tarkkuusvaatimusten takia riitti kuitenkin harvempi aineisto, joka ei joka kiveä kattanut. Portaissa voidaan havaita samaa ongelmaa: varsinkin aivan ylimmissä sekä alemmalla pyhähdystasolla pistepilvi on jäänyt vajanaiseksi. Tämä olisi voitu ratkaista edellä

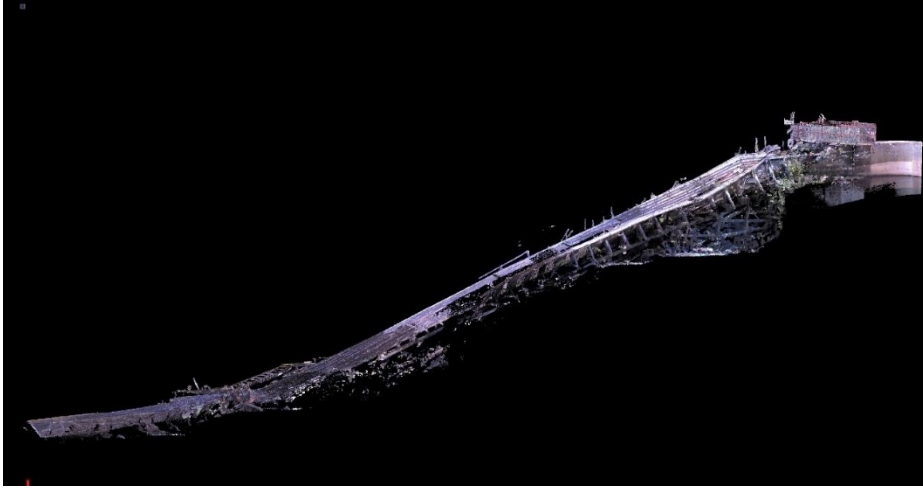
mainitulla ilmakuvauksella tai suuremmalla määrällä asemapisteistä tekemällä. Ilmakuvauksessa olisi tullut ongelmaksi tiheä puusto, sekä suuret korkeuserot rinteellä.



Kuva 19. Pyhätunturin portaat eriteltynä erikseen ylä- ja alaosa

Aineistossa näkyvä valokuvapohjassa on paljon erisävyisiä kohtia ja paljon epäluonnollisia sävyjä. Tämä johtuu siitä, että kun asemapisteitä on monia ja hybridakymetri ottaa kuvia jokaiselta asemapisteeltä ja valottaa ne eri lailla, syntyy erisävyisiä kohtia valmiiseen työhön. Tätä olisi voitu hillitä sillä, että määrätyiltä pisteiltä panoraamakuvia ei oteta lainkaan, mutta haittapuolena olisi voinut käydä, että aineistoon olisi jäänyt kohtia, mistä väritietoa ei ole saatavana. Kuvien muokkausta jälkikäteen olisi ongelmaa voitu ratkoa, mutta tässä työssä värisävyillä ei ollut niin suurta merkitystä. Olisi ollut ajanhukkaa alkaa jälkikäteen muokata satoja kuvia ja niiden värisävyä samanlaiseksi.

Alla olevassa kuvassa (Kuva 20) on Auttikönkään uittoränni sivustapäin kuvattuna. Siitä on poistettu kaikki muu ylimääräinen aineisto ympäriltä. Rännin kuvauksessa virtaava vesi hankaloitti uittorännin alusrakeihin näkemistä, koska lasersäde ei näe heijastavan vesipinnan lävitse.



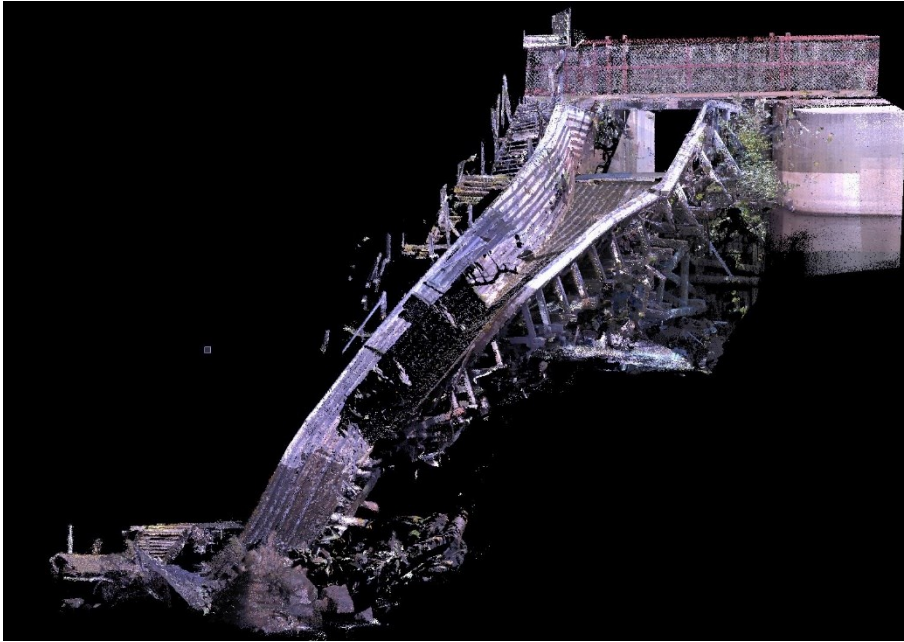
Kuva 20. Auttiköngkään uittoränni oikeasta sivusuunnasta

Alla näkyvässä kuvassa (Kuva 21) nähdään kokonaan mitattu aineisto, joka on suhteellisen epäselvä, sillä vasemmalla laidalla näkyy osittain kallioseinämää ja hajapisteitä kasvillisuudesta. Myös alhaalla näkyvät kivet näkyvät uittorännin päässä epämuodostuneena kasana. Tästä kuvakulmasta nähdään myös uittorännin sisältä tyhjää aluetta, mitä ei ole saatu laserkeilaimella kuvattua, koska ränni oli osittain niin märkä. Tämän takia lasersäteet eivät ole saaneet siitä tarpeeksi heijastuspintaa ja osa on jäänyt tyhjäksi, vaikka joitain hajapisteitä tältä alueelta keilain on saanut skannattua.



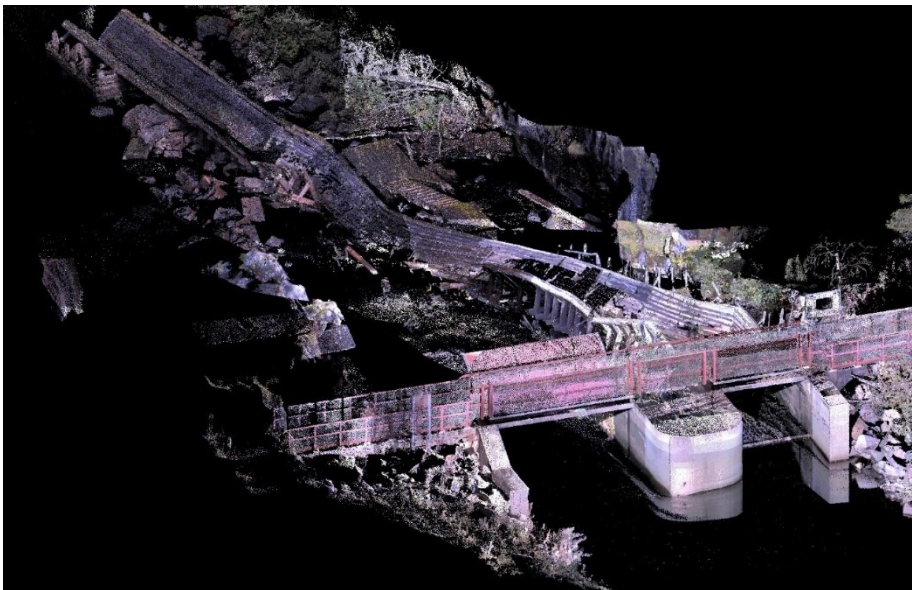
Kuva 21. Auttiköngkään uittoränni koko aineisto alhaalta päin

Alapuolella oleva kuvassa (Kuva 22) aineistosta on rajattu uittoränniä ja patorakennetta erilliseksi tiedostoksi, jotta siitä saisi paremmin selvää.



Kuva 22. Auttikönkään uittoränni rajattu aineisto alhaaltapäin

Alla olevassa kuvassa (Kuva 23) on uittoränni kuvattuna ylhäältä päin.



Kuva 23. Auttikönkään uittoränni koko aineisto, ylhäältä päin

Kuvassa 23 nähdään paremmin kokonaisuutta patorakenteesta ja kävelysillasta, joka kulkee patorakenteen päällä. Tässä voidaan todeta, kuinka laserkeilauksella padon heijastukset kuvautuvat veden pinnasta. Vedenpinnasta laserkeilain on myös ottanut joitakin hajapisteitä, jotka ovat tulleet aineistoon mukaan. Nämä voivat olla myös roskia tai lehtiä, joita vedessä kulkeutui syksyllä paljon.

5 POHDINTA

Opinnäytetyön tavoitteet saavutettiin, koska pistepilvi- sekä korkeusaineisto saatiin toteutettua kohteista tilaajalle vaaditulla tarkkuudella. Lisäksi saavutettiin myös oppimistavoitteen, jonka tavoitteena oli oppia käyttämään keilainjärjestelmää, käsittelemään pisteaineistoa ja laserkeilaamaan hankalissa olosuhteissa.

Laserkeilaukset onnistuivat hankalat maasto-olosuhteet ja tiukka aikataulu huomioon ottaen. Laserkeilain onnistuttiin asemoimaan maastossa apupisteiden avulla yllättävän ripeästi. Tiukan aikataulun vuoksi työskentely oli ajoittain liian nopeaa, mikä lisäsi systemaattisten virheiden todennäköisyyttä etenkin apupisteverkoston laatimisessa ja keilaintakymetrin orientoinnissa. Kohteiden laserkeilamiseen olisi voinut varata lisää aikaa, koska näin kohteista olisi saatu laadittua tarkemmat ja laajemmat pistepilvet.

Laserkeilaus on mahdollista käsiteltävien kohteiden sekä samankaltaisten kohteiden osalta. Laserkeilaimen käyttäminen oli helppoa ja tehokasta kovalla sekä tukevalla alustalla, kuten betonilla, tiiviillä nurmimaalla ja kalliolla. Tämänkaltaisella alustalla pisteaineistosta saatiin laaja ja tarkka eikä laitteiston vahingoittumisesta ollut huolta. Laserkeilaus oli ajoittain käytännöllistä, mutta maasto-olosuhteiden muuttuessa haastavammiksi laserkeilaus osoittautui haastavaksi. Pyhätunturin portaikkoa laserkeilatessa portaikon ympäristö oli jyrkkää rinnettä ja maanpinta oli kalliota tai kivikkoa. Laserkeilain jouduttiin ajoittain asettamaan kulkuväylille, kuten portaikkoon ja padolle, minkä seurauksena ihmismassojen liikkumista täytyi ohjeistaa. Satunnaisten virheiden mahdollisuus kasvoi aineistossa, kun ihmiset kävelivät keilaimen ohitse. Myös riski virhepisteiden syntyemisestä oli mahdollista, kun ihmisiä ei voinut pakolla pysäyttää kävelemästä keilaimen edestä.

Tulevaisuudessa samankaltaisten keilausten suorittamisessa olisi kehitettäviä osa-alueita. Näitä ovat aikataulu, laserkeilauksen laajuus, laitteisto ja ihmisten liikkumisrajoitukset. Aikataulun kannalta laserkeilaukselle ja sitä valmisteleville toimenpiteille, kuten tukipisteverkoston luomiselle, voisi varata enemmän aikaa. Kun aikaa olisi enemmän, voitaisiin laserkeilauksen laajuutta parantaa ja pistepilvestä saataisiin tarkempi ja miellyttävämmän näköinen.

Laitteistona olisi voitu käyttää keilaintakymetrin sijasta laserkeilainta. Tämän avulla laajemman aineiston saaminen olisi ollut mahdollisesti käytännöllisempää nopeamman keilausnopeuden vuoksi, mutta loppukäsittely olisi ollut työläämpää ja hitaampaa. Lennokista suoritettava laserkeilaus olisi myös hyvä ratkaisu etenkin Auttikönkään kaltaisissa haastavissa maastoissa. Sen avulla voisi olla mahdollista saada pisteaineistoa paremmin uittorännistä, sen reunoilta ja patorakenteesta. Lennokki varmistaisi myös turvallisuuden työnteossa, sillä laserkeilainta ei tarvitsisi viedä vaarallisiin sijainteihin, kuten kielekkeille tai isojen seinämien viereen. Ihmisten liikehdintää alueella voisi myös rajoittaa ilman, että kohdetta tarvitsisi sulkea. Tämän voisi ratkaista esimerkiksi puomilla, joka asetetaan kohteelle vievälle polulle keilausjakson ajaksi. Ihmismassoja voisi päästää keilauksen kohteen läpi keilauksen valmistuttua tai kun keilaus on saatu pysäytettyä. Ihmisiä voisi myös varoittaa mahdollisesta kulkuesteestä sosiaalisen median kanavissa ja opasteilla ennen keilauksia.

Vaikka ensisijainen tavoite oli tuottaa Metsähallituksen tilaama pistepilviaineisto, oli myös kysymys siitä, miten tuotettua aineistoa voisi hyödyntää tulevaisuudessa. Aikaansaatua laserkeilausaineistoa voisi käyttää moneen eri tarkoitukseen. Sen avulla voisi luoda virtuaalikartan kohteesta, jota esimerkiksi nettisivujen selaaja voisi tutkia 3D-mallina kääntelemällä tätä. Pistepilviaineistoa voisi käyttää myös reittisuunnittelussa. Laserkeilausaineistoa voisi myös hyödyntää mainonnassa. Keilausaineiston voisi julkaista ihmisten katseltavaksi nettiin tai kuvamuodossa lehteen ja tuoda sitä myötä tietoisuutta erilaisille työhankeille.

Koulun ja Metsähallituksen välillä on hyvä pohja yhteistyön jatkamiselle opinnäytetyön myötä. Tulevissa hankkeissa opiskelijat voivat pohtia aiheita tulevaisuuden opinnäytetöille tai jopa vakinaisille töille. Esimerkiksi polkujen kulumisen seuraamista ja visualisointia keilausaineiston avulla tai muiden luontokohteiden keilausta voisi harkita opinnäytetyön aiheeksi maanmittausinsinöörin opinnoissa. Myös esimerkiksi yhteistyö koulun kanssa erilaisten kurssien näkökulmasta, joissa käsitellään laserkeilausta vastaavanlaisissa maasto-olosuhteissa, voisi harkita. Nämä toisivat opiskelijoille osaamista tekemisen kautta ja mielenkiintoisia aiheita opiskeluun perusaineiden lisäksi.

LÄHTEET

Cronvall, T. Kråknäs, P & Turcka, T. Liikennevirasto 2012. Laserkeilauksen käyttö liikennetunneleiden kunnossapidon hallinnassa. Viitattu 2.12.2021. https://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/121138/lts_2012-41_978-952-255-193-1.pdf?sequence=1&isAllowed=y.

EUREF-FIN-kiintopisteet ja niiden luokittelu. JHS-suositus 2017. Viitattu 8.10.2021. <https://www.suomidigi.fi/default/files/JHS184>.

Geotrim 2021a. Tuotteet. Mobiilikartoitus. Viitattu 1.12.2021. <https://geotrim.fi/tuotteet/mobiilikartoitus/>.

Geotrim 2021b. Trimble SX10 Keilaintakymetri. Viitattu 5.10.2021. <https://geotrim.fi/tuotteet/takymetrit/trimble-sx10-keilaintakymetri/>.

Geotrim 2021c. Tuotteet. Laserkeilaus. Käsiskannerit. Viitattu 1.12.2021. <https://geotrim.fi/tuotteet/laserkeilaus/kasiskannerit/>.

Leica Geosystems 2021. Kauppa, Leica BLK2GO. Viitattu 30.11.2021. <https://shop.leica-geosystems.com/learn/blk2go/blk2go-use-cases>.

Leica Geosystems 2010. Leica HDS6200 esite. Viitattu 25.11.2021. https://w3.leica-geosystems.com/downloads123/hds/hds/HDS6200/brochures/Leica%20HDS6200%20BRO_fi.pdf.

Liikennevirasto 2015. 3D-laserkeilausaineiston hyödyntäminen inframallintamisen yhteydessä ja sen lopputuotteen laadun varmistaminen. Viitattu 28.10.2021 https://julkaisut.vayla.fi/pdf8/lts_2015-58_3d-laserkeilausaineiston_web.pdf.

MLTFinland. Z+F laserkeilain. Viitattu 27.11.2021. <https://www.mltfinland.fi/zf-laserkeilain/>.

Maanmittauslaitos 2021. Karttapaikka. Viitattu 15.11.2021. <https://asiointi.maanmittauslaitos.fi/karttapaikka/>.

Metsähallitus 2021a. Pyhä-Luoston historia. Viitattu 21.09.2021. <https://www.luontoon.fi/pyha-luosto/historia>.

Metsähallitus 2021b. Auttikönkään historia. Viitattu 22.09.2021. <https://www.luontoon.fi/auttikongas/historia>.

Milan, E. Marek, M & Jozef, T. 2018. Acta Simulatio. 3D LASER SCANNERS: HISTORY AND APPLICATIONS. Viitattu 1.12.2021. http://actasimulatio.eu/issues/2018/IV_2018_01_Edl_Mizerak_Trojan.pdf.

Mittaustulosten käsittely, Raimo Antero Niemelä. Viitattu 7.10.2021. <https://docplayer.fi/4230983-Mittaustulosten-kasittely.html>.

Mitta Oy 2021. Palvelut, Mittaus, Laserkeilaus. Viitattu 1.12.2021. <https://mitta.fi/palvelut/mittaus/laserkeilaus/>.

MP-Map Oy 2021. Palvelut. Laserkeilaus. Viitattu 2.12.2021. <https://mp-map.com/palvelut/laserkeilaus/>.

SICK 2021. Sensor gIntelligence. Turvalaserskannerit. Viitattu 20.11.2021. <https://www.sick.com/fi/fi/valosaehkoeiset-turvalaitteet/turvalaserskannerit/c/g187225>.

Simetek Works Oy 2021. Laserkeilaus teräsrakenteiden suunnittelussa. Viitattu 2.12.2021. <https://www.simetek.com/2018/05/28/laserkeilaus-terasrakenteiden-suunnittelussa/>.

Terratec 2021. Mobiilikeilaus. Viitattu 1.12.2021. <https://www.terratec.fi/palvelut/mobiilikeilaus/>.

LIITTEET

Liite 1. Tekniset tiedot

Trimble SX10 KEILAIN TAKYMETRI

EDM-MÄÄRITYKSET		
	Valon lähde	Pulssilaser 1550 nm; Laserluokka 1M
	Mittaussäteen divergenssi DR-tilassa	0,2 mrad
	Mittaussäteen halkaisija 100 metrissä (FWHM)	14 mm
	Ilmakehän korjaus	Saatavissa maasto- ja toimisto-ohjelman kautta
KAMERAJÄRJESTELMÄN SUORITUSKYKY		
	Kamerajärjestelmän toimintaperiaate	3 kalibroituja kameraa kaukoputkessa, Trimble VISION -teknologia
	Kameroiden näkökenttä	360° x 300°
	Live-näkymän päivitysnopeus (yhteydestä riippuen)	parhaimmillaan 15 ruutua/s
	Yhden täyden panoraamakuvan koko laajakulmakameralla	15 MB – 35 MB
Panoraamamittauksen kesto/resoluutio		
Laajakulmakameralla tallennettu täysi panoraama	Täysi kupoli 360° x 300° (Vaakakulma x pystykulma) 10 %:n kuvapeitto	3 minuuttia, 40 kuvaa, resoluutio 20 mm @ 50 m /pikseli
Pääkameralla tallennettu rajattu panoraama	Katettu alue 90° x 45° (Vaakakulma x pystykulma) 10 %:n kuvapeitto	3 minuuttia, 48 kuvaa, resoluutio 4,4 mm @ 50 m /pikseli
KAMEROIDEN TEKNISET MÄÄRITYKSET		
Kameroiden yleiset määrittymiset		
	Kameroiden kennon resoluutio	5 MP (2592 x 1944 pikseliä)
	Kuvien tiedostomuoto	.jpeg
	Kuvakulma laajakulmalla maksimi	57,5° (horizontal) x 43,0° (vertical)
	Kuvakulma telekameralla minimi	0,65° (horizontal) x 0,5° (vertical)
	Zoom (ei interpolointia)	84 x
	35 mm (kino)vastaava polttovälialue	36–3000 mm
	Valotilat	Auto, pistevalotus
	Manuaalinen valotuksen säätö	±5 askelta
	Valkotasapainotilat	Auto, päivänvalo, hehkulamppu, pilvinen
	Lämpötilakompensoitu optiikka	Kyllä
	Kalibroidut kamerat	Kyllä
Laajakulmakamera		
	Sijainti	Samansuuntainen mittausakselin kanssa
	Yksi pikseli vastaa	20 mm @ 50 m
Pääkamera		
	Sijainti	Samansuuntainen mittausakselin kanssa
	Yksi pikseli vastaa	4,4 mm @ 50 m
Telekamera		
	Sijainti	Koaksiaalinen
	Tarkennus	Automaattinen, manuaalinen
	Tarkennusetäisyydet	1,7 m - ääretön
	Yksi pikseli vastaa	0,88 mm @ 50 m
	Kohdistustarkkuus (1 sigman keskihajonta)	1" (HA: 1,5 cc, VA: 2,7 cc)
Luotikamera		
	Käyttökelpoinen pystytyskorkeus	1,0–2,5 m
	Resoluutio maassa – yksi pikseli vastaa	0,2 mm @ 1,55 m kojeen pystytyskorkeudella
	Tarkkuus	0,5 mm @ 1,55 m kojeen pystytyskorkeudella
YLEISET MÄÄRITYKSET		
	Tietoliikenneyhteydet	WiFi, 2,4 Ghz robottiradio, kaapeli (US2.0)
	IP-luokitus	IP55
	Käyttölämpötila	-20 °C ... 50 °C
	Turvallisuus	Kaksitasoinen salasanasuojauus (PIN, PUK)

TEKNISET TIEDOT

MITTAUKSEN SUORITUSKYKY		
KULMAN MITTAUS		
Sensoryyppi		Absoluuttinen enkooderi diametrisellä lukemalla
Kulman mittaustarkkuus ¹		1" (0.3 mgon)
Kulman näytto (vähintään)		0.1" (0.01 mgon)
AUTOMAATTINEN TASAUKSEN KOMPENSAATTORI		
Tyyppi		Keskistetty kaksisuuntainen
Tarkkuus		0.5" (0.15 mgon)
Kantama		±5.4' (±100 mgon)
Elektroninen 2-suuntainen tasain, resoluutio		0.3" (0.1 mgon)
Rasiatasain pakkokeskisessä		8/2 mm
ETÄISYYSMITTAUS		
Tarkkuus		
Prisma-tila	Vakio ²	1 mm + 1.5 ppm
	Seuranta ^{2,3}	2 mm + 1.5 ppm
DR-tila	Vakio ²	2 mm + 1.5 ppm
Mittausaika		
Prisma-tila	Vakio	1.6 s
DR-tila	Vakio	1.2 s
Kantama		
Prisma-tila ⁴	1 prismalla	1 m – 5 500 m
DR-tila	Kodak White Card (Catalog number E1527795)	1 m – 800 m
	Kodak Grey Card (Catalog number E1527795)	1 m – 450 m
Autolock- ja robottikantama		
	Autolock-kantama - jonomittaus 50 mm ⁵	1 m – 800 m
	Autolock-kantama - 360 prisma	1 m – 300 m ⁶ / 700 m ⁵
	Kulmatarkkuus ¹	1"
LASERKEILAUKSEN SUORITUSKYKY		
YLEISET LASERKEILAUSMÄÄRITYKSET		
Laserkeilauksen toimintaperiaate		Viuhkan keilaus käyttäen kaukoputken pyörivää prismaa
Keilausnopeus		26,6 kHz
Lasersäteen halkaisija		6,25 mm, 12,5 mm, 25 mm tai 50 mm @ 50 m
Keilaimen näkökenttä		360° x 300°
Karkea täyskeilaus; täysi kupoli - 360° x 300° (vaakakulma x pystykulma) Keilaustiheys: 1 mrad, 50 mm @ 50 m		Keilauksen kesto: 12 minuuttia
Vakio keilaus; Keilausalue - 90° x 45° (vaakakulma x pystykulma) Keilaustiheys: 0.5 mrad, 25 mm @ 50 m		Keilauksen kesto: 6 minuuttia
ETÄISYSDEN MITTAUSPERIAATE		
Etäisyysmittarin toimintaperiaate		Ultranopea säteen kulku aikaan perustuva (pulssi), Trimble Lightning -teknologia
Kantama		
	Kodak White Card (Catalog number E1527795)	0.9 m – 600 m
	Kodak Gray Card (Catalog number E1527795)	0.9 m – 350 m
Etäisyshavainnon kohina		
	@ 50 m 18–90% heijastuksella	1.5 mm
	@ 120 m 18–90% heijastuksella	1.5 mm
	@ 200 m 18–90% heijastuksella	1.5 mm
	@ 300 m 18–90% heijastuksella	2.5 mm
Keilaustarkkuus		
	Keilauksen kulmantarkkuus	5" (1.5 mgon)
	3D sijaintitarkkuus @ 100 m ⁸	2.5 mm