

ÄLYPUHELIMELLA KERÄTTYJEN LIDAR-PISTEPILVIEN VERTAILU

Maanmittausalan kehityskokeet 2022 (DEMOMAMI22)

Jaakko Haataja

Opinnäytetyö

Maanmittaustekniikan koulutus
Insinööri (AMK)

2023

Maanmittaustekniikka
Insinööri (AMK)

Tekijä	Jaakko Haataja	Vuosi	2023
Ohjaaja(t)	Janne Matilainen		
Toimeksiantaja	Lapin ammattikorkeakoulu		
Työn nimi	Älypuhelimella kerättyjen LiDAR-pistepilvien vertailu		
Sivumäärä	36		

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli vertailla älypuhelimella kerättyjen pistepilvien laadukkuutta. Vertailussa keskityttiin LiDAR-sensorin sisältävän älypuhelimien tuottamaan aineistoon. Ensisijainen tavoite oli selvittää kuinka lähelle mobiilisovelluksilla päästään maalaserkeilaimen keräämää pistepilveä. Tarve oli selvittää, voidaanko mobiilisovelluksia käyttää arkeologisten kohteiden dokumentoinnissa.

Työn suorittaminen tapahtui kahdessa osassa. Ensimmäisessä osassa rakennettiin testausalue Lapin ammattikorkeakoulun tiloihin, jonka jälkeen suoritettiin aineistojen keräys maalaserkeilaimella ja älypuhelimien kolmella eri mobiilisovelluksella. Toisessa osassa mobiilisovellusten aineistoja vertailtiin maalaserkeilaimen tuottamaan pistepilveen poikkileikkauksien ja tietokoneohjelman laskemien etäisyyksien avulla.

Tutkimuksessa selvisi, että älypuhelimien LiDAR-sensorin avulla kerättyjen pistepilvien etäisyyksien keskiarvossa päästään alle 12 millimetriin verrattuna maalaserkeilaimen keräämään pistepilveen. Poikkileikkauksien visuaalisessa tarkastelussa selvisi, että mobiilisovellusten aineistoissa on eroavaisuuksia. Yhtäläisyyksiä mobiilisovellusten pistepilvien välillä oli yksityiskohtaisten pinnanmuotojen häviäminen ja kohina. Mobiilisovelluksia voidaan käyttää pinnanvaihteluiltaan mallittilisten ja vähän yksityiskohtaisia kappaleita sisältävien arkeologisten kohteiden dokumentoinneissa.

Avainsanat	mobiilisovellukset, LiDAR, arkeologia, laserkeilaus, CloudCompare
Muita tietoja	Työhön liittyy toimeksiantajalle toimitettu raportti pistepilvien vertailusta

Study Programme in Land Surveying
Bachelor of Engineering

Author	Jaakko Haataja	Year	2023
Supervisor(s)	Janne Matilainen		
Commissioned by	Lapland University of Applied Sciences		
Title	Comparison of LiDAR point clouds collected with smartphone		
Number of pages	36		

The purpose of this thesis study was to compare the quality of point clouds collected with a smartphone. The primary goal was to find out how close the point cloud collected with laser scanner is to the point clouds collected by mobile applications. The need was to determine whether mobile applications could be used to document archaeological sites.

The comparison focused on material produced by a smartphone containing a LiDAR sensor. The study took place in two parts. In the first part, a testing area was built on the premises of Lapland University of Applied Sciences, after which the collection of materials was carried out with a laser scanner and three different mobile applications of the smartphone. In the second part, using cross-sections and distances calculated by a computer program from mobile applications data were compared to a point cloud produced by a laser scanner.

The results of the study showed that the average of the point cloud distances collected with the smartphone's LiDAR sensor reaches less than 12 millimeters compared to the point cloud collected by the laser scanner. The visual review of cross-sections showed that there are differences in the point clouds collected by mobile applications. Similarities between the point clouds by mobile applications were the noise and the loss of detailed surface shapes. Mobile applications can be used to document archaeological sites with moderate surface variations and low detail.

Keywords	mobile applications, LiDAR, archaeology, laser scanning, CloudCompare
Special remarks	The work is accompanied by a report to the client on the comparison of point clouds submitted

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	6
2	LIDAR	7
2.1	Mikä on LiDAR?	7
2.2	LiDAR mobiililaitteissa	7
3	LAITTEET JA SOVELLUKSET	9
3.1	Zoller + Fröhlich Imager 5006i	9
3.2	Apple iPhone 14 Pro	10
3.2.1	SiteScape – LiDAR 3D scanner -sovellus	10
3.2.2	Pix4Dcatch: 3D scanner -sovellus	10
3.2.3	3D LiDAR Scanner -sovellus	11
3.3	CloudCompare	11
3.4	Yhteenveto sovelluksista ja laitteista	11
4	TESTIALUE JA SEN DOKUMENTOINTI	13
4.1	Testialueen rakentaminen	13
4.2	Aineistojen keräys	14
5	VERTAILU	17
5.1	Aineistojen esikäsittely	17
5.2	Aineistojen vertailu	17
5.2.1	SiteScape	18
5.2.2	3D LiDAR Scanner	20
5.2.3	Pix4Dcatch	21
6	TULOKSET	23
6.1	Keskiarvot ja keskihajonnat	23
6.2	Pistemäärät pistepilvissä	24
6.3	Poikkileikkaukset	25
6.3.1	Poikkileikkaus 1	25
6.3.2	Poikkileikkaus 2	27
6.3.3	Poikkileikkaus 3	28
6.3.4	Poikkileikkaus 4	30
6.4	Muut huomiot	31

7 POHDINTA.....	33
LÄHTEET.....	35

1 JOHDANTO

Tässä opinnäytetyössä on tarkoitus perehtyä mobiililaitteiden kameroiden yhteydessä toimivan LiDAR-anturin avulla tuotettujen pistepilvien vertailuun. Kerättäviä aineistoja verrataan maalaserkeilaimen tuottamaan pistepilveen. Testiin otetaan mukaan Applen iPhone 14 Pro -älypuhelin. Maalaserkeilaimena käytetään Z+F Imager 5006i -keilainta, jossa lisävarusteena M-Cam-kamera.

Teknologia kehittyy vauhdilla ja sitä myöten markkinoille tulee jatkuvasti tarkempia sekä yleensä kalliimpia mittalaitteita. Pienten projektien mittaukset ja dokumentoinnit teetetään yleensä konsulteilla. Näin saadaan vältettyä työn laajuuteen nähden suuret laitteiden hankintakustannukset. Kuluttajahintaluokan laitteisiin harvemmin sisällytetään tarkkaa mittaustekniikkaa tai ainakaan sen tuottaman datan jatkojalostus muuhun kuin laitteen omaan käyttöön ei ole mahdollista.

DEMOMAMI22-hankkeen eräessä kokeessa halutaan selvittää puhelimen LiDAR-anturia hyötykäyttävillä sovelluksilla tuotettujen pistepilvien tarkkuus. Kalliin laserkeilaimen hankinnan sijasta, halutaan selvittää, soveltuuko puhelimen tuottama pistepilviaineisto tarkkuudeltaan arkeologisten kohteiden dokumentointiin.

2 LIDAR

2.1 Mikä on LiDAR?

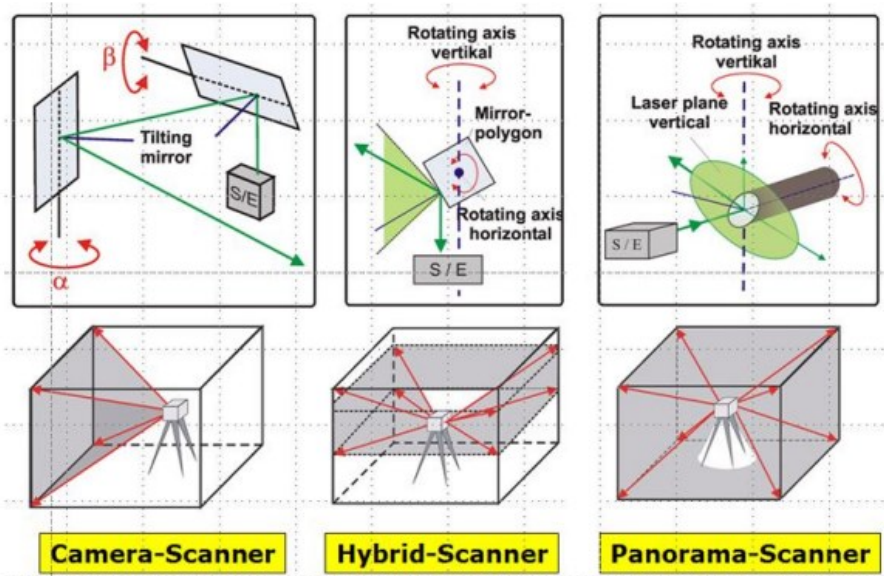
Sana LiDAR on lyhenne sanoista Light Detection and Ranging. Toisin sanoen se on tietynlainen tutkaan verrattava järjestelmä, joka käyttää äänipulssien sijaan valoa kohteen etäisyyden tunnistamiseen. (NOAA 2023.) Sitä kutsutaan myös esimerkiksi termeillä laserskannaus tai 3D-skannaus (Bragg 2022).

LiDAR sensorilla varustettu laite lähettää ympäristöönsä valopulsseja. Pulssin kimmottua takaisin jostakin pinnasta, laskee järjestelmä aikaa hyödyntäen valon kulkeman matkan ja havaitsee näin kimpoamiskohtan sijainnin suhteessa itseensä. Kun laite on lähettänyt tarpeeksi valopulsseja erikohtiin mitattavaa kohdetta, saadaan aikaan kokonaisuus, jota kutsutaan pistepilveksi. Tämä pistepilvi on siis visuaalisesti katsottuna kolmiulotteinen malli mitatusta kohteesta.

2.2 LiDAR mobiililaitteissa

Android-älypuhelimia on julkaistu syvyystunnistusanturitekniikalla jo vuonna 2016, mutta ensimmäiset LiDAR-anturit tulivat kuluttajien mobiililaitteisiin vuonna 2020 kun Apple lanseerasi iPad Pro:n (Constantino 2022). Myös Samsung sisällytti samana vuonna anturin Galaxy Note 20 malliin. LiDAR-anturi löytyy tällä hetkellä ainoastaan joistakin Applen iPhone ja iPad malleista, koska Android-käyttöjärjestelmiä käyttävien mobiililaitteiden valmistajat eivät näe hyötyyn ja valmistuskustannuksiin nähden aiheutta jatkua sen sisällyttämistä malleihinsa tulevaisuudessa. (Fathi 2021.)

Niin sanotussa perinteisessä laserskannerissa on laserlähettimen ja -vastaanotimen lisäksi eri suuntaisten akselien ympäri pyöriviä peilejä, joiden avulla laite ampuu valopulsseja mitattavalle pinnalle. Kuviossa 1 on esitettyä erilaisia skannerityyppejä.



Kuvio 1. Erilaisia skannerityyppejä (Staiger 2011)

Pyörivät komponentit ovat painavia ja tilaa vieviä, joten niiden sijoittaminen mobiililaitte kokoluokkaan on tällä hetkellä mahdotonta ilman että tarkkuus kärsisi tarpeettomasti. Applen puhelimissa käytetään liikkuvien osien sijaan tasoon sijoitettua laserlähetintä, joka sisältää satoja tai tuhansia yksittäisiä lasereita. Vastaanottimena on Sonyn kehittämä kuvakenno, joka toimii dToF (direct Time of Flight) eli suoraan lentoaikaa laskevana anturina (Yoshida 2020). Pienestä koostaan johtuen, tämän anturin kantama ei ole kuin noin 5 metriä (Lee 2020).

3 LAITTEET JA SOVELLUKSET

3.1 Zoller + Fröhlich Imager 5006i

Zoller + Fröhlich GMBH (Z+F) on Wangenissa, eteläsaksassa, lähellä Ravensburgia sijaitseva sähkötekniikkayritys. Kaverusten vuonna 1963 perustama yritys valmistaa laserkeilaimien lisäksi sähkökaapelien pääteholkkeja, erilaisia sähköjohtojen käsittelyyn tarvittavia laitteita, sekä kytkinkaappeja. Yrityksellä on tytäryhtiötä Yhdysvalloissa Pittsburghissa, sekä Iso-Britannian Manchesterissa. Tuotanto on keskittynyt kuitenkin Saksaan ja tytäryhtiöt toimivat paikallisina toimittajina ja laitteiden vuokraustoimijoina. (Zoller+Fröhlich 2023.)

Imager 5006i on Z+F:n valmistama, vuonna 2009 lanseeraama vaihepohjainen laserskanneri (Zoller+Fröhlich 2023). Skannerin tiedonkeruunopeus on maksimissaan 508 000 pikseliä sekunnissa, sekä lineaarisuusvirhe alle 50 metrin matkalla on alle 1 mm (Zoller+Fröhlich 2009). Mitattavien pintojen heijastavuus vaikuttaa mittaustarkkuuteen ja aiheuttavat niin kutsuttua kohinaa pistepilveen. Imager 5006i:n valmistajan ilmoittamat arvot on kerätty alla olevaan taulukkoon (ks. taulukko 1).

Taulukko 1. Z+F Imager 5006i:n kohina eri pinnoilla (Zoller+Fröhlich 2009)

	Pinnan heijastavuus 10 % (Musta)	Pinnan heijastavuus 20 % (Tumma harmaa)	Pinnan heijastavuus 100 % (Valkoinen)
Etäisyys 10 m	1.2 mm rms	0.7 mm rms	0.4 mm rms
Etäisyys 25 m	2.6 mm rms	1.5 mm rms	0.7 mm rms
Etäisyys 50 m	6.8 mm rms	3.5 mm rms	1.8 mm rms

3.2 Apple iPhone 14 Pro

Testauksessa käytetty älypuhelin, Apple iPhone 14 Pro on Yhdysvaltalaisen Steve Jobsin, Steve Wozniakin ja Ronald Waynen 1976 perustaman Apple Computer, nykyisin Apple Inc., -yhtiön (Levy 2023) malli vuodelta 2022. Laitteen takana on kolme kameraobjektiivia. Pääkamera on 48 Mpx f/1.8 kokoisella aukolla, kaksi muuta ovat 12 Mpx f/2.8 kokoisella aukolla oleva teleobjektiivi, sekä 12 Mpx ultraleveä objektiivi f/2.2 kokoisella aukolla. Kameroiden lisäksi on asennettu LiDAR-anturi. Laitteen saa 1 TB muistilla, joten suurehkojenkin pistepilvien kerääminen on mahdollista. (Gsmarena 2023.)

3.2.1 SiteScape – LiDAR 3D scanner -sovellus

SiteScape on pieni New Yorkissa sijaitseva IT-alan yritys, jonka FARO Technologies, Inc. osti joulukuussa 2022 (Cision 2022). Yritys kehitti sovelluksen rakennusten sisätilojen helpon kartoittamisen synnyttämän tarpeen pohjalta. Sovellus on kohdennettu yritysasiakkaille, mutta siitä löytyy myös ilmaisversio. (SiteScape 2023.)

Ilmisversiolle ilmoitetaan kapasiteetiksi noin 50 neliometriä ja aineisto on mahdollista kirjoittaa ulos PLY ja E57 -muodoissa. Pro-versiossa kapasiteetti on noin 500 neliometriä ja aineiston uloskirjoitus on mahdollista myös RCP-tiedostomuodossa, jolloin sitä pystyy suoraan lukemaan Autodeskin ohjelmilla. Pro-versiota saa kuukausi- tai vuositilauksena. (SiteScape 2023.)

3.2.2 Pix4Dcatch: 3D scanner -sovellus

Pix4D on vuonna 2011 perustettu sveitsiläinen fotogrammetriaohjelmistoihin erikoistunut IT-alan yritys. Pix4Dcatch: 3D scanner on Pix4D:n sovellus, jolla pystyy tallentamaan ympäristöä pistepilviaineistoksi. Sovellus on kohdennettu maarakentamiseen, maanmittaukseen ja turvallisuus alalle. Pix4Dcatch: 3D scanner on saatavana kaikille ARCore-yhteensopiville IOS ja Android laitteille. Android käyttöjärjestelmän puhelimissa, joissa ei ole LiDAR-anturia, ei luonnollisestikaan voida käyttää hyödyksi sen tuottamaa etäisyystietoa. (Pix4D 2023a.)

Sovelluksen kanssa on mahdollista käyttää erillistä RTK roveria, jolla staattinen tarkkuus luvataan olevan sekä tasossa että korkeudessa 1 cm + 1 ppm (Pix4D 2023b). Tässä testauksessa ei ollut käytettävissä RTK roveria.

3.2.3 3D LiDAR Scanner -sovellus

Kolmas testaukseen otettu mobiilisovellus on Evgeny Zhukovin kehittämä 3D LiDAR Scanner -sovellus. Kehittäjästä tai sovelluksesta ei löydy juurikaan tietoa. (Apple 2023.) Sovellus otettiin kuitenkin mukaan, jotta nähdään, olisiko siitä haastajaksi johtaville LiDAR-skannaus mobiilisovelluksille.

3.3 CloudCompare

Jälkikäsittelyssä ja itse vertailussa käytetään CloudCompare-ohjelmaa. Se on Daniel Girardeu-Monteauin aloittama avoimen lähdekoodin ohjelma, joka on alun perin kehitetty 3D-pistepilvien vertailuun. Ohjelmistoa on kehitetty edelleen vastaamaan pistepilvien käsittelyä yleisemmällä tasolla. Käyttöliittymässä ohjelma luottaa OpenGL:ään sekä QT:hen ja se tukee myös laajennuksia. Ohjelmalla kytetään suoraan käsittelemään laajasti aihealueen eri tiedostomuotoja. Siihen löytyy opetusvideoita sekä oma keskustelufoorumi ongelmien ratkaisemiseksi. (CloudCompare 2023.)

3.4 Yhteenveto sovelluksista ja laitteista

Taulukossa 2 on yhteenvetona käytettävien aineistonkeräyssovellusten tai -laitteiden teknisiä tietoja. Taulukosta on jätetty pois Apple iPhone 14 Pro ja jälkikäsittelyssä käytetyt ohjelmistot, kuten Filestar, CloudCompare ja ReCap.

Taulukko 2. Sovellusten tai laitteiden teknisiä tietoja (Zoller 2009, SiteScape 2023, Pix4D 2023a, Apple 2023)

	Z+F Imager 5006i	SiteScape	Pix4Dcatch	3D LiDAR Scanner
Natiivi formaatit	.zfs	.ply, .e57, lisäksi Pro versiossa .rcp	.ply, .obj, .tiff, .jpg	.usdz
Käytettävissä oleva tallennuskapasiteetti	60 Gt	Ilmaiversio: 50 m ² Pro-versio: 500 m ²	Mobiililaitteen tallennuskapasiteetti	Mobiililaitteen tallennuskapasiteetti
Enimmäismittausetäisyys	< 79 metriä	< 5 metriä	< 5 metriä	< 5 metriä

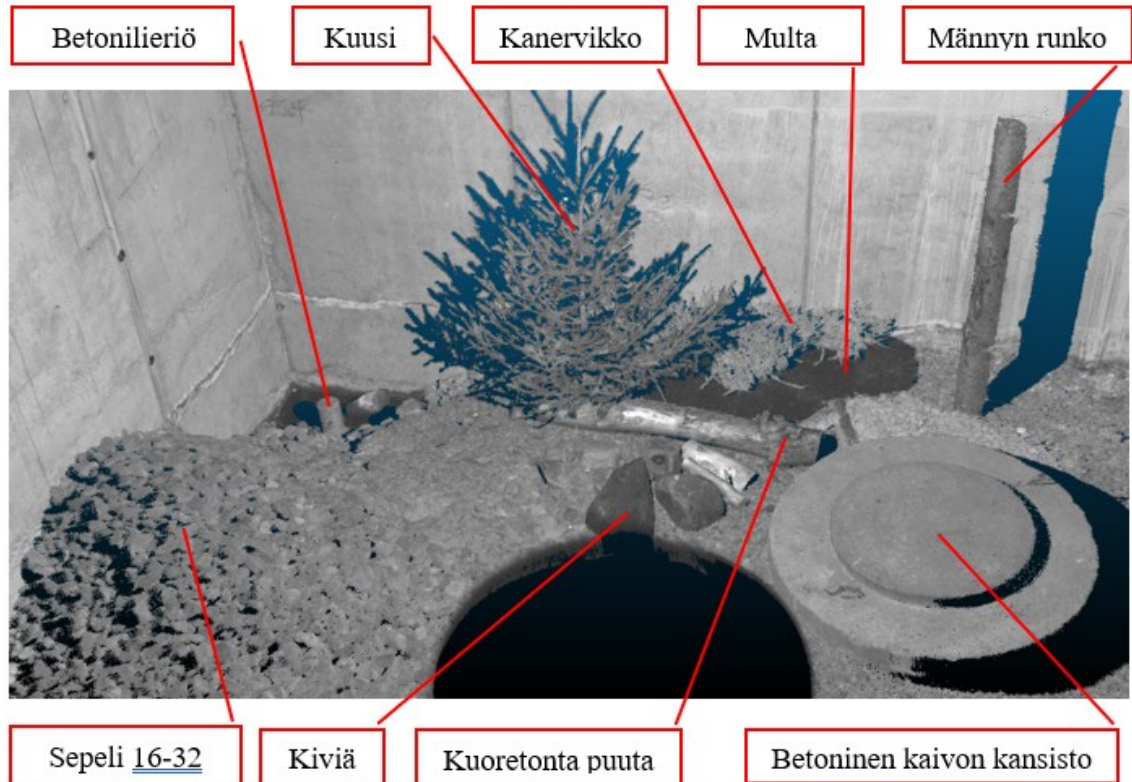
4 TESTIALUE JA SEN DOKUMENTOINTI

4.1 Testialueen rakentaminen

Toimeksiantona oli siis selvittää, kuinka hyvin mobiilisovelluksilla kyettäisiin dokumentoimaan arkeologisia kohteita ja kuinka mittatarkkaa tämä dokumentointi olisi. Testaus suoritettiin kevättalvella, lumipeitteen aikaan, joten haasteeksi tuli löytää sopiva testialue, josta löytyisi maastokauden aikaisia materiaalapintoja.

Testialueeksi valikoitui Lapin Ammattikorkeakoulun Robottiikkalaboratorion yhteydessä sijaitseva murskepintainen kellarihuone. Huone on 6.15 metriä leveä, 5.50 metriä syvä ja 4.60 metriä korkea. Sen seinämateriaalina on betoni ja lattia on 16–32 mm halkaisijaltaan olevaa sepeliä. Tilassa oli myös valmiiksi pinnan vaihtelua, koska nurkkaukseen oli kaivettu kuoppa ja sen viereen oli muodostunut pieni kumpare sepelistä. Lattialla oli myös betoninen kaivon kansisto.

Valmiiden pintamateriaalien lisäksi alueelle tuotiin isompia kiviä ja betonisia lieriöitä. Kovien materiaalien lisäksi haluttiin pehmeitä pintoja, joita saatiin orgaanista materiaaleista, kuten puusta, mullasta, kanervasta, heinästä ja nokkosesta. Alueelle sijoitettiin myös kuusen taimi, jolla haluttiin selvittää, kuinka hyvin se mallintuu mobiilisovelluksien pistepilviin. Erilaisista materiaaleista saatiin testausympäristön pintamateriaaleihin vaihtelua, niin tekstuuriin kuin väreihinkin. Kuviossa 1 näkyy tärkein kokonaisuus rakennetusta testausalueesta Imager 5006i:n keilamaana pistepilvenä. Kuviossa 1 tyhjä ympyrän mallinen alue keskellä on laserkeilaimen sijoituskohta.



Kuvio 1. Testausalueen materiaalityypit

Aineistojen keräykseen vaikuttaa jonkin verran ulkoisia tekijöitä. Testausalueen valaistus oli heikko. Alueella oli ainoastaan yksi loisteputkivalaisin. Valaistusta yritettiin säätää lisäämällä led-työmaavalaisin. Testauksen aikana kuitenkin huomattiin, että led-valaisin aiheutti lisää kohinaa puhelimesta kerättyihin aineistoihin. Tämän takia led-valaisin poistettiin ja tyydyttiin pelkkään loisteputkivalaistukseen. Sääolosuhteiden kannalta alue oli stabiili, koska se sijaitsi sisätiloissa.

4.2 Aineistojen keräys

Huoneeseen asetettiin neljä tähyistä (kuvio 2) eripuolille aluetta. Näille tähyksille ei mitattu sijaintia mihinkään koordinaatistoon. Myöskään keilainta tai puhelinta ei orientoitu mihinkään koordinaatistoon, koska se ei ollut tarpeellista lopputulosten kannalta. Oikeissa maasto-olosuhteissa mobiililaitte sijoittaa keräämänsä datan oman sisään rakennetun gps:n avulla johonkin koordinaatistoon. Tätä sijoittelua se ei tässä testissä kyennyt tekemään, koska gps-signaali oli hyvin heikko kellarin testialueella. Aineistot oli tarkoitettu kohdistaa toisiinsa jälkikäsitellyssä CloudCompare-ohjelmalla.

Keilaukset aloitettiin Z+F:n Imager 5006i-laserkeilaimella. Keilaimen kolmijalka asetettiin murskelattialle, lähelle kaivon kansistoa. Kolmijalan kukin jalka poljettiin huolella murskeeseen, jotta saatiin minimoitua laserkeilaimen liikkuminen keilauksen aikana. Keilauksia suoritettiin kaksi kappaletta samalta kojeasemalta. Koska keilaimen paikkaa ei vaihdettu, jäi kiinteiden kohteiden taakse tyhjiä alueita pistepilveen. Jos haluttaisiin kattavampi pistepilviaineisto, jouduttaisiin laserkeilaimen paikkaa vaihtamaan siten, että sen näkökenttä kattaisi myös piiloon jäävät alueet. Nämä erikohdista keilatut aineistot yhdistettäisiin jälkikäsitellyssä yhdeksi pistepilveksi. Mutta koska katsottiin, ettei ole tarvetta niin kattavalle pistepilvelle, keilaukset suoritettiin ainoastaan yhdeltä kojeasemalta.

Keilauksien jälkeen kerätyt aineistot kirjoitettiin ulos laitteelta muistikortille ja siirrettiin tietokoneella OneDriveen odottamaan jatkokäsittelyä. Aineisto kirjoitettiin ulos Z+F:n omassa .zfs-tiedostomuodossa.

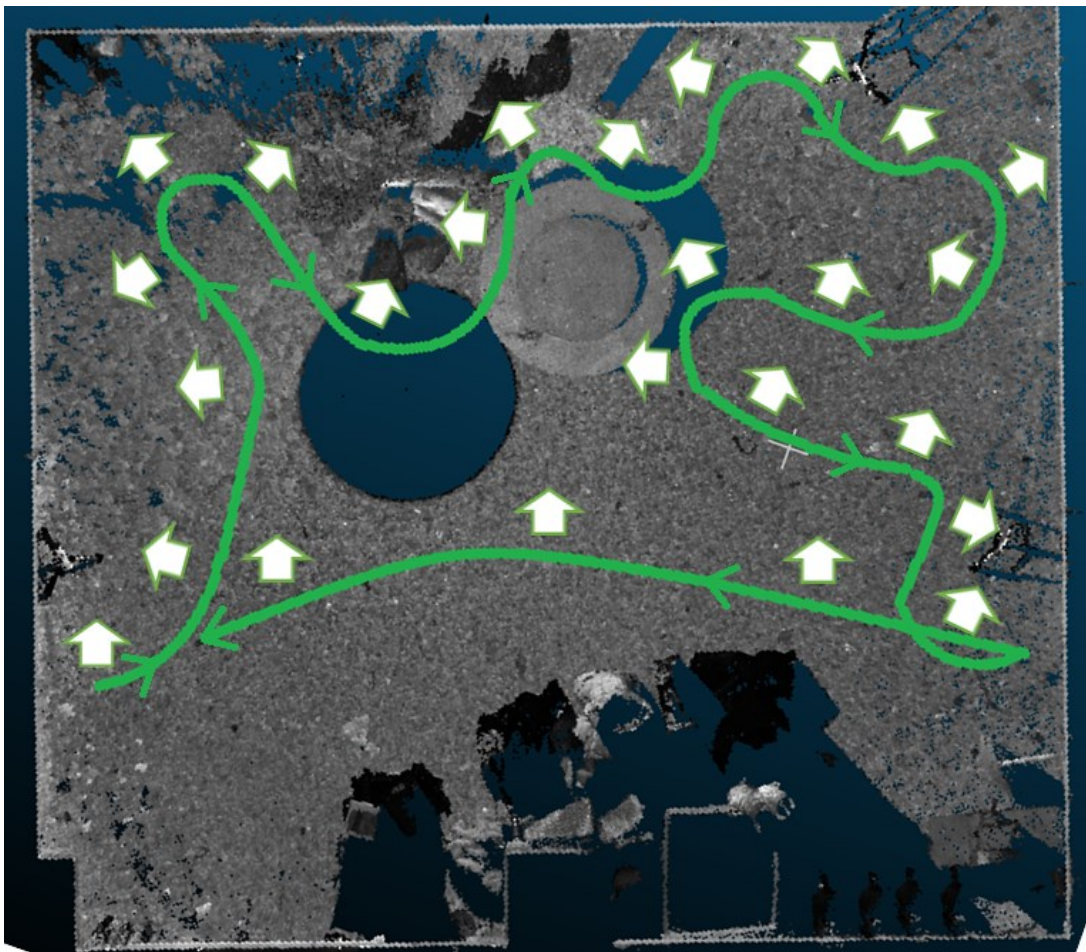
Puhelimella dokumentoinnit suoritettiin käsivaralta, sekä ulkoisen vakaimen kanssa (kuvio 2). Jokaisella sovelluksella suoritettiin siis vähintään kaksi dokumentointia.



Kuvio 2. Ulkoinen vakain Zhiyun Smooth X sekä taustalla tähys kolmijalalla

Puhelimen LiDAR-anturin kantama on noin 5 metriä, toisin kuin laserkeilaimen, jonka kantama voi olla jopa satoja metrejä (Lee 2020, Geotrim Oy 2023). Siksi puhelimella tapahtuva dokumentointi oli suoritettava läheltä mitattavaa pintaa, jotta vähennettiin kohinaa, jota syntyy myös liian kaukana olevista kohteista. Alueella liikuttiin jalkaisin dokumentoinnin aikana, joten sepelipinnalla tapahtui väistämättömiä muutoksia sen painuessa askeleiden mukaisesti. Tämän takia laserkeilaimen ja puhelimen pistepilvissä on kulkualueen pinnalla eriävyyksiä, jotka näkyvät myös jonkin verran lopputuloksissa.

Alueen dokumentointi mobiilisovelluksilla pyrittiin suorittamaan kaikilla saman kaltaisesti. Toisin sanoen dokumentointi aloitettiin alueen vasemmasta laidasta ensimmäisen tähyksen kohdilta, edettiin oikealle aluetta kuvaten viimeiselle tähykselle ja sieltä huoneen poikki takaisin lähtöpisteeseen. Kuviossa 3 on havainnollistava piirros puhelimella tapahtuneen dokumentoinnin kulkureitistä ja kuvaussuunnista.



Kuvio 3. Puhelimella tapahtuneiden dokumentointien kulkureitti ja kuvaussuunnat

5 VERTAILU

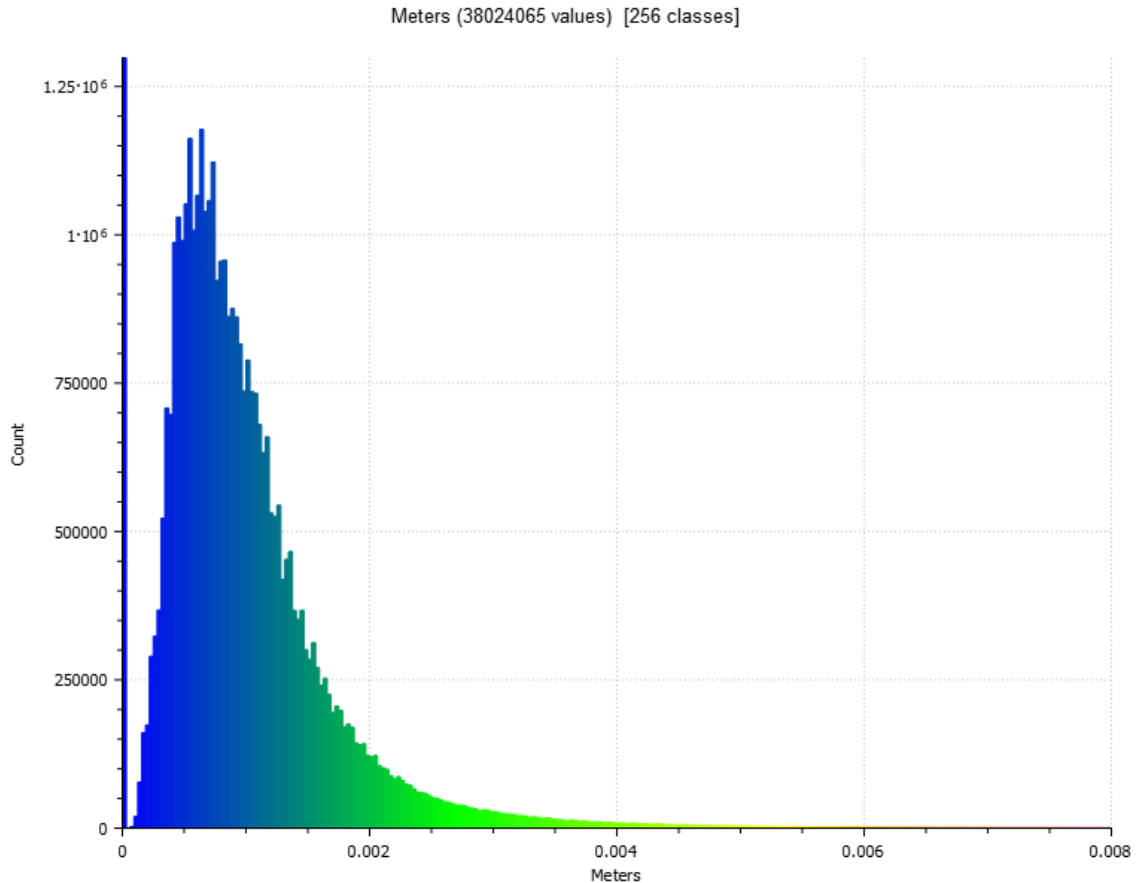
5.1 Aineistojen esikäsittely

3D LiDAR Scanner mobiilisovelluksesta pistepilven saa ulos ainoastaan .usdz-tiedostona. Usdz on Pixar Animation Studion ja Applen kehittämä tiedostomuoto 3D-objektien jakamisen helpottamiseksi (Sharpened Productions 2023). Jälkikäsitellyssä ja pistepilvien vertailussa käytettävä CloudCompare ohjelma ei osaa lukea suoraan .usdz-tiedostoa, joten se puretaan .ply-tiedostoksi esimerkiksi Filestar-tiedostonpurkuohjelmalla (Filestar AB 2023). Myös Imager 5006i:n aineistot joudutaan muuttamaan .e57-tiedostoksi esimerkiksi Autodeskin ReCap-ohjelmalla (Autodesk 2023). SiteScape-mobiilisovelluksesta saa pistepilven ulos .e57-tiedostona ja Pix4Dcatch-sovelluksesta .ply-tiedostona, joten niille ei tarvitse tehdä formaatin muutosta.

5.2 Aineistojen vertailu

Z+F Imager 5006i maalaserkeilaimella samalta kojeasemalta kerätyille kahdelle aineistolle tehtiin vertailu referenssiaineiston, eli ensimmäisenä keilatun aineiston, laadun tarkastamiseksi. Tarkistus aloitettiin kohdistamalla pistepilvet toisiinsa CloudCompare-ohjelmassa käyttäen avuksi alueella sijaitsevia tähyksiä. Tämä kohdistus onnistui kolmella tähyksellä. Yksi tähyks oli kuusen takana, suhteessa keilaimen sijaintiin, joten lasersäteet eivät kyenneet tunkeutumaan oksiston lävitse riittävästi, jotta tähyksen keskikohta olisi havaittavissa pistepilvestä kohdistusta varten.

Kohdistuksen jälkeen suoritettiin Cloud-to-Cloud vertailu. Vertailun tuloksena 22 miljoonan pisteen pilvissä on noin 1,3 miljoonaa pistettä alle 0,035 mm etäisyydellä toisistaan. Painotus loppuillakin pisteillä on alle 2 millimetrissä (ks. Kuvio 4). Eroavaisuuksia kahden pistepilven välille aiheuttaa muun muassa jo aiemminkin mainittu käveleminen sepelipinnalla keilaimelle ja takaisin. Tulosten perusteella kuitenkin pidetään ensimmäistä keilausta tarpeeksi luotettavana referenssiaineistoksi.



Kuvio 4. Histogrammi laserkeilaimen pistepilvien (2 kpl) vertailusta

5.2.1 SiteScape

SiteScape-sovelluksen pistepilvistä otettiin vertailuun ulkoisen vakaimen kanssa kerätty aineisto. Siinä havaittiin olevan vähemmän kohinaa ja vääristymiä kuin vapaalla kädellä kerättyssä aineistossa. Pistepilvi oli kuvattu sovelluksen asetuksilla:

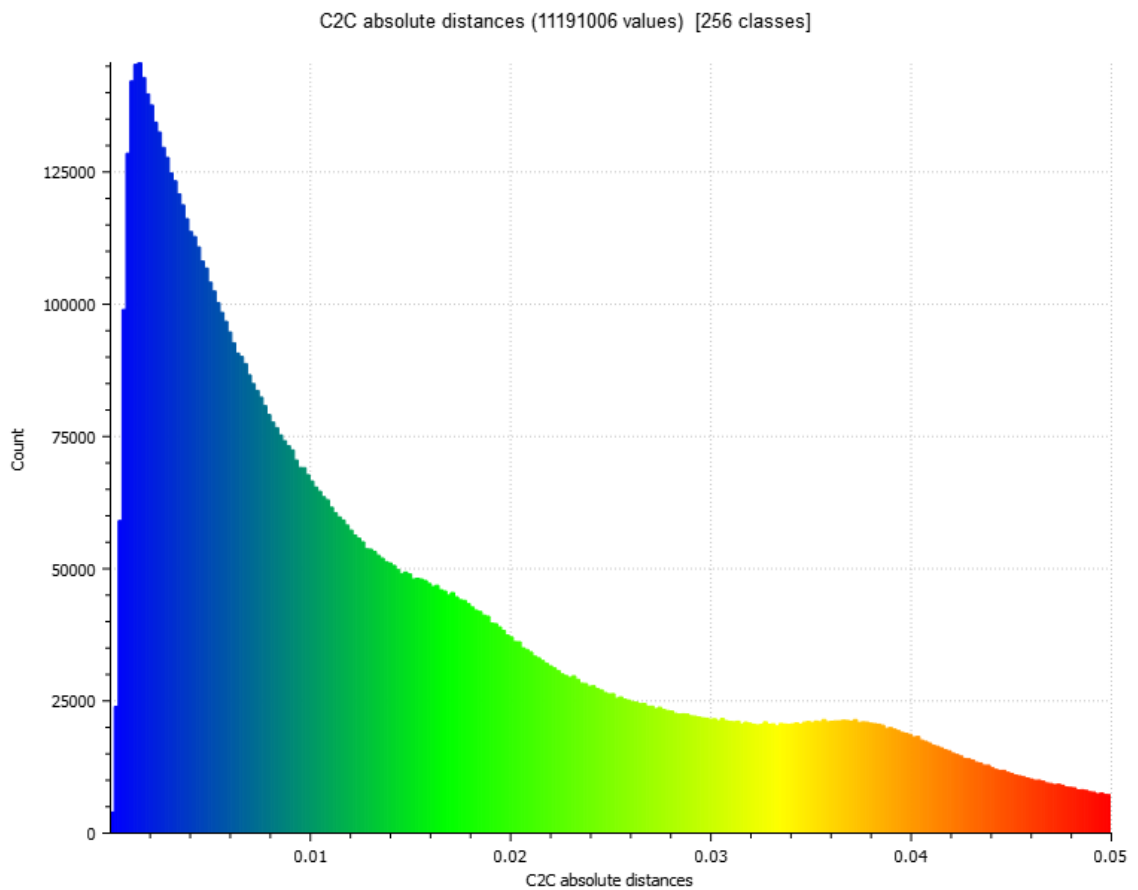
- pistetiheys: korkea
- pistekoko: keskikokoinen

Muita asetuksia sovelluksesta käyttäjä ei pysty sovelluksessa säätämään.

Pistepilveen oli syntynyt kuitenkin runsaasti kohinaa ulkoisesta vakaimesta huolimatta. Tämä hankaloittaa automaattista kohdistamista referanssiaineistoon, koska pistepilven kokonaispaksuus on paikoitellen jopa yli 100 mm. Tähyksien luotettavan keskikohdan löytäminen on siten haastavaa runsaan kohinan takia.

CloudComparaessa tähyksiin kohdistuksen jälkeen tehty noin 30 mm siirto kohtisuoraan alaspäin paransi tuloksia vertailtaessa sitä referenssiaineistoon.

Pistepilvistä otettiin poikkileikkauksia alueella sijaitsevien eri kappaleiden ja pintojen kohdilta. Poikkileikkauksien tutkiminen osoittaa, että SiteScapen pilvessä on noin 20 mm paksuisia pistekerrostumia, muutaman kymmenen millimetrin etäisyydellä toisistaan. Tästä päätellen sovellus ei siis täydellisesti pystynyt kohdistamaan samasta kohdasta, mutta erisuunnasta dokumentoituja kohteita yhtenäiseksi pistepilveksi. Lopputuloksena histogrammissa näkyy, että alle 50 mm etäisyydelle jää noin 10,67 miljoonaa pistettä noin 11,19 miljoonasta pisteestä (ks. Kuvio 5).



Kuvio 5. Histogrammi SiteScape-sovelluksen pistepilvestä verrattuna Imager 5006i pistepilveen

Verratuista pistepilvistä otettuja poikkileikkauksia tulkitsemalla havaitaan myös, että jyrkkien pinnanvaihteluiden, kuten sepelin pinnan erottaminen SiteScape-sovelluksen pilvestä on haastavaa, koska kohina tasoittaa sen tehokkaasti. Samalla

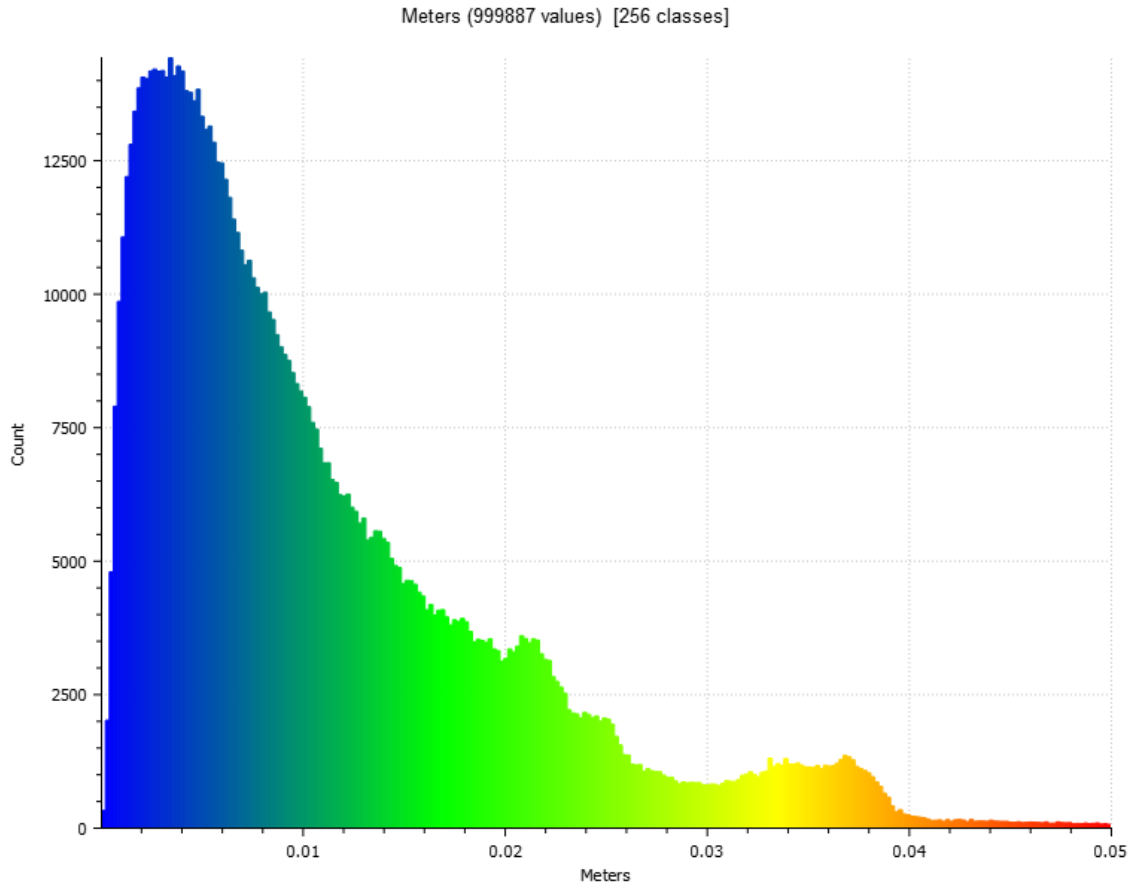
tavalla käyttäytyy myös kanervikko. Tämän takia esimerkiksi kanervikossa sijaitsevat puunkappaleet ja betoninen lieriö eivät erotu pistemassasta. Myöskään kuusentaimi ei generoidu juurikaan ja esimerkiksi skalaaripilvessä sen paikalla on vain muutamia kymmeniä pisteitä.

5.2.2 3D LiDAR Scanner

3D LiDAR Scanner-sovelluksen aineisto on sovelluksesta ulos kirjoitettuna .usdz-tiedostona, joka on 3D-objekti. Filestarilla suoritettua muunnoksen jälkeen se pysyy edelleen 3D-objektina .ply-tiedostona. Ply-tiedosto on kokoelma polygoneja (Aspose Pty Ltd 2023). Polygonit tasoittavat todellisuutta, jos pistetiheys on liian harva. CloudCompare-ohjelmalla lasketettiin pilvestä vähän yli miljoona pistettä.

Pistepilven kohdistus tehtiin manuaalisesti, koska tähykset eivät olleet mallintuneet tähän aineistoon tarpeeksi tarkasti ja niiden keskikohdan luotettava löytäminen olisi ollut vaikeaa. Kohdistus suoritettiin manuaalisesti liikuttamalla tietokoneen hiirellä pistepilveä mahdollisimman tarkasti samaan kohti kuin referenssiaineisto. Manuaalinen kohdistus onnistui hyvin. CloudCompare-ohjelmalla suoritettiin Cloud-to-Cloud-vertailu jonka tuloksena histogrammista (ks. Kuvio 6) näkee, että reilusta miljoonasta pisteestä alle 50 mm päässä toisistaan on noin 991 000 pistettä.

Myös tästä vertailusta otettiin poikkileikkauksia samoista kohdista kuin SiteScapen pistepilvien vertailussa. Poikkileikkauksissa aineisto näyttää olevan jyrkissä kulmissa pyöristynyttä, kuten kanervikossa sekä puukappaleiden ja kivien kohdilla. Sepelipinta on tasoittunut, samoin silputtu heinä ja nokkoskerros. Huomionarvoista on se, että koska aineisto on polygoniverkkona, ei siinä ole vertailutilanteessa kohinaa. Tämän takia kohinan suuruutta ei tällä sovelluksella kerätystä aineistosta pystytä helposti määrittämään.



Kuvio 6. Histogrammi 3D LiDAR Scanner-sovelluksen pistepilvestä verrattuna Imager 5006i pistepilveen

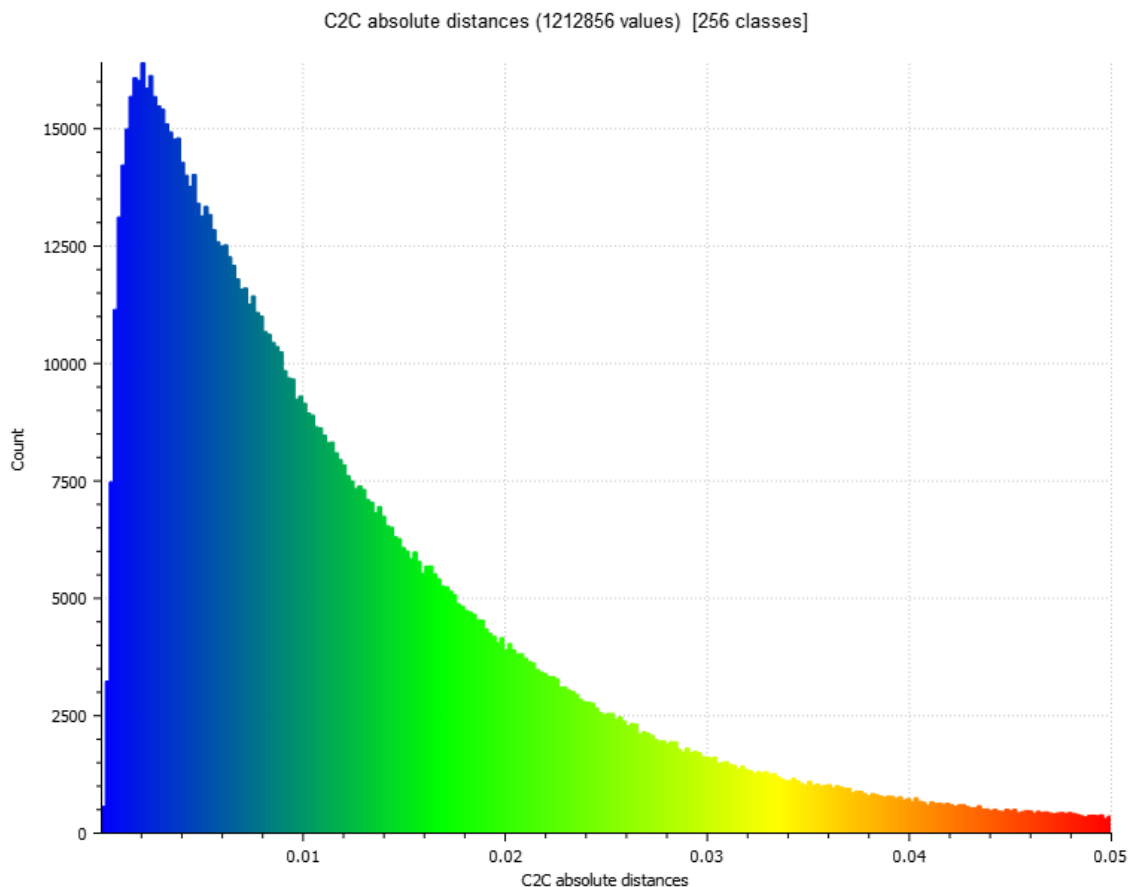
5.2.3 Pix4Dcatch

Pix4Dcatch-sovelluksesta on käytössä ilmaisversio, joka rajoittaa tallennuskapasiteettia. Pistepilvi jää harvaksi, koska aineistoa kerätessä pitää olla suurpiirteisempi, jotta saa dokumentoitua tarpeeksi testialueesta ennen rajoituksen täyttymistä. Tämän takia aineistoon jää lattiapinnalle tyhjiä kohtia. Tämä ei kuitenkaan haittaa suoritettua vertailua. Asetukset olivat dokumentointihetkellä:

- Capture Quality: Automaattitarkennus päällä
- kuvien limitys: 90 %
- etäisyys: 10 cm
- kulma: 20 astetta

Vasta jälkikäsitellyssä huomataan etäisyys asetuksen olleen 10 cm, vaikka sen olisi pitänyt olla lähempänä 2 metriä. Tämän virheen takia pistepilvessä olevat seinäpinnat ovat käytännössä kopioituneet ja generoituneet vääriin kohtiin oikean seinälinjan lisäksi. Pistepilvelle tehdään silti vertailu pienin muutoksin. Muutoksena pistepilvi muutetaan CloudCompare-ohjelmalla polygoniverkoksi, jolloin kohina saadaan poistettua vertailutilanteesta. Polygoniverkosta lasketetaan uudet pisteet. Pistepilveen jää vähän yli 1,2 miljoonaa pistettä.

Pistepilvelle suoritetaan manuaalinen kohdistus, jälleen tähyksien huonon mallintumisen takia. Kohdistuksen jälkeen suoritettiin Cloud-to-Cloud-vertailu CloudCompare-ohjelmalla. Histogrammin (ks. Kuvio 7) perusteella alle 50 mm etäisyydellä on noin 1,17 miljoonaa pistettä koko pistepilven 1,21 miljoonasta pisteestä.



Kuvio 7. Histogrammi Pix4Dcatch-sovelluksen pistepilvestä verrattuna Imager 5006i pistepilveen

6 TULOKSET

Vertailut kerätyille pistepilville tehtiin Cloud-to-Cloud Distance menetelmällä, jossa CloudCompare-ohjelma etsii vertailtavan aineiston jokaiselle pisteelle lähimmän pisteen referenssiaineistosta. Tämän tuloksen perusteella CloudCompare-ohjelma antaa pisteelle etäisyysarvon ja väriarvon etäisyyden mukaan. Ohjelma laskee etäisyydet kaikille verrattaville pisteille, eli myös niille pisteille, joilla ei olisi käytännössä vastin pistettä olemassa. Vertailtavista pistepilvistä poistettiin suurimmat laserkeilaimen katvealueet, jotta saatiin vähennettyä tuloksia vääristäviä, vastin pisteettömien vertailujen tuloksia kokonaisuudesta.

6.1 Keskiarvot ja keskihajonnat

Taulukossa 3 on eriteltyinä kunkin sovelluksen etäisyyksien keskiarvot, sekä keskihajonnat (ks. Taulukko 3). Taulukossa on lisäksi laserkeilaimen pistepilvien vertailun etäisyyksien keskiarvo ja keskihajonta. Parhaimpaan tulokseen päästiin 3D LiDAR Scanner-sovelluksella, jonka keskihajonta jää noin 11 millimetriin. 3D LiDAR Scanner-sovelluksesta ei löytynyt juurikaan taustatietoa verkosta, joten ei voida olla varmoja, käyttääkö se LiDAR-anturin tuottamaa syvyystietoa hyödyksi. Kuitenkin tuloksista voisi päätellä sen niin tekevän. Toiseksi parhaimman tuloksen antaa Pix4Dcatch-sovellus noin 16 millimetrin keskihajonnalla. Vaikka etäisyys asetus oli asetettu väärin, päästiin sillä kuitenkin vertailussa hyvään lopputulokseen. Pix4D on kaupalliseen toimintaan keskittynyt sovelluskehittäjä ja alkuoletus oli, että sillä olisi päästy parhaimpaan tulokseen. SiteScape-sovelluksen tuottaman pistepilven keskihajonta jää reiluun 23 millimetriin ja oli näin ollen tämän vertailun kolmantena.

Taulukko 3. Vertailujen etäisyyksien keskiarvot ja keskihajonnat

	SiteScape	Pix4Dcatch	3D LiDAR Scanner	Z+F Imager 5006i
Pistettä pistepilvessä (kpl)	11 979 335	1 212 856	1 000 159	38 024 065
Etäisyyksien keskiarvo (m)	0.01818	0.01410	0.01154	0.001176
Keskihajonta (m)	0.02312	0.01632	0.01068	0.00625

6.2 Pistemäärät pistepilvissä

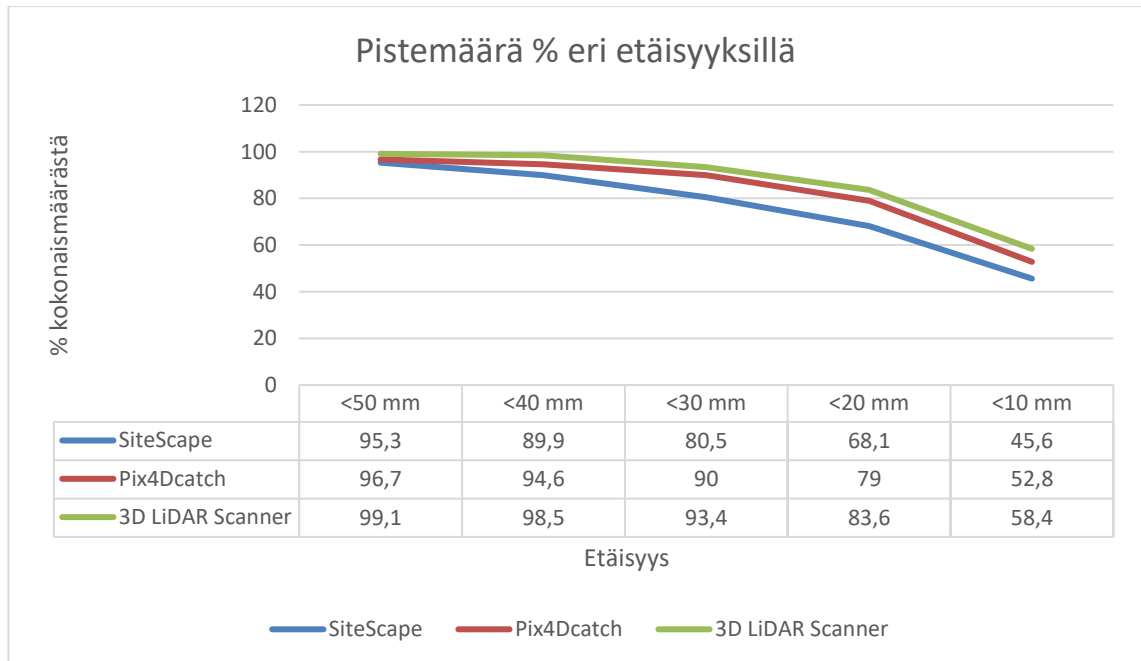
Taulukossa 4 on esitettyä mobiilisovellusten pistemäärät etäisyyden mukaan jaoteltuna. Vertailtavana on alle 50 mm, alle 20 mm ja alle 10 mm etäisyydellä olevat pistemäärät.

Taulukko 4. Aineistojen pistemäärät etäisyyden mukaan

Sovellus ja pisteiden kokonaismäärä pistepilvessä	SiteScape	Pix4Dcatch	3D LiDAR Scanner
	11 191 006 kpl	1 212 856 kpl	999 887 kpl
Etäisyys <10 mm	5 098 070 kpl	640 116 kpl	583 724 kpl
Etäisyys <20 mm	7 625 048 kpl	957 755 kpl	835 417 kpl
Etäisyys <50 mm	10 666 603 kpl	1 173 349 kpl	990 838 kpl

Edellä kuvattua taulukkoa 4 ja kuviota 8 tarkasteltaessa huomataan keskihajontalukemia vahvistavia seikkoja. Pistemäärien prosentuaalisten osuuksien mukaan 3D LiDAR Scanner-sovelluksen alle 50 millimetrin etäisyydellä on lähes aineiston koko pistemäärä. Pistemäärä ei juurikaan laske alle 40 millimetrin etäisyydellä (ks. Kuvio 8).

Pix4Dcatch- ja 3D LiDAR Scanner-sovellusten aineistoissa tapahtuu saman suuntaista heikkenemistä 20 millimetrin etäisyydelle asti, jonka jälkeen Pix4Dcatch aineiston tarkkuus alkaa heikkenemään hieman nopeammin. SiteScape-aineiston tarkkuus heikkenee muita nopeammin, mutta 20 millimetrin kohdalla ei tapahdu yhtä jyrkkää heikkenemistä (ks. Kuvio 8).



Kuvio 8. Pistemäärien prosentuaaliset osuudet eri etäisyyksillä referenssiaineistosta

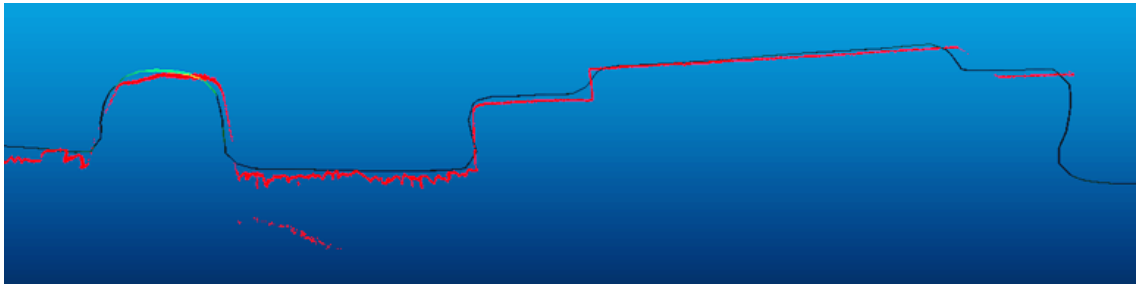
6.3 Poikkileikkaukset

6.3.1 Poikkileikkaus 1

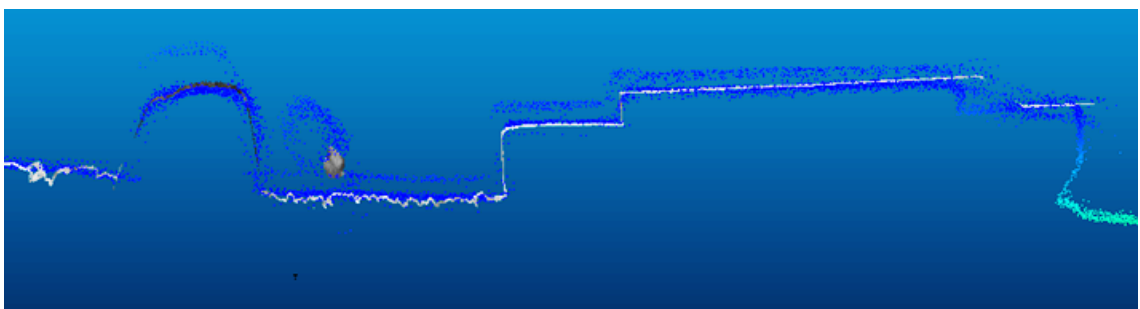
Vertailuista aineistoista otettiin poikkileikkauksia yhdessä referenssiaineiston kanssa. Näitä vertaamalla ja tulkitsemalla voidaan päätellä visuaalisesti eri sovellusten aineistojen laatua ja käyttökelpoisuutta. 3D LiDAR Scanner-sovelluksen aineisto oli polygoniverkko muodossa. Polygoniverkko aiheuttaa kohteiden pyöristymistä, joka on hyvin havaittavissa ensimmäisestä poikkileikkauksesta (ks. Kuvio 9). Ensimmäinen poikkileikkaus on otettu kiven ja kaivon kansiston kohdalla. Poikkileikkauksesta huomaa hyvin kuinka betonisen kansiston terävät reunat on selvästi pyöristyneet (ks. Kuvio 9). Murskepinnan epätasaisuus on havaittavissa referenssiaineiston pistemassasta toisin kuin verrattavasta aineistosta, jossa se on tasoittunut täysin (ks. Kuvio 9).

SiteScape-sovelluksen ensimmäisessä poikkileikkauksessa on havaittavissa aineiston kerrostuneisuus. Sovellus ei joko kykene tarpeeksi tarkkaan yhdistämään samasta kohdasta useaan kertaan kerättyä pistemassaa tai jokin sovelluksen asetus on ollut väärin kuvaushetkellä. Pistepilvestä on havaittavissa kaivon kaniston ja kiven kohdilta kaksi erillistä pistekerrostumaa. Murskeen pinnanvaihte-
luita on mahdotonta havaita myös tästä aineistosta. (ks. Kuvio 10.)

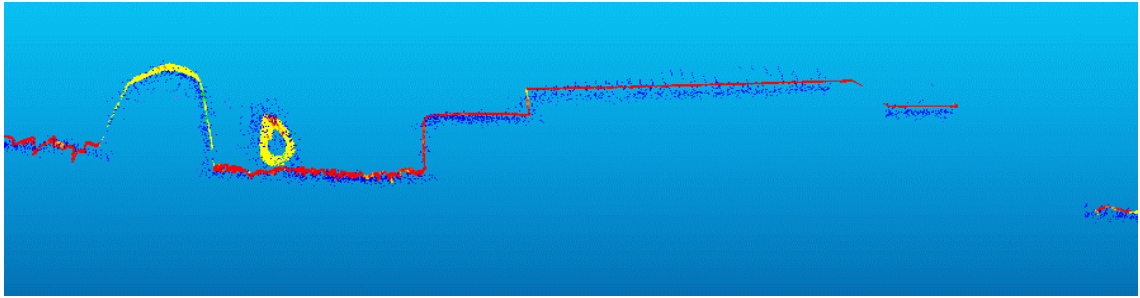
Pix4Dcatch-sovelluksen aineisto on ensimmäisessä poikkileikkauksessa yhtenäisen näköinen pistekerrostuma. Havaittavissa on kuitenkin jonkin verran koh-
tia, joissa hajonta on runsaampaa kuin tasaisessa pistekerroksessa muualla. Esi-
merkiksi kaivonkannen päällä on kaksi pistemuodostumaa, jotka luovat muuten
tasaiselle pinnalle sinne kuulumattomia kohoumia. Murskeen muotoja on havait-
tavissa hyvin heikosti poikkileikkauksuvion oikeassa ja vasemmassa laidassa.
(ks. Kuvio 11.)



Kuvio 9. Poikkileikkaus 1: 3D LiDAR Scanner (musta/vihreä), Z+F (punainen)



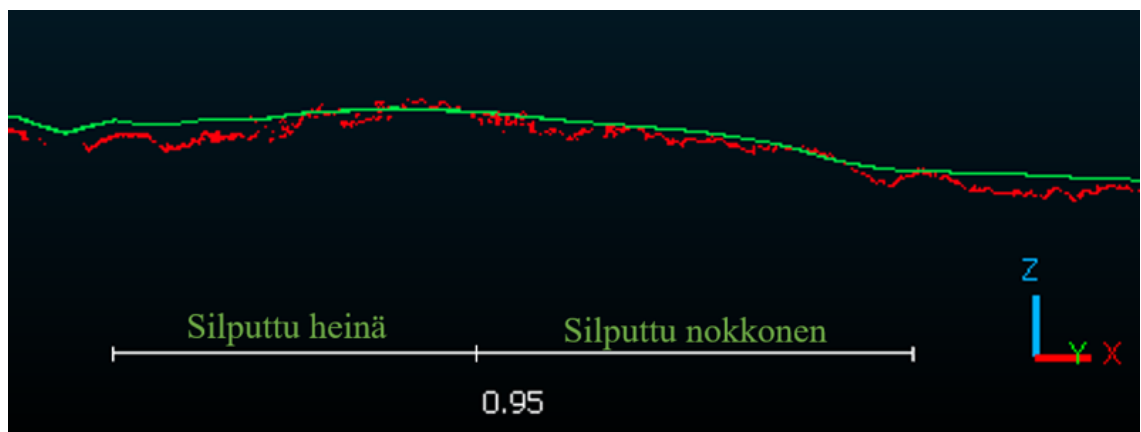
Kuvio 10. Poikkileikkaus 1: SiteScape (sininen, vihreä), Z+F (valkoinen, harmaa)



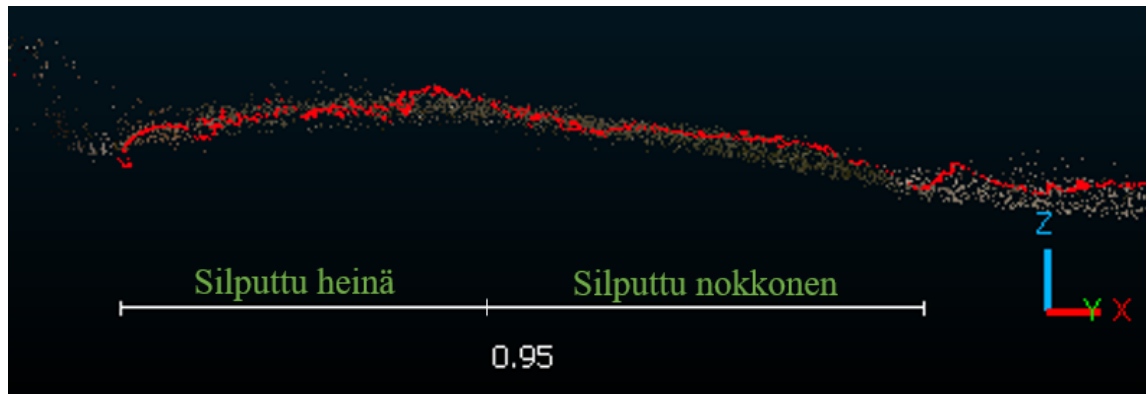
Kuvio 11. Poikkileikkaus 1: Pix4Dcatch (sininen), Z+F (punainen, keltainen)

6.3.2 Poikkileikkaus 2

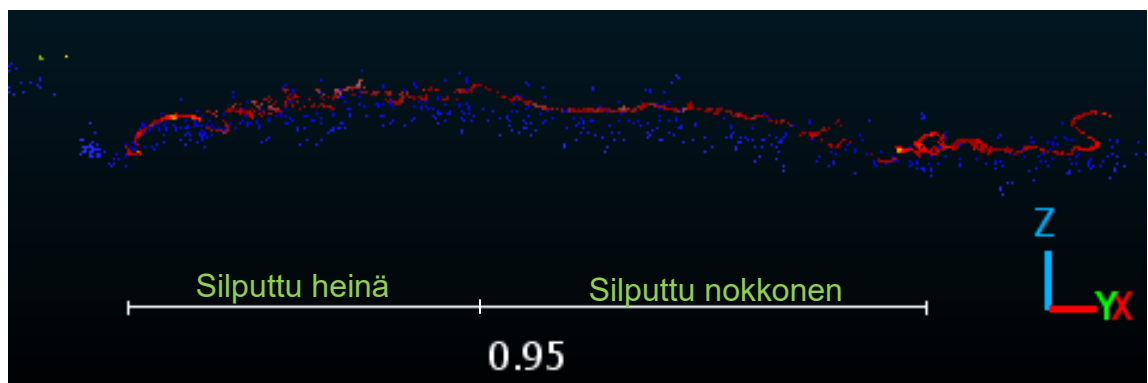
Toinen poikkileikkaus on otettu kaivon kansiston taakse levitetystä kuivasta kasvimaakerroksesta. Kasvikerrokseen on levitetty silputtua ja kuivattua heinää, sekä silputtua ja kuivattua nokkosta. Heinäsilppu oli pituudeltaan muutamia senttejä kuten myös nokkosen. Nokkosmassa oli myös jonkin verran jauhautunutta sisältäen runsaammin hienoainesta. 3D LiDAR Scanner-sovelluksen aineisto tasoiatta referenssiaineistoon verrattuna kasvimaakerroksen pienet pinnanvaihtelut (kuvio 12). SiteScapen aineistossa taas on havaittavissa heinän kohdalla enemmän kohinaa kuin nokkosen (kuvio 13). Pix4Dcatch-sovelluksen piste-massa on tasaisen harva ja paksu kerrostuma, eikä selvää rajaa heinän ja nokkosen väliltä ole havaittavissa (kuvio 14).



Kuvio 12. Poikkileikkaus 2: 3D LiDAR Scanner (vihreä), Z+F (punainen)



Kuvio 13. Poikkileikkaus 2: SiteScape (ruskea), Z+F (punainen)

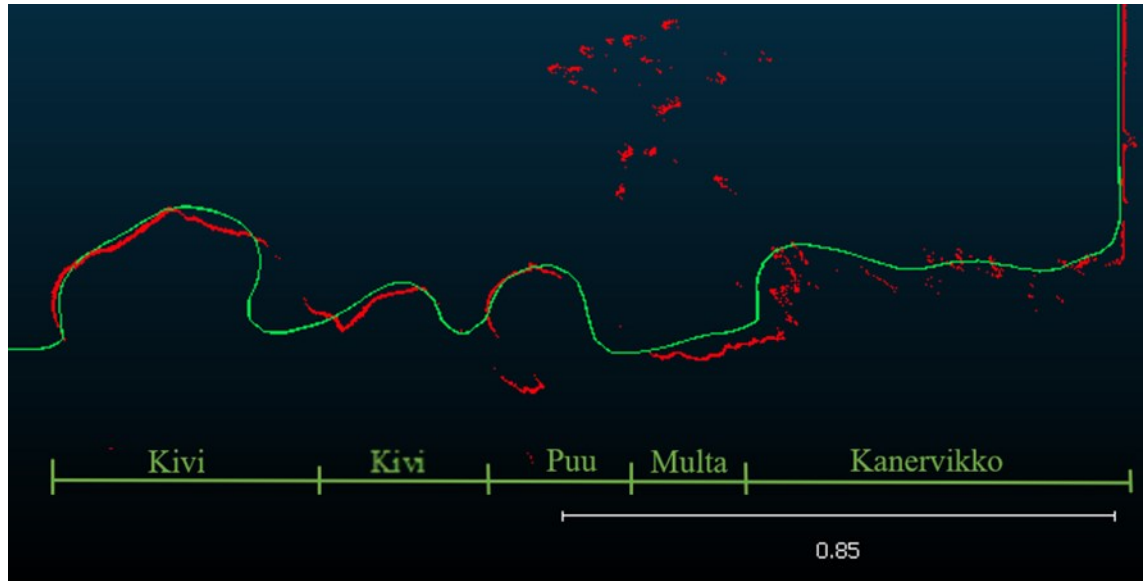


Kuvio 14. Poikkileikkaus 2: Pix4Dcatch (sininen), Z+F (punainen, keltainen)

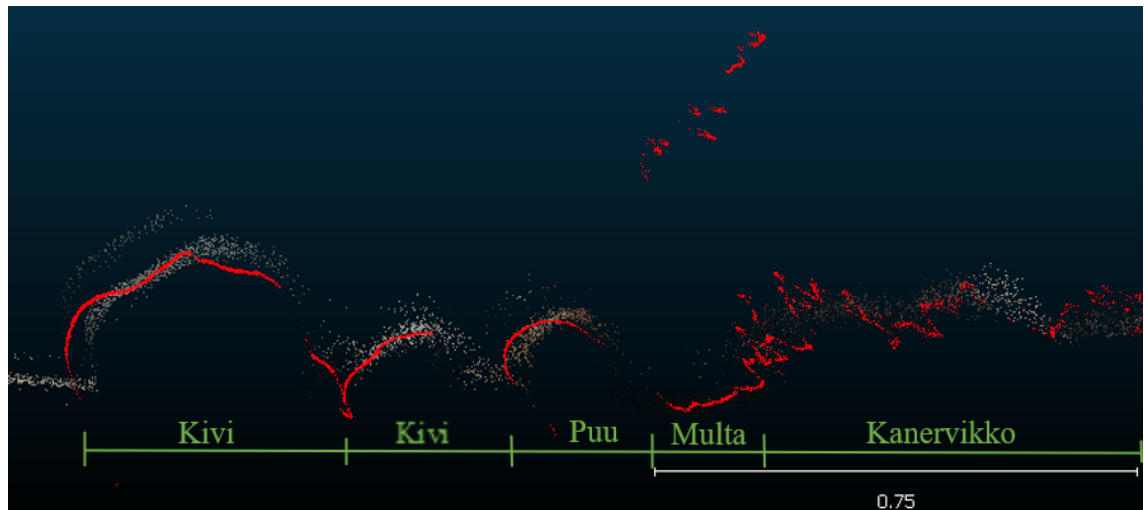
6.3.3 Poikkileikkaus 3

Kolmas poikkileikkaus on otettu kivi- ja puukappaleiden sekä kanervikon kohdalta. 3D LiDAR Scanner tasoittaa kanervikon ja oikoo puiden ja kivien väliset alueet. Sovellus ei joko kyennyt mittaamaan kappaleiden välisistä raoista murskelattiapintaan asti tai sitten sovellus ei vain mallintanut rakoja täydellisesti polygoniaineistoon. (kuvio 15.)

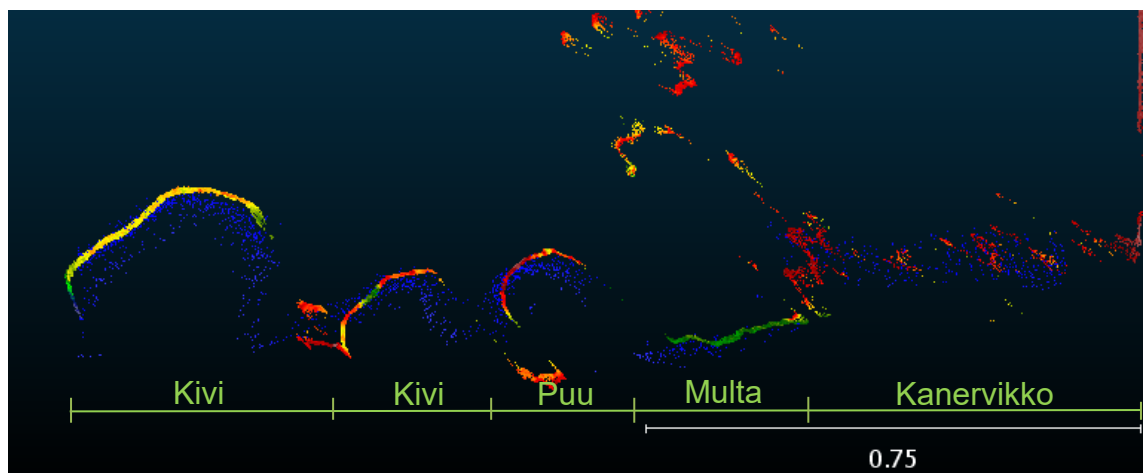
SiteScapen ja Pix4Dcatch sovellusten aineistoissa on kanervikossa havaittavissa jonkin verran referenssiaineiston kaltaisia muotoja (kuviot 16 ja 17). Kuitenkaan teräviä kanervan varpuja niistä kummastakaan ei kykene tulkitsemaan. SiteScapen aineistossa on kivien päältä havaittavissa jälleen pistemassan kerrostuneisuutta mikä sotkee aineiston pinnanmuotoja verrattuna referenssiaineistoon (ks. Kuvio 16). Pix4Dcatch-sovelluksen pistemassa on tässäkin kohden harva ja paksu kerrostuma. Poikkileikkauksen kohdalla on referenssiaineistoon mallintunut kuusentaimen oksia, mutta yhdessäkään mobiilisovelluksen aineistossa ei ole pisteitä kyseisien oksien kohdalla (kuviot 15, 16 ja 17).



Kuvio 15. Poikkileikkaus 3: 3D LiDAR Scanner (vihreä), Z+F (punainen)



Kuvio16. Poikkileikkaus 3: SiteScape (ruskea, harmaa), Z+F (punainen)



Kuvio 17. Poikkileikkaus 3: Pix4Dcatch (sininen), Z+F (punainen, keltainen, vihreä)

6.3.4 Poikkileikkaus 4

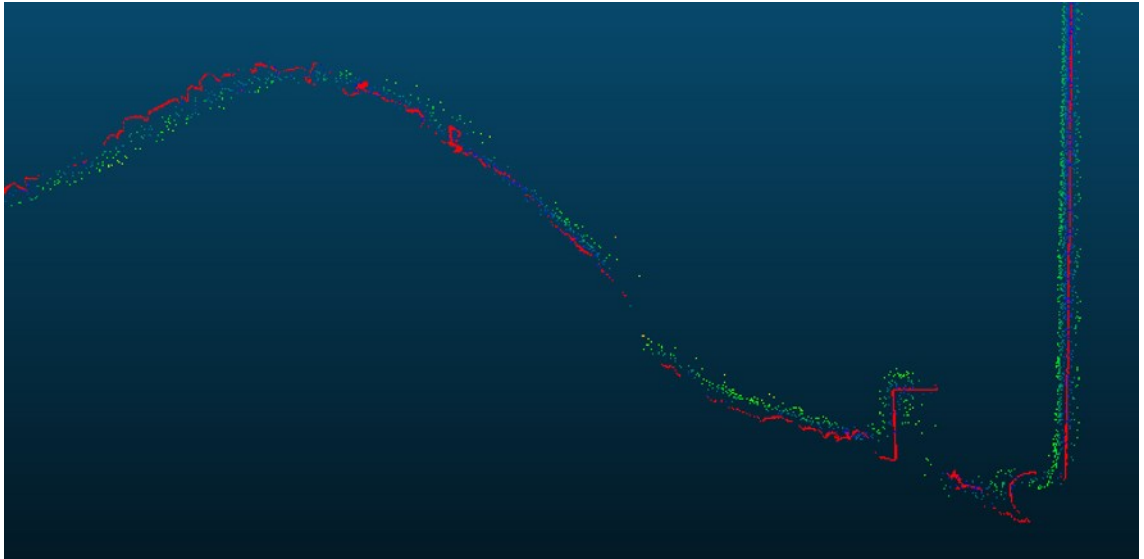
Neljäs poikkileikkaus on otettu huoneen nurkassa sijaitsevan kuopan ja se vieressä olevan murskekekan kohdalta. Kuopassa oli kaksi betonista lieriötä, toinen pystyssä ja toinen vaakatasossa. Vaakatasossa oleva betonilieriö oli osittain veden alla. Lieriöt ovat halkaisijaltaan noin 100 millimetriä.

Kaikista aineistoista on havaittavissa pystyssä olevan lieriön päälyosan pyöristyneen (ks. Kuviot 18, 19 ja 20). 3D LiDAR Scanner-sovellus on oikonut pinnan vaakatasossa olevan lieriön kohdilta, hälventäen sen muodot polygoniverkosta (ks. Kuvio 18). Vedenpinta on mahdollisesti vaikuttanut tähän lopputulokseen. Myöskään murskepinnassa ei ole edelleenkään havaittavissa kivien muotoja.

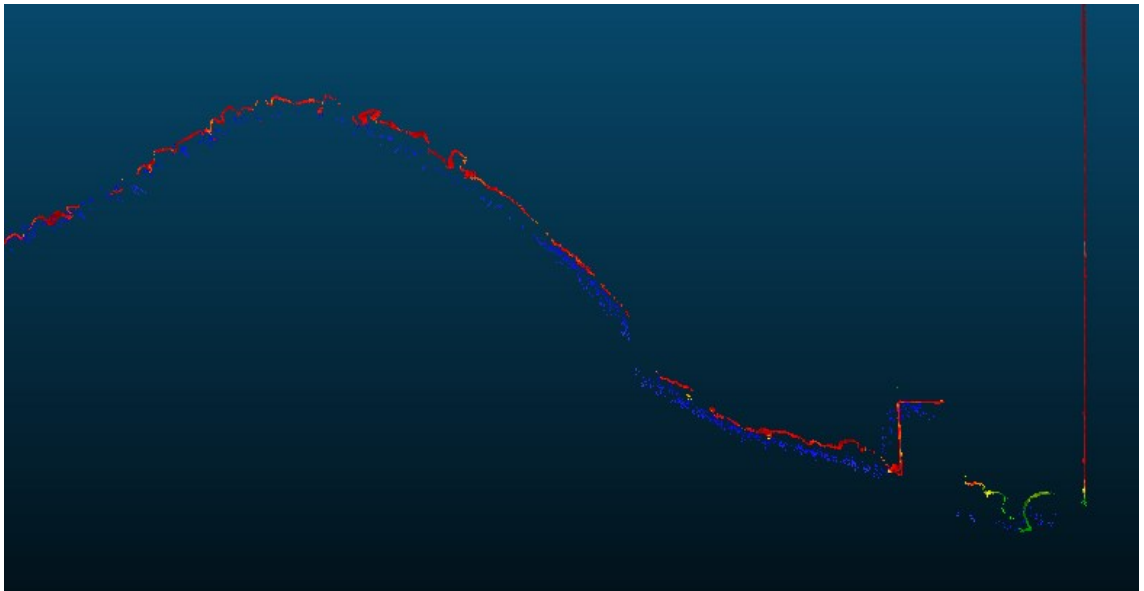
SiteScapen aineistossa on yllättäen havaittavissa enemmän hajontaa tällä poikkileikkauksella kuin Pix4Dcatch-sovelluksen aineistossa (ks. Kuviot 19 ja 20). SiteScapen ja Pix4Dcatch-sovelluksen aineistoihin on mallintunut vaakatasossa olevan lieriön ympäristöä enemmän kuin polygoniaineistoon. Kohinan takia on kuitenkin mahdotonta päätellä, onko pintoja mallintunut myös veden alta. Molemmissa aineistoissa vaakatasossa olevan lieriön muodot ovat kuitenkin hälventyneet tunnistamattomiksi (ks. Kuviot 19 ja 20).



Kuvio 18. Poikkileikkaus 4: 3D LiDAR Scanner (vihreä), Z+F (punainen)



Kuvio 19. Poikkileikkaus 4: SiteScape (vihreä, sininen), Z+F (punainen)



Kuvio 20. Poikkileikkaus 4: Pix4Dcatch (sininen), Z+F (punainen, keltainen, vihreä)

6.4 Muut huomiot

Muita huomioita on, että kanervikossa sijaitsevat puukappaleet ja betonilieriö eivät erotu pistemassasta mistään verrattavasta aineistosta. Myöskään laserkeilain ei tunkeudu tiheään kanervikon läpi, joten kaikki sen alla oleva jää pimentoon, samoin jo aiemmin mainittu kuusentaimen tausta. Toisaalta taas mobiililaitteella

pystyy liikkumaan ja keräämään myös paikallaan olevalle laserkeilaimelle helpommin piiloon jäävät alueet. Tämä tuottaa jonkin verran vääristymää numeerisiin vertailutuloksiin tässä testauksessa.

Kaikkien mobiilisovellusten aineistoissa on huomattavissa samankaltaisia ominaisuuksia. Nämä ominaisuudet ovat reilu kohina pistepilvi-muotoisissa aineistoissa ja lievät sisäiset vääristymät seinäpinnoilla. Testialueen läheisyydessä sijaitsee betoniseinäinen, noin 3,3 x 4,3 metrin kokoinen u-mallinen huone, jonka seinät voidaan dokumentoida sisä- ja ulkopuolelta. SiteScape-sovelluksella dokumentoitiin tämä huone. Tarkasteltaessa kerättyä aineistoa, huomattiin, että alku ja loppu osien kohdistus toisiinsa ei aivan osunut kohdilleen. Seinät olivat 180 millimetriä paksut. Dokumentointi onnistui pitempien seinälinjojen osalta hyvin, mutta päästessä takaisin lähtöpisteeseen, aineisto mallintui osittain itsensä päälle. Tästä johtuen lyhyemmän seinäosuuden paksuus väheni liitoskohtaa lähestyessä lopulta nolnaan.

Pisteiden välimatka toisistaan kasvaa suhteessa lähettimen ja mitattavan pinnan välimatkaan. Koska puhelimen LiDAR-anturin maksimi käyttöetäisyys kohteesta on noin 5 metriä, kasvaa pisteiden välinen etäisyys nopeammin kuin laserkeilaimella. Tämän takia suurien alueiden nopea kartoittaminen aiheuttaa harvemman pistepilven.

7 POHDINTA

Opinnäytetyössä oli tarkoitus selvittää puhelimen tuottaman pistepilviaineiston tarkkuutta. Toimeksiantajan, eli DEMOMAMI22-hankkeen, toimeksiantona oli selvittää tarkkuus, jotta pystyttäisiin päättämään menetelmän käyttökelpoisuus arkeologisissa dokumentoinneissa.

Puhelimen LiDAR-anturin etäisyystietoa hyväksikäyttävien sovelluksien tuottamien pistepilviaineistojen laatu on yllättävänkin tarkkaa. Alkuolettamuksena oli sovellustoimittajien lupaamien tarkkuuksien mukaan noin 50 mm tarkkuuteen jääviä tuloksia. Testauksessa selvisi kuitenkin mobiilisovelluksilla päästävän reilun 11 millimetrin tarkkuuteen, joka on metrien etäisyydeltä mitattaessa kuluttajalaitteella yllättävän tarkka tulos.

Testin tarkoituksien valossa tarkasteltaessa kolmesta sovelluksesta parhaiten selvisi Pix4Dcatch-sovellus. Sen tuottama pistepilvi on visuaalisesti tarkasteltaessa lähimpänä referenssiaineistoa. Poikkileikkauksista on havaittavissa pinnanmuodot parhaiten vertailukolmikosta, vaikka pistepilvi on huomattavasti hajonneempaa kuin SiteScapen pistepilvi. Jaetulle ensimmäiselle sijalle pääsee myös 3D LiDAR Scanner. 3D LiDAR Scanner -sovelluksella päästiin parhaimpaan tarkkuuteen, mutta aineisto pyöristi teräviä kulmia, joten se soveltuisi ainoastaan tasapintaisille kohteille ilman pieniä monimutkaisia yksityiskohtia. SiteScape -sovelluksen tiputti viimeiselle sijalle sen vähän alle 20 millimetriin jäänyt tarkkuus ja aineistossa havaittava kerrostuneisuus, joka sotkee pintoja.

Mobiilisovellusten käyttö arkeologisten kohteiden dokumentoinnissa riippuu kohteen kokoluokasta. Mobiililaitteen keräämän aineiston tarkkuus riittää hyvin alueiden dokumentointiin, jotka eivät sisällä pieniä yksityiskohtaisia kohteita, joissa on teräviä kulmia. Testauksen perusteella pienten yksityiskohtaisten muotojen dokumentointi olisi tehtävä erikseen sovellusten erilaisilla asetuksilla ja liitettävä jälkikäsitellyssä tarvittaessa suurempaan kokonaisuuteen.

Museoviraston tutkija Tuija Väisäsen mukaan alalla ei suomessa ole virallista standardia dokumentoinnin mittatarkkuuteen. Tämän vahvistaa myös Yli-Intendentti Marianna Niukkanen. Dokumentoinneissa kuitenkin pyritään pääsemään mahdollisimman tarkkaan lopputulokseen. (Väisänen, Niukkanen 2023.)

Tämän testauksen tulosten luotettavuus on kohtalaisen hyvä. Vertailuun käytettävä CloudCompare-ohjelmisto on yleisesti ammattilaisten käytössä. Aineistojen manuaalinen kohdistaminen tuo hieman epävarmuutta tulosten luotettavuuteen. Kuitenkin testin sovellusten luvattuihin tarkkuuksiin verrattuna lopputulokset ovat hyvät. Käyttämällä aineistojen kohdistamiseen enemmän aikaa, hienosäätäen aina uudelleen ja uudelleen vertailtavan pistepilven asemointia, saattaisi manuaalisella kohdistustavalla päästä vieläkin tarkempiin tuloksiin. Testauksen suorittaminen täysin laboratorio-olosuhteissa, ilman luonnollisia pintamateriaaleja, tasalaatuisilla kohteilla voisi myös tuoda tarkempia ja luotettavampia tuloksia itse mittatarkkuuden toteamiseen.

LÄHTEET

Apple 2023. App Store Preview. Viitattu 24.4.2023

<https://apps.apple.com/vn/app/3d-lidar-scanner/id1642329012>.

Aspose Pty Ltd 2023. Fileformat. What is a PLY file? Viitattu 27.4.2023

<https://docs.fileformat.com/3d/ply/>.

Autodesk 2023. ReCap Pro: Turn the physical into digital

<https://www.autodesk.com/products/recap/overview?term=1-YEAR&tab=subscription>.

Bragg, L. 2022. What is Lidar Scanning and How Does Apple Use It?

Mappedin. Viitattu 19.4.2023 <https://www.mappedin.com/blog/product/indoor-mapping/what-is-lidar-scanning/>.

Cision US Inc. 2022. FARO Acquires SiteScape, a Leader in LiDAR Based Scanning Software. Viitattu 23.4.2023 <https://www.prnewswire.com/news-releases/faro-acquires-sitescape-a-leader-in-lidar-based-scanning-software-301691518.html>.

CloudCompare 2023. Presentation. Viitattu 18.5.2023

<https://www.cloudcompare.org/>.

Constantino, D., Vozza, G., Pepe, M., Alfio, V.S. 2022. Smartphone LiDAR Technologies for Surveying and Reality Modelling in Urban Scenarios:

Evaluation Methods, Performance and Challenges. Viitattu 11.5.2023

<https://doi.org/10.3390/asi5040063>.

Fathi, S. 2021. Samsung May Drop Time-of-Flight Sensor in Next Flagship Galaxy Phone. Viitattu 20.4.2023

<https://www.macrumors.com/2021/04/19/samsung-dropping-lidar-from-galaxy/>.

Filestar AB 2023. Filestar <https://filestar.com/>.

Geotrim Oy 2023. Trimble X12 3D-laserkeilain. Viitattu 26.4.2023

<https://geotrim.fi/tuotteet/laserkeilaus/maalaserkeilaimet/trimble-x12/>.

Gsmarena 2023. Apple iPhone 14 Pro. Viitattu 23.4.2023

https://www.gsmarena.com/apple_iphone_14_pro-11860.php.

Lee, T. 2020. Get Vertical with The Power of VCSELS — Lidar used to cost

\$75,000—here's how Apple brought it to the iPhone. Viitattu 20.4.2023

<https://arstechnica.com/cars/2020/10/the-technology-behind-the-iphone-lidar-may-be-coming-soon-to-cars/>.

Levy, S. 2023. Britannica. Banking & Business: Apple Inc. Viitattu 23.4.2023

<https://www.britannica.com/topic/Apple-Inc>.

Väisänen, T., Niukkanen, M. 2023. Museovirasto Puhelinhaastattelut 2.5.2023

NOAA 2023. What is lidar? Viitattu 15.4.2022
<https://oceanservice.noaa.gov/facts/lidar.html>.

Pix4D 2023a. Pix4Dcatch. What is PIX4Dcatch? Viitattu 23.4.2023
<https://www.pix4d.com/product/pix4dcatch/>.

Pix4D 2023b. viDoc RTK rover. Viitattu 23.4.2023
<https://www.pix4d.com/product/vidoc-rtk-rover/>.

Sharpened Productions 2023. FileInfo.com .USDZ File Extension. Viitattu 26.4.2023
<https://fileinfo.com/extension/usdz>.

SiteScape 2023. Pricing Plans. Viitattu 23.4.2023
<https://www.sitescape.ai/pricing>.

Staiger, R. 2011. 10 Years of Terrestrial Laser Scanning - Technology, Systems and Applications. Viitattu 19.4.2022
https://www.fig.net/news/archive/news_2011/geosiberia_april_2011/Novosibirsk_Geosiberia_2011_Paper_Rudolf_Staiger.pdf.

Yoshida, J. 2020. Look Inside iPad Pro 11's LiDAR Scanner. Viitattu 20.4.2023
<https://www.eetasia.com/look-inside-ipad-pro-11s-lidar-scanner/>.

Zoller+Fröhlich 2009. Technical data Z+F IMAGER 5006i. Viitattu 23.4.2023
https://www.laserscanning-europe.com/sites/default/files/Z+F/Datenblatt_IMAGER5006i_E.pdf.

Zoller+Fröhlich 2023. Zoller+Fröhlich GMBH. Home/Company Viitattu 23.4.2023
<https://www.zofre.de/en/company>.