

ARKEOLOGISEN KOHTEEN LASERKEILAAMINEN JA
KEILAUSAINEISTON KÄSITTELY

Puuronen Tuomas

Opinnäytetyö

Maanmittaustekniikka
Insinööri (AMK)

2025

Maanmittaustekniikka
Insinööri (AMK)

Tekijä	Tuomas Puuronen	Vuosi	2025
Ohjaaja(t)	Janne Matilainen		
Toimeksiantaja	Lapin maakuntamuseo		
Työn nimi	Arkeologisen kohteen keilaaminen ja keilausaineiston käsittely		
Sivumäärä	47 + 55		

Opinnäytetyössä toteutettiin kahden pienipiirteisen arkeologisen kohteen laserkeilaus. Tavoitteenani oli löytää tapoja käsitellä keilausaineistoa siten, että sen piirteet ja muodot tulisivat mahdollisimman hyvin esille. Keilaukset suoritettiin kahdella erilaisella keilaimella. Työn tavoitteena oli, että vastaavanlaisia mittauksia suorittava henkilö saisi opinnäytetyöstä neuvoja tai ideoita.

Opinnäytetyössä esiteltiin laserkeilausta, pistepilviä ja esimerkkejä niiden sovel-luskohteista arkeologiassa. Myös käytetyt laitteet ja ohjelmistot käytiin lyhyesti läpi. Mittausten ja aineiston prosessoinnin käytännön työnkulku kuvailtiin yksityis-kohtaisesti. Lisäksi työssä vertailtiin kahden eri keilaimen mittauksia, aineiston laatua ja prosessointivaiheita keskenään. Työssä esiteltiin myös mitattavat ar-keologiset kohteet ja niiden merkitys historiallisessa kontekstissa.

Tuloksina saatiin kahdesta arkeologisesta kohteesta yhteensä neljä kolmiulot-teista mallia, joissa kohteiden piirteet korostuvat. Yksityiskohtaista kuvausta ai-neiston käsittelystä voidaan käyttää tulevaisuudessa avuksi samankaltaisten kohteiden prosessoinnissa. Työ myös tarjoaa ideoita arkeologisten kohteiden kei-laamiseen ja käsittelyyn.

Avainsanat laserkeilaus, pistepilvi, jatulintarha, arkeologia

Degree programme in Land Surveying
Engineering
Bachelor of Engineering

Author	Tuomas Puuronen	Year	2025
Supervisor(s)	Janne Matilainen		
Commissioned by	The Regional Museum of Lapland		
Title	Laser scanning of an archeological site and processing of the scan data		
Number of pages	47 + 55		

The objective of this thesis study was to offer help and possible ideas for people doing laser scanning at archeological sites.

A laser scanning of two archeological objects was completed for this thesis. The objects and their history were presented. Those objects are hard to perceive, so the goal was to laser scan them and process the scanning data to enhance the objects' details. The scanning was carried out using two different kinds of scanners. Laser scanning, point clouds and examples of ways to implement them in archeology were introduced in the study. Also, the used instruments and software were introduced briefly. A detailed workflow of scanning and postprocessing of the scan data was described. A comparison between two different kinds of laser scanners was made.

As a result, four different 3D models with enhanced details from two archeological objects were produced. The detailed description of the used workflow can be implemented in future scans of similar sites. The thesis can also offer new ideas and inspirations regarding the processing of comparable sites.

Keywords: laser scanning, point cloud, Troy Town, archeology

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	6
2	LASERKEILAUUS, PISTEPILVET JA NIIDEN KÄYTTÖ ARKEOLOGIASSA ...	8
2.1	Maalaserkeilauksesta	8
2.2	Mittaus ja rekisteröinti	8
2.3	Pistepilvistä.....	10
2.4	Maalaserkeilauksen soveltaminen arkeologiassa	10
3	KOHTEEN ESITTELY	12
3.1	Ulkomuoto	12
3.2	Historia ja ajoitus	12
3.3	Levintä	13
3.4	Käyttötarkoitukset	14
3.5	Savukosken jatulintarha.....	16
4	LAITTEISTO JA OHJELMISTO	18
4.1	Laitteisto	18
4.2	Ohjelmisto.....	19
5	MAASTOTYÖT	21
5.1	Mittaus SX10-keilaintakymetrillä	21
5.2	Ongelmat ja ratkaisut.....	21
6	REKISTERÖINNIN KORJAUS JA JÄLKIKÄSITTELY	23
6.1	Rekisteröinnin korjaus Trimble Realworks -sovelluksella	23
6.2	Aineiston jälkikäsitteily CloudCompare-sovelluksella	27
6.2.1	Pistepilven tuominen ohjelmaan ja värittäminen korkeuden mukaan	28
6.2.2	Pistepilven rajaaminen yhdenmukaiseksi	29
6.2.3	Pilven harventaminen ja Cloth Simulation Filter (CSF)-lisäosa ...	31
6.2.4	Normaalien luonti.....	35
6.2.5	Pistepilven muuttaminen 3D-malliksi PoissonRecon-lisäosalla ...	36
7	TRIMBLE SX10-KEILAINAKYMETRIN JA TRIMBLE X7-KEILAIMEN VERTAILU	40
8	POHDINTA.....	42

LÄHTEET.....	44
LIITTEET	48

1 JOHDANTO

Arkeologisissa tutkimuksissa käytetään nykypäivänä yhä enemmän maanmittausalalle tyypillisiä moderneja mittausvälineitä ja -menetelmiä. Yksi yleistyvistä menetelmistä on arkeologisen kohteen kolmiulotteinen mallinnus erilaisia keilaukseen suunniteltuja laserkeilaimia käyttäen eli laserkeilaus (Siebkea ym. 2018).

Vuosituhanneen vaihteesta asti arkeologiassa on lisääntyvässä määrin käytetty hyväksi keilausta sekä siitä tuotettua aineistoa. Keilaus mittaustapana arkeologian kontekstissa voidaan jakaa hyvin karkeasti kahteen osaan; ilmasta tehtävään keilaukseen joko lentokoneella tai miehittämättömällä lentoaluksella tai maanpinnalla suoritettavaan keilaukseen. Jälkimmäisessä tapauksessa mittauslaitteena toimivat erilaiset maalaserkeilaimet.

Arkeologian kontekstissa ilmasta suoritettavan keilauksen käyttötarkoituksiin voivat kuulua muun muassa erilaisten kohteiden kartoitukset, jotka kattavat laajan maantieteellisen alueen (Johnson & Quimet 2014). Kerätystä aineistosta voidaan sen jälkeen esimerkiksi automatisoidun konenäön avulla etsiä kohteelle tyypillisiä ominaisuuksia (Ikäheimo & Seitsonen 2021).

Maalaserkeilauksen käyttötarkoituksia voivat olla muun muassa kohteen keilaus ja dokumentointi ilman siihen kajoamista sekä kohteesta muodostettavan piste-pilven kolmiulotteinen käsittely ja tarkastelu (Hakonen, Kuusela & Okkonen 2015a; Siebkea ym. 2018b). Samankaltaisia ominaisuuksia voidaan hyödyntää myös ilmalaserkeilauksessa. Maalaserkeilausta käytetään usein, kun tarvitaan tarkempaa ja yksityiskohtaisempaa mallintamista, erityisesti pienemmän mitta-kaavan kohteissa. Maasta tehtävää keilausta hyödynnetään myös, kun halutaan saada tarkkoja mittauksia lähellä maanpintaa olevista rakenteista ja yksityiskohdista.

Opinnäytetyössäni keilaan ja käsittelen kaksi Savukoskella sijaitsevaa arkeologista kohdetta. Kohteet ja niiden piirteet ovat paljaalla silmällä vaikeasti havaittavissa, joten tavoitteenani on mitata ne ja käsitellä mittausdataa niin, että niiden

pienikokoisetkin piirteet tulisivat mahdollisimman hyvin esille. Suoritan mittauksen Trimble SX10 -hybriditakymetrillä ja aineiston rekisteröinnissä käytän Trimble Realworks -sovellusta. Aineiston varsinaisen prosessoinnin toteutan pistepilvien käsittelyyn erikoistuneella CloudCompare -ohjelmalla. Työssäni käyn yksityiskohteisesti läpi suorittamani mittaukset sekä mittausaineiston jälkikäsittelyn työnkulun. Mittaamani aineiston lisäksi käsitelen Lapin maakuntamuseon arkeologin Trimble X7 -keilaimella keilaamaa aineistoa samoista kohteista. Vertaan tämän laitteen mittausprosessia ja aineiston käsittelemistä hybridikeilaimella mitattuun aineistoon. Tutkimuskysymykseni ovat

- **”Miten keilata ja käsitellä pienipiirteinen arkeologinen kohde, jotta sen yksityiskohdat tulisivat mahdollisimman hyvin esille?”**
- **”Miten kahden eri keilaimen mittausprosessi ja aineiston käsittely eroavat toisistaan arkeologisen kohteen dokumentoinnissa?”**

Kerron myös työssä kohtaamistani haasteista ja miten niitä voi välttää tulevaisuuden mittauksissa.

2 LASERKEILAUS, PISTEPILVET JA NIIDEN KÄYTTÖ ARKEOLOGIASSA

2.1 Maalaserkeilauksesta

Laserkeilain on mittausväline, jonka avulla saadaan tarkkoja kolmiulotteisia malleja halutusta kohteesta tai alueesta. Esimerkkejä laserkeilauksen tyypillisistä käyttökohteista ovat kaupunkiympäristön mallintaminen, geologisten kohteiden muodonmuutoksen seuranta, massojen laskenta tai rikospaikkojen analysointi (Hu ym. 2021, 3).

Laserkeilain lähettää kohteeseen laserpulsseja. Kun pulssit palaavat kohteen pinnalta takaisin keilaimen, laskee keilain keilattavan kohteen etäisyyden perustuen pulssin kulkuaikaan tai vaihe-eroon. Kun keilain on asetettu pisteelle, jonka sijainti on tiedossa, voidaan laskea keilattavan kohteen sijainti. Pisteitä kerätään tällä tavalla mahdollisesti miljoonia, jonka seurauksena saadaan muodostettua tiheä pistepilvi. Tätä pistepilveä voidaan jälkikäteen muokata ja se voidaan muuntaa esimerkiksi 3D-malliksi.

Koordinaattien lisäksi keilain kerää pisteistä niiden intensiteettiä, joka kuvaa pulssin palautusvoimakkuutta (Laurila 2012, 273). Merkittävin vaikutus intensiteettiin on kohteen etäisyydellä keilaimesta. Toinen tärkeä tekijä on pulssin ja objektin pinnan välinen tulokulma (Kaasalainen, Kukko, Hyypä 2011, 160.) Myös kohteen pinnan heijastavuus vaikuttaa palautusvoimakkuuteen, monien muiden tekijöiden ohella. (Viel-Sanchiz, Bretagne, Mouaddib & Dassonville 2021, 9)

Tavanomainen laserkeilain kykenee ainoastaan kohteen keilaamiseen ja pistepilven muodostamiseen. Näiden lisäksi markkinoilla on keilaintakymetrejä, jotka pystyvät keilaamisen lisäksi myös asemoimaan itsensä koordinaatistoon ja muutoinkin toimimaan kuin takymetri.

2.2 Mittaus ja rekisteröinti

Maalaserkeilauksen työnkulku riippuu siitä, halutaanko mittaus tehdä paikalliseen vai valtakunnalliseen koordinaatistoon. Jälkimmäisessä mittausdata voidaan

suoraan sovittaa esimerkiksi Maanmittauslaitoksen paikkatietoaineiston päälle, mikä voi helpottaa kohteen sijainnin ja ominaisuuksien hahmottamista. Mikäli keilatut kohteet halutaan mitata valtakunnalliseen koordinaatistoon, on mittausalueelle useimmiten rakennettava mittausperusta, jos siellä ei sellaista vielä ole. Tämän voin toteuttaa esimerkiksi RTK-GNSS -mittauksin, jolla maastoon luodaan tarpeeksi monta liitospistettä ja keilain asemoidaan näille. Asemoinnilla tarkoitetaan kojeen pystyttämistä, tasaamista ja asettamista haluttuun koordinaatistoon liitospisteiden avulla. Liitospisteet merkitään maastoon erilaisilla tähyksillä.

Liitospisteiden lisäksi pystytetään mittausalueelle tähyksiä pistepilven myöhempiä rekisteröintiä varten. Näihin tähyksiin viitataan ”apupisteiden tähyksillä”. Rekisteröinnillä tarkoitetaan useammalta eri keilausasemilta keilattujen pistepilvien sommittelua referenssipistepilven kohdalle. Tämän jälkeen pistepilvet voidaan yhdistää yhdeksi kokonaisuudeksi. Lopputuloksena on yksi laaja pistepilvi, joka sisältää kaikki kohteesta keilatut pilvet ja on laadullisesti hyvätasoinen. Pistepilvistä kerron lyhyesti luvussa 2.2. Apupisteiden tähyksiä mittausalueelle asentessa on hyvä ottaa huomioon, että ne ovat jakaantuneet tasaisesti laajalle alueelle ja että ne sijaitsevat toisistaan eri korkeuksilla (Becerik-Gerber ym. 2011, 650). On myös tärkeää, että jokaiselta keilausasemalta olisi näköyhteys ainakin parille tähykselle. Apupisteiden tähykset voivat olla mm. paperisia tähyksiä, liimattavia tarratähyksiä tai pallomaisia 360-tähyksiä.

Modernit ohjelmistot mahdollistavat myös tarkan tähyksettömän rekisteröinnin. Tätä menetelmää kutsutaan eri nimillä sovelluksesta riippuen toimintaperiaatteen mukaan. Esimerkiksi Realworksissa toiminto on nimellä ”Cloud-Based Registration”, kun taas CloudCompare käyttää ”ICP (iterative-closest-point)” -menetelmää. Näitä käyttäen apupisteiden tähyksiä ei tarvitse pystyttää ollenkaan, vaan keilain pyrkii rekisteröimään eri pistepilvet tunnistamalla kummassakin pilvessä esiintyviä samankaltaisia kohteita ja muotoja (Pan 2019, 1). Tätä varten pistepilvien välillä on oltava huomattavaa peittoa, eli pistepilvien on mentävä tietyn verran toistensa päälle. Työssä käsitellään tutkittavan kohteen työkulkua yksityiskohtaisemmin myöhemmässä kappaleessa.

2.3 Pistepilvistä

Pistepilvi on kokoelma pisteitä, joiden sijaintitieto on tiedossa. Näin fyysisen maailman pinnat ja kohteet saadaan kerättyä digitaaliseen muotoon, mikä mahdollistaa niiden tarkastelun, luokittelun ja muokkaamisen pistepilvien käsittelyyn tarkoitettuilla ohjelmistoilla. Tyypillisin tapa hankkia pistepilviä on joko ilmasta tai maasta tehtävä laserkeilaus. Pistepilviaineistoja voidaan käyttää erikokoisten kohteiden mallintamiseen, pienestä kappaleesta suuriin kaupunkiympäristöihin. Tässä työssä pistepilvien hankinta tapahtuu Trimble SX10 -keilaintakymetrillä ja Trimble X7 -keilaimella. Tavoitteena on keilata kaksi pienipiirteistä, jatulintarhoiksi epäiltyä kohdetta ja prosessoida pistepilviä niin, että kohteiden piirteet tulisivat mahdollisimman hyvin näkyville. Mittausprosessista kerrotaan tarkemmin luvussa 5.

2.4 Maalaserkeilauksen soveltaminen arkeologiassa

2000-luvulle tultaessa keilausta ja siitä tuotettua pistepilviaineistoa on käytetty lisääntyvässä määrin hyväksi arkeologiassa. Laserkeilausta voidaan toteuttaa ilmasta, käyttäen esimerkiksi miehittämättömiä lentoaluksia tai lentokoneita. Tässä työssä käsittelen kuitenkin yksinomaan maalaserkeilauksen käyttötarkoituksia arkeologiassa.

Arkeologian kontekstissa maalaserkeilausta käytetään monenlaisissa kohteissa. Tällaisia käyttökohteita ovat muun muassa 3D-mallin muodostaminen freskoista ja maalauksista, veistoksista, patsaista, rintakuvista ja naamioista, kalliopiirroksista ja kivikaiverruksista tai pääkalloista, hampaista ja luista (Bathow & Breuckman).

Laajojen alueiden dokumentoinnissa voidaan niin ikään käyttää keilausta. Näitä ovat esimerkiksi kulttuurisesti merkittävät kohteet, kuten temppelit tai vaikkapa veden alla sijaitsevat, Rooman valtakunnan aikaiset rakennelmat (Ratayake, Rahringer & Drewello 2018; Petriaggi & Gomez De Ayala 2015). Myös luolat ovat tyypillisiä keilauksen käyttökohteita. Näiden dokumentoinnissa keilauksesta muodostetun pistepilven avulla saadaan luolan pinnat tarkasti kartoitettua ja tätä

dataa voidaan myöhemmin käsitellä pistepilviin erikoistuneilla sovelluksilla (Pradhan & Oludare Idrees 2016).

Keilaus mahdollistaa arkeologisen kohteen näkyvillä olevien yksityiskohtien mallintamisen ilman kohteeseen kajoamista ja kohteen säilymiseen ennallaan jatkotutkimuksia varten (Siebke ym. 2018). Kerättyä aineistoa voidaan käyttää myös kohteen yksityiskohtien, kokonaisuuksien ja kuvioiden hahmottamiseen tehokkaammin, mitä paljaalla silmällä olisi mahdollista (Hakonen, Kuusela, Okkonen 2015b). Myös paikan kokemaa eroosiota voidaan havainnoida suorittamalla keilauksia pidemmän aikavälin ajalta. Seurantamittauksia voidaan toteuttaa myös kulttuurillisesti arvokkaissa kohteissa (Markiewicz ym. 2019). Tämän perusteella voidaan pohtia, onko kohteelle olemassa potentiaalista riskiä sen vahingoittumiseen tai jopa kokonaan tuhoutumiseen (Kincey, Gerrard & Warburton 2017).

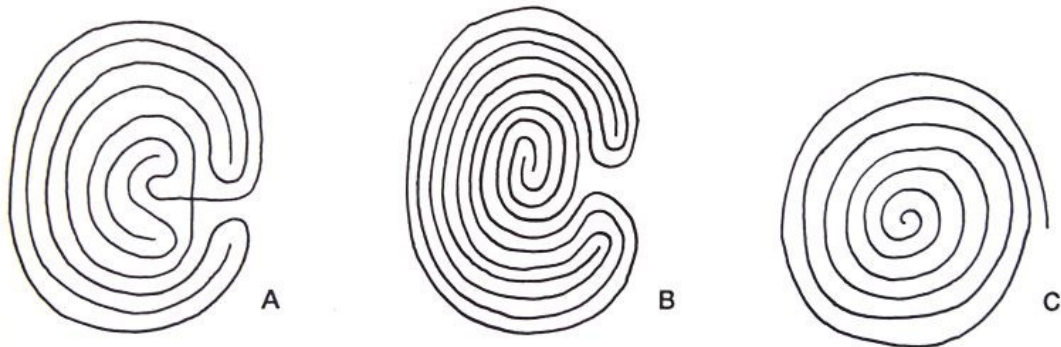
Keilauksen hyviä puolia muihin dokumentointimenetelmiin arkeologiassa ovat kerätyn kohteen datan korkea tarkkuus, keilaamisen nopeus ottaen huomioon kuinka paljon dataa kerätään ja aikaisemmin mainittu kohteen säilyminen jatkotutkimuksia varten. Eräs tutkimus arvioi, että laserkeilaaminen voisi säästää 25-30% aikaa kulttuuriperinnön tallentamisessa ja dokumentoinnissa. (Liu, Wilkens & Gentry 2023, 509).

Menetelmän huonoja puolia ovat taas käytettävän laitteiston ja ohjelmiston hinta, joka voi helposti mennä kymmeneen tuhansiin euroihin. Laitteiston oikeaoppinen käyttö, aineiston prosessointi ja sen paikkansapitävyyden arvioiminen vaativat myös asiaan perehtyneen ammattilaisen (Liu, Wilkens & Gentry 2023, 509). Myös itse keilaaminen voi olla aikaa vievää. Esimerkiksi tässä työssä yhden, vähän alle 5 metriä halkaisijaltaan olevan kohteen mittaaminen neljältä eri asemasteeltä vei Trimble SX10:n keilaintakymetrillä aikaa noin 5 tuntia. Toisaalta mittauksen kesto on riippuvainen pistepilven pistetiheydestä, mikä oli tässä tapauksessa suurin mahdollinen mihin keilain pystyi. Myös mitattavan alueen laajuus vaikuttaa keilauksen kestoan.

3 KOHTEEN ESITTELY

3.1 Ulkomuoto

Jatulintarha on labyrintin kaltainen rakennelma, joka on tavanomaisesti muodostettu kivistä. Pietiläinen (1999a, 3) kertoo jatulintarhoja olevan kolmea erilaista tyyppiä. Monet ja vanhimmat jatulintarhoista ovat ristikeskustaisia, joissa jatulini keskellä on näkyvässä eräänlainen risti. Toinen versio on eräänlainen munuainenmallinen spiraali, kun taas kolmas ja kaikista yksinkertaisin on pelkkä spiraali. (kuvio 1)



Kuvio 1. Erilaiset jatulintarhojen tyypit. (Arkeologisen kulttuuriperinnön opas 2020a)

Tarhat muodostuvat tyypillisesti 10–50 cm kokoisista kivistä (Ridderstad 2013a, 11). Lämpimiltään ne ovat keskimääräisesti 8–11 metriä. Suurimmat ovat reilut 24 metriä halkaisijaltaan, kun taas pienimmät 5,5 metriä (Arkeologisen kulttuuriperinnön opas 2020b).

3.2 Historia ja ajoitus

Jatulien luomisaikaa on vaikea saada selville. Niiden likimääräistä ikää on pyritty saamaan selville erilaisin luonnontieteellisin menetelmin, mm. jäkälän kasvunopeuden ja kiviaineksen rapautumisen avulla. Joidenkin Ruotsissa sijaitsevien tarhojen luontiaika olisi tämän perusteella 1450–1850 -luvulla, kun taas jotkin Ahvenanmaan tarhoista sijoittuisivat rautakaudelle asti (Arkeologisen kulttuuriperinnön opas 2020c). Kuusela, Mustonen ja Pohjoismäki (2023, 37-38) ovatkin todenneet Westerdahliin (2014a) viitaten, että jatulintarhoille tyypillinen kuvio olisi

levinnyt pohjoismaihin keskiaikaisesta Keski-Euroopan katolilaisuudesta. Perustuen Kuuselan, Nurmen ja Hakamäen tutkimukseen (2018), he myös jatkavat leviämisen todennäköisesti tapahtuneen samalle ajanjaksolle ajoittuvan kaupp- ja vuorovaikutusverkoston kautta.

3.3 Levintä

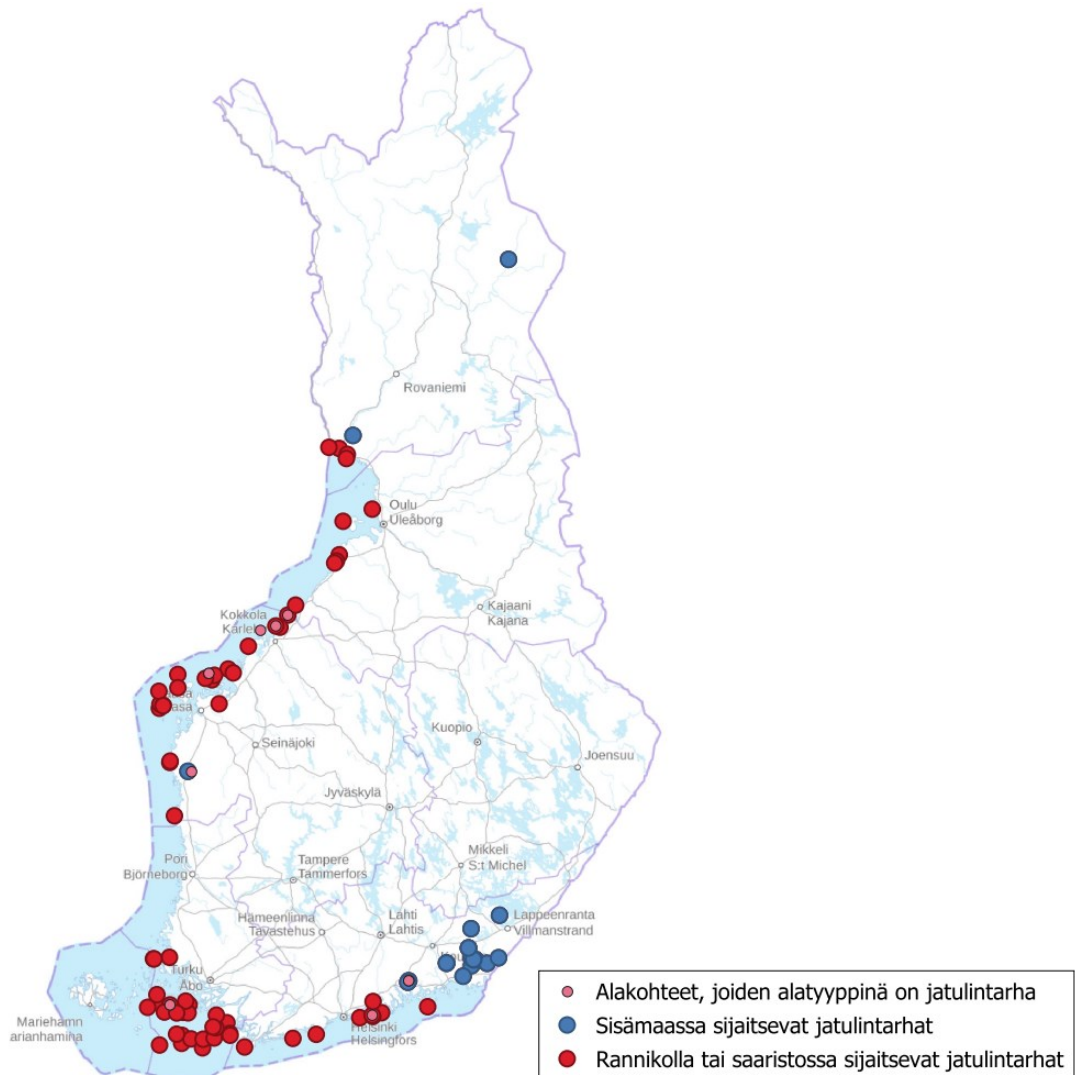
Kivistä tehtyjä jatulintarhoja on löydetty pääosin Itämeren ja sen likellä olevien merten rannikoilta Ruotsista, Suomesta, Norjasta, Islannista, Virossa, Saksasta ja Venäjältä. Viitaten Ringbomin (1938) ja Kernin (1982) tutkimuksiin, toteaa Ridderstad (2013b, 11) Tanskassa, Saksassa ja Brittein saarille esiintyvän myös turpeesta tehtyjä tarhoja.

Jatulintarhoja vastaavien kivilabyrinttien lukumäärä voi olla havaittua suurempi, mutta valtaosa niistä on jo tuhoutunut ja jäljellä ovat Pohjois-Euroopan harvaan asutuilla seuduilla sijaitsevat kohteet. Ristikeskustaisia kivilabyrinttejä on löydetty myös muualta maailmasta, kuten Intiasta. Itse kuvio esiintyy tavanomaisen labyrinttikuvion lailla ympäri maailmaa (Ridderstad 2013c, 11).

Kuviota esiintyy myös keskiaikaisissa kirkoissa ympäri pohjoismaita. Näitä ovat esimerkiksi Pernajan Pyhän Mikaelin kirkko, Seljordin kirkko Norjan Telemarkissa ja Horredin kirkko Ruotsissa, Horredin kylässä Göteborgin lähellä. (Stigell 1974, Pietiläisen 1999b mukaan.)

Suomessa jatulintarhoja on noin 200 (Arkeologisen kulttuuriperinnön opas 2020d), joista kulttuuriympäristörekisterissä jatulintarhoiksi on merkitty 88 ja arkeologisten kohteiden alakohteiksi 11 (Museovirasto). Arkeologisten kohteiden alakohteet ovat olla esimerkiksi kohteita jonkin muinaisjäännöksen sisällä (Museovirasto). Ruotsissa tarhoja on löydetty ainakin 300 kappaletta, Virossa noin 10 (Westerdahl 2014b).

Tarhat sijaitsevat yleensä rannikolla ja saaristossa. Sisämaassa jatuleita on tavattu huomattavasti vähemmän, ja ne keskittyvät erityisesti järvien läheisyyteen. (Kuusela, Mustonen & Pohjoismäki 2023, 32). Kuviossa 2 on kartta jatulintarhojen sijainnista Suomessa.



Kuvio 2. Jatulintarhojen sijainnit Suomessa. Pohjakarttana on Maanmittauslaitoksen taustakartta. Jatulintarhojen sijainti on Museoviraston kulttuuriympäristöaineistosta.

3.4 Käyttötarkoitukset

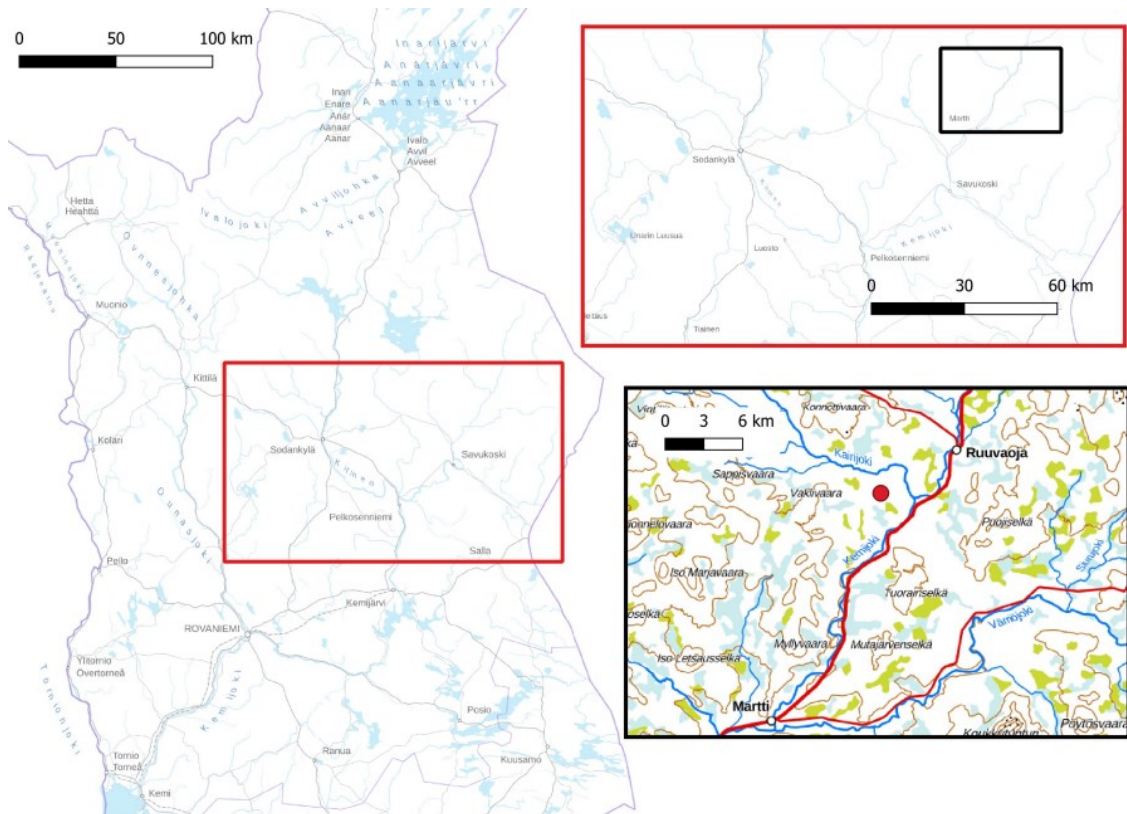
Westerdahlin mukaan suurin osa hänen tutkimistaan Ruotsin Norlannin rannikkoalueen jatuleista ovat joillain tavoin liitoksissa laivojen uppoamisen, hukkuneiden merimiesten ja muiden merenkulun onnettomuuksien kertomuksiin. Rannikolla sijaitsevien jatulien on myös arveltu olevan kalastajien ja merimiesten luo-

mia teoksia, jotka lisäisivät heidän kalansaaliita ja soisivat heille hyvän sään merenkulkuun. (Westerdahl 2014c, 12–13.) Tämä viittaisi, että jatuleita on rakennettu paikoille, jotka ovat olleet vaarallisia ja joissa kuolema olisi lähellä (Westerdahl 2012, 2014, 2015, Kuusela, Mustonen, Pohjoismäki 2023 mukaan).

Petteri Pietiläinen on 1999 vuonna julkaistussa pro gradu -työssään tutkinut sisämaassa sijaitsevien Etelä-Karjalan jatulintarhojen merkitystä näkyvyysanalyysin perusteella. Tämän mukaan tutkimuksen jatulintarhat sijaitsevat paikoilla, joissa näkyvyysalue sijoittuu selvästi yhteen suuntaan ja muiden lähellä olevien jatuleiden katvealueelle (Pietiläinen 1999c). Tämän perusteella hän on muodostanut johtopäätöksen, että jatulilta katsottaessa tiettyyn suuntaan näkymä osoittaa visuaalisesti tarhan tekijän omistusoikeuden näkyvälle alueelle. Hän myös mainitsee, kuinka tarhat sijaitsevat tyypillisesti alueilla, joiden omistusta on vaikea osoittaa ja jotka sijaitsevat kaukana vakinaisesta asutuksesta. Tämä vielä erikseen viittaisi siihen, että tarhat olisivat tapa merkitä omistusoikeutta alueeseen rituaalisin keinoin. (Pietiläinen 1999d, Kuusela, Mustonen, Pohjoismäki 2023, 38 mukaan).

Jari-Matti Kuusela toteaaakin 1/2024 Tiedetoimittaja-lehteen tekemässä haastattelussa, että erilaiset ryhmät ovat käyttäneetkin jatulintarhoja eri tarkoitukseen. Täten jatulintarhoilla ei olisi vain yhtä merkitystä. (Niemi 2024).

3.5 Savukosken jatulintarha



Kuvio 3. Kohteen sijainti. Tausta- ja maastokartan lähteenä on Maanmittauslaitos.

Savukoskella sijaitseva jatulintarha on halkaisijaltaan noin 5 metriä, mikä tekee siitä varsin pienikokoisen verrattuna muihin löydettyihin jatulintarhoihin. Toisin kuin muut löydetyt jatulit, on Savukosken kohde uurrettu maahan ja poistettu maa-aines pinottu uurteiden päälle. Jatulin on arvioitu olevan ristikeskustaista tyyppiä. Kuten aikaisemmin totesin, jatulintarhat sijaitsevat perinteisesti rannikolla tai sisämaassa järvien ympäristössä. Tämän tarhan välittömässä läheisyydessä ei ole vesistöjä, tosin noin 3 kilometrin päästä kohteesta sijaitsee Kemijoki ja reilun 2 kilometrin päässä Kemijokeen laskeva Kairijoki (kuvio 3). Tämä herättää kysymyksen, että mistä Savukosken jatulintarhan tekijät olisivat alueelle tulleet ja saaneet idean jatulintarhan luomisesta. Kuusela, Mustonen ja Pohjoismäki esittävät Muinaistutkijan numerossa 1/2023 julkaistussa artikkelissaan "Lapin ensimmäinen sisämaan jatulintarha", että "työhypoteesina voidaankin pitää joko

idästä, Kuolan niemimaan ja Akkalan saamelaisalueen suunnasta tulleita vaikutteita tai Kemijoen kautta yhdistyvää läntistä suuntaa" (Kuusela, Mustonen & Pohjoismäki 2023a, 32–39).

Kohdetta ei voida tarkasti ajoittaa, mutta sen epäillään sijoittuneen muiden jatulintarhojen lailla aina keskiajalta 1800-luvulle. Myös kohteen tarkoitus on epäselvä. Aikaisemmin lainaamassani artikkelissa todetaan tarhan sijaitsevan kalmistoille tai haudoille poikkeavassa paikassa sekä sen sijaitsevan melko tavanomaisessa ympäristössä, joten se tuskin merkitsee alueen omistusoikeutta tai sen rajaa (Kuusela, Mustonen & Pohjoismäki 2023b, 36–38). Myöhempien maastotöiden aikana löytyi alueelta useita muitakin jatulintarhoja muistuttavia kohteita.

4 LAITTEISTO JA OHJELMISTO

4.1 Laitteisto

Aineiston kerääminen toteutettiin kahdella eri keilaimella. Rovaniemen maakuntamuseolla oli käytössä Trimble X7-keilain, kun taas itse toteutin mittauksen Lapin ammattikorkean Trimble SX10-keilaintakymetrillä. Keilaintakymetrillä on mahdollista suorittaa sekä takymetrimittauksia että alueen laserkeilauksia. Keilaintakymetrin ohella käytin Trimble R8-satelliittipaikanninta kiintopisteiden merkitsemiseen, joihin asemoin laitteen aina jokaisella keilausasemalla. Tällöin jokaiselta asemapisteeeltä mitattu aineisto saadaan rekisteröityä yhteiseen koordinaatistoon. Satelliittipaikantimen käyttö myös mahdollistaa mittausperustan luomisen haluttuun karttakoordinaatistoon. Kummatkin keilaimet sekä satelliittipaikannin sisältävät maastotietokoneen, jota kautta laitteen ohjaus suoritetaan.

Taulukko 1. Laitteiden skannausnopeus ja -tarkkuus. X7:n ”High Sensitivity” -asetus keilaa vain 166 000 pistettä sekunnissa, mutta kykenee taltioimaan kohteita pitemmältä matkalta (Trimble 2023; Trimble 2020, 37; Trimble 2017)

	Trimble SX10-keilaintakymetri	Trimble X7-laserkeilain
Skannausnopeus (korkeintaan)	26,6 kHz	500 kHz
Skannaustarkkuus 50 metriin (eri tarkkuusasetuksilla, tarkimmasta epätarkimpaan, arvo on väli kahden eri pisteen välillä)	6,25 mm / 12,5 mm / 25 mm / 50 mm	Standard: 18 mm / 26 mm / 57 mm High Sensitivity: 19 mm / 30 mm / 40 mm

Trimble X7-keilain soveltuu kohteiden keilaamiseen 0,6 metristä aina 80 metriin asti. Opinnäytetyössä keilatut kohteet olivat korkeintaan noin 6 metriä leveitä, joten laite sopi hyvin niiden mittaamiseen. Laite pystyy skannaamaan parhaimmillaan 500 000 pistettä sekunnissa (Trimble 2023).

Keilain sisältää sisäisen inertiajärjestelmän. Tämän avulla laite pyrkii rekisteröimään mitatut pistepilvet ns. lennosta, eli mittaja pystyy tarkastamaan heti mit-

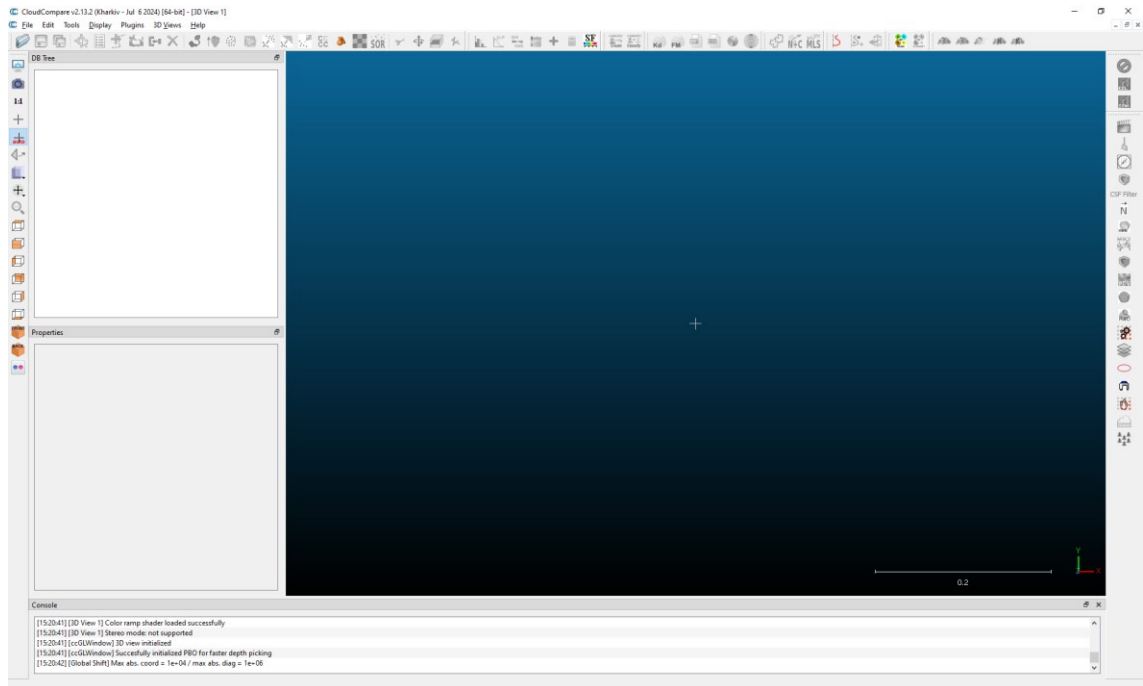
tauksen jälkeen pistepilvien laadun ja peiton. Ominaisuuden ansiosta mittauksessa ei myöskään välttämättä tarvita erillisiä apupisteiden tähyksiä, joihin pistepilvet pitäisi rekisteröidä jälkikäteen tietokoneella. Keilain kykenee myös tasamaan itsensä automaattisesti, edellyttäen että laitteen käyttäjä on jo suurin piirtein tasannut laitteen. Keilain käyttää maastotietokoneeseen asennettua Trimble Perspective -sovellusta datan esittämiseen ja käsittelemiseen. Tämän työn kohteen mittauksessa keilainta ei asemoitu tunnettuun koordinaatistoon, eli minkäänlaisia liitospisteitä ei ollut tarpeen pystyttää.

Trimble SX10:n kantama on X7:ään verrattuna huomattavasti pidempi, noin 600 metriä. Skannausnopeus SX10:ssä on 26 600 pistettä sekunnissa, mikä taas on huomattavasti vähemmän kuin X7:ssä. (Trimble 2017) Tämän eron huomasi myöskin käytännön mittausta suorittaessa. Toinen huomionarvoinen seikka on keilaimen pitkänmatkan tarkkuus. Tämä on tärkeää, mikäli mitattava kohde sijaitsee kaukana. Näitä kahta keilainta vertaillaan tarkemmin työssä myöhemmin. Keilaimen käyttöliittymänä toimii maastotietokoneeseen asennettu Trimble Access -ohjelmisto. SX10 myös mahdollistaa asemoinnissa käytettyjen liitospisteiden käytön suoraan rekisteröinnin apupisteinä, jolloin erillisiä apupisteiden tähyksiä ei ole tarpeellista pystyttää.

4.2 Ohjelmisto

CloudCompare (kuvio 4) on avoimen lähdekoodin kolmiulotteisten pistepilvien muokkaus- ja prosessointisovellus. Kun lähdekoodi on avoin, on jokaisella oikeus tutkia ja muokata sitä. Tämä avoimuus mahdollistaa lähdekoodin muokkauksen suuressa ryhmässä, jossa jokainen jäsen voi jakaa omia ideoitaan ja tehdä yhteistyötä muiden kanssa (Bradson 2015, 13). Ohjelman on alun perin luonut vuonna 2004 ranskalainen Daniel Girardeau-Montaut osana maisterintutkintoaan (Girardeau-Montaut). Se on kehitetty C++ ohjelmointikielellä. Ohjelma on yhteensopiva 32- ja 64-bittisille Windowsin, Linuxin ja Mac OS:n käyttöjärjestelmille.

CloudCompare tarjoaa monipuolisen kasan erilaisia ominaisuuksia pistepilvien käsittelyyn. Näihin kuuluvat pistepilvien rekisteröinti, leikkaus, väritys eri arvojen mukaan (mm. intensiteetti ja korkeusarvo), pistepilven muuntaminen kolmiulotteiseksi malliksi ja erilaiset pilven tilastointityökalut. Ohjelma tukee useiden eri tiedostomuotojen tuomista sen sisään. Muutamia yleisempiä sovelluksen tuemia tiedostomuotoja ovat .las, .e57, .ptx ja .dxf (CloudCompareWiki 2024a).



Kuvio 4. CloudCompare-ohjelman aloitussivu

Käytin työssäni CloudComparen ohella **Trimblen Realworks** -ohjelmaa. Kuten CloudCompare, on tämäkin sovellus luotu pistepilvien hallitsemiseen ja analysoimiseen. Sovellus on kaupallinen, suljetun lähdekoodin ohjelmisto. Sen koodia ei pääse tarkastelemaan ja muokkaamaan kuin tietyt tahot.

Ohjelma soveltuu Trimblen takymetreillä, keilaimilla ja keilaintakymetreillä tuotettujen pisteiden ja pistepilvien käsittelyyn. Työssäni käytin sovellusta lähinnä pistepilvien rekisteröinnin korjaamiseen ja pilvien rajaamiseen.

5 MAASTOTYÖT

5.1 Mittaus SX10-keilaintakymetrillä

Mittausalue sijaitsee Savukosken kunnassa, Martin kylästä noin 20 kilometriä linnuntietä koilliseen. Kohteille risteää hieman ennen Marttia metsäautotie, jota kuljetaan hieman alle 34 kilometriä. Kohteet sijaitsevat reilut 100 metriä metsäautotieltä sivussa.

Aloitin mittauksen luomalla ensin maastoon mittausperustaksi liitospisteverkoston Trimble R8 -satelliittipaikantimella. Liitospisteet merkitsin maastoon merkintänauloilla. Pystyitin keilaintakymetrin paikalle, josta oli keilattavalle kohteelle hyvä näkyvyys. Asemoin laitteen aikaisemmin pystyttämille liitospisteille. Tämän jälkeen olin valmis aloittamaan keilauksen. Keilauksen skannaustarkkuutena käytin "Superfine"-tarkkuutta. Tämä tarkkuusasetus luo pistepilven, jonka pisteiden väli on teoriassa 10 m:n mittausetäisyydellä 1 mm (Lachat, Landes & Grusenmeyer 2017, 7). Mitattava alue rajattiin silmämääräisesti maastotietokoneella. Keilaus toistettiin kolmelta muulta keilausasemalta. Tärkeää oli, että kohde saatiin keilattua mahdollisimman monesta eri näkökulmasta. Keilauksen kesto oli noin tunti yhtä asemaa kohden ja skannausetäisyys mitattavaan kohteeseen oli noin 4 metriä jokaisella asemalla. Toteutin samat askeleet myös toiselle keilattavalle kohteelle.

5.2 Ongelmat ja ratkaisut

Mittauksen aikana ja aineiston jälkikäsitelyssä kohtasin muutamia haasteita. Maastossa käyttämäni merkintänaulat eivät sovellu kangasmaiseen metsämaastoon, jolla kohde sijaitti. Naulat uppoavat herkästi maahan, joka aiheuttaa virhettä usealta eri asemalta mitattaessa. Seurauksena jokaisen aseman pistepilvi on hieman eri paikassa toisiinsa nähden. Tämän korjaaminen onnistuu luontevasti aineiston jälkikäsitelyssä. Tulevaisuuden mittauksissa voin yhä käyttää merkintänauloja keilaintakymetrin asemoimiseen. Tällöin voin merkitä uudet lii-

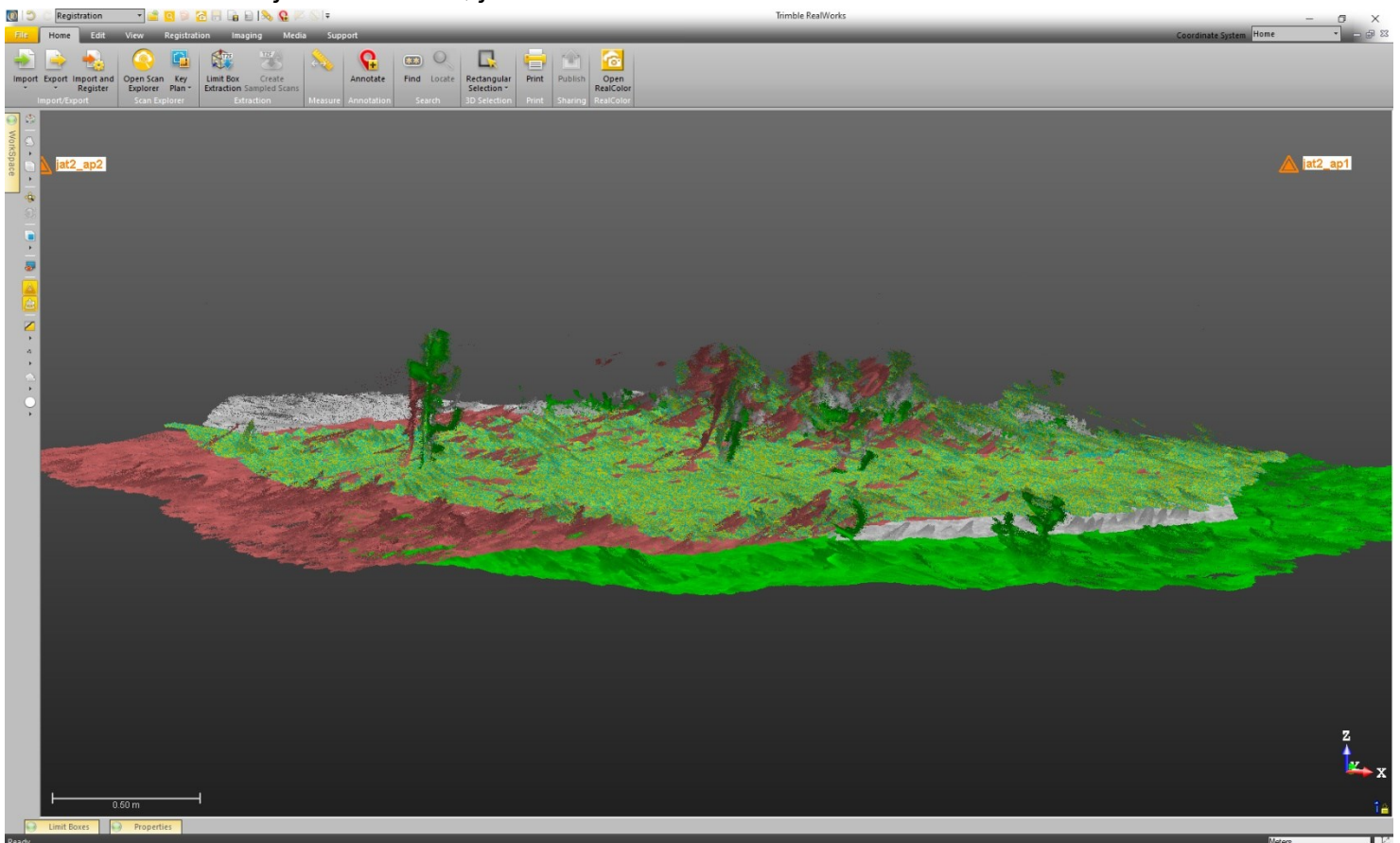
tospisteet esimerkiksi puihin kiinnitettävillä tarratähyksillä, joihin asemoin keilain-takymetrin aina uudella asemalla. Lopputuloksena pistepilvien rekisteröinnin laatu olisi huomattavasti parempi ja tarvetta sen korjaukseen jälkikäteen ei välttämättä olisi.

Toinen kohtaamani ongelma oli keilauksen rajaaminen maastossa. Koska koh-teen äärirajat ovat paljaalla silmällä vaikeasti hahmotettavissa, oli koko kohteen saaminen mukaan keilaukseen haastavaa. Laitteella on mahdollista toteuttaa 360°-näkyvän keilaus. Tämä taas olisi saanut yksittäisen aseman keilauksen kestämään useamman tunnin. Vaihtoehtoiksi jäisi keilaaminen heikommalla laa-dulla tai varaamalla huomattavasti enemmän aikaa maastotöihin. Kerron tästä vielä lisää kappaleessa 7.

6 REKISTERÖINNIN KORJAUS JA JÄLKIKÄSITTELY

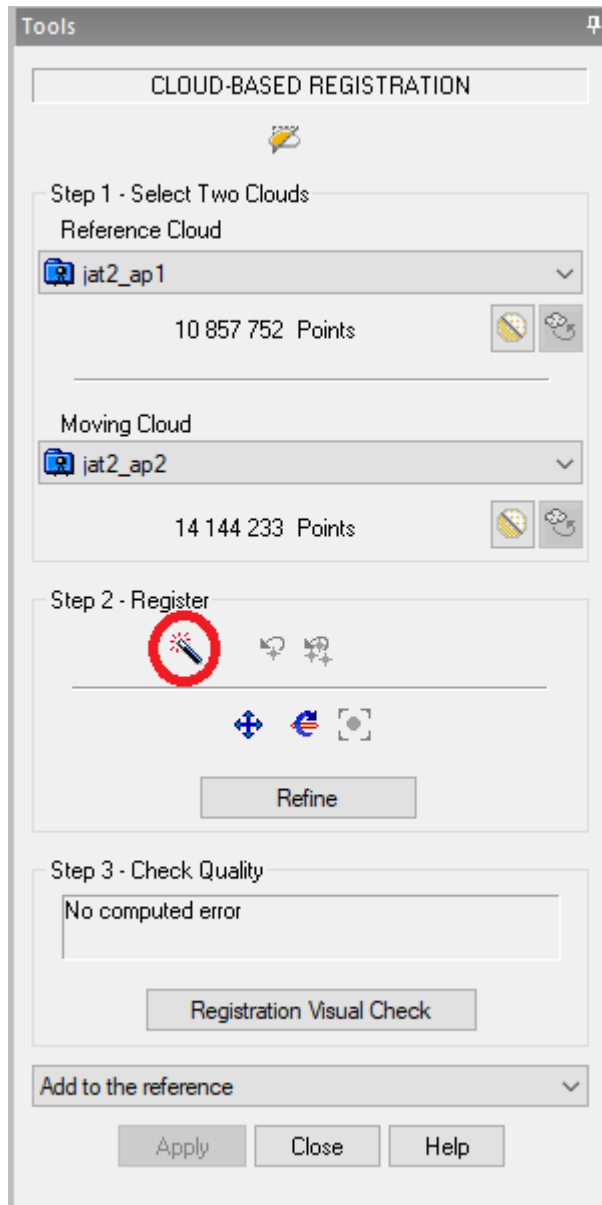
6.1 Rekisteröinnin korjaus Trimble Realworks -sovelluksella

Kuten aikaisemmassa luvussa mainitsin, oli minun korjattava pistepilven rekisteröinti aineiston jälkikäsitellyssä. Seuraavaksi käyn läpi yhden keilatun jatulintarhan rekisteröinnin askel askeleelta. Keilasin SX10 -keilaimella kaksi jatulia, joista toisen rekisteröinti noudatti manuaalista rekisteröintiä lukuun ottamatta samaa työkulkua. Tämä johtui automaattisen rekisteröinnin hyvästä laadusta tämän kohteen keilauksen kohdalla. Maakuntamuseon arkeologin keilaama aineiston rekisteröinti oli myös muuttunut ulkoiselle kiintolevyille siirtäessä, joten toistin automaattisen rekisteröinnin myös tälle datalle. Tässä kappaleessa käyn läpi Trimble SX10:llä keilatun toisen jatulin rekisteröinnin vaiheet. Kuvankaappaukset toisesta SX10:llä keilatusta kohteesta löytyvät työn lopusta ”Liitteet” -osiosta. Myös X7:llä keilatun ja käsitellyn aineiston työkulku löytyy sieltä. Kuvio 5 sisältää kuvan rekisteröimättömästä pilvestä. Liitteet-osiosta löytyy myös kuvat kummastakin jatulintarhasta, jotka käsitelin. Tämä kohde on nimellä ”Kohde 2”.



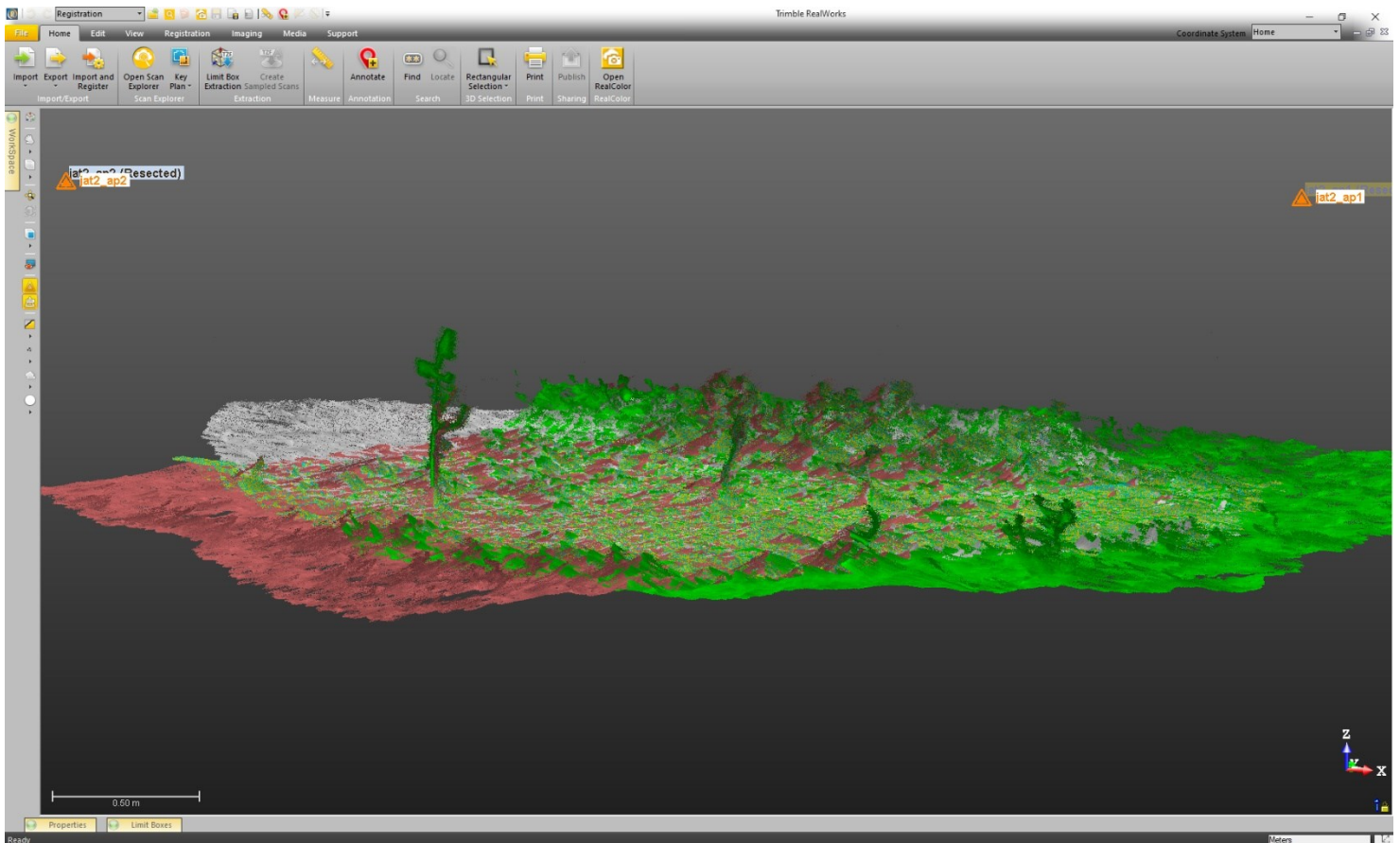
Kuvio 5. Rekisteröimättömän pistepilvi. Pilvi on väritetty keilausasetaman mukaan.

Avasin mittaamani aineiston Realworksissa ja aloitin pilvipohjaisen rekisteröinnin (ohjelmassa nimellä "Cloud-Based Registration") (kuvio 6). Valitsin referenssi- asemaksi keilausaseman, jonka ensisijainen rekisteröinti näyttää olevan lähellä muiden asemien pistepilviä. Realworksin rekisteröintityökalut sisältävät "Register Clouds Automatically" -työkalun. Tämä pyrkii käyttämään automaattista algoritmia keilausasemien karkeaan sommitteluun. Tämän jälkeen ohjelma näyttää keskimääräisen etäisyyden kahden keilausaseman pisteiden välillä (nimellä Error) sekä referenssi- ja rekisteröitävän pistepilvien välisen peiton (nimellä Overlap). Automaattista rekisteröintiä voidaan vielä tarkentaa "Refine" -valinnalla, jonka jälkeen käyttäjä näkee tarkennuksen jälkeisen virheen ja peiton. (Trimble).



Kuvio 6. Pistepilvipohjaisen rekisteröinnin ikkuna. Automaattisen sommittelun toteuttava työkalu ympäröity punaisella.

Tämän vaiheen jälkeen tarkastin rekisteröinnin vielä visuaalisesti. Huomasin kahden pistepilven olevan yhä eri linjassa muiden kanssa, ohjelman pienestä virheilmoituksesta ja suuresta peitosta huolimatta. Korjasin tämän manuaalisesti valitsemalla pari pistettä mahdollisimman samoilta kohdilta siirrettävästä pilvestä ja referenssipilvestä. Tämän jälkeen vielä käsin siirsin muokattavia pilviä niin, että ne sattuvat hyvin kahden muun kanssa paikoilleen. Kun olin tyytyväinen rekisteröintiin, tallensin jokaisen keilausaseman pistepilvet erikseen .las -tiedostomuodossa. Kuvio 7 sisältää kuvan rekisteröidystä pilvestä.



Kuvio 7. Rekisteröity pistepilvi. Pilvi on väritetty keilausasemien mukaan.

Realworksista voidaan tuoda ulos rekisteröintiraportti ("Create a registration report (Scan-based)"). Raportista käy ilmi vertailtavan pistepilven ero referenssipistepilveen ("Cloud-to-cloud error") sekä päällekkäisten pisteiden määrä prosentuaalisesti ("Coincident points"). Jostain syystä Realworks ei tuonut ulos rekisteröintiraporttia, joka olisi sisältänyt pistepilven kaikkien asemien vertailun. Tämän

”korjasin” kuitenkin hakemalla raportin jokaiselta asemalta, jolloin kirjasin ylös dokumentin antamat arvot ja kirjoitin ne omaan taulukkoon (taulukko 2). Liitteet-osiosta löytyy myös samalla lailla koottu raportti rekisteröimättömästä pistepilvestä.

Taulukko 2. Referenssiasema, johon rekisteröintiä verrataan, on pystyrivillä. Pistepilvien ero toisiinsa on merkitty millimetreinä ja päällekkäisten pisteiden määrä on prosentteina.

	AP1	AP2	AP3	AP4	vertailtava asema
AP1		0,55 mm 53%	0,67 mm 82%	0,55 mm 76%	
AP2	0,55 mm 53%		0,63 mm 81%	0,61 mm 76%	
AP3	0,67 mm 82%	0,63 mm 81%		0,74 mm 76%	
AP4	0,55 mm 76%	0,61 mm 76%	0,74 mm 76%		
referens- siasema					

6.2 Aineiston jälkikäsittely CloudCompare-sovelluksella

Rekisteröinnin jälkeen siirryin aineiston varsinaiseen käsittelyyn CloudCompare-ohjelmalla. Tavoitteenani on prosessoida pistepilviä siten, että kohteen piirteet tulisivat mahdollisimman selkeästi esille. Kerron yksityiskohtaisesti prosessoinnin työkulusta ja miksi valitsin nämä työkalut. SX10 -keilaimella keilatun aineiston tosiväri-kuva on voimakkaan auringonpaisteen takia todella epäselvä, joten kuvissa käytän korkeuden mukaan väritettyä pistepilveä. Tosiväri-kuvat, toinen SX10:llä mitatun kohteen ja kummatkin X7-keilaimella keilattujen kohteiden kuvat eri prosessointivaiheista löytyvät työn lopusta ”Liitteet” -osiosta. Kaavio käytetystä työkulusta on kuviossa 8.

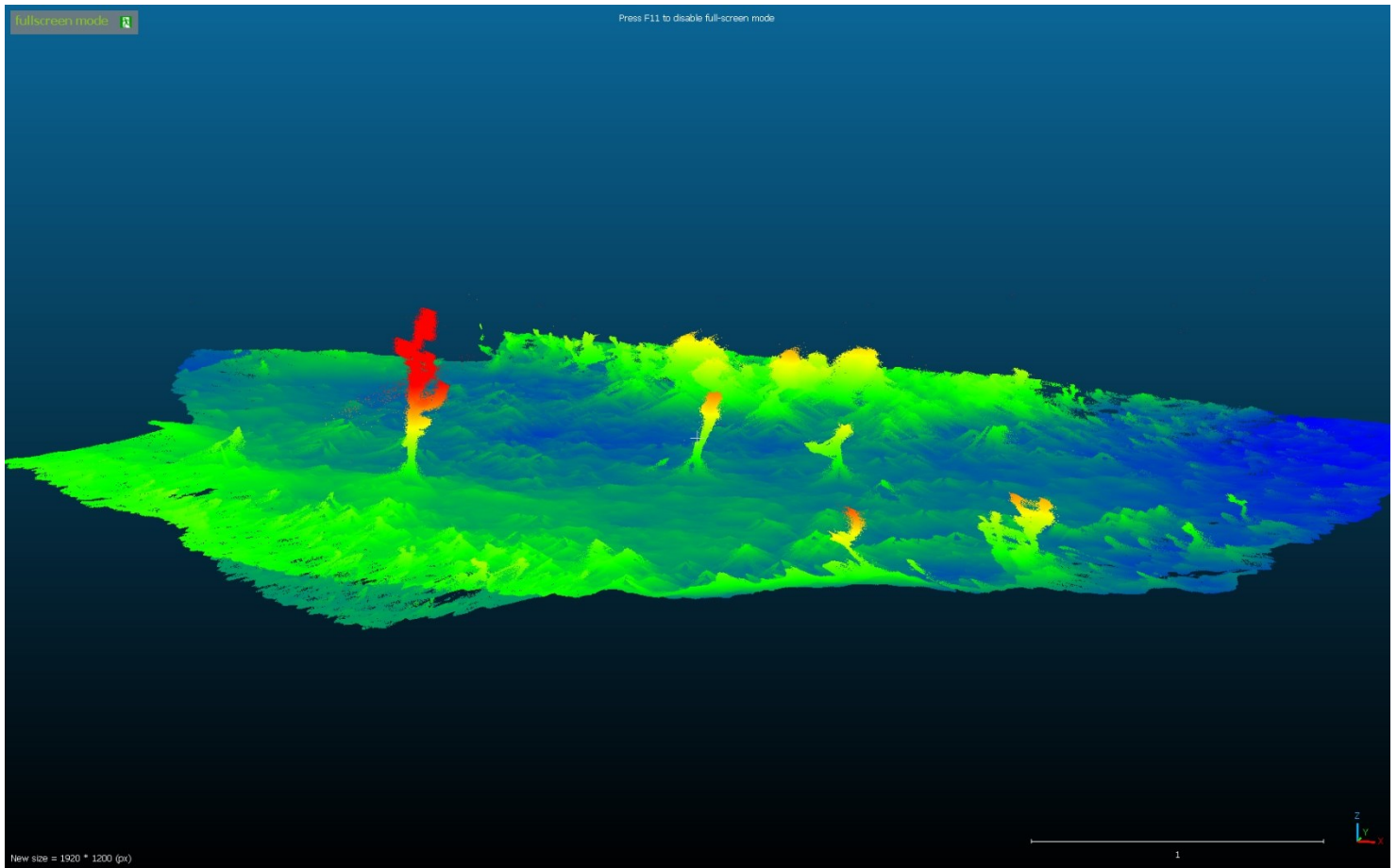


Kuvio 8. Keilatun aineiston rekisteröinnissä ja prosessoinnissa käyttämäni työnkulku.

6.2.1 Pistepilven tuominen ohjelmaan ja värittäminen korkeuden mukaan

Siirsin ohjelmaan neljä pistepilveä, joista jokainen vastasi yhtä keilausasemaa. Yhdistin keilausasemat yhdeksi isoksi pistepilveksi. Ohjelma kysyy yhdistäessä, haluanko luoda skalaarikentät alkuperäisen pilven indekseille. Tämä luo uuteen pistepilveen tason, jossa pilvi on väritetty alkuperäisen tiedoston mukaan. Käytännössä tämä mahdollistaa yksittäisten keilausasemien visualisoinnin senkin jälkeen, kun ne on yhdistetty laajemmaksi pilveksi.

Tämän jälkeen väritän pilven sen Z-akselin eri korkeuden mukaan (Kuvio 9). Tämä helpottaa kohteen piirteiden hahmottamista.

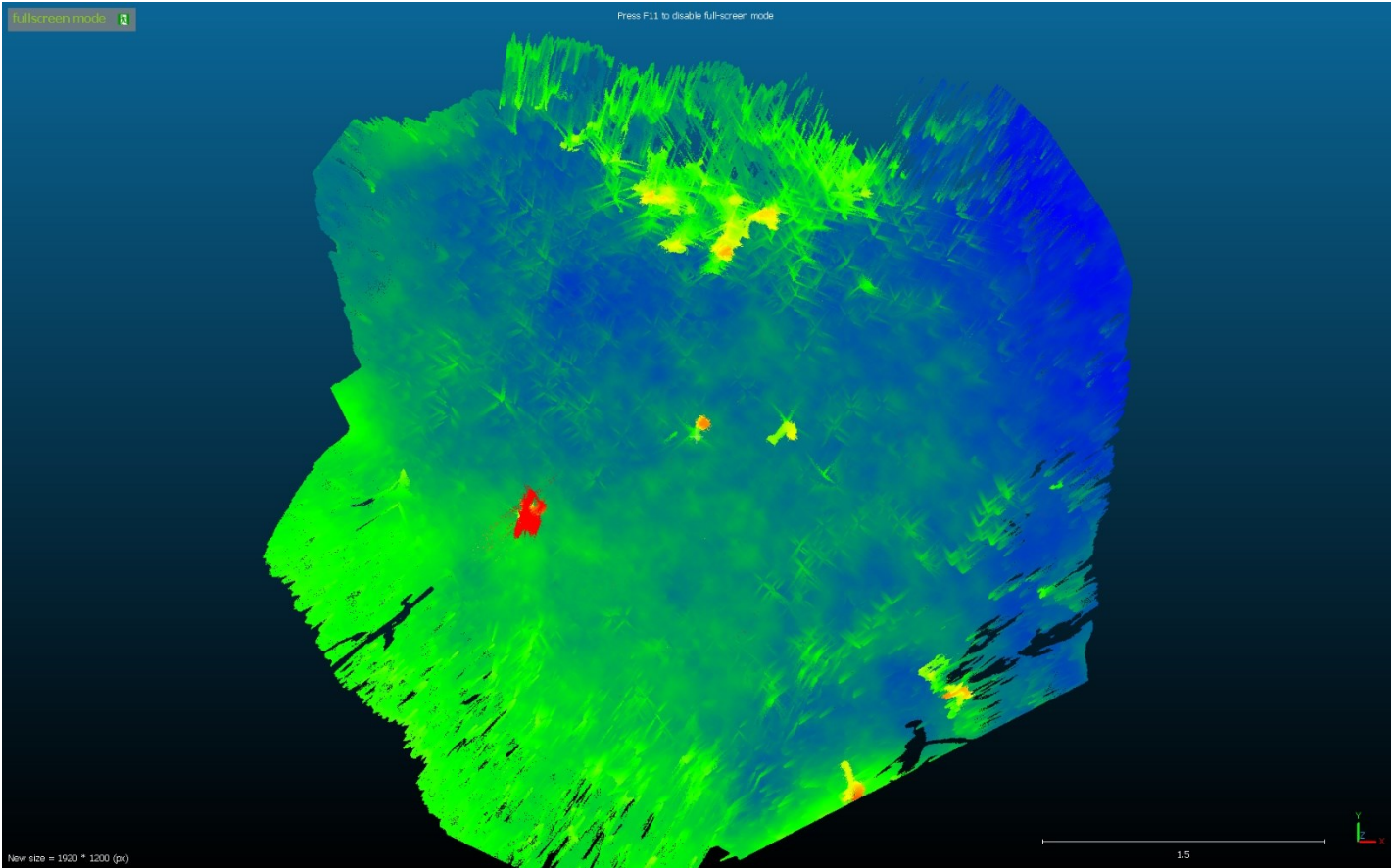


Kuvio 9. CloudCompare-ohjelmaan tuotu ja siinä väritetty pistepilvi

6.2.2 Pistepilven rajaaminen yhdenmukaiseksi

Pyrin rajaamaan saman jatulintarhan SX10:llä ja X7:llä suoritettut mittaukset mahdollisimman yhdenmukaisiksi. Tämä helpottaa aineistojen silmämääräistä vertailua toisiinsa. Valitsin selkeän kohdan pistepilvestä, joka sijaitsee suurin piirtein pilven keskellä. Tärkeää on, että kohta erottuu hyvin myös toisessa pistepilvessä.

Tässä tapauksessa se on selkeästi korkeusmallista erottuva taimi. CloudCompare merkitsee ikkunan keskipistettä harmaalla tähtämellä, joten sommittelen tähtäimen mahdollisimman keskellä valitsemaani kohtaa (Kuvio 10).

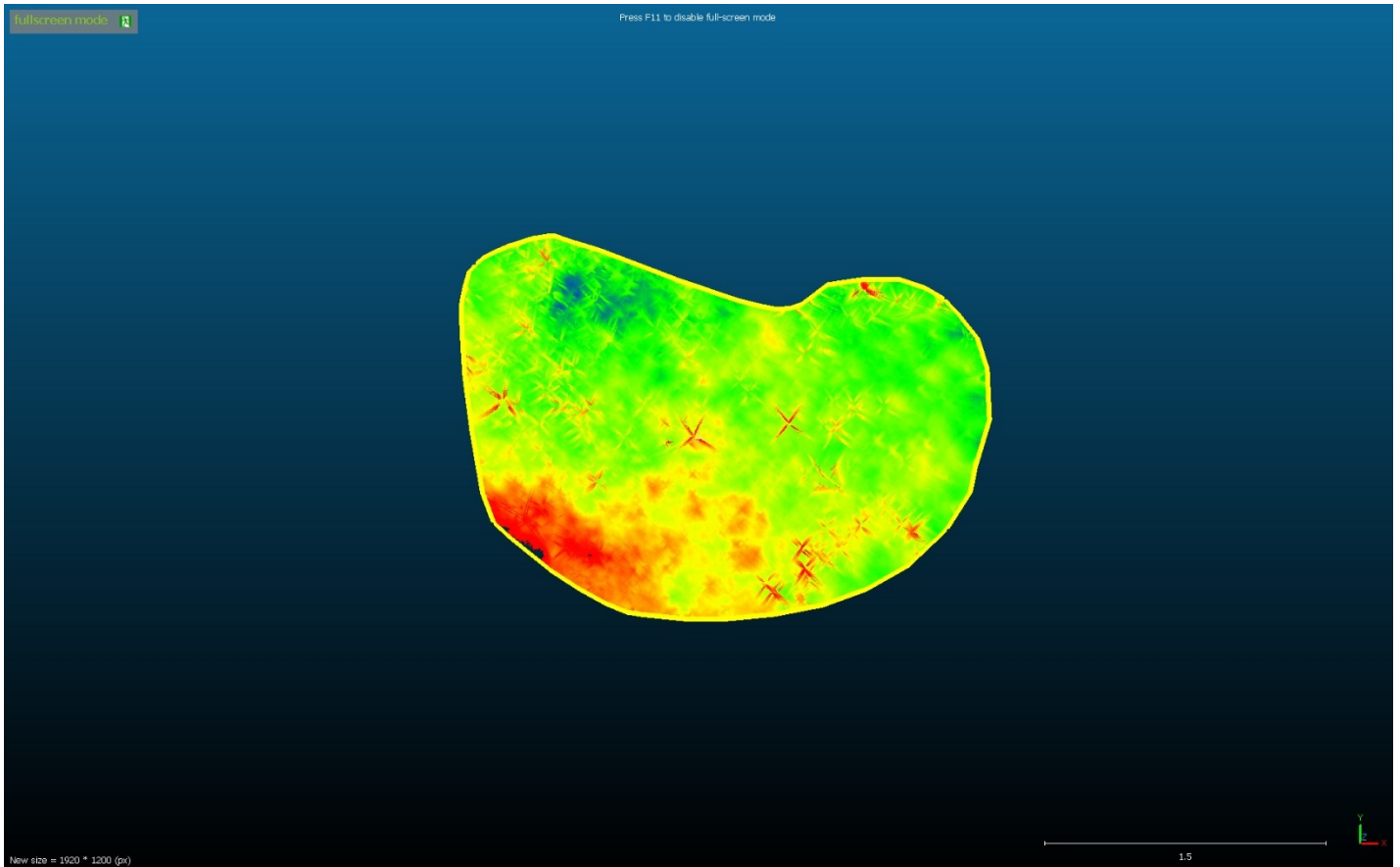


Kuvio 10. Tähdätty pistepilvi, tähtäin näkyy kuvan keskellä heikosti harmaalla värillä

Ohjelma sisältää "Primitive Factory" -työkalun, jolla voidaan luoda erilaisia geometrisia muotoja. Tässä tapauksessa valitsen kolmiulotteisen pallon, jonka säteeksi annan 2,5 metriä. Koska Savukosken jatulintarhat ovat halkaisijaltaan noin 5 metriä leveitä, pitää tämän pallon alue sisällään kohteet kokonaisuudessaan. Seuraavaksi leikkaan pallon mukaisen alueen ja tallennan sen. Toistan nämä toimet toisella keilaimella mitatulle pilvelle.

Karkean rajauksen jälkeen rajaan pilven reunoilla olevat alueet, jotka ovat kaukana itse kohteesta, pois. Tämän lisäksi poistan korkeat pensaats ja taimet. Tämä laskee pisteiden määrää pilvessä, mikä tekee sen käsittelystä ja tarkastelusta huomattavasti nopeampaa ja selkeämpää. Halusin rajata pilven vielä tarkemmin noudattaen tosiväri-kuvassa näkyvää kohteen muotoa. Koska SX10:n kuva oli

todella epäselvä, tein rajausviivan X7:lla mitatussa pistepilvessä. Kopioin rajausviivan SX10:n pistepilveen ja sommittelin sen vastaamaan toisella laitteella mitatun viivan asentoa ja sijaintia. Sen jälkeen rajasin kummankin aineiston tällä viivalla. Tuloksena on mahdollisimman samalla lailla rajattu pistepilvi (kuvio 11).

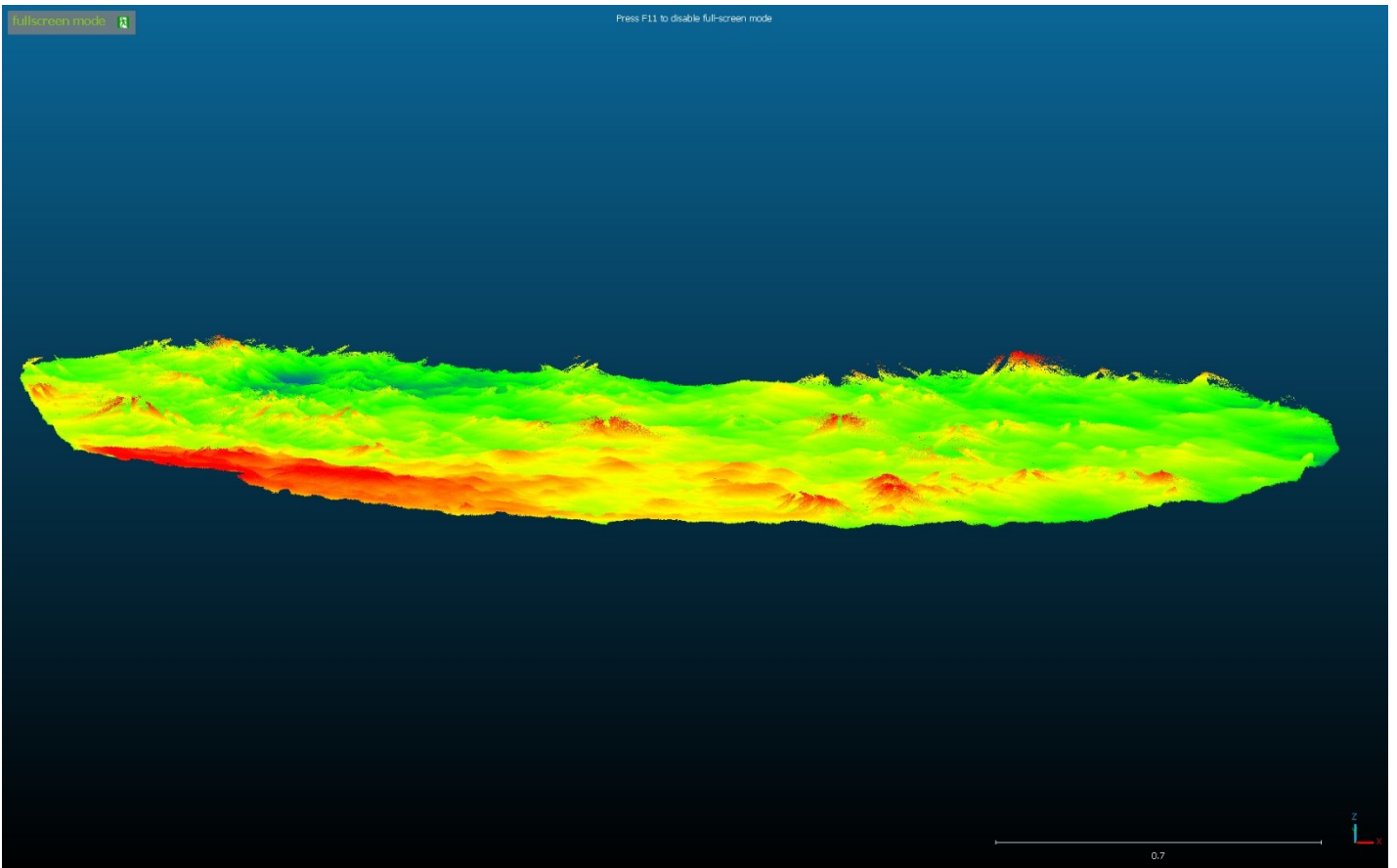


Kuvio 11. Rajattu pistepilvi ja rajausviiva, pilvi on väritetty korkeusarvoilla

6.2.3 Pilven harventaminen ja Cloth Simulation Filter (CSF)-lisäosa

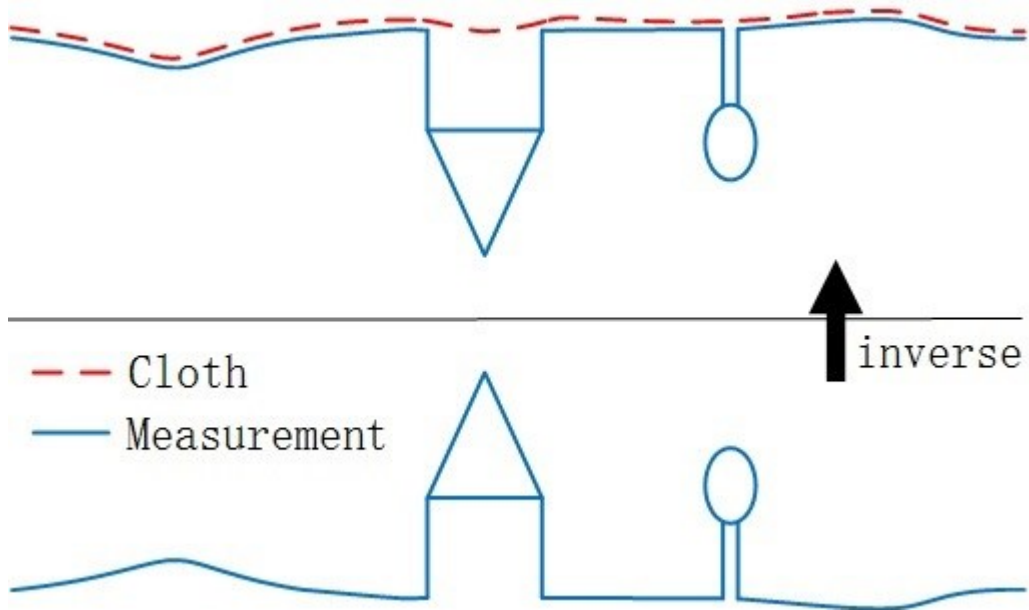
SX10:llä mitatun aineiston koko oli vielä rajauksenkin jälkeen varsin suuri (noin 23,5 milj. pistettä). Harvennan aineistoa "Subsample" -työkalulla, jolloin sen pisteiden määrä laskee noin 2,5 miljoonaan pisteeseen. Työkalusta voidaan valita eri harvennusmenetelmiä, tässä työssä käytin "Spatial" -valintaa. Tämä toimii siten, että työkalu harventaa aineistoa poimimalla pisteitä halutun arvon välein ja poistaen valinnan ulkopuolella jäävät pisteet. Työssä olen käyttänyt arvoa 0.002. Käytännössä ohjelma valitsee jonkin pisteen aineistosta, jonka ympärille muodostetaan säteeltään 2 millimetrin ympyrä. Kaikki ympyrän sisälle jäävät pisteet poistetaan. Seuraavaksi ohjelma valitsee ympyrän ulkopuolelle jäävän pisteen ja

toistaa prosessin. Tätä toistetaan niin kauan, että koko pistepilvi on käyty läpi. (CloudCompareWiki 2024b). Kuva pistepilvestä on kuviossa 12. Käytetty arvo tekee aineiston tarkastelusta sujuvampaa vaikuttamatta kuitenkaan sen laatuun. Harvennettu pistepilvi ja tätä kautta pienempi tiedostokoko myös vähentää ohjelman kaatumisen riskiä. Maakuntamuseon X7-keilaimella mitaaman materiaalin pistepilven koko oli huomattavasti pienempi, joten tälle aineistolle en tehnyt harvennusta.



Kuvio 12. Kuva pistepilvestä ennen CSF-lisäosan käyttöä

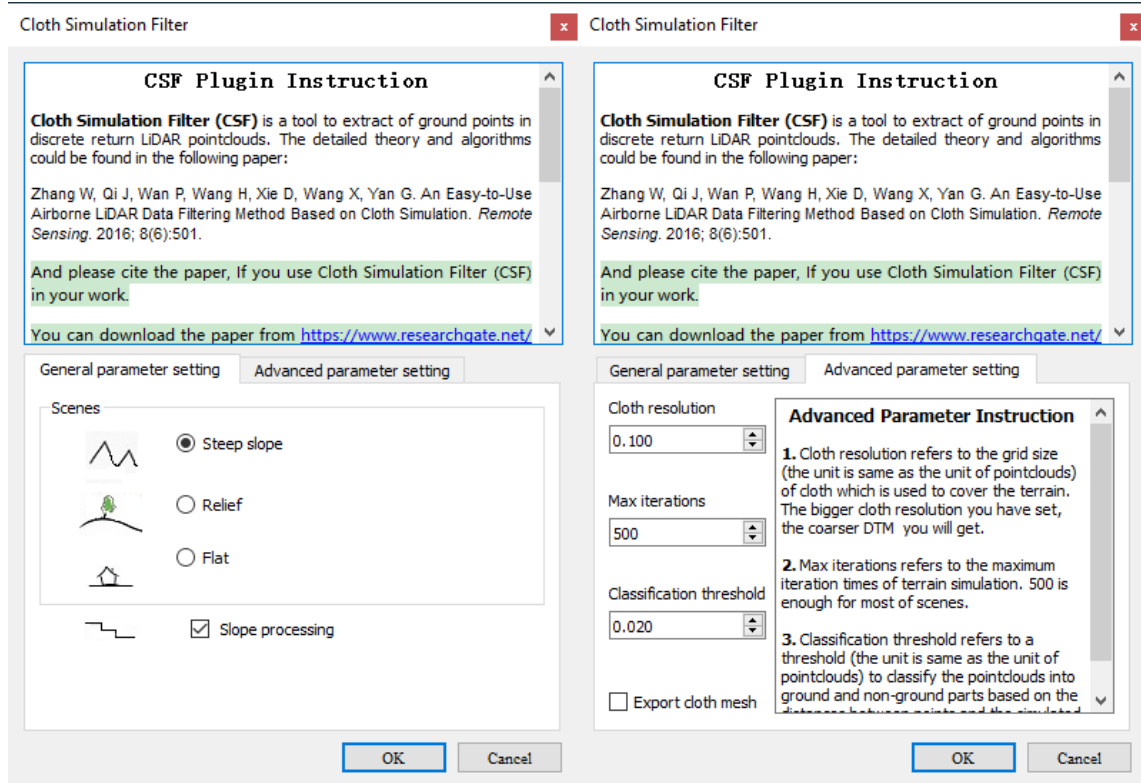
Seuraavaksi luokittelin harvennetun aineiston käyttäen "Cloth Simulation Filter" -lisäosaa. Lisäosan tarkoituksena on luokitella pistepilviaineiston pisteet maanpinnan sekä maanpinnan yläpuolella sijaitseviin pisteisiin. Lisäosa toteuttaa tämän kääntämällä alkuperäisen pistepilven ylösalaisin ja asettamalla pistepilven muotoja mukailevan ns. kankaan tämän käännetyn pistepilven päälle (kuvio 13). Lopputuloksena on pistepilvi, jonka pisteet on luokiteltu edellä mainittuihin luokkiin.



Kuvio 13. Kuva "Cloth Simulation Filter" -lisäosan toimintaperiaatteesta (Zhang ym. 2016)

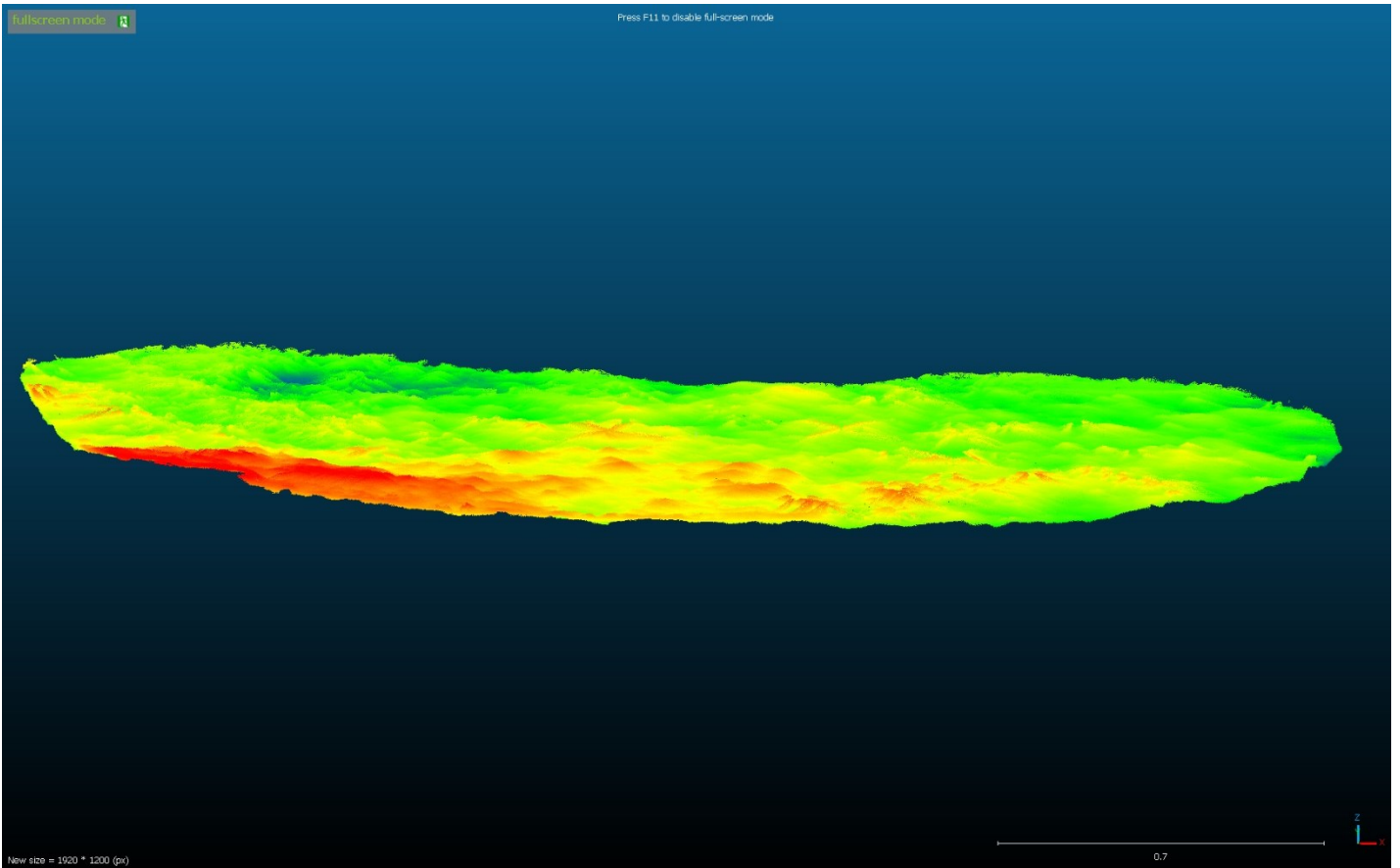
Vaikka tätä menetelmää käytetään pääosin ilmalaserkeilauksella kerättyyn piste-pilviaineistoon, olen huomannut sen soveltuvan hyvin myös pisteiden luokitteluun omassa aineistossani. Lisäosan avulla saan poistettua pistepilvestä muuta ympäristöä hieman korkeammalla olevan kasvillisuuden, kuten taimet ja puskat. Käsin tämä olisi todella aikaa vievää, jos ei täysin mahdotonta.

Kun lisäosa avataan, voi käyttäjä säätää vielä erilaisia parametrejä (kuvio 14). "Scenes" otsikon alta valitaan maastotyyppi, joka parhaiten vastaa pistepilveä. Nämä valinnat säätävät pilven päälle asetettavan kankaan jäykkyyttä. Mitä jäykempi kangas, sitä huonommin suuret korkeusvaihtelut piirtyvät maastomalliin. Mikäli pistepilvi sisältää erittäin jyrkkiä rinteitä, voidaan "Slope Processing" -valinta laittaa päälle. (Zhang ym. 2016b)



Kuvio 14. Kuvankaappaus CSF-ikkunasta ja käyttämistäni asetuksista

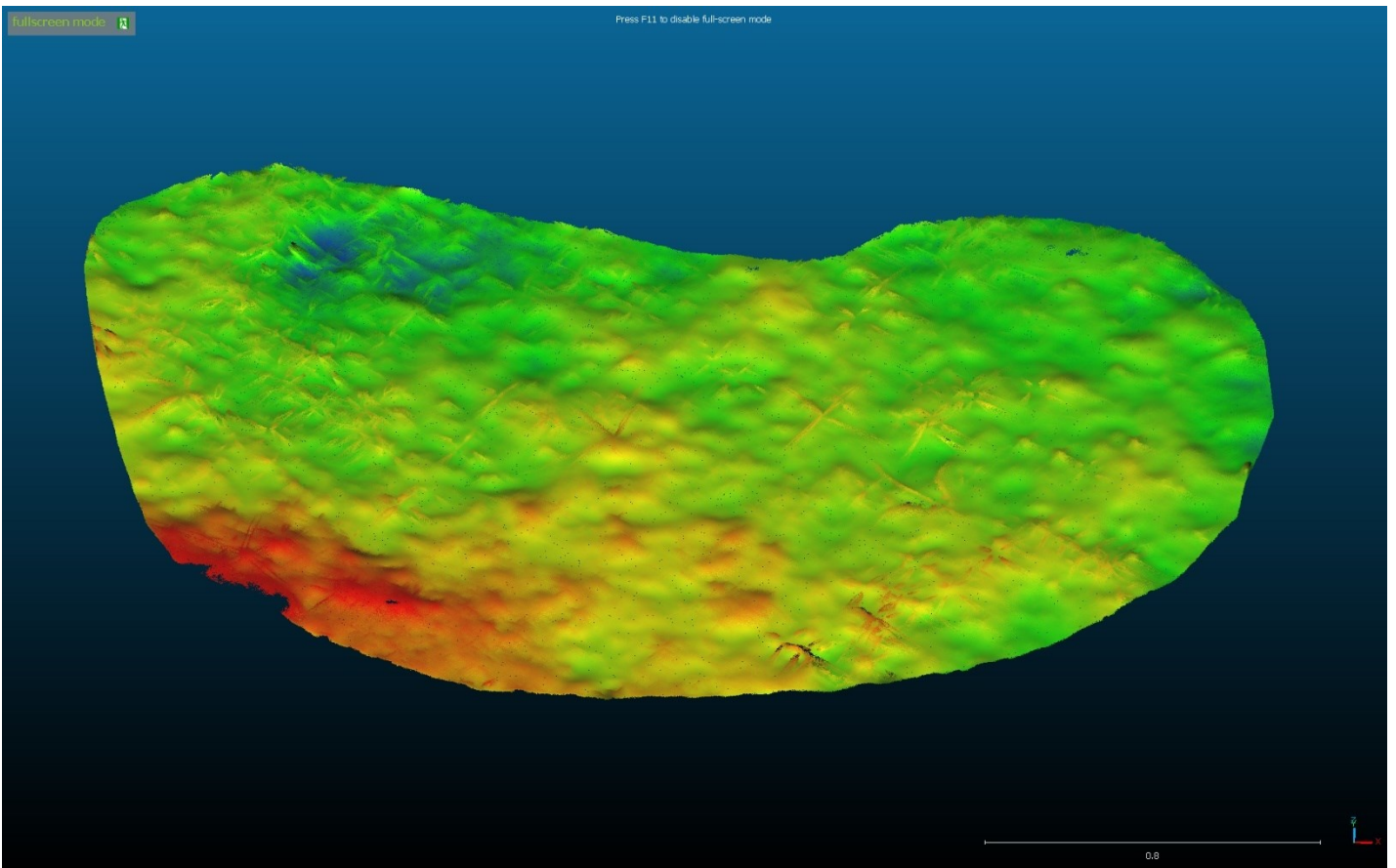
"Advanced parameter setting" -valikko sisältää vielä lisäasetuksia. "Cloth Resolution" -asetus määrittää kankaan resoluution. Mitä pienempi lukema on, sitä yksityiskohtaisempi kangas on ja sitä tarkemmin sen muotoutuu pinnanmuotojen päälle. Oletuksena tämä arvo on 2, mutta koska käsittelemäni pistepilvi on pinta-alaltaan varsin pieni, käytin tässä arvoa 0.1. "Max iterations" -arvo määrittää kuinka monta kertaa simulaatio toistetaan ja "Classification threshold" -kenttään annetaan arvo, jonka mukaan maanpinnan ja maanpinnan yläpuolella pisteet jaetaan (Zhang ym. 2016c.) Jälkimmäisessä asetuksessa käytin arvoa 0.02 pistepilven pienipiirteisyyden takia. Käytin simulaation toistojen määrässä oletusarvoa 500. Työn liitteissä on myös kuvakaappaus lopullisesta kolmiulotteisesta mallista ilman tämän lisäosan käyttöä. Ainoana erona tässä on lyhyen aluskasvillisuuden lisääntyminen, kun suodatinta ei ole käytetty. Kuvio 15 sisältää kuvan pistepilvestä lisäosan jälkeen.



Kuvio 15. Kuva pistepilvestä "Cloth Simulation Filter" -lisäosan ajon jälkeen

6.2.4 Normaalien luonti

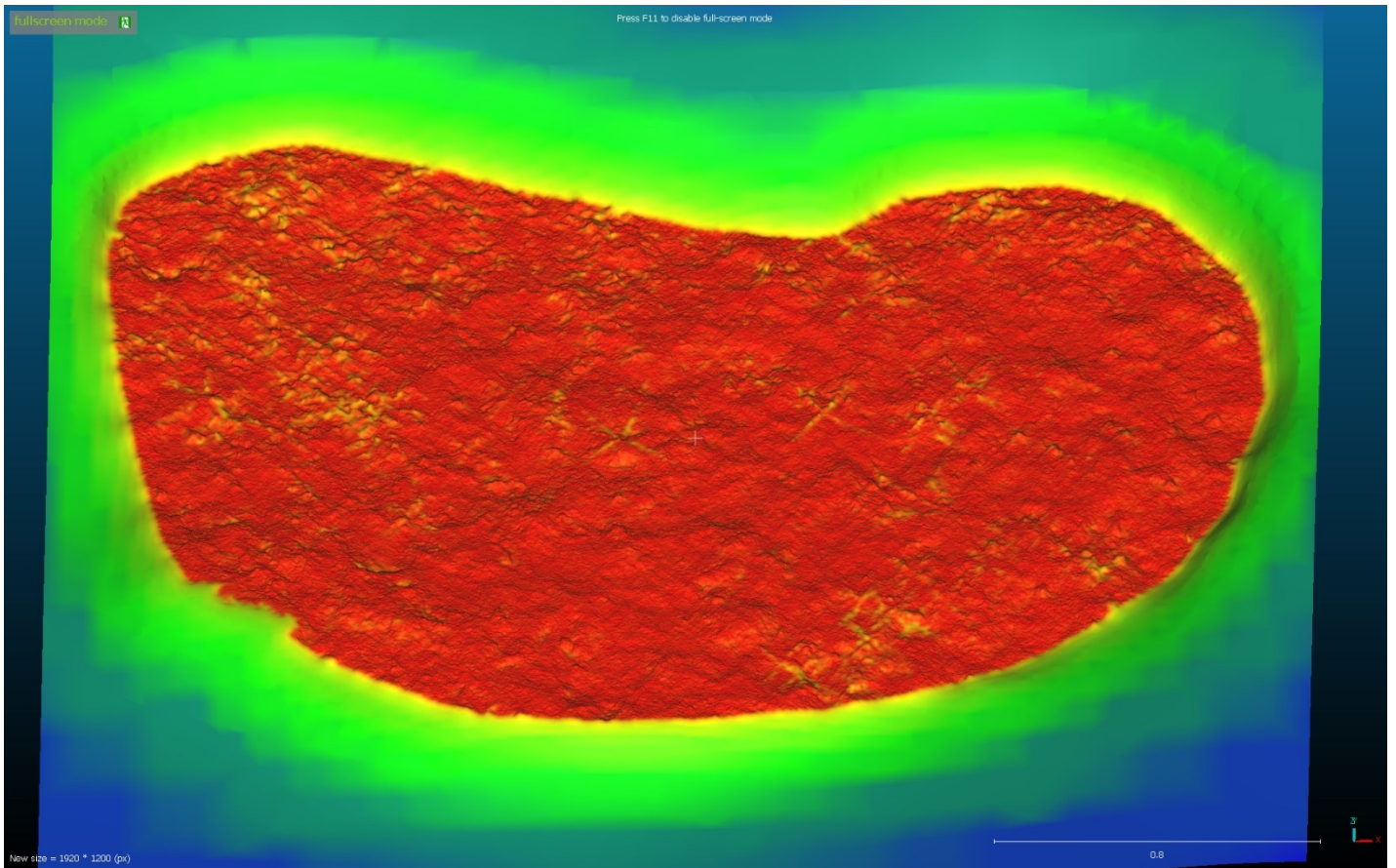
Seuraavaksi pistepilvelle luodaan normaalit (kuvio 16). Normaalit käytännössä määrittävät pinnan suunnan ja sitä kautta sen, kuinka voimakkaasti pinta heijastuu katselusuuntaan nähden (Skoroplyas 2020). Normaalien luomisessa käytän "Neighbors" asetusta lukuun ottamatta ohjelman vakioarvoja. Tämä arvo määrittää kuinka suurella säteellä toiminto poimii pisteitä normaalien luomista varten (CloudCompareWiki 2016). Kun normaalit on luotu, värittää ohjelma virheelliset normaalit tummalla värillä pistepilvelle. Käytän jokaisessa pistepilvessä "Neighbors" -arvoa 0.03, joka antaa tyydyttävän tuloksen. Arvon ollessa pienempi muodostuu normaaleja enemmän mutta suurempi osa niistä on virheellisiä. Lisäksi pilven käsittelystä tulee hitaampaa. Jos arvo on taas suurempi, muodostuu normaaleja vähemmän ja seuraavaksi tehtävä kolmiulotteinen malli ei ole aivan yhtä yksityiskohtainen.



Kuvio 16. Kuva pistepilvestä normaalien muodostuksen jälkeen

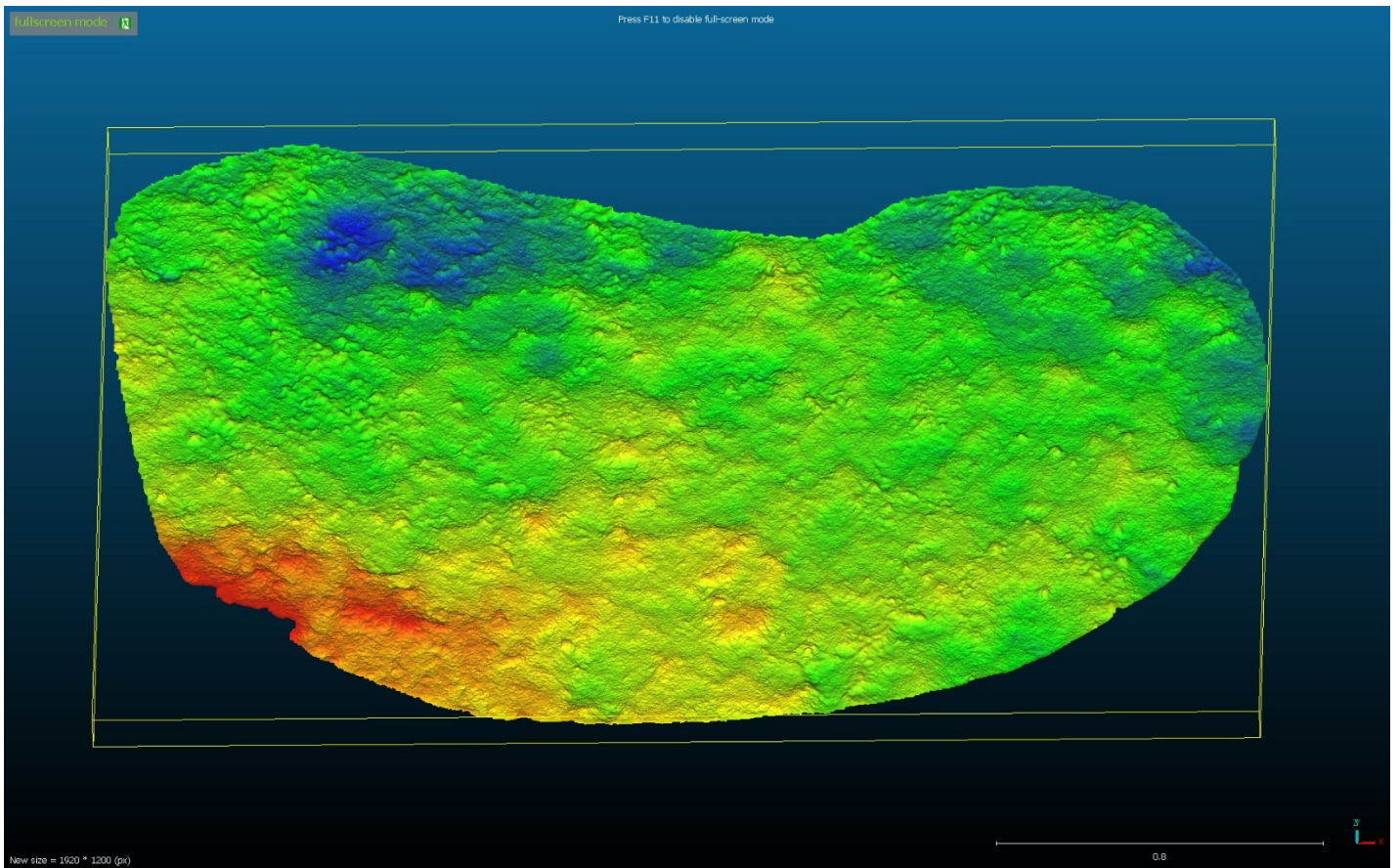
6.2.5 Pistepilven muuttaminen 3D-malliksi PoissonRecon-lisäosalla

Kun normaalit on luotu, voidaan ajaa "Poisson Surface Reconstruction" -lisäosa. Tämän avulla pistepilvelle saadaan muodostettua 3D-pinnat. "Octree Depth" -arvo määrittää kuinka yksityiskohtainen muodostetusta kolmiulotteisesta mallista tulee. Jos arvo on liian iso, mallista tulee liian tarkka ja sen käsitteleminen ja tutkiminen hankaloituvat sen suuren tiedostokoon vuoksi. Jos arvo on taas liian pieni, on kohteen piirteitä vaikea visuaalisesti erottaa. Käytän tässä arvoa 11. Koska käsiteltävä pistepilvi on avoin, on "Output density as SF" -asetus valittava.



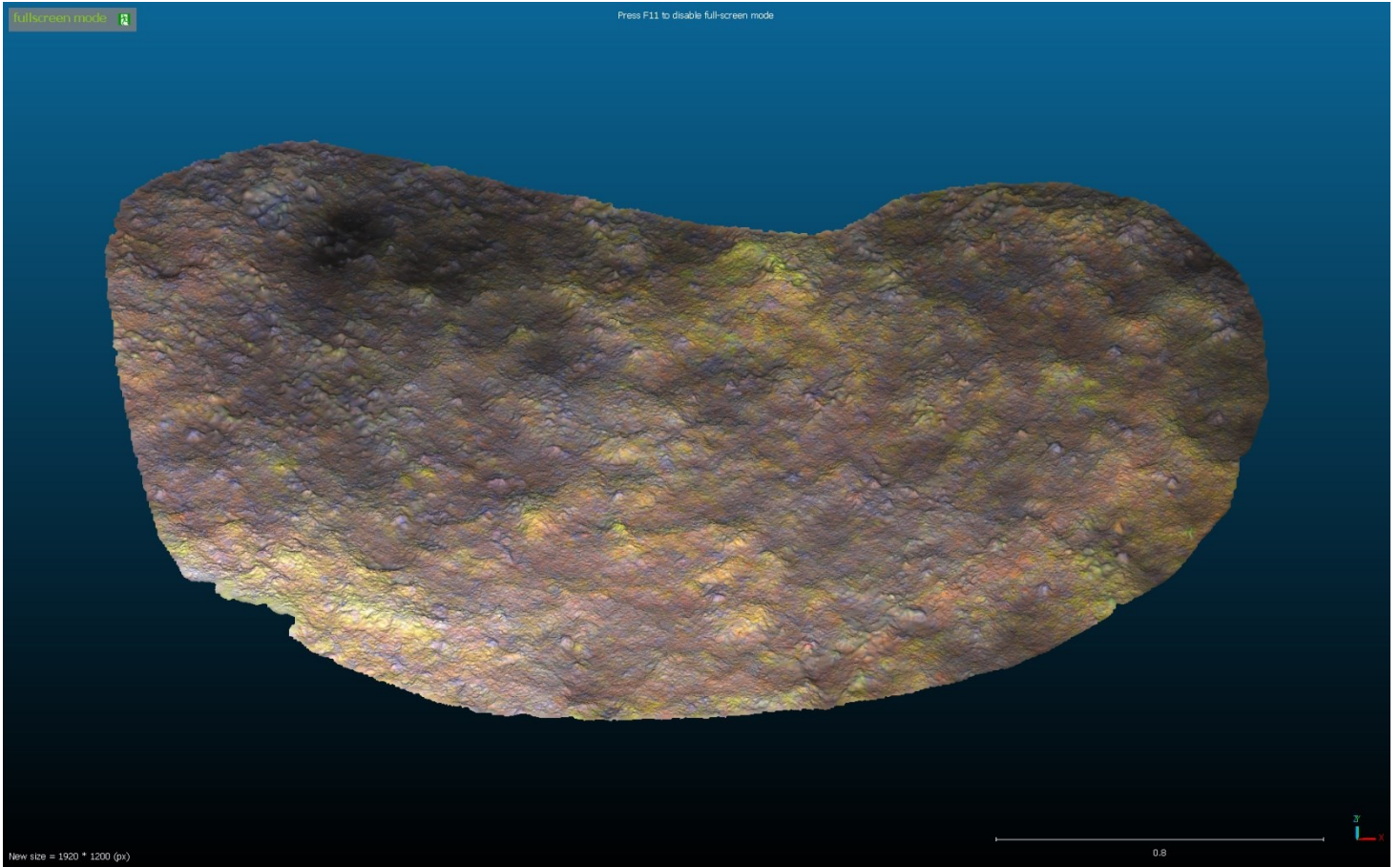
Kuvio 17. Kolmiulotteinen malli PoissonRecon-lisäosan käytön jälkeen. Väritetty pistetiheyden mukaan

Ohjelma ajetaan ja siitä muodostuu kolmiulotteinen malli, joka on väritetty pistetiheyden mukaan (kuvio 17). Tästä mallista poistetaan aineistoa raja-arvojen perusteella siten, että mallin ulkoreunoilla olevat pisteet poistuvat, mutta mallin sisäosa säilyy ehjänä (kuvio 18).



Kuvio 18. Kolmiulotteinen malli rajauksen jälkeen

Lopuksi käytän vielä "Enhance with intensities" -ominaisuutta. Tämä korostaa pistepilven tosiväri-kuvan värejä vapaasti valittavan tason värityksellä. Vaikka tämä on varsinaisesti tarkoitettu käytettäväksi pistepilven intensiteetti-arvon sisältävän tason kanssa, voidaan ehostettavaksi tasoksi valita mikä tahansa luotu taso. Tässä tapauksessa käytän aikaisemmin luomaani korkeusmallia. Lopputuloksena on väritetty kolmiulotteinen malli, jonka piirteet ovat helpommin havaittavissa (kuvio 19).



Kuvio 19. 3D-malli värien säätämisen jälkeen.

7 TRIMBLE SX10-KEILAIN TAKYMETRIN JA TRIMBLE X7-KEILAIMEN VERTAILU

Taulukko 3. Mittauksessa käytetyt asetukset ja keilattujen pistepilvien koot

	Trimble SX10-keilaintakymetri	Trimble X7-laserkeilain
Kojeasemien määrä jatulia kohden	4	4
Yhden kojeaseman kesto	45-75 min	n. 15 min
Mittauksen rajausmetodi	Suorakulmainen	360°
Tuotettujen pistepilvien pistemäärä	Jatuli 1: ~ 64 milj. Jatuli 2: ~ 47 milj.	Jatuli 1: ~ 351 milj. Jatuli 2: ~ 370 milj.
Rajatun pistepilven koko	Jatuli 1: ~ 32 milj. Jatuli 2: ~ 24 milj.	Jatuli 1: ~ 5 milj. Jatuli 2: ~ 3 milj.

Keilauksen rajaus toteutettiin SX10:llä tehdyssä mittauksessa suorakulmaisesti. Keilain asetettiin osoittamaan keilattavan kohteen keskipistettä, jonka jälkeen maastotietokoneen näytöltä rajattiin suorakulmainen alue. Kohteen hahmottaminen paljaalla silmällä maastosta, saati maastotietokoneen näytöltä, oli haastavaa. Vaarana oli osan kohteesta jääminen rajauksen ulkopuolelle. X7:n keilaimella mittaus toteutettiin 360-asteen mittauksena, eli keilain pyöri akselinsa ympäri taltioiden sen ympäriltä kaiken, johon sillä oli esteetön näkyvyys. Tällöin keilattava kohde tuli varmasti mitattua. Vastaava rajausmetodi on myös takymetrikeilaimessa, mutta sen verrattain hitaan keilausnopeuden myötä keilaus olisi vienyt vielä pitempään mitä nyt.

Tämä keilauksen kesto oli toinen huono puoli keilaintakymetrissä. Mitä kauemman aikaa keilaus kestää, sitä suurempi todennäköisyys on keilaimen tasauksen muuttumisella. Myös vaihtuvat sääolosuhteet tuovat omat riskinsä mitä pitempään keilaus kestää. Sadepisarot lisäävät pistepilvessä esiintyvää kohinaa huomattavasti, varsinkin rankan sateen aikana. Myös kova tuuli aiheuttaa keilaimen heilumista hyvästä tasauksesta huolimatta, vaikuttaen pistepilven laatuun. (Kuschnerus, Czerwonka-Schöder & Lindenbergh 2021, 751).

Vaikka rajatun pistepilven pistetiheys oli huomattavasti suurempi SX10:ssä, ei tämän aineiston laatu silmämääräisesti poikennut X7:n aineistosta. Varsinkin kun päädyin vielä harventamaan ensiksi mainitun keilaimen aineistoa.

Tulevaisuudessa suorittaisinkin vastaavan kohteen mittauksen käyttäen huomattavasti pienempää pistetiheyttä keilaintakymetrissä. Suorakulmainen rajaus toisi siitä huolimatta omat riskinsä keilaukseen. Sen sijaan voisin käyttää 360-asteen keilausta, mutta venähtäisikö keilauksen kesto taas turhan pitkäksi? Perimmäinen ongelma laitteessa onkin aikaisemmin mainittu hidas skannausnopeus.

8 POHDINTA

Opinnäytetyön tavoitteena oli keilata ja käsitellä pienipiirteinen arkeologinen kohde niin, että sen yksityiskohdat tulisivat mahdollisimman hyvin esille. Tämän lisäksi vertailtiin kahden eri keilaimen mittausprosessia ja aineiston käsittelyä toisiinsa. Trimble Realworks sovellus osoittautui hyväksi työkaluksi pistepilvien rekisteröinnin korjaamiseen, kun taas aineiston varsinainen käsittely tehtiin CloudCompare-sovelluksella. Ohjelma sisältää laajan kirjon erilaisia sisäänrakennettuja ominaisuuksia ja lisäosia, jotka mahdollistivat aineiston jälkikäsitteilyn. Lopputuloksena pistepilvestä saatiin korostettua keilattavien kuvioiden muotoja ja säätämään niiden värejä, jolloin ne erottuivat todella hyvin verrattuna alkupe räiseen, käsittelemättömään pistepilveen. Samalla kohteesta on taltioitu kolmiulotteinen malli, josta voi olla tulevaisuudessa hyötyä, mikäli kohdetta uhkaa vaurioituminen tai tuhoutuminen.

Keilainten väliset erot liittyivät lähinnä käytännön maastotöihin. SX10:lle tehty keilaus oli huomattavasti hitaampaa sekä aineiston rajaamisessa oli oltava todella tarkkana, jotta kohteen kaikki piirteet saataisiin taltioitua. Tulevaisuuden mittauksissa keilauksen laadun valintaan on syytä kiinnittää erityistä huomioita, johtuen lähinnä keilaimen verrattain hitaasta keilausnopeudesta varsinaisiin laserkeilaimiin nähden. Vaikka keilain kykeneekin taltioimaan tiheämpää pistepilviaineistoa, ei siitä ollut näissä kohteissa hyötyä. Varsinkin kun kohteet olivat helposti saavutettavissa ja keilaus voitiin toteuttaa niin läheltä kuin oli tarpeellista.

Työ sisältää yhden mahdollisen keinon keilata ja käsitellä vastaavanlaisen kohteen, kunhan otetaan huomioon työssä mainitut muutokset mittauksiin. Vaikka työssä esiteltyä työkulkua ei otettaisi suoraan käyttöön, toivon sen tarjoavan ideoita lukijalle. Erityisesti heille, jotka työskentelevät pienipiirteisten tai yleensäkin arkeologisten kohteiden keilauksen ja keilausaineiston käsittelyn parissa. Työssä käytiin läpi kahden hyvin samanlaisen kohteen mittausaineiston käsittely verrattain suppeasti. Ohjelmia oli käytössä vain kaksi ja nekin sisältävät vielä työkaluja, joita en ollut työssä testannut. CloudCompareen lisätään koko ajan uusia lisäosia ja ominaisuuksia, joista voi olla hyötyä tulevaisuudessa. Markkinoilla on myös useita muita pistepilvien jalostukseen ja analysointiin tarkoitettuja ohjelmia.

Myös muun tyyppisistä ohjelmista voisi olla aineiston käsittelystä hyötyä. Näitä voisivat olla tietynlaiset kuvienmuokkauksiin erikoistuvat ohjelmat, kuten esimerkiksi Adobe Photoshop. Tämän avulla kohteen värejä ja valaistusta voitaisiin vielä ennestään tehostaa niin, että saataisiin näkyviin haluttuja piirteitä. Tätä voitaisiin hyödyntää yksin tai yhteistyössä tässä työssä käytettyjen menetelmien kanssa.

Keilausaineiston laadun arvioinnissa oli hieman ongelmia. Rekisteröintiraportin hakeminen ei jostain syystä onnistunut aivan halutulla tavalla. Näin ollen rekisteröinnin onnistumisen arviointi toteutettiin aluksi lähinnä silmämääräisen vertailun pohjalta. Myöhemmin sain Realworksin kautta ulos rekisteröintiraportin, tosin tämä minun piti hakea jokaisen pistepilviparin kohdalla erikseen ja yhdistää tulokset itse tekemääni taulukkoon. Arvioin kuitenkin näiden arvojen sekä silmämääräisen arvioinnin pohjalta rekisteröinnin olevan onnistunut.

Työssä huomasin pari seikkaa, joita minun on hyvä pitää silmällä tulevaisuuden vastaavanlaisissa mittauksissa. Ennen mittauksien suorittamista jonkinlaisen mittaus suunnitelman laatiminen auttaisi paljon. Mittaus suunnitelmassa voitaisiin laatia vaikka alustava luonnos mitattavasta ympäristöstä ja miettiä tarkasti, min-kälaisia tähyksiä kannattaisi käyttää ja mihin ne voisi asentaa. Näin kentällä ei tarvitsisi käyttää niin paljon aikaa varsinaiseen suunnittelemiseen, vaan mittaus voitaisiin aloittaa nopeammin. Tarkka mittausperusta edesauttaa rekisteröinnin onnistumista maastossa, jolloin aineiston itse jälkikäsittely voidaan aloittaa saman tien ilman rekisteröinnin korjauksia.

Kuten olen aikaisemmin työssäni maininnut, oli minulla ennen tätä melko rajallinen kokemus laserkeilauksesta. Opinkin työn aikana todella paljon uutta ja sain hyviä ideoita tulevaisuuden keilauksia ja niiden aineiston käsittelyä varten. Sain arvokasta tietoa ja kokemusta aina käytännön mittausten toteutuksesta ja aineiston käsittelystä itse opinnäytetyöprosessiin.

LÄHTEET

Bathow, C., Breuckmann, B. High-definition 3D acquisition of archaeological objects. Viitattu 9.10.2024
https://www.conferencepartners.cz/cipa/proceedings/pdfs/Keynote%20speech/Bernd_Breuckmann.pdf.

Arkeologisen kulttuuriperinnön opas 2020. Jatulintarha. Viitattu 13.11.2024
<https://akp.nba.fi/wiki/jatulintarha>.

Becerik-Gerber, B., Jazizadeh, F., Kavulya, Calis, G. 2011. Assessment of target types and layouts in 3D laser scanning for registration accuracy. *Automation in Construction* 20 (2011), 649–658. Viitattu 28.1.2025
<https://doi.org/10.1016/j.autcon.2010.12.008>.

Bradson, P. 2015. The intro and impacts of Open Source Software in modern Information Technology Management. *IRA-International Journal of Management & Social Sciences*. Vol 1, No 1 (2015). Viitattu 19.11.2024
<https://research-advances.org/index.php/RAJMSS/article/view/3>.

CloudCompareWiki 2016. Normals\Compute. Viitattu 15.04.2024
<https://cloudcompare.org/doc/wiki/index.php?title=Normals%5CCompute>.

CloudCompareWiki 2024a. Edit\Subsample. Viitattu 14.4.2025
<https://www.cloudcompare.org/doc/wiki/index.php/Edit%5CSubsample>.

– 2024b. File I/O. Viitattu 19.11.2024
https://www.cloudcompare.org/doc/wiki/index.php?title=FILE_I/O.

Girardeau-Montaut, D. Change detection on 3D Geometric Data. Viitattu 19.11.2024
https://www.danielgm.net/phd/phd_eng.html#cloudcompare.

Hakonen, A., Kuusela, J-M., Okkonen, J. 2015. Assessing the application of laser scanning and 3D inspection in the study of prehistoric cairn sites: The case study of Tahkokangas, Northern Finland. *Journal of Archaeological Science: Reports* 2 (2015), 227–234. Viitattu 11.10.2024
<https://doi.org/10.1016/j.jasrep.2015.02.001>.

Howland, M.D., Kuester, F., Levy, T.E. 2014. Photogrammetry in the field: documenting, recording, and presenting archaeology. *Mediterranean Archaeology and Archaeometry*, Vol 14, No.4, 101–108. Viitattu 7.10.2024
<https://escholarship.org/uc/item/5ps0z7pf>.

Hu, C., Peng, D., Lv, F., Sun, H., Zhao, T., Li, W. 2021. Application of Terrestrial Laser Scanner in engineering survey. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental* 783 (2021) 012084. Viitattu 24.3.2025
<http://dx.doi.org/10.1088/1755-1315/783/1/012084>.

Ikäheimo, J. & Seitsonen, O. 2021. Maanmittauslaitoksen uusi ja tarkempi laserkeilausaineisto (Laserkeilausaineisto 5p) kuoppajäännösten tutkimuksessa. *Muinaistutkija*, Nro 2 (2021), 2–19. Viitattu 7.10.2024 <https://muinaistutkija.journal.fi/article/view/131564/80425>.

Johnson, K.M. & Quimet, W.B. 2014. Rediscovering the lost archaeological landscape of southern New England using airborne light detection and ranging (LiDAR). *Journal of Archaeological Science*, Volume 43 (2014), 9–20. Viitattu 7.10.2024 <https://doi.org/10.1016/j.jas.2013.12.004>.

Kaasalainen, S., Kukko, A. & Hyyppä, H. 2011. Intensiiteettiedon hyödyntäminen laserkeilauksessa. *The Photogrammetric Journal of Finland*, Vol. 22, No. 3, 2011, 159–165. Viitattu 11.10.2024 https://foto.aalto.fi/seura/julkaisut/pjf/pjf_e/2011/PJF2011_3_Kaasalainen_et_al.pdf.

Kincey, M., Gerrard, C. & Warburton, J. 2017. Quantifying erosion of 'at risk' archaeological sites using repeat terrestrial laser scanning. *Journal of Archaeological Science: Reports* 12 (2017), 405–424. Viitattu 11.10.2024 <https://doi.org/10.1016/j.jasrep.2017.02.003>.

Kuschnerus, M., Czerwonka-Schröder, D. & Lindenbergh, R. 2021. Environmental influences on the stability of a permanently installed laser scanner. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XLIII-B2-2021, 745-751. Viitattu 13.05.2025 <http://dx.doi.org/10.5194/isprs-archives-XLIII-B2-2021-745-2021>.

Kuusela, J.-M., Nurmi, R. & Hakamäki, V. 2018. Unhierarchical and Hierarchical Core-Periphery Relations: North Fennoscandian Trade Network from the Middle Ages to the Post-Sixteenth Century. *American Anthropologist* 120(4): 765–780. Viitattu 15.11.2024 <https://doi.org/10.1111/aman.13104>.

Kuusela, J.-M., Mustonen, T., & Pohjoismäki, J. 2023. Lapin ensimmäinen sisämaan jatulintarha. *Muinaistutkija* 1/2023: 32–40. Viitattu 18.11.2023 <https://muinaistutkija.journal.fi/article/view/127587/80155>.

Lachat, E., Landes, T. & Grussenmeyer, P. 2017. Investigation of a Combined Surveying and Scanning Device: The Trimble SX10 Scanning Total Station. *Sensors* 2017, 17, 730. Viitattu 03.12.2024 <https://doi.org/10.3390/s17040730>.

Laurila, P. 2012. Mittaus- ja kartoitustekniikan perusteet. Rovaniemi: Rovaniemen ammattikorkeakoulun julkaisusarja D nro 3.

Liu, J., Willkens, D. & Gentry, R. 2023. A Conceptual Framework for Integrating Terrestrial Laser Scanning (TLS) into the Historic American Buildings (HABS). *Architecture* 2023, 3, 505–527. Viitattu 11.10.2024 <https://doi.org/10.3390/architecture3030028>.

- Markiewicz, J., Tobiasz, A., Kot, P., Muradov, M., Shaw, A. & Al-Shamma'a, A. 2019. Review of Surveying Devices for Structural Health Monitoring of Cultural Heritage Buildings. 12th International Conference on Developments in eSystems Engineering (DeSE), Kazan, Russia, 597-601. Viitattu 12.05.2025 <http://dx.doi.org/10.1109/DeSE.2019.00113>.
- Marín-Buzón, C., Pérez-Romero, A.M., León-Bonillo, M.J., Martínez-Álvarez, R., Mejías-García, J.C. & Manzano-Agugliaro, F. 2021. Photogrammetry (SfM) vs. Terrestrial Laser Scanning (TLS) for Archaeological Excavations. *Applied Sciences* 2021, 11, 11994. Viitattu 7.10.2024 <https://doi.org/10.3390/app112411994>.
- Museovirasto. Kulttuuriympäristön paikkatietoaineistot. Viitattu 13.01.2025 <https://www.museovirasto.fi/fi/palvelut-ja-ohjeet/tietojarjestelmat/kulttuuriympariston-tietojarjestelmat/kulttuuriympaeriston-paikkatietoaineistot>.
- Museovirasto. Kulttuuriympäristörekisterin tietotuote. Viitattu 13.01.2025 https://stmuseovirastoprod.blob.core.windows.net/museovirasto/Tietotuotemaarit_tely_kulttuuriymparisto_suojellut.pdf.
- Niemi, T. 2024. Ainutlaatuinen Savukosken jatulintarha. *Tiedetoimittaja* 1/2024 21.01.2024 <https://www.tiedetoimittajat.fi/ainutlaatuinen-savukosken-jatulintarha/>.
- Pan, Y. 2019. Target-less registration of point clouds: A review. arXiv:1912.12756v1 [cs.CV] 29 Dec 2019. Viitattu 24.3.2025 <https://doi.org/10.48550/arXiv.1912.12756>.
- Petriaggi, B. & Gomez de Ayala, G. 2015. Laser scanner reliefs of selected archeological structures in the submerged Baiae (Naples). *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Volume XL-5/W5, 2015. Viitattu 9.10.2024 <https://doi.org/10.5194/isprsarchives-XL-5-W5-79-2015>.
- Pietiläinen, P. 1999. GIS-analyysi keskiaikaisen Etelä-Karjalan jatulintarhoista. *Muinaistutkija* 4/1999, 2–17. Viitattu 13.11.2024 http://www.sarks.fi/mt/pdf/99_4.pdf.
- Pradhan, B. & Oludare Idrees, M. 2016. A decade of modern cave surveying with terrestrial laser scanning: A review of sensors, method and application development. *International Journal of Speleology*, 45 (1), 71–88. Viitattu 11.10.2024 <http://dx.doi.org/10.5038/1827-806X.45.1.1923>.
- Ratnayake, A., Rahringer, M. & Drewello, R. 2018. Preservation of Archeological Sites Using 3D-Scanning Documentation Case Study: Sri Dalada Maligawa, Kandy, Sri Lanka. *2018 National Information Technology Conference (NITC)*, 02–04 October, Colombo, Sri Lanka. Viitattu 9.10.2024 <https://doi-org.ez.lapinamk.fi/10.1109/NITC.2018.8550086>.

Ridderstad, M. 2013. Knossoksesta Ultima Thuleen – jatulintrarhat aurinkoriittien paikkoina. *Muinaistutkija* 2/2013, 11–24. Viitattu 13.11.2024
http://www.sarks.fi/mt/pdf/2013_2.pdf.

Skoroplyas, P. 2020. What is the Normal Maps in 3D Modelling. Kreonit. Viitattu 20.01.2025 <https://kreonit.com/programming-and-games-development/normal-map-in-3d-modelling-explained/>.

Siebke, I., Campana, L., Ramstein, M., Furtwängler, A., Hafner, A. & Lössch, S. 2018. Digital Applications in Archaeology and Cultural Heritage 10 (2018) Viitattu 11.10.2024
<https://doi.org/10.1016/j.daach.2018.e00078>.

Trimble. Trimble Realworksin sisäinen ohjekirja. Viitattu 03.12.2024.

Trimble 2017. Trimble SX10 Datasheet.

Trimble 2023. Datasheet - Trimble X7 3D Laser Scanner. Viitattu 25.10.2024
<https://fieldtech.trimble.com/resources/product-guides-brochures-datasheets/datasheet-trimble-x7-3d-laser-scanner>.

Trimble 2020. Trimble X7 3D Laser Scanner User Guide. Viitattu 13.05.2025

Sanchiz-Viel, N., Bretagne, E., Mouaddib, E-M. & Dassonvalle, P. 2021. Radiometric Correction of Laser Scanning Intensity Data Applied For Terrestrial Laser Scanning. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 2021, 172, 1-16. Viitattu 12.05.2025
<https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2020.11.015>.

Westerdahl, C. 2014. The Stone Labyrinths of the North. *Caedroia* 43:2014, 7–23. Viitattu 18.11.2024
<https://www.labyrinthos.net/Caedroia%2043%20HR.pdf#page=8>.

LIITTEET

Liite 1. Trimble SX10-hybridikeilaimella mitatun kohde 1 kuvat jokaisesta työvaiheesta korkeus- ja tosikuva-väriyksellä.

Liite 2. Trimble SX10-hybridikeilaimella mitatun kohde 2 kuvat jokaisesta työvaiheesta korkeus- ja tosikuva-väriyksellä.

Liite 3. Trimble X7-keilaimella mitatun kohde 1 kuvat jokaisesta työvaiheesta korkeus- ja tosikuva-väriyksellä.

Liite 4. Trimble X7-keilaimella mitatun kohde 2 kuvat jokaisesta työvaiheesta korkeus- ja tosikuva-väriyksellä.

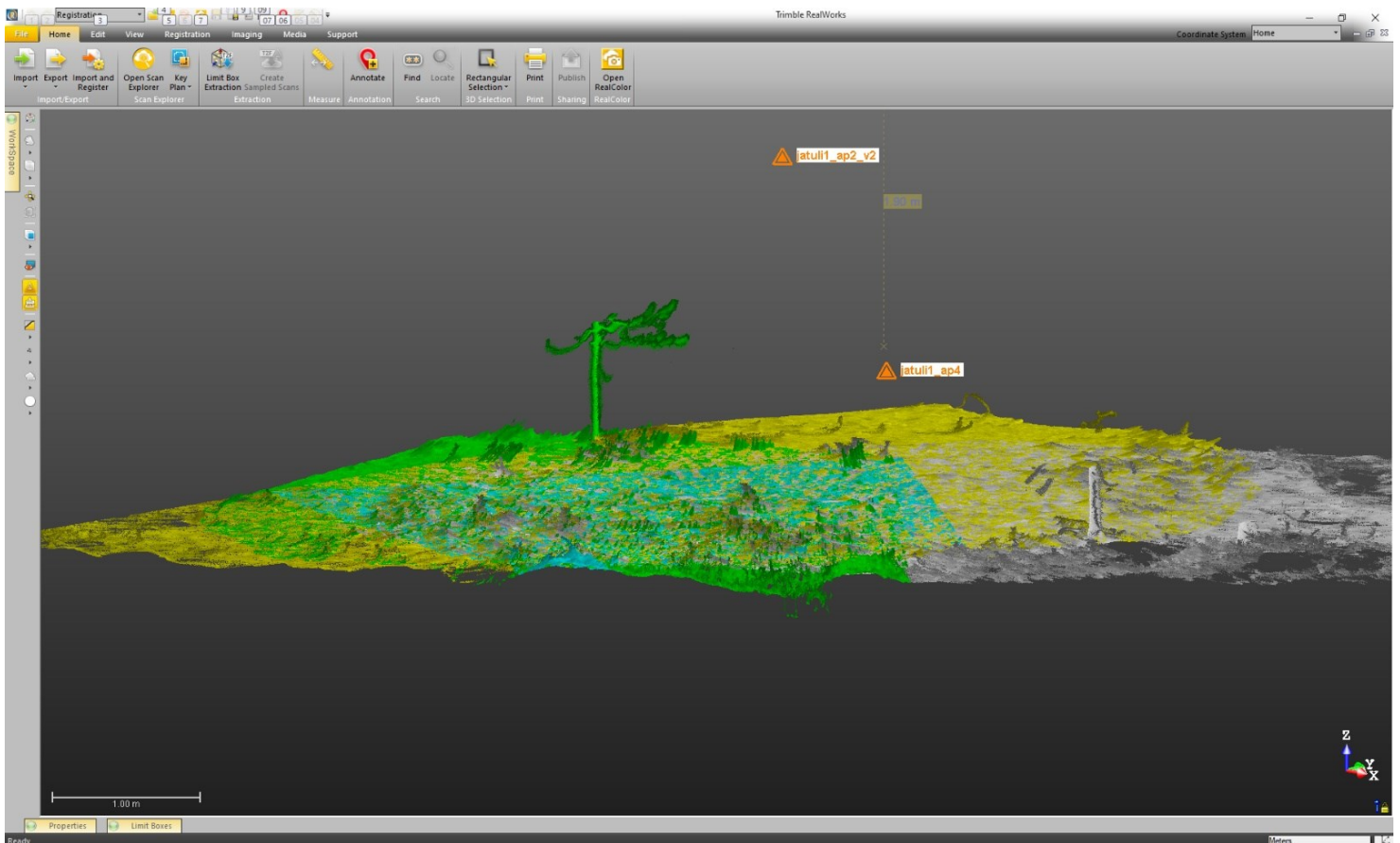
Liite 5. Työssä läpi käydyn kohteen rekisteröintiraportti ennen rekisteröinnin korjausta

Liite 6. Kuva kohde 1

Liite 7. Kuva kohde 2

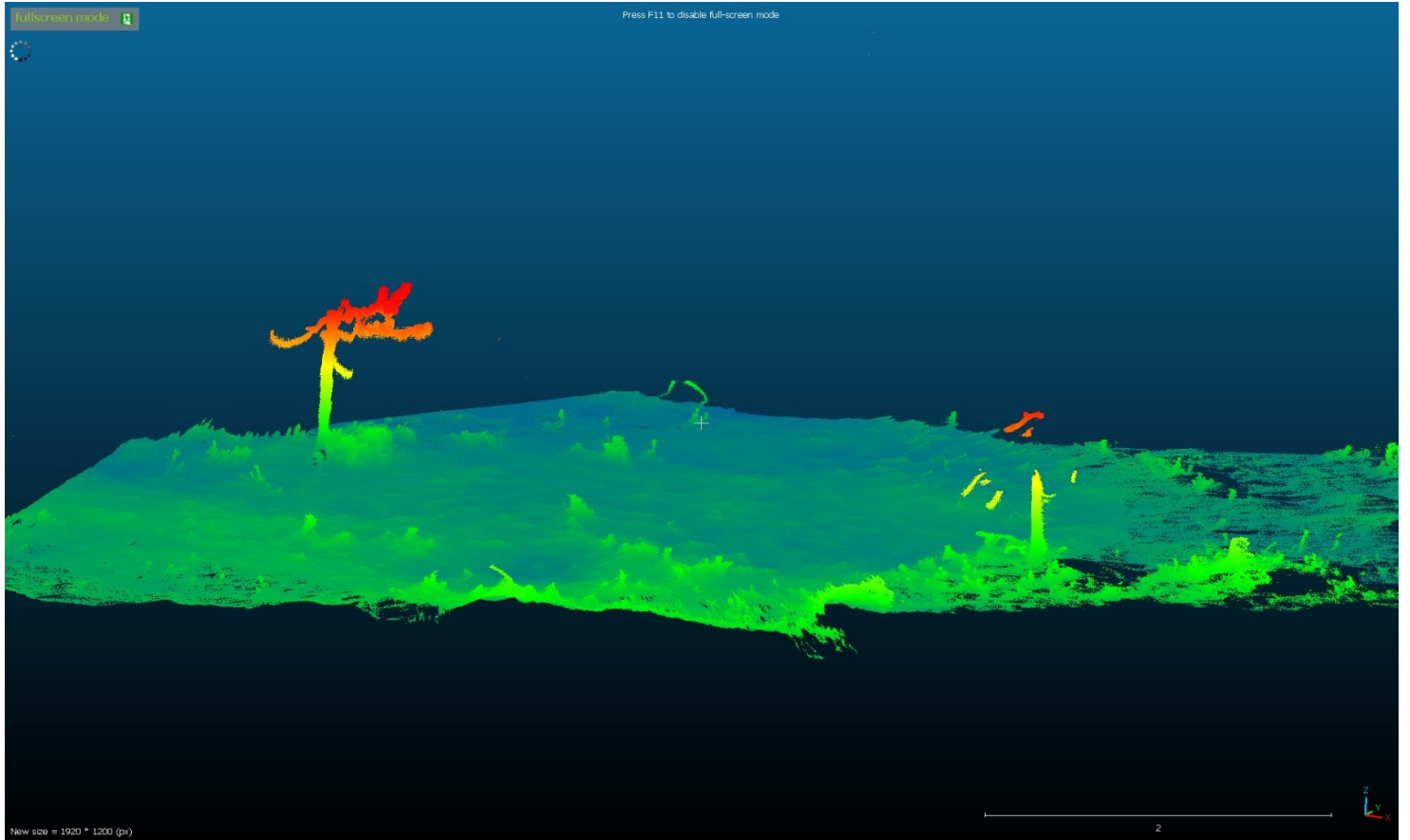
Liite 1 (1). Trimble SX10-hybridikeilaimella mitatun kohde 1 kuvat jokaisesta työvaiheesta korkeus- ja tosikuva-väriyksellä.

Rekisteröimätön aineisto Realworksissa



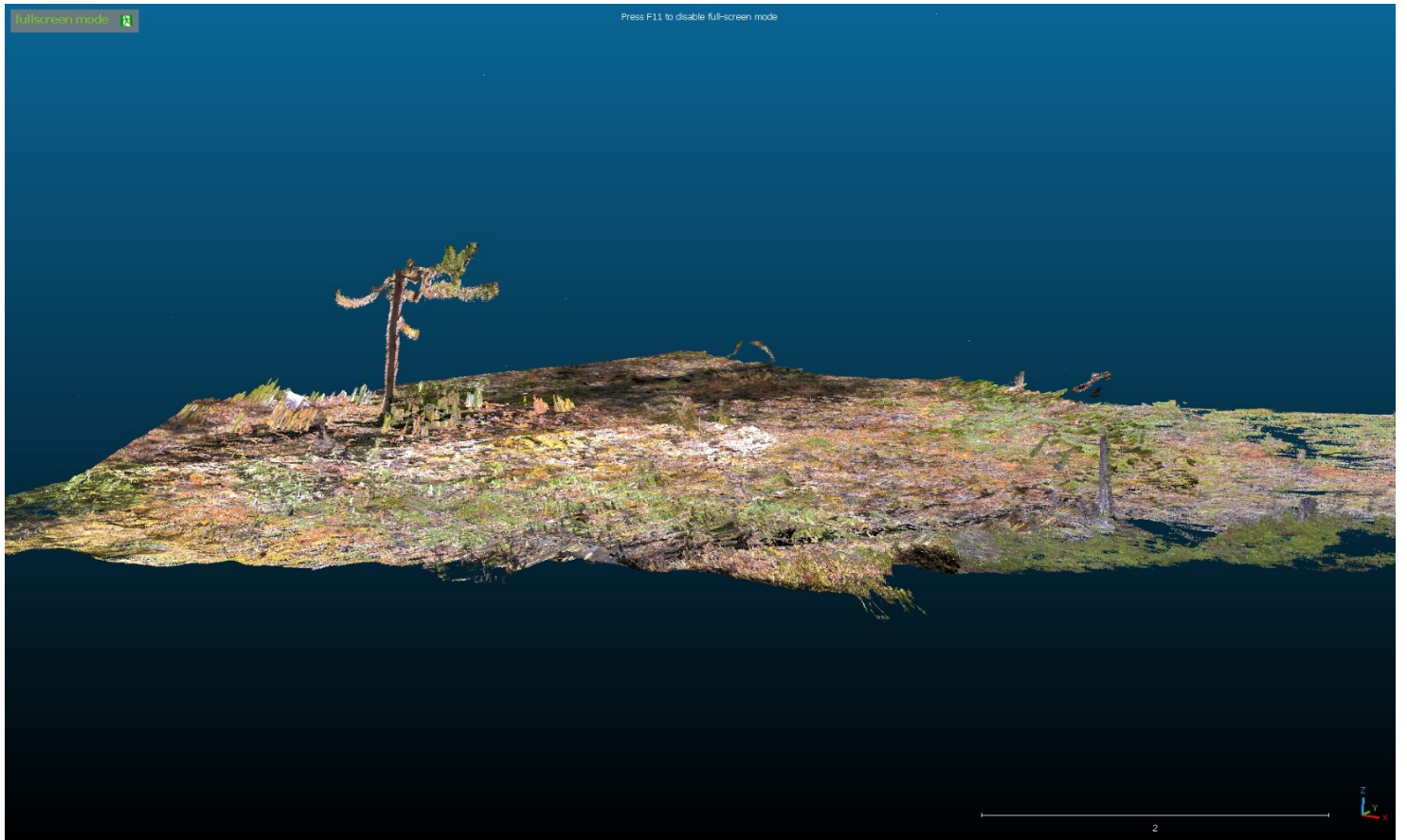
Liite 1 (2). Trimble SX10-hybridikeilaimella mitatun kohde 1 kuvat jokaisesta työvaiheesta korkeus- ja tosikuva-väriyksellä.

CloudComparen tuotu rekisteröity aineisto, väritetty korkeusarvoilla



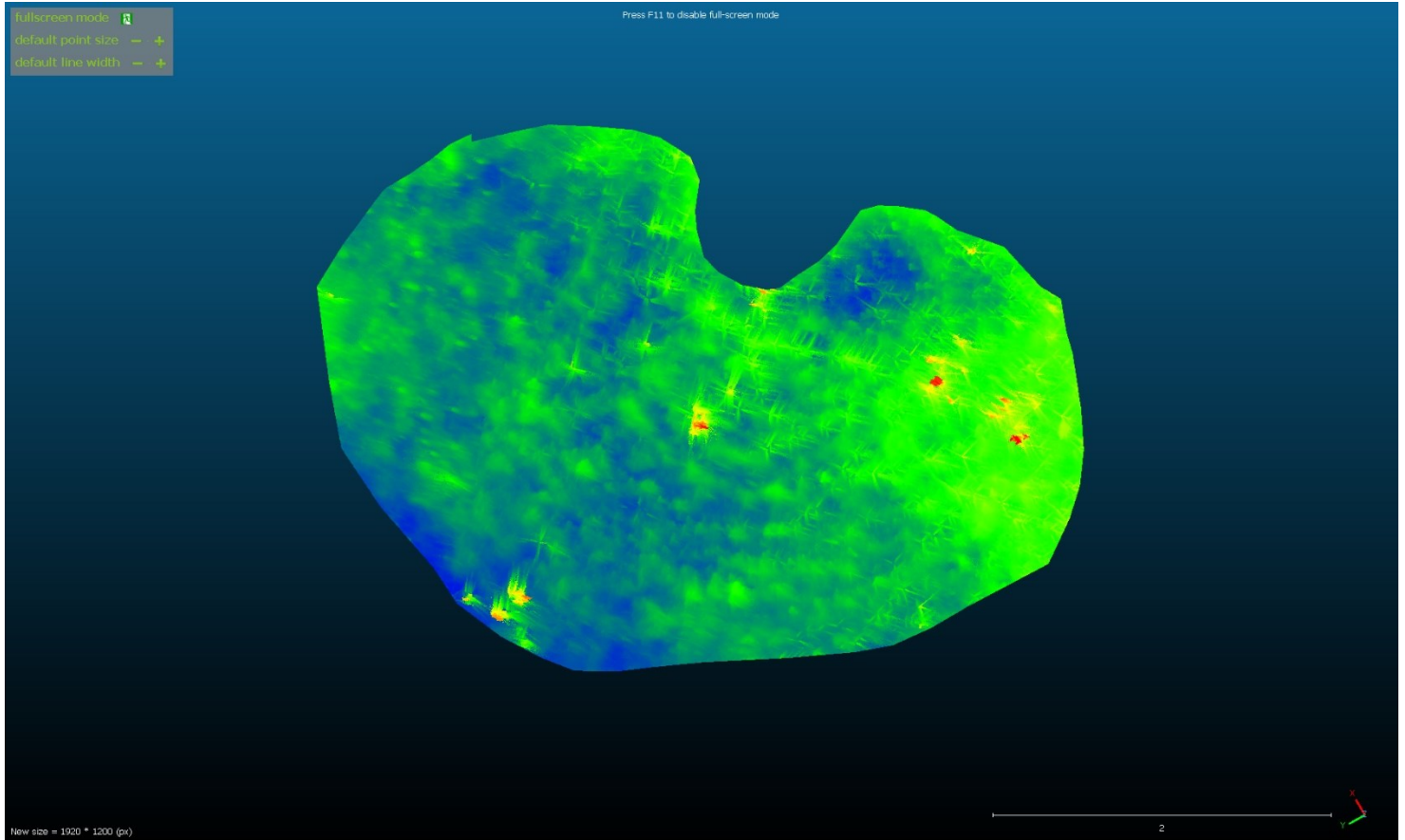
Liite 1 (3). Trimble SX10-hybridikeilaimella mitatun kohde 1 kuvat jokaisesta työvaiheesta korkeus- ja tosikuva-väriyksellä.

CloudCompareen tuotu rekisteröity aineisto, tosivärätetty



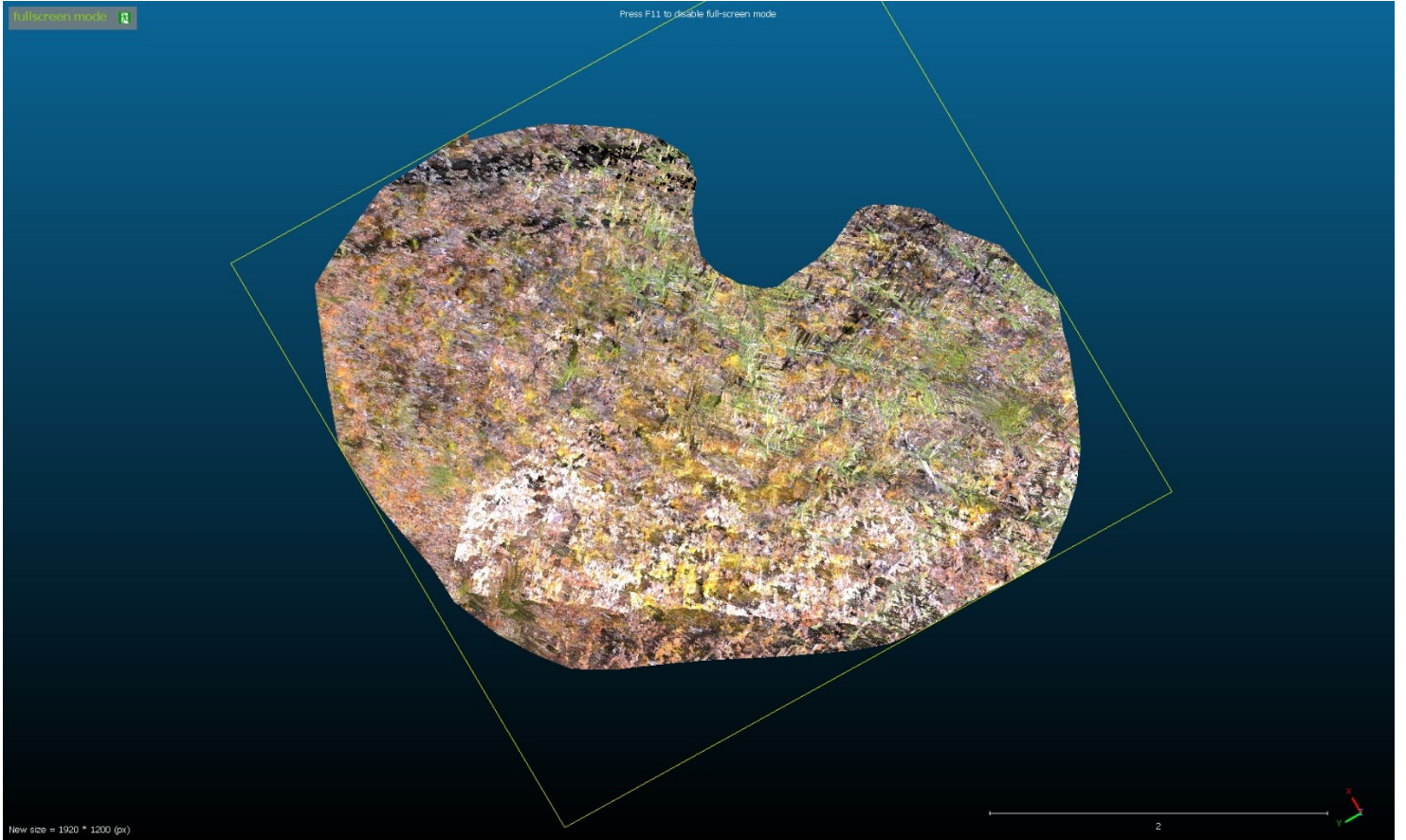
Liite 1 (4). Trimble SX10-hybridikeilaimella mitatun kohde 1 kuvat jokaisesta työvaiheesta korkeus- ja tosikuva-väriyksellä.

Rajattu pistepilvi



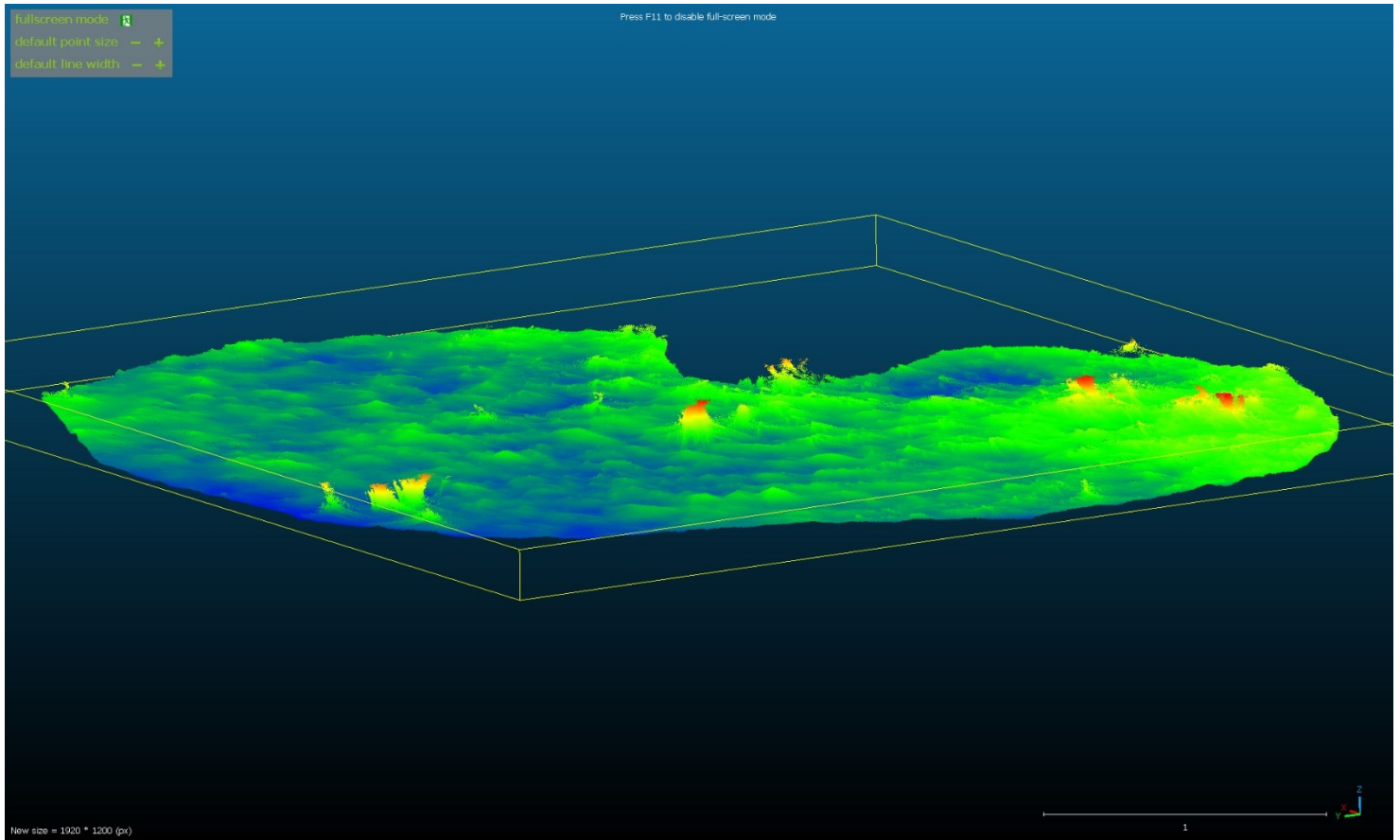
Liite 1 (5). Trimble SX10-hybridikeilaimella mitatun kohde 1 kuvat jokaisesta työvaiheesta korkeus- ja tosikuva-väriyksellä.

Rajattu pistepilvi, tosiväri



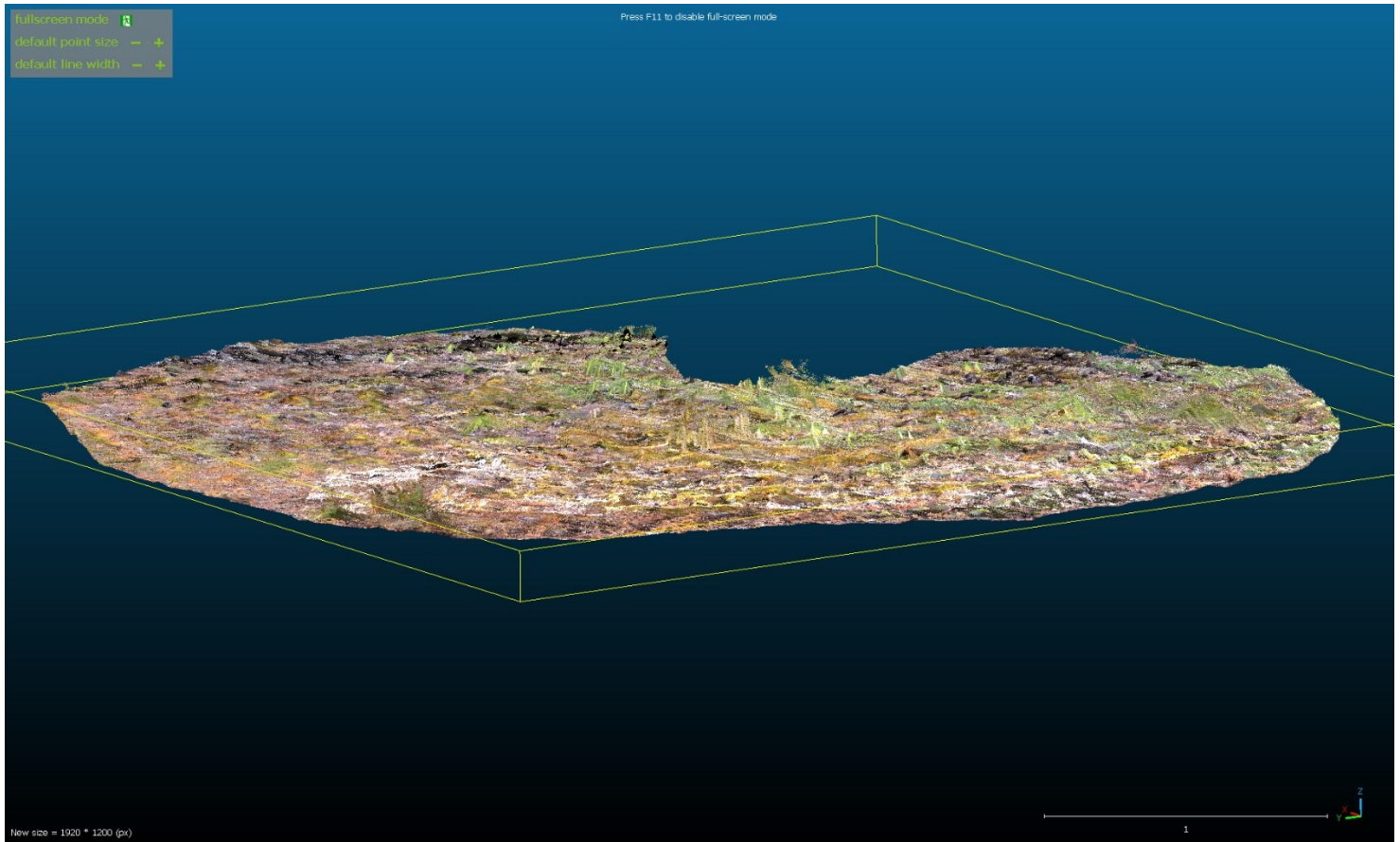
Liite 1 (6). Trimble SX10-hybridikeilaimella mitatun kohde 1 kuvat jokaisesta työvaiheesta korkeus- ja tosikuva-väriytyksellä.

Pistepilvi ennen CSF



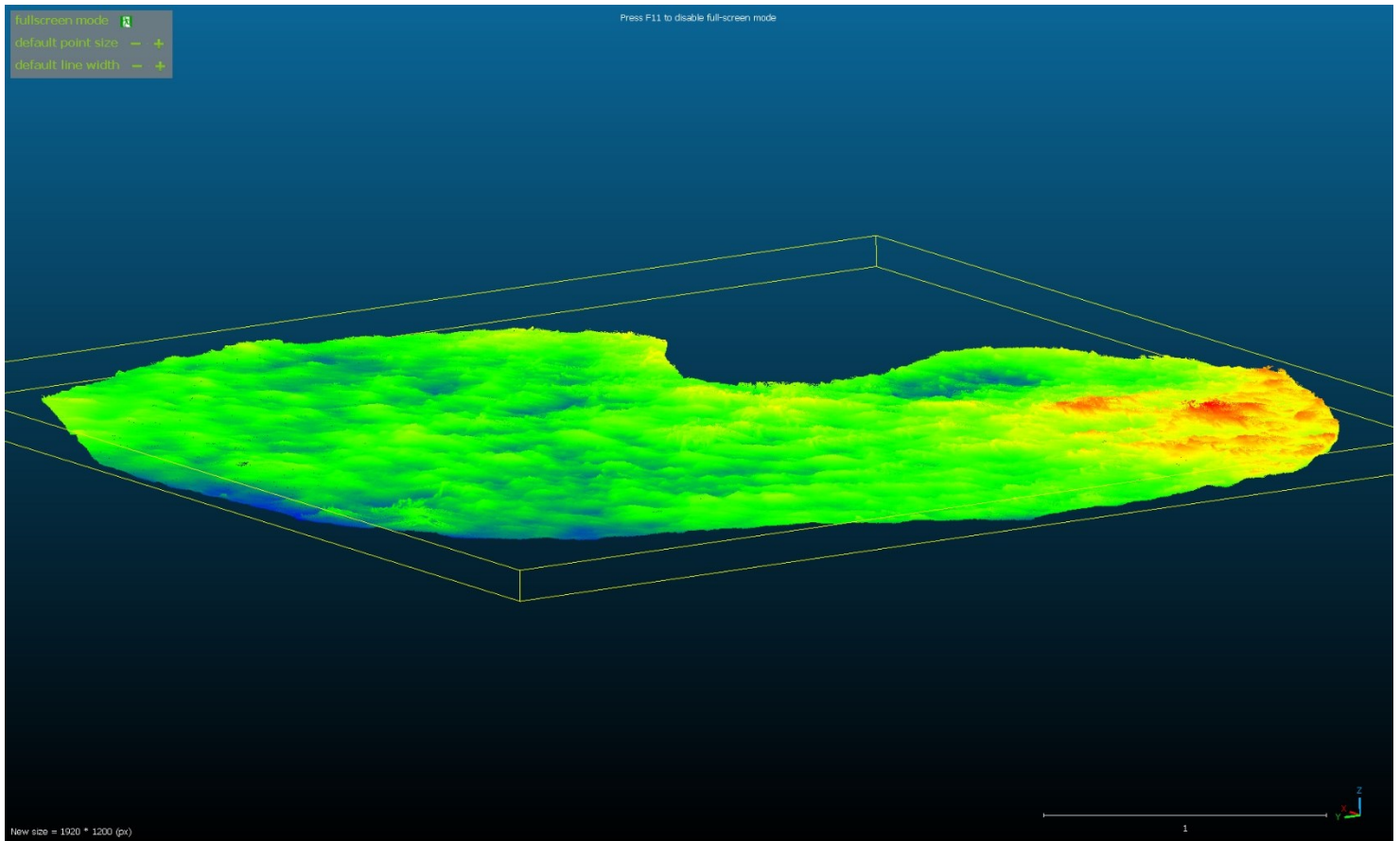
Liite 1 (7). Trimble SX10-hybridikeilaimella mitatun kohde 1 kuvat jokaisesta työvaiheesta korkeus- ja tosikuva-väriyksellä.

Pistepilvi ennen CSF, tosiväri



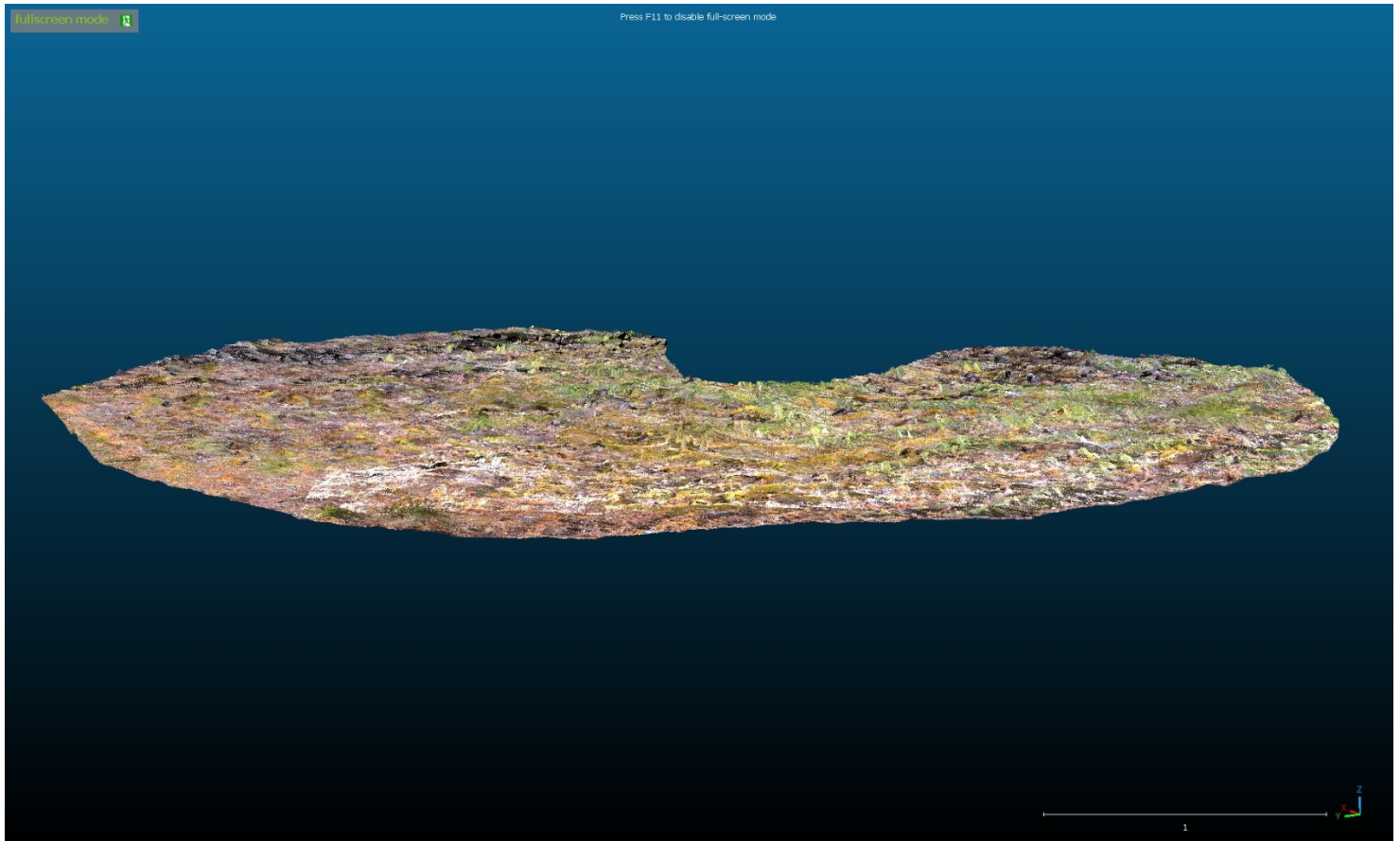
Liite 1 (8). Trimble SX10-hybridikeilaimella mitatun kohde 1 kuvat jokaisesta työvaiheesta korkeus- ja tosikuva-väriytyksellä.

CSF:n ja harventamisen jälkeinen pilvi



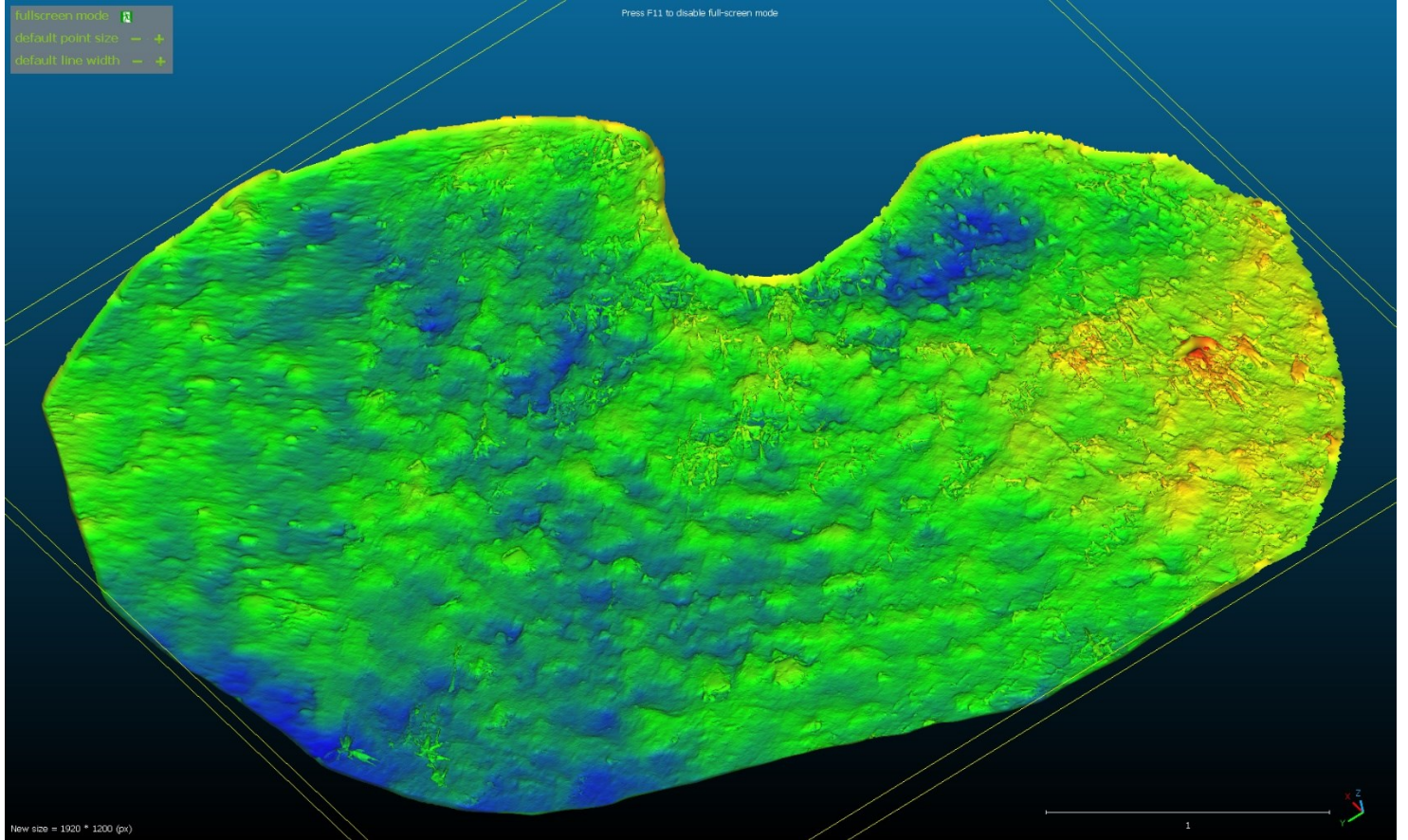
Liite 1 (9). Trimble SX10-hybridikeilaimella mitatun kohde 1 kuvat jokaisesta työvaiheesta korkeus- ja tosikuva-väriyksellä.

CSF:n ja harventamisen jälkeinen pilvi, tosiväri



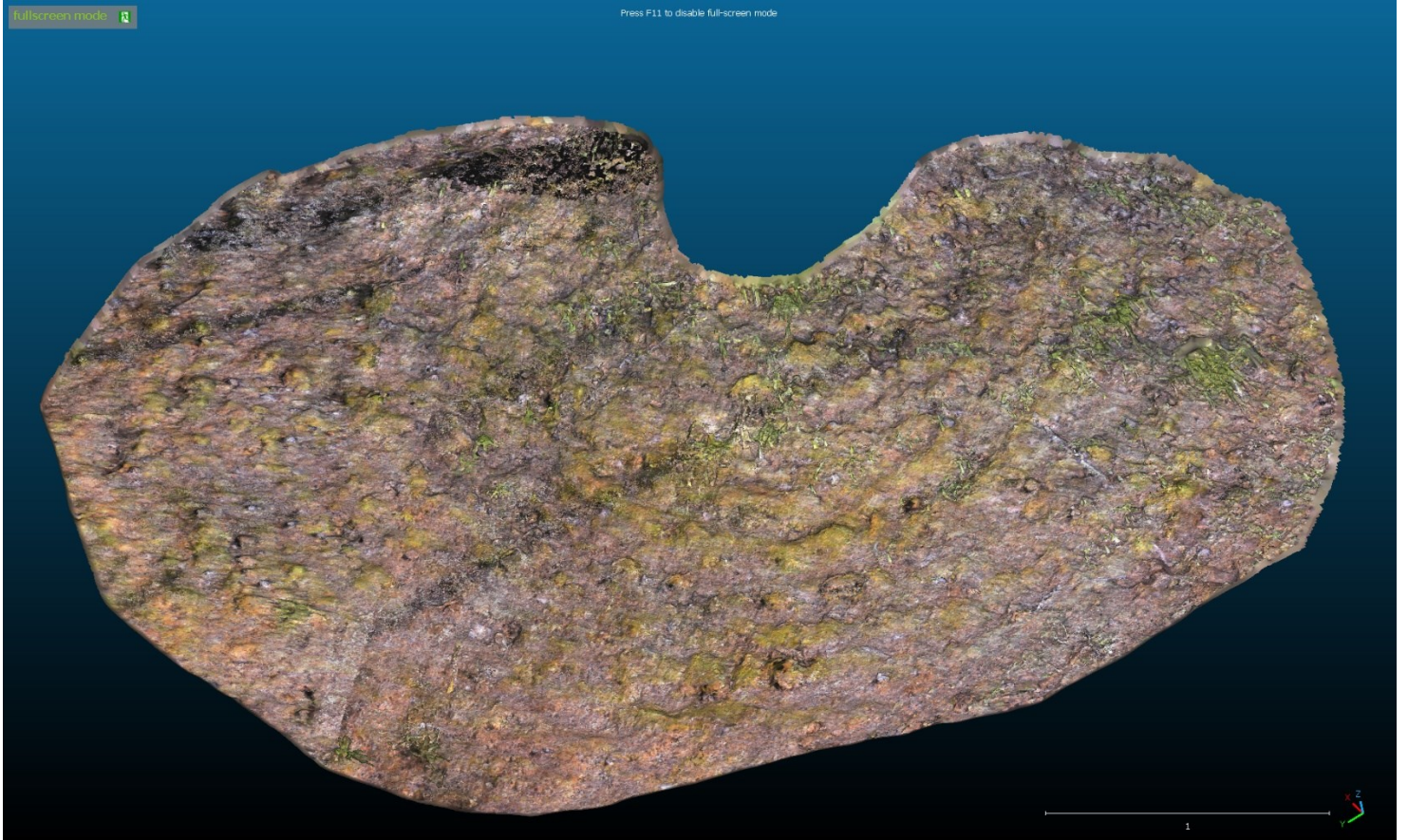
Liite 1 (10). Trimble SX10-hybridikeilaimella mitatun kohde 1 kuvat jokaisesta työvaiheesta korkeus- ja tosikuva-väriyksellä.

3D-malli PoissonReconin jälkeen



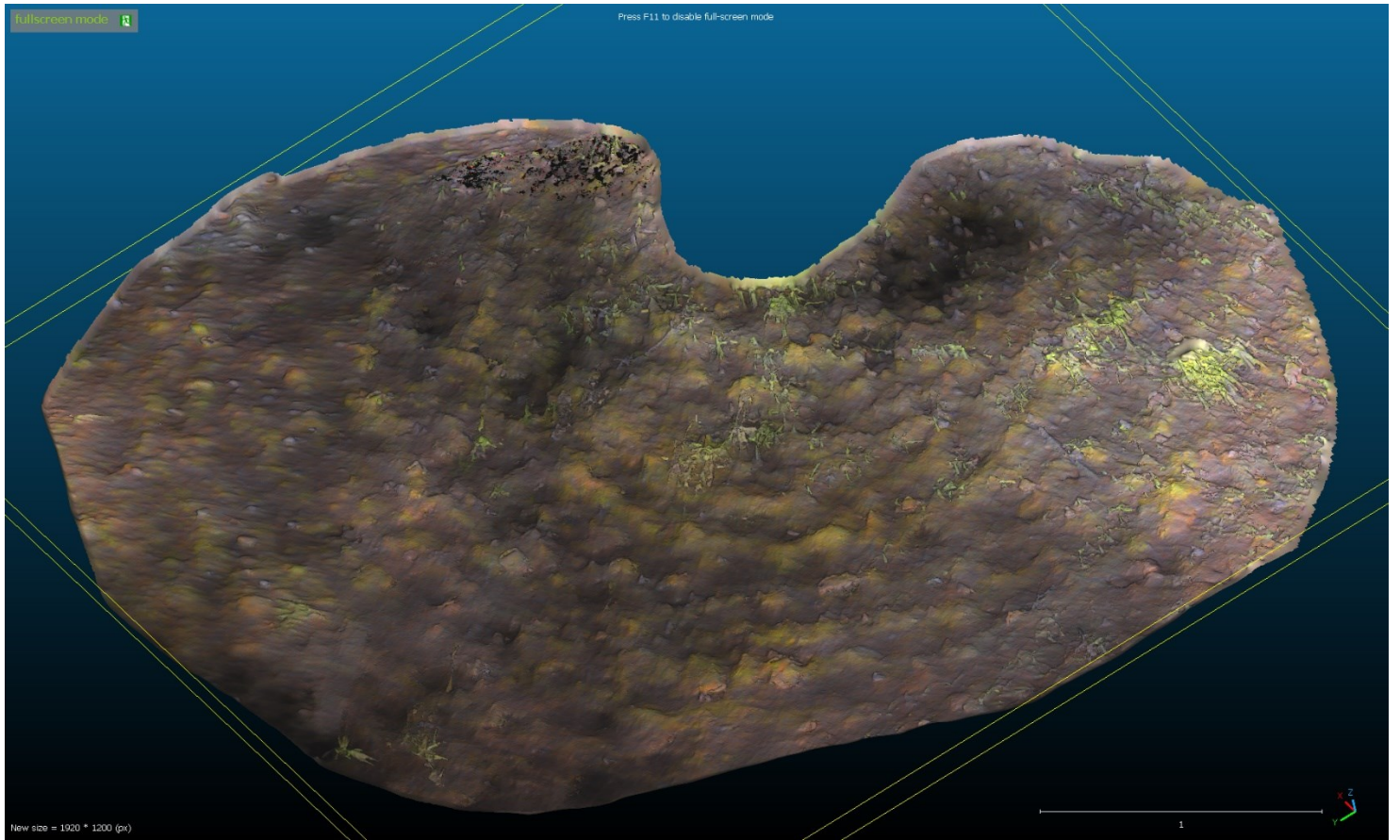
Liite 1 (11). Trimble SX10-hybridikeilaimella mitatun kohde 1 kuvat jokaisesta työvaiheesta korkeus- ja tosikuva-väriyksellä.

3D-malli PoissonReconin jälkeen, tosiväri



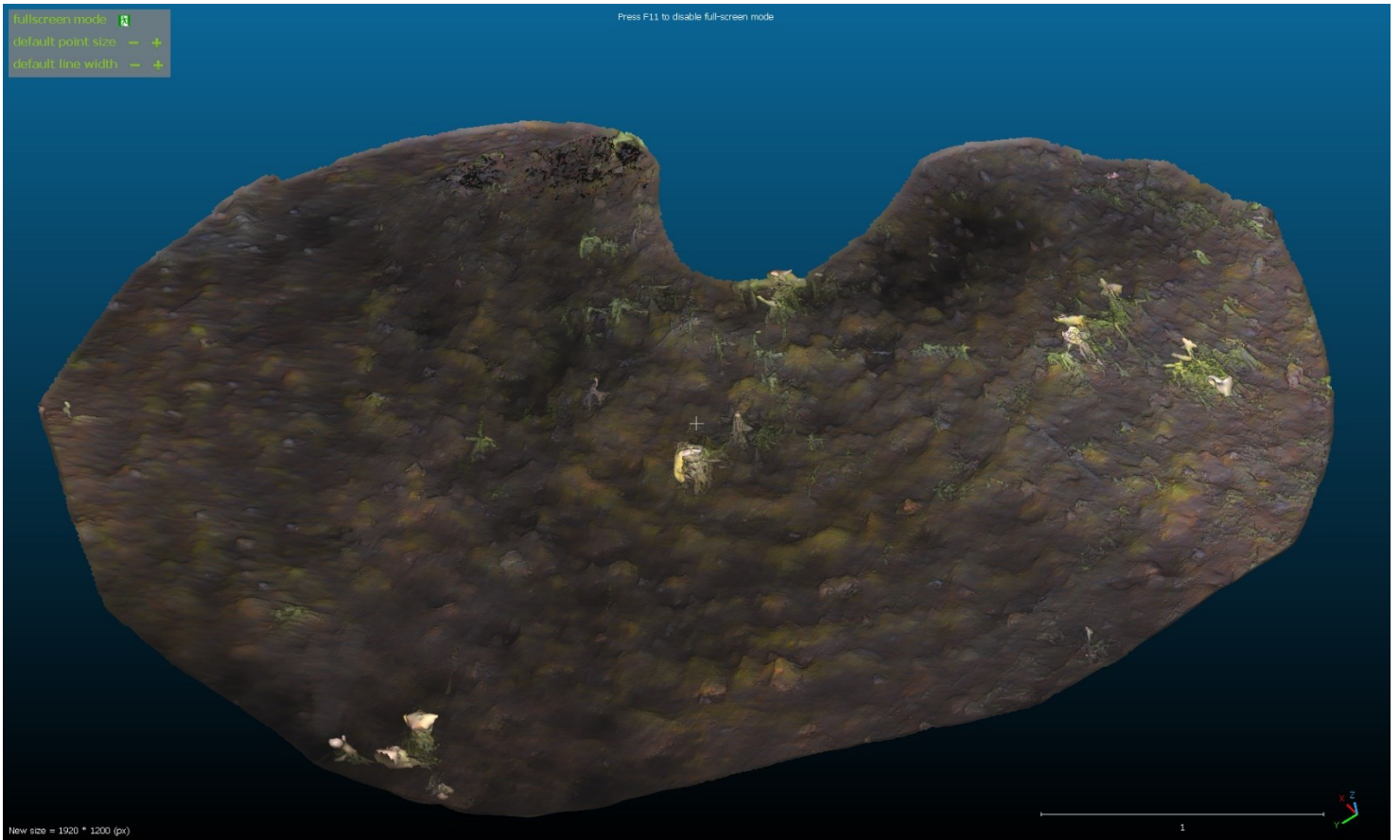
Liite 1 (12). Trimble SX10-hybridikeilaimella mitatun kohde 1 kuvat jokaisesta työvaiheesta korkeus- ja tosikuva-väriyksellä.

Väritetty 3D-malli



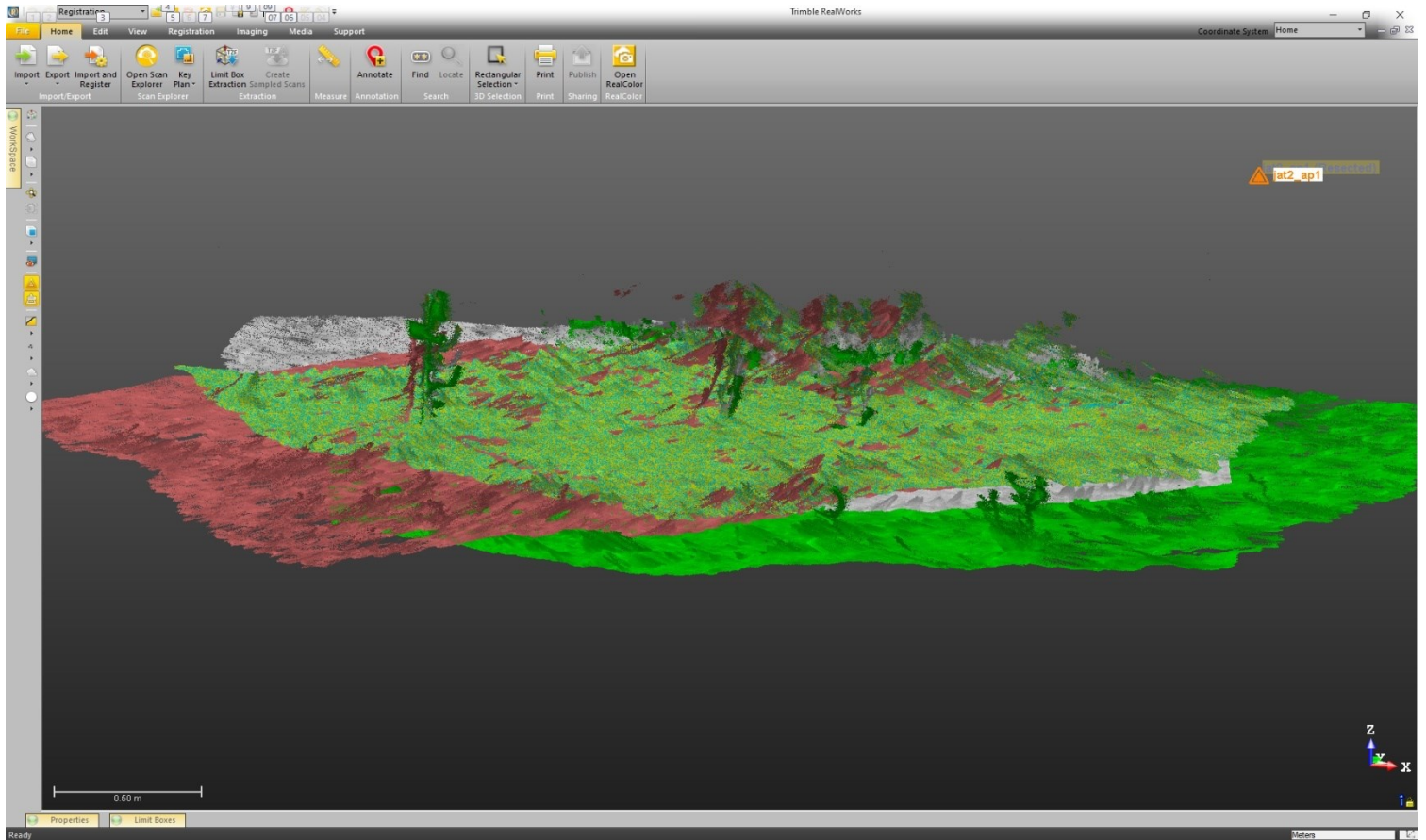
Liite 1 (13). Trimble SX10-hybridikeilaimella mitatun kohde 1 kuvat jokaisesta työvaiheesta korkeus- ja tosikuva-väriyksellä.

Väritetty 3D-malli ilman CSF



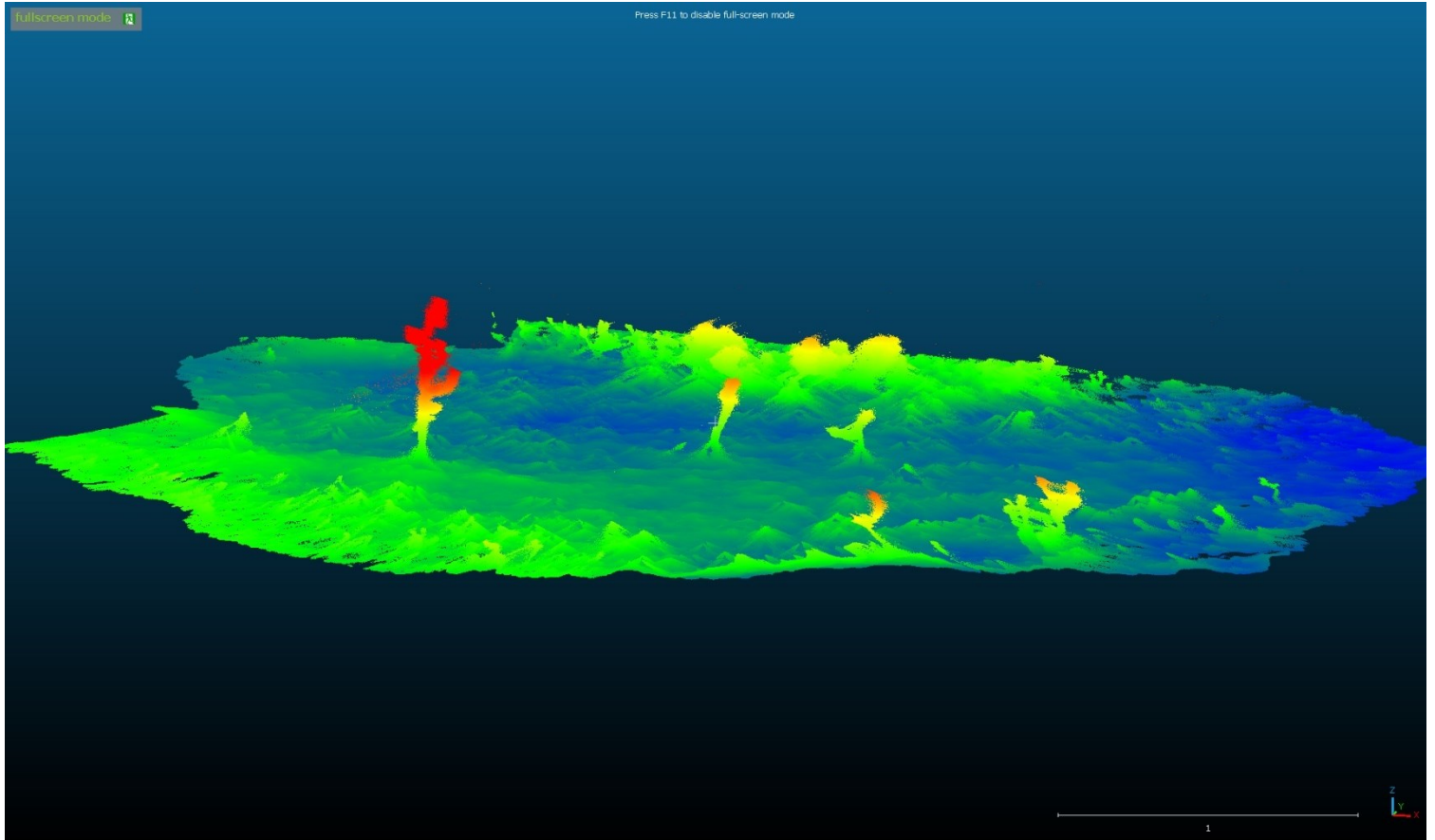
Liite 2 (1). Trimble SX10-hybridikeilaimella mitatun kohde 2 kuvat jokaisesta työvaiheesta korkeus- ja tosikuva-väriyksellä.

Rekisteröimätön aineisto Realworksissa



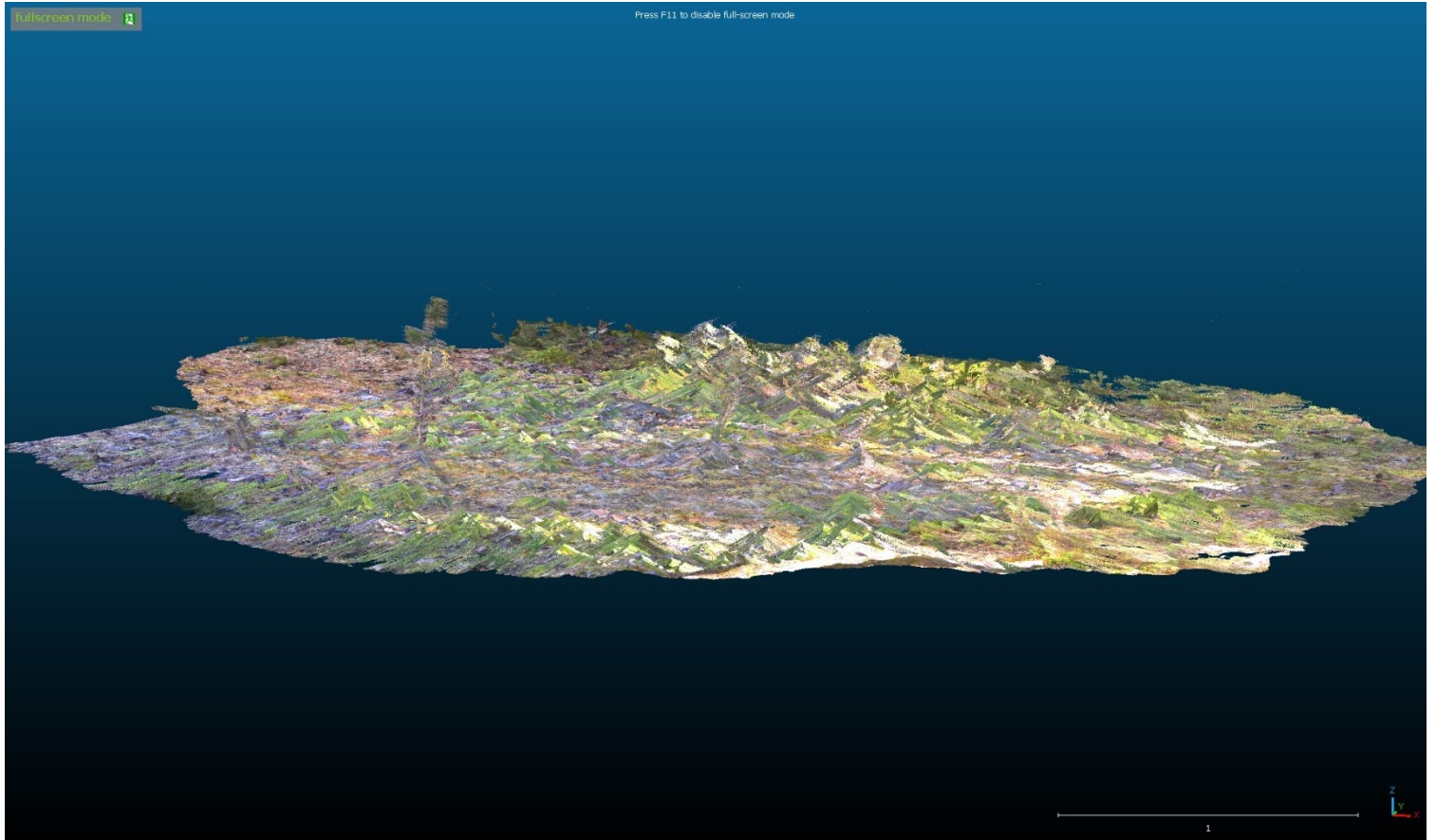
Liite 2 (2). Trimble SX10-hybridikeilaimella mitatun kohde 2 kuvat jokaisesta työvaiheesta korkeus- ja tosikuva-väriyksellä.

CC:n tuotu rekisteröity aineisto, väritetty korkeusarvoilla



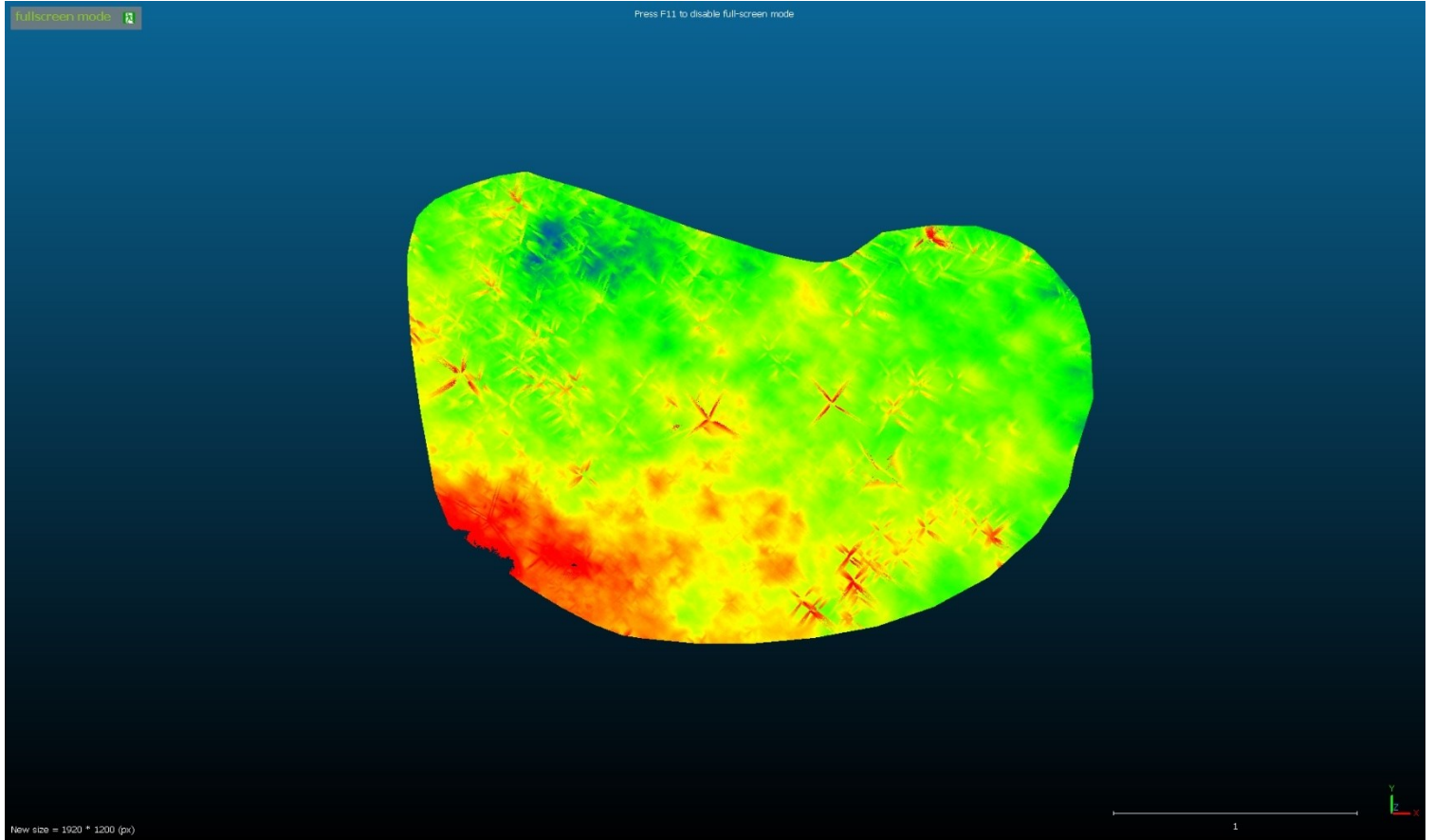
Liite 2 (3). Trimble SX10-hybridikeilaimella mitatun kohde 2 kuvat jokaisesta työvaiheesta korkeus- ja tosikuva-värityksellä.

CC:n tuotu rekisteröity aineisto, tosiväri-värityksellä



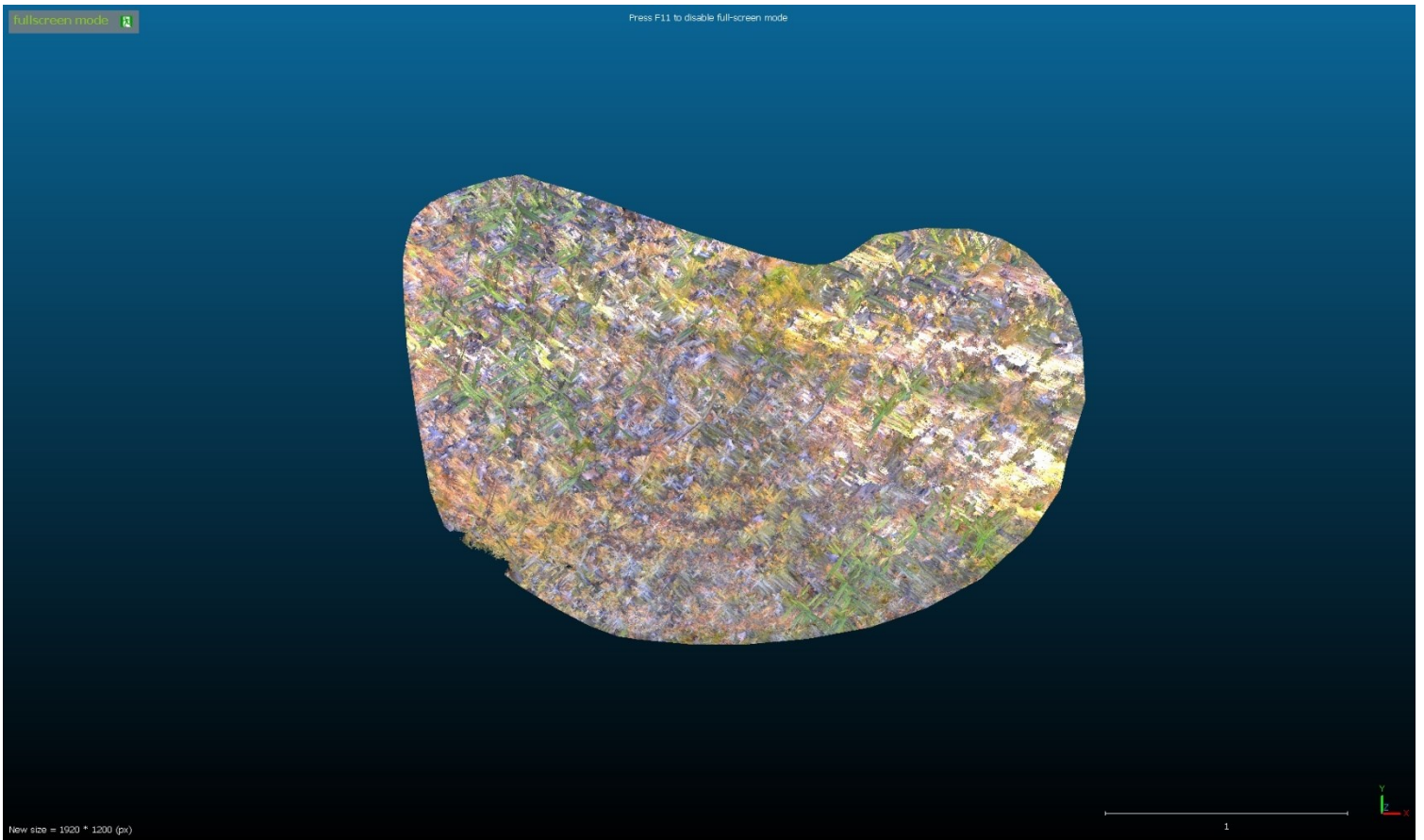
Liite 2 (4). Trimble SX10-hybridikeilaimella mitatun kohde 2 kuvat jokaisesta työvaiheesta korkeus- ja tosikuva-väriyksellä.

Rajattu pistepilvi



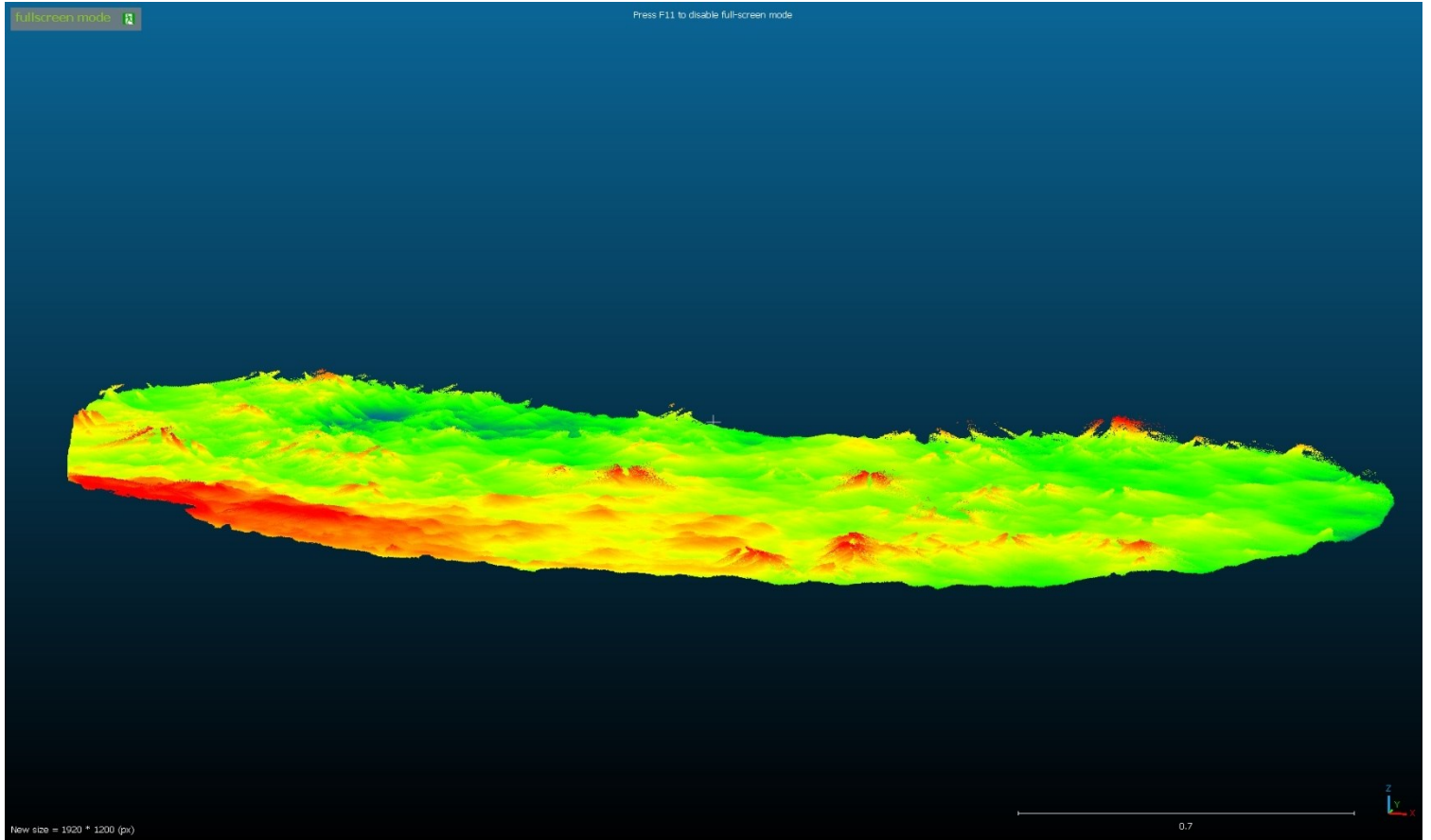
Liite 2 (5). Trimble SX10-hybridikeilaimella mitatun kohde 2 kuvat jokaisesta työvaiheesta korkeus- ja tosikuva-väriyksellä.

Rajattu pistepilvi, tosiväri



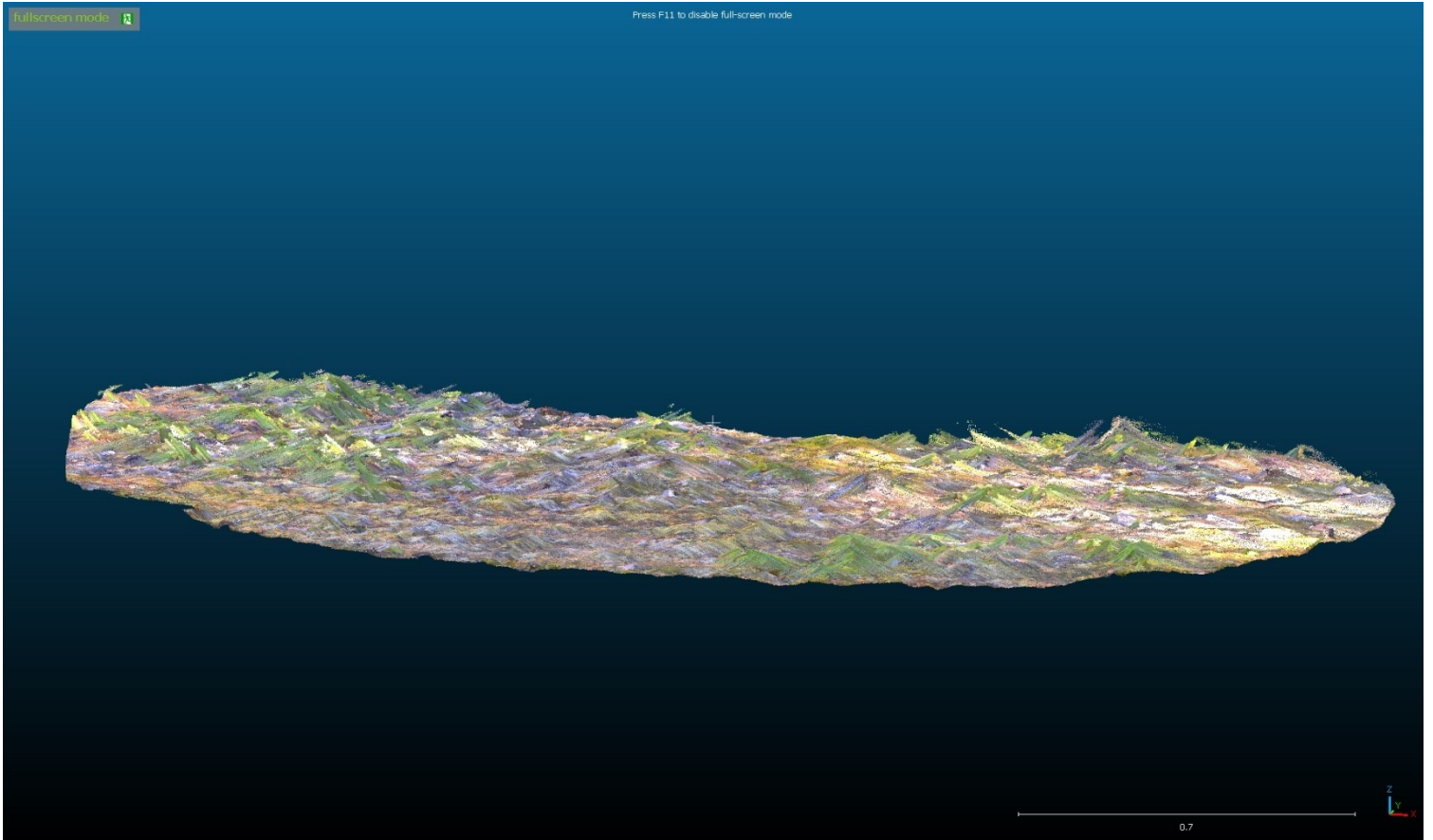
Liite 2 (6). Trimble SX10-hybridikeilaimella mitatun kohde 2 kuvat jokaisesta työvaiheesta korkeus- ja tosikuva-väriyksellä.

Pistepilvi ennen CSF



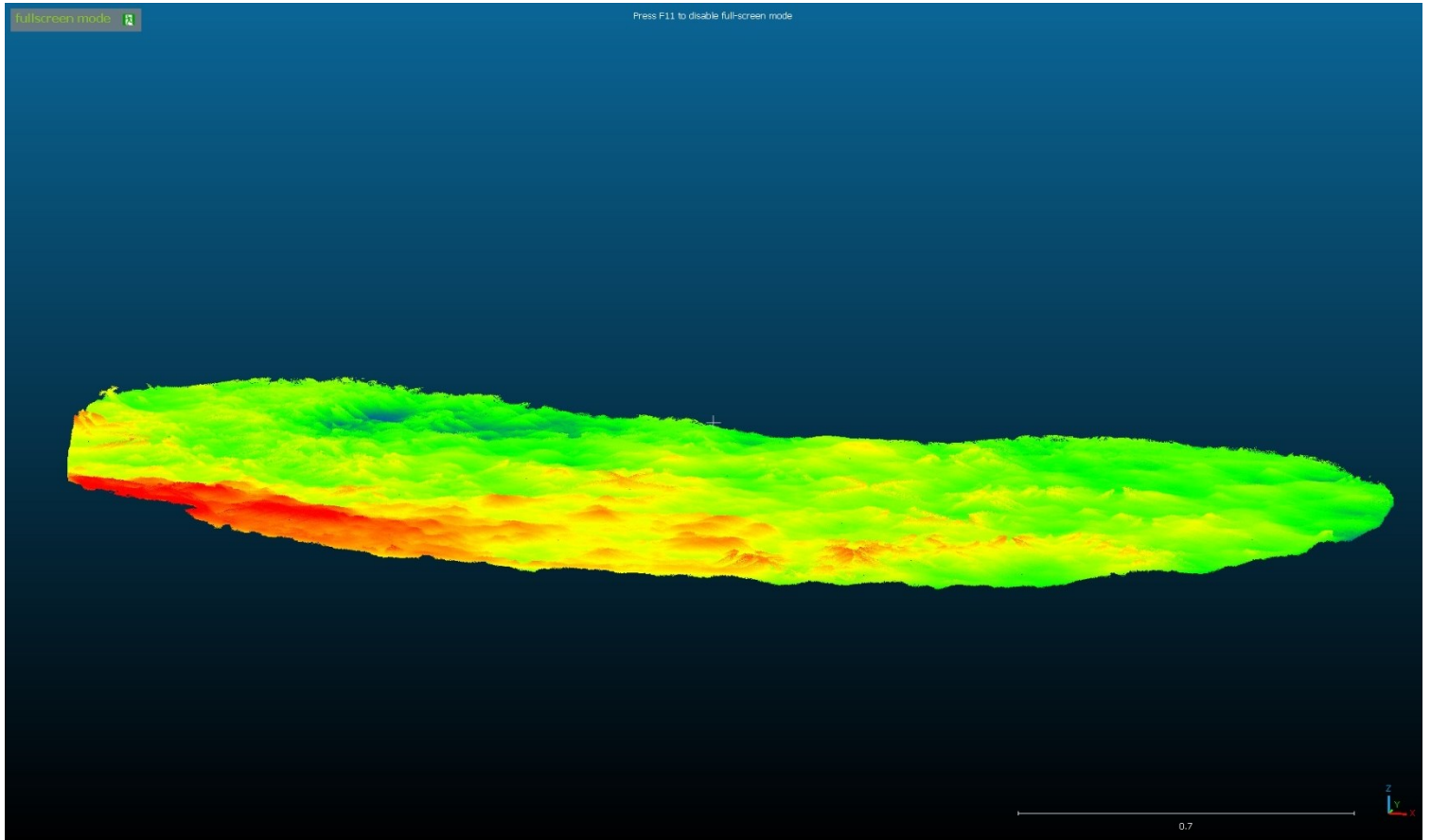
Liite 2 (7). Trimble SX10-hybridikeilaimella mitatun kohde 2 kuvat jokaisesta työvaiheesta korkeus- ja tosikuva-väriyksellä.

Pistepilvi ennen CSF, tosiväri



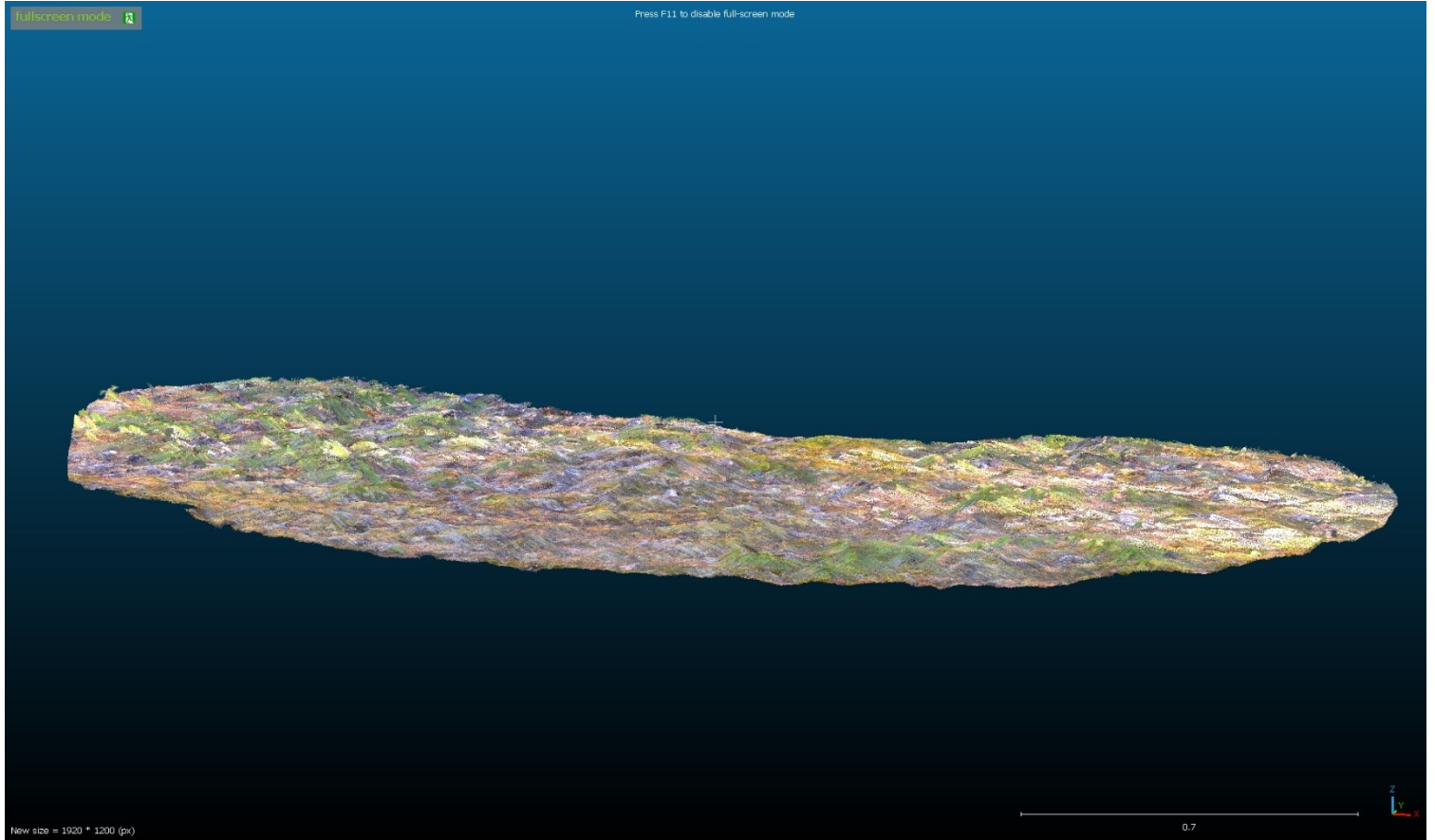
Liite 2 (8). Trimble SX10-hybridikeilaimella mitatun kohde 2 kuvat jokaisesta työvaiheesta korkeus- ja tosikuva-väriyksellä.

CSF:n ja harventamisen jälkeinen pilvi



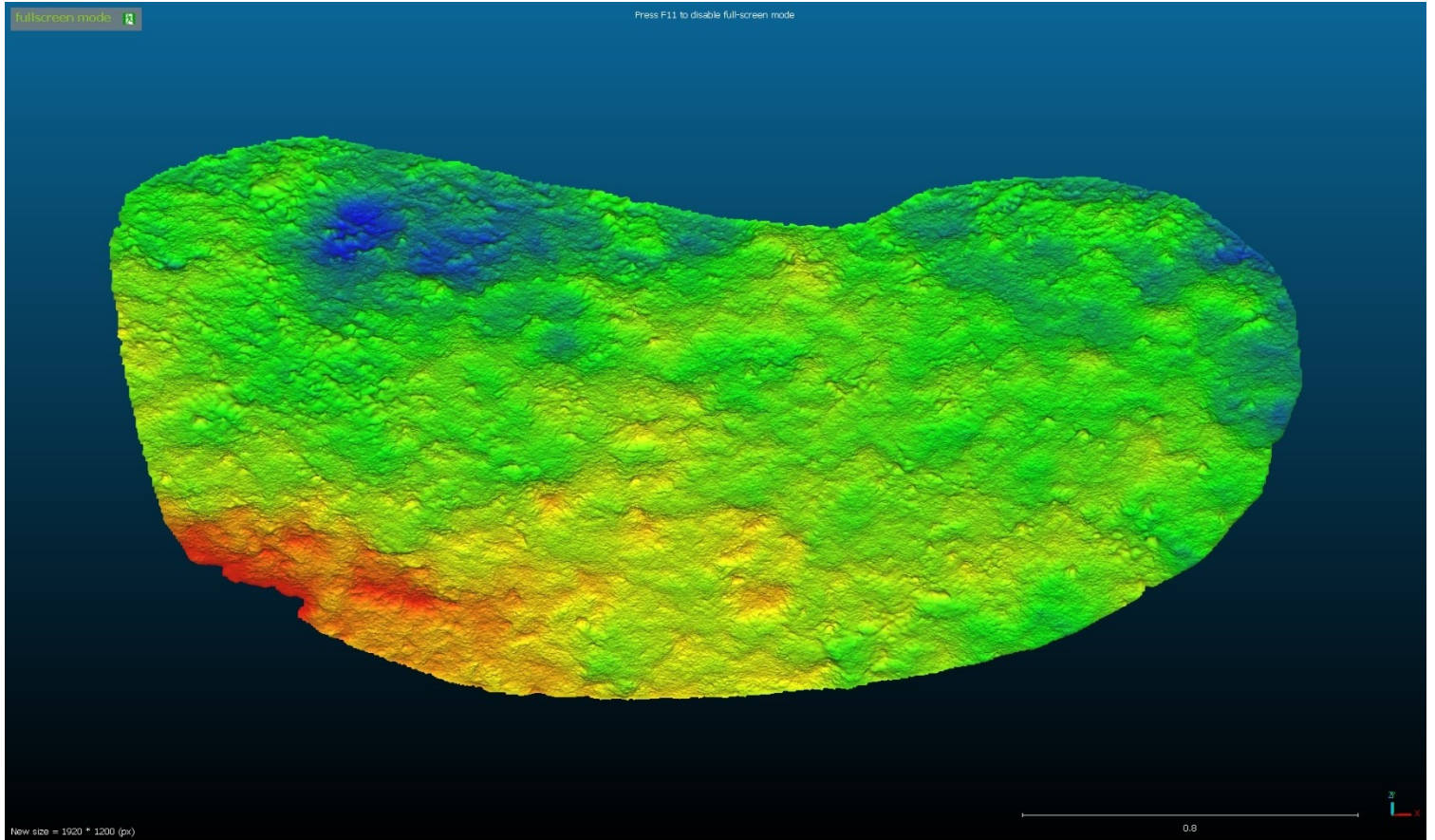
Liite 2 (9). Trimble SX10-hybridikeilaimella mitatun kohde 2 kuvat jokaisesta työvaiheesta korkeus- ja tosikuva-väriyksellä.

CSF:n ja harvennuksen jälkeinen pilvi, tosiväri



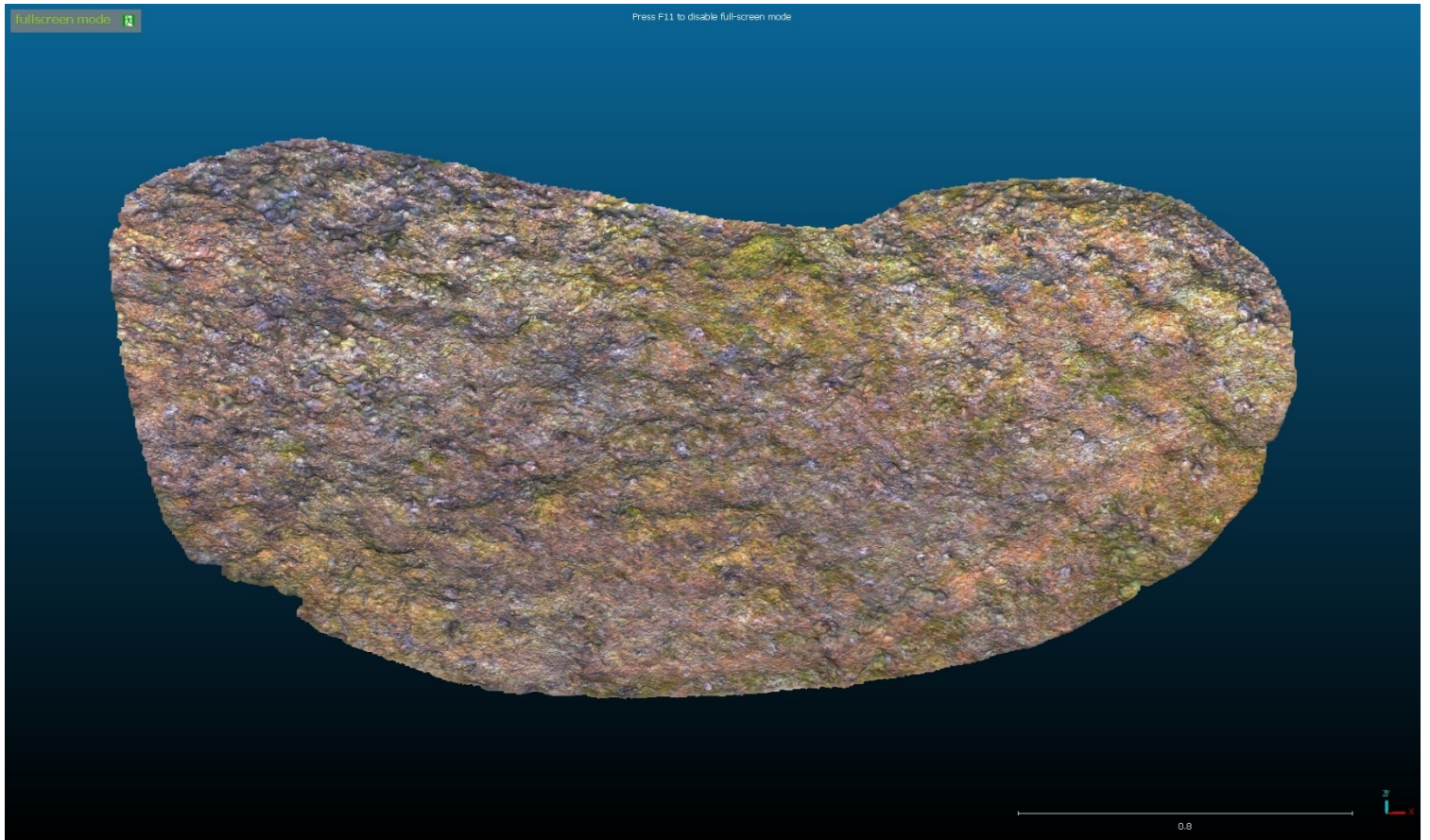
Liite 2 (10). Trimble SX10-hybridikeilaimella mitatun kohde 2 kuvat jokaisesta työvaiheesta korkeus- ja tosikuva-väriyksellä.

3D-malli PoissonReconin jälkeen



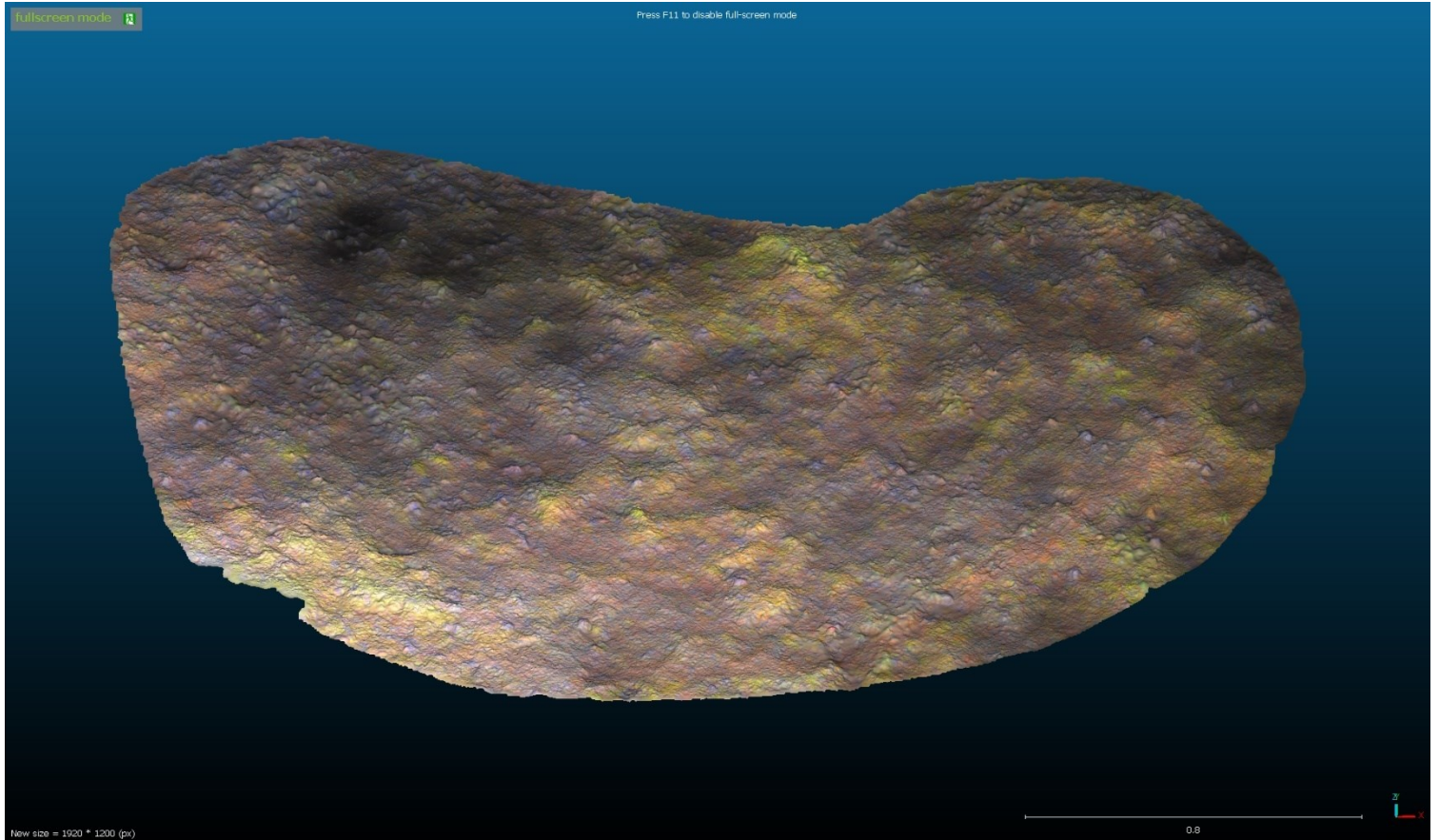
Liite 2 (11). Trimble SX10-hybridikeilaimella mitatun kohde 2 kuvat jokaisesta työvaiheesta korkeus- ja tosikuva-väriyksellä.

3D-malli PoissonReconin jälkeen, tosiväri



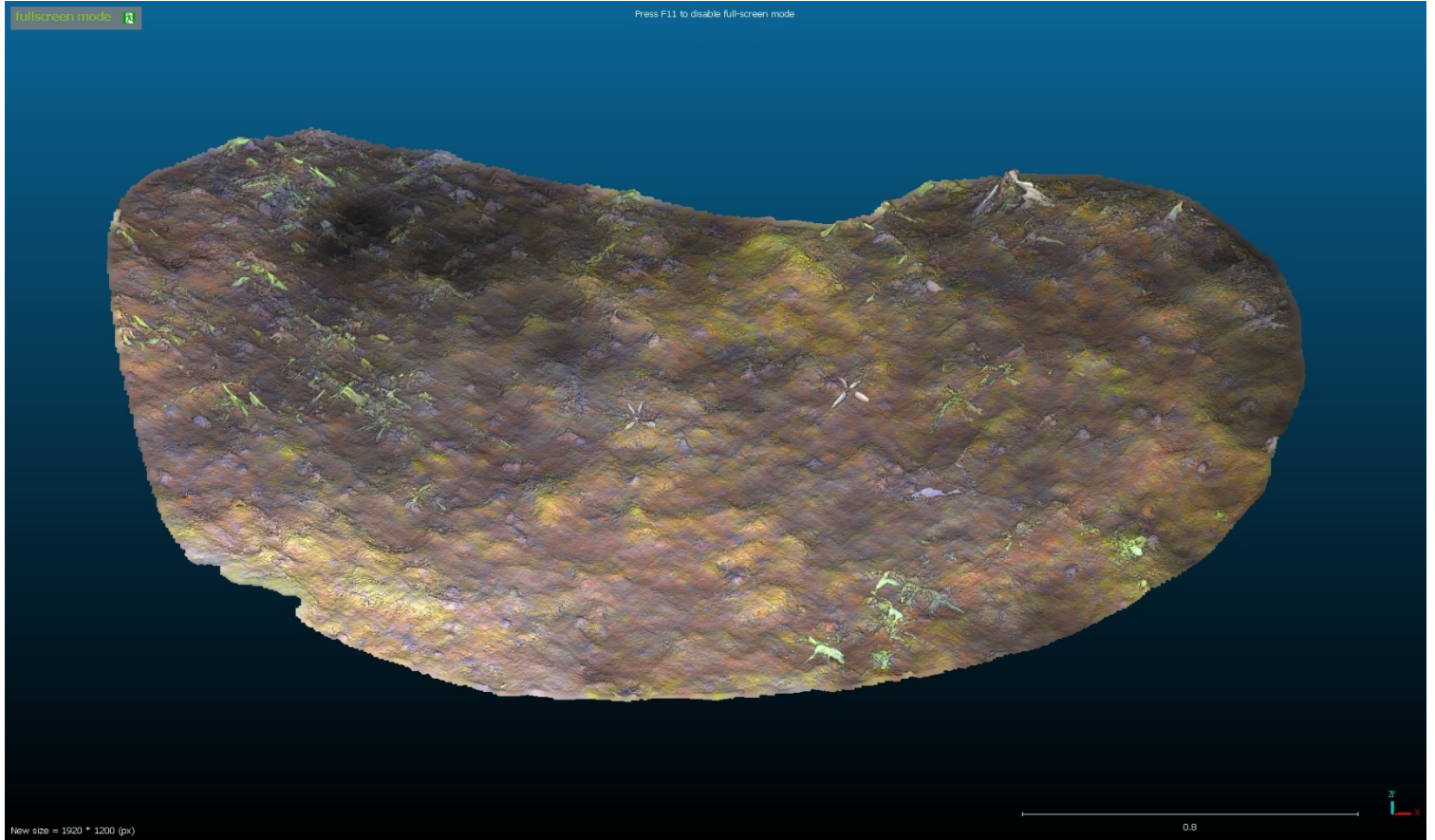
Liite 2 (12). Trimble SX10-hybridikeilaimella mitatun kohde 2 kuvat jokaisesta työvaiheesta korkeus- ja tosikuva-väriyksellä.

Väritetty 3D-malli



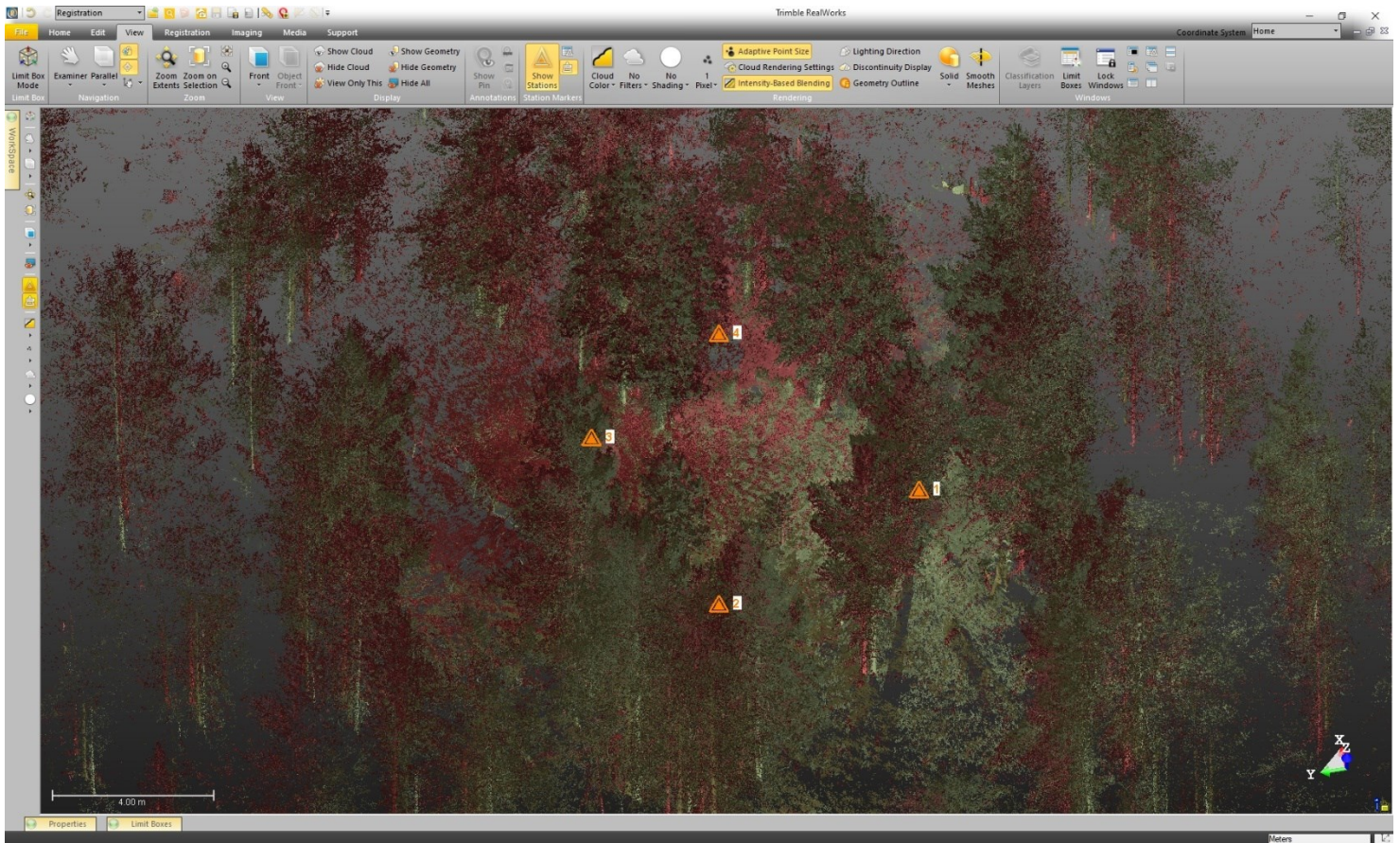
Liite 2 (13). Trimble SX10-hybridikeilaimella mitatun kohde 2 kuvat jokaisesta työvaiheesta korkeus- ja tosikuva-väriyksellä.

Väritetty 3D-malli ilman CSF-filtteriä



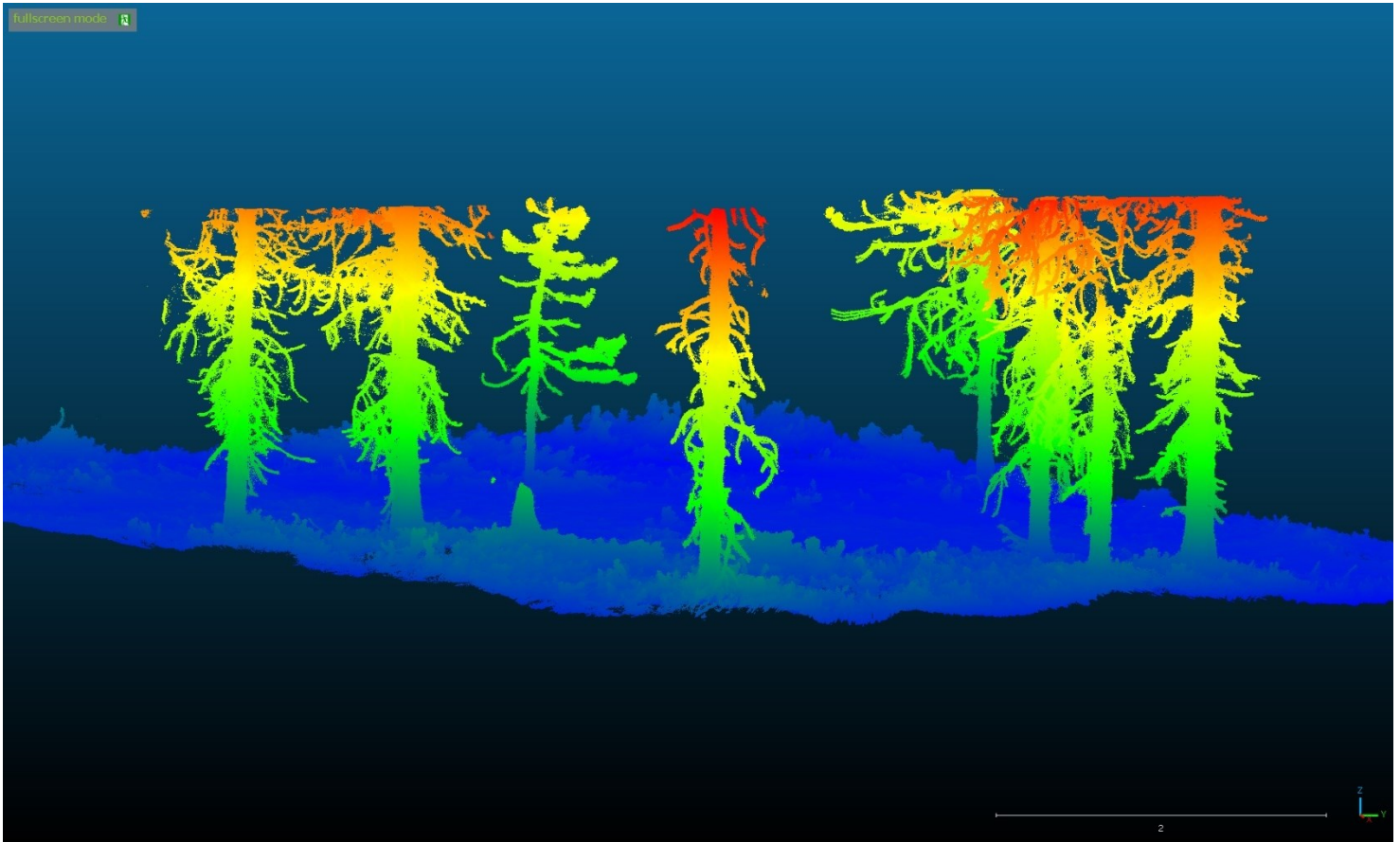
Liite 3 (1). Trimble X7-keilaimella mitatun kohde 1 kuvat jokaisesta työvaiheesta korkeus- ja tosikuva-väriyksellä.

Rekisteröimätön aineisto RW:ssä



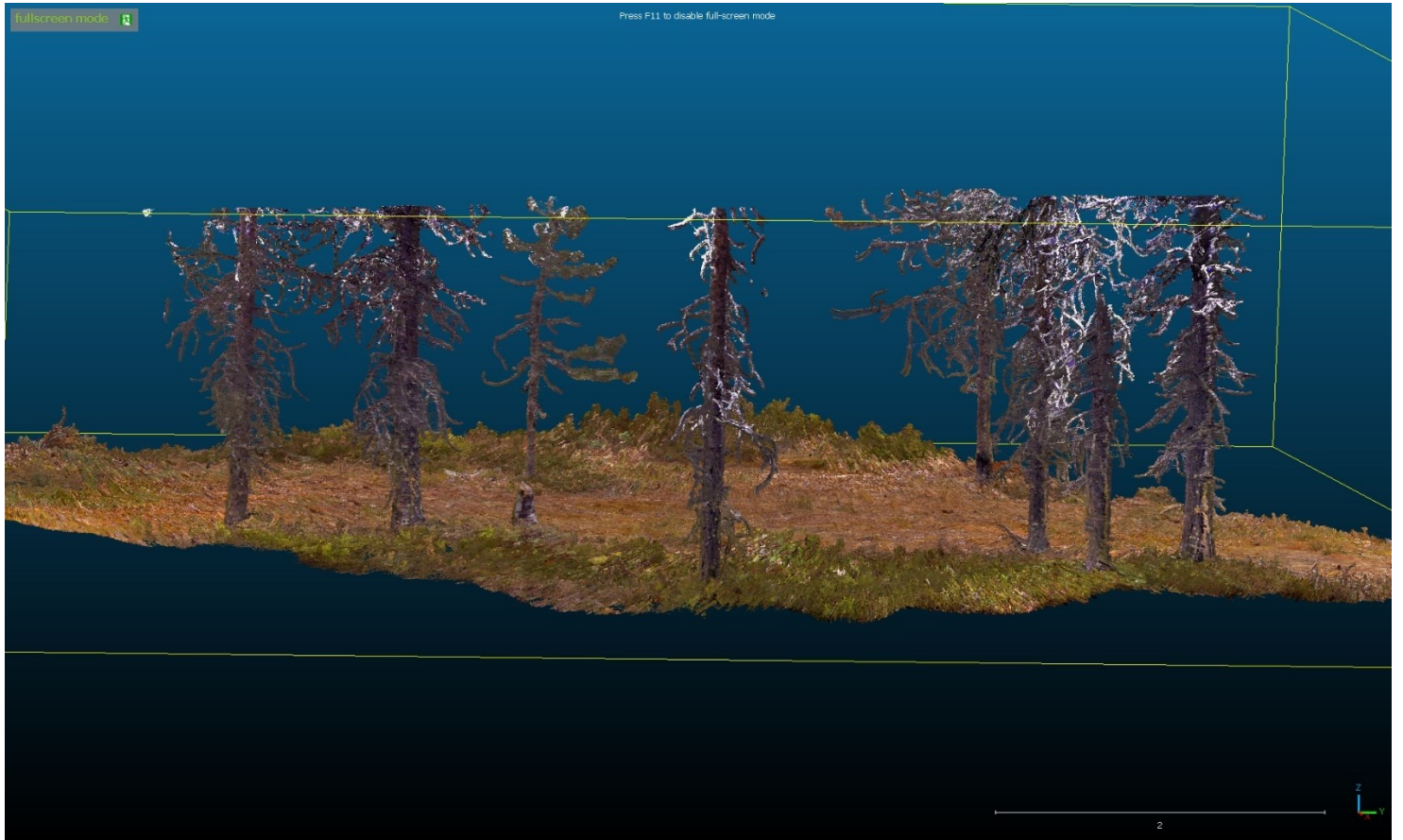
Liite 3 (2). Trimble X7-keilaimella mitatun kohde 1 kuvat jokaisesta työvaiheesta korkeus- ja tosikuva-väriyksellä.

CC:n tuotu rekisteröity aineisto, väritetty korkeusarvoilla ja segmentoitu



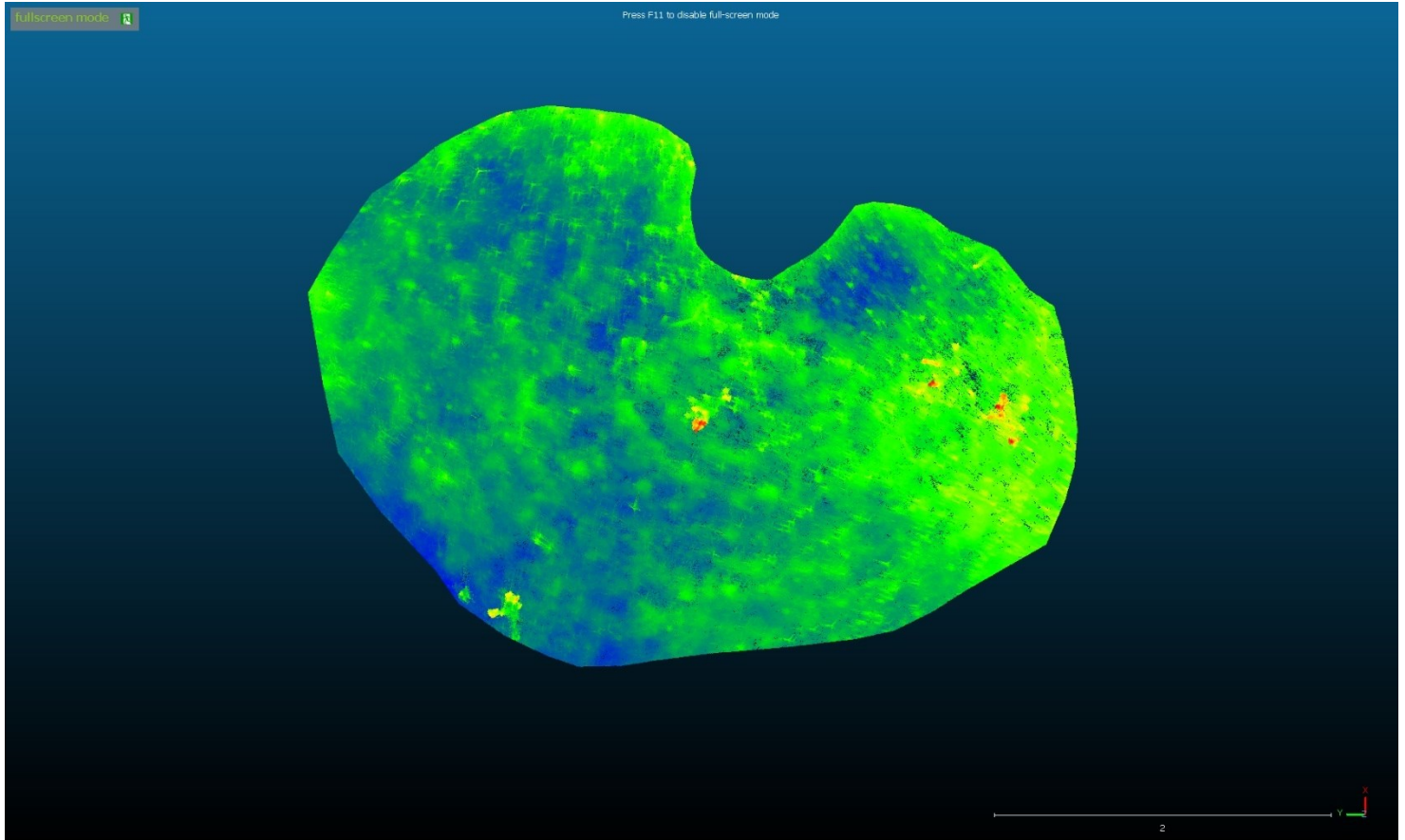
Liite 3 (3). Trimble X7-keilaimella mitatun kohde 1 kuvat jokaisesta työvaiheesta korkeus- ja tosikuva-väriyksellä.

CC:n tuotu rekisteröity aineisto, tosiväri



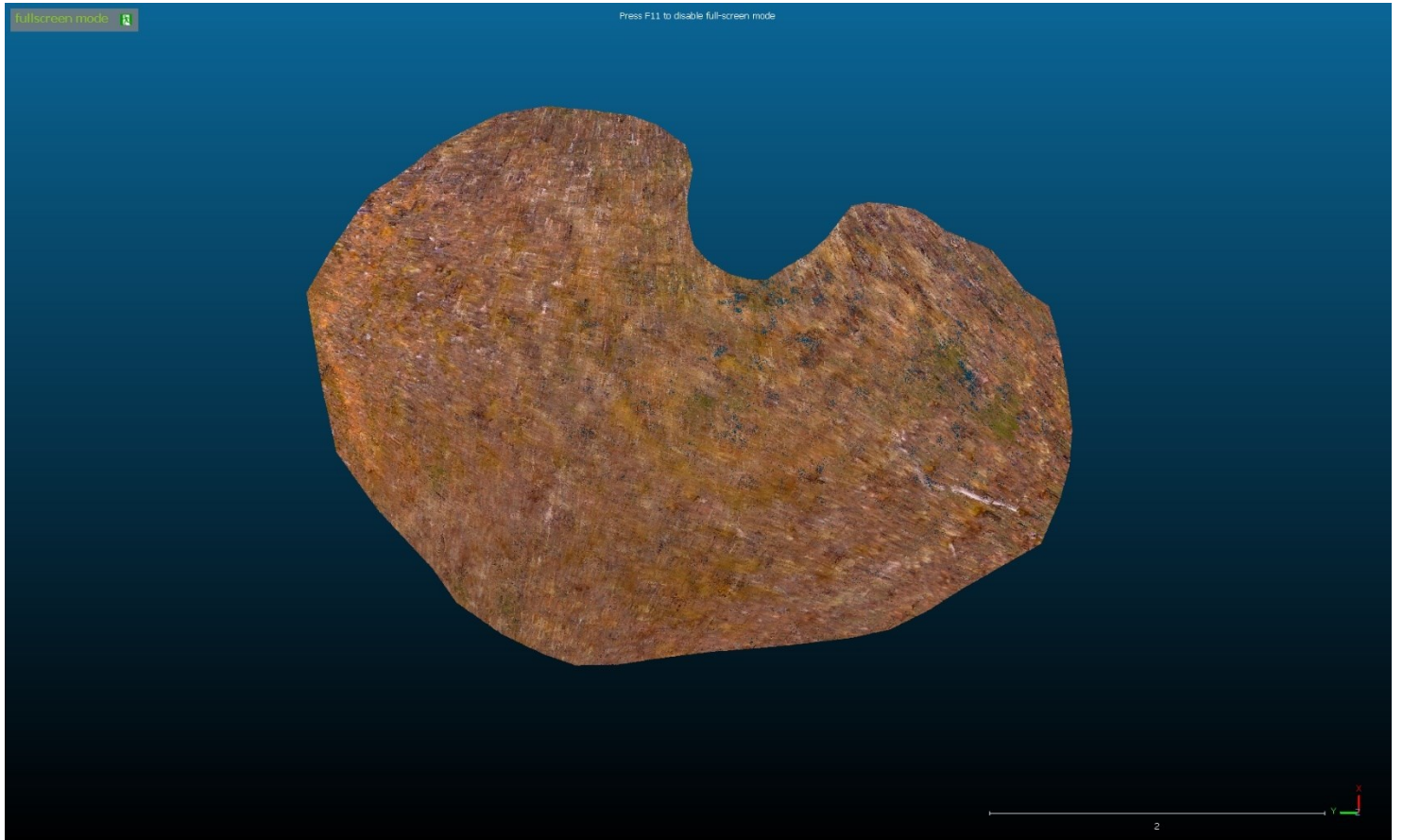
Liite 3 (4). Trimble X7-keilaimella mitatun kohde 1 kuvat jokaisesta työvaiheesta korkeus- ja tosikuva-värityksellä.

Rajattu pistepilvi



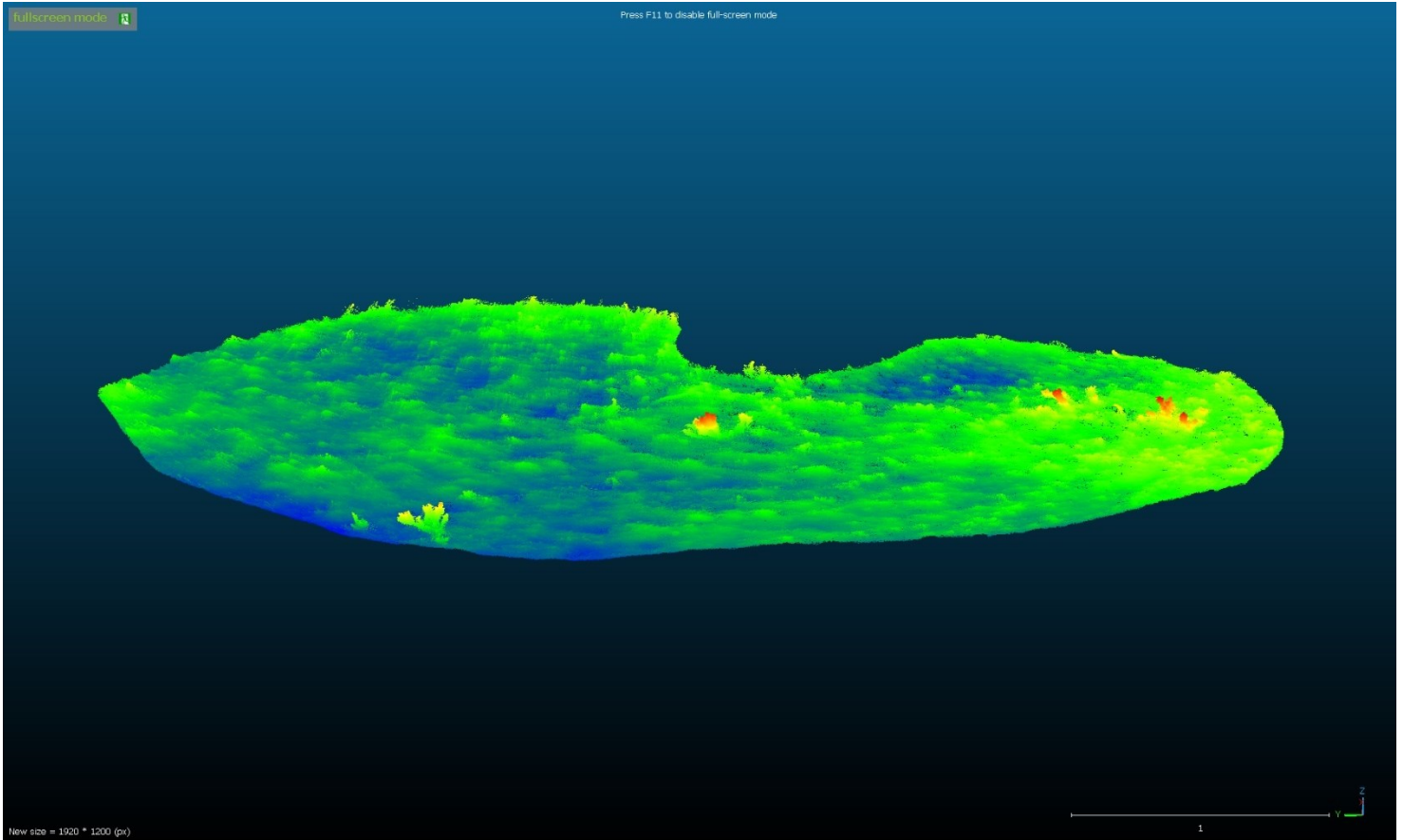
Liite 3 (5). Trimble X7-keilaimella mitatun kohde 1 kuvat jokaisesta työvaiheesta korkeus- ja tosikuva-värityksellä.

Rajattu pistepilvi, tosiväri



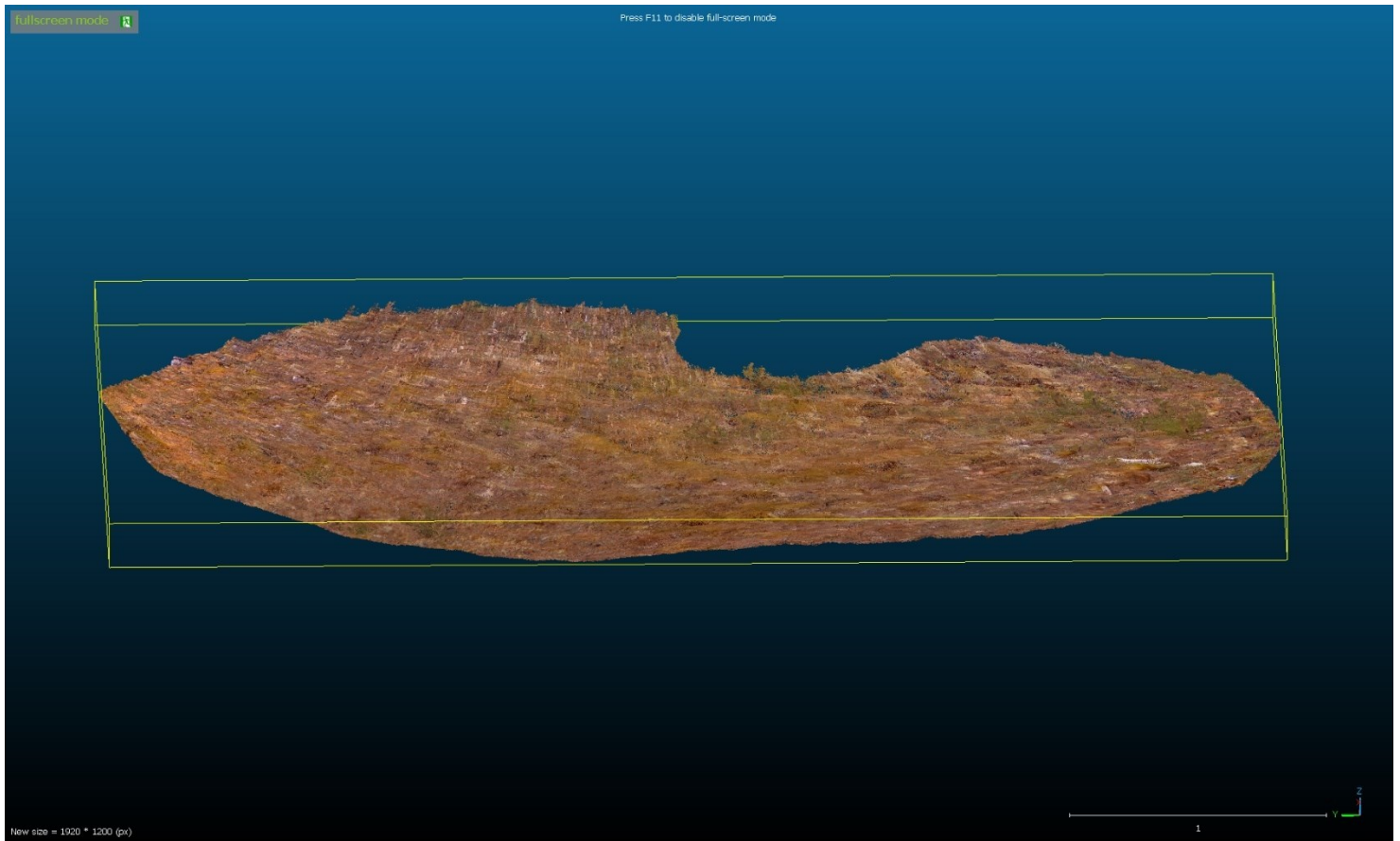
Liite 3 (6). Trimble X7-keilaimella mitatun kohde 1 kuvat jokaisesta työvaiheesta korkeus- ja tosikuva-väriyksellä.

Pistepilvi ennen CSF



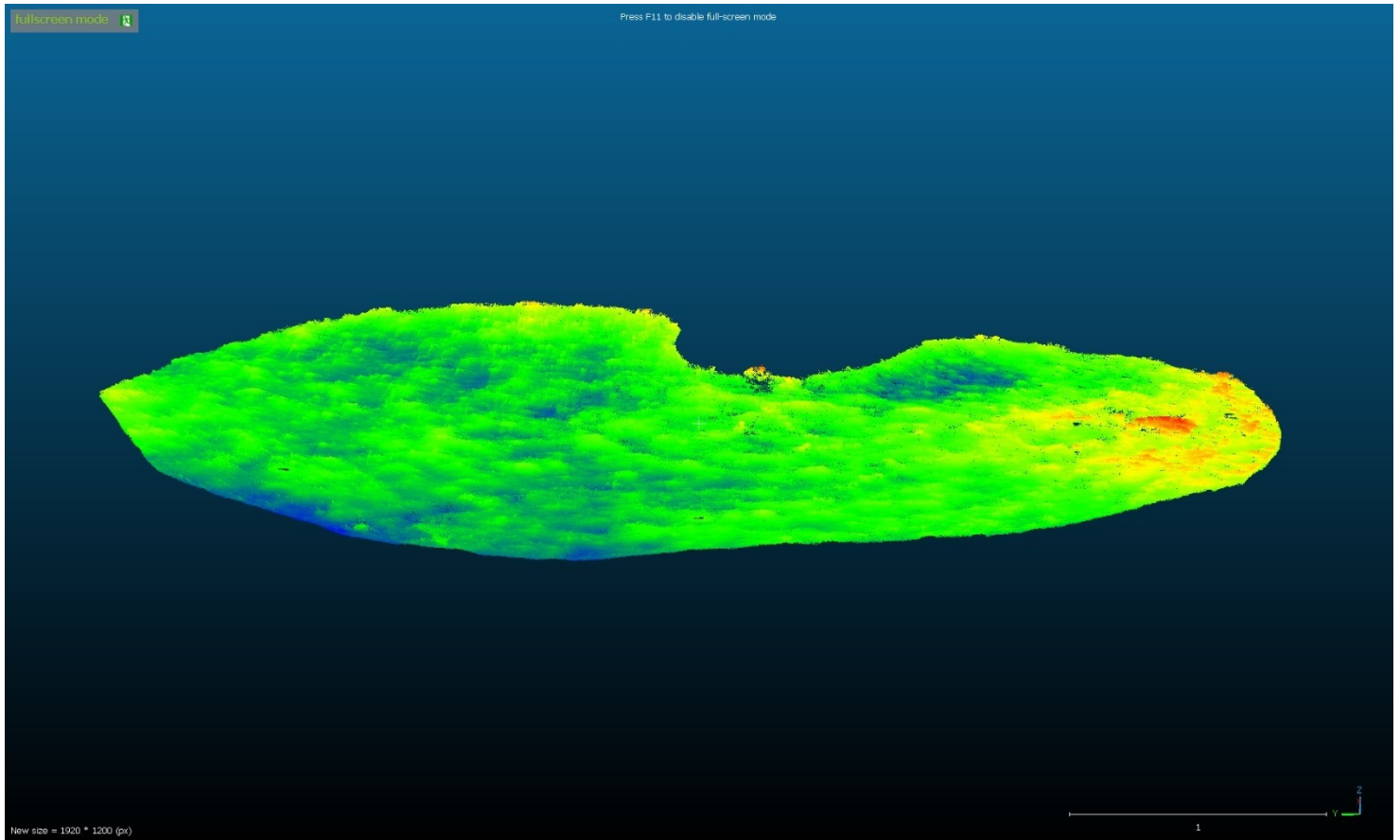
Liite 3 (7). Trimble X7-keilaimella mitatun kohde 1 kuvat jokaisesta työvaiheesta korkeus- ja tosikuva-väriyksellä.

Pistepilvi ennen CSF, tosiväri



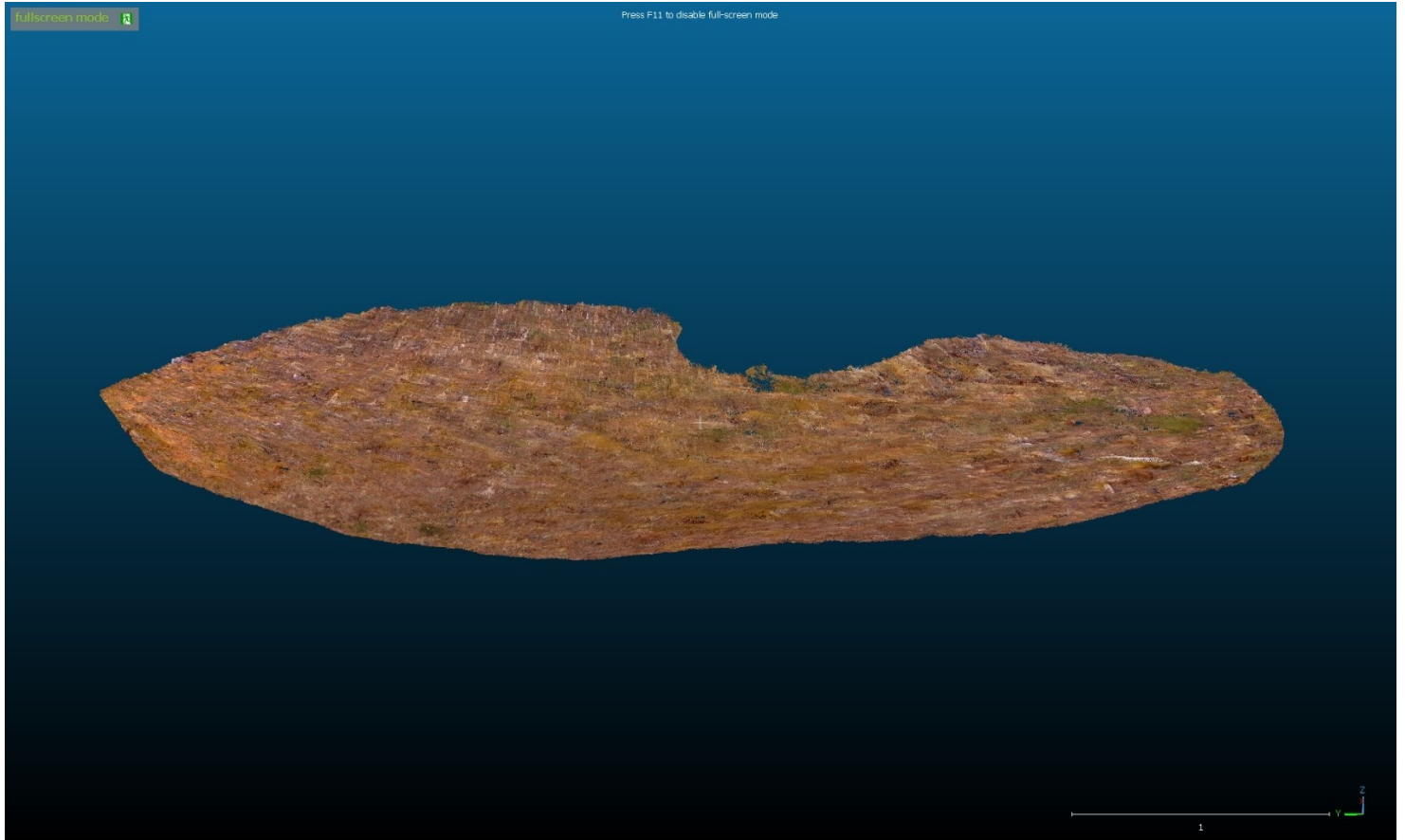
Liite 3 (8). Trimble X7-keilaimella mitatun kohde 1 kuvat jokaisesta työvaiheesta korkeus- ja tosikuva-väriyksellä.

CSF:n jälkeinen pilvi



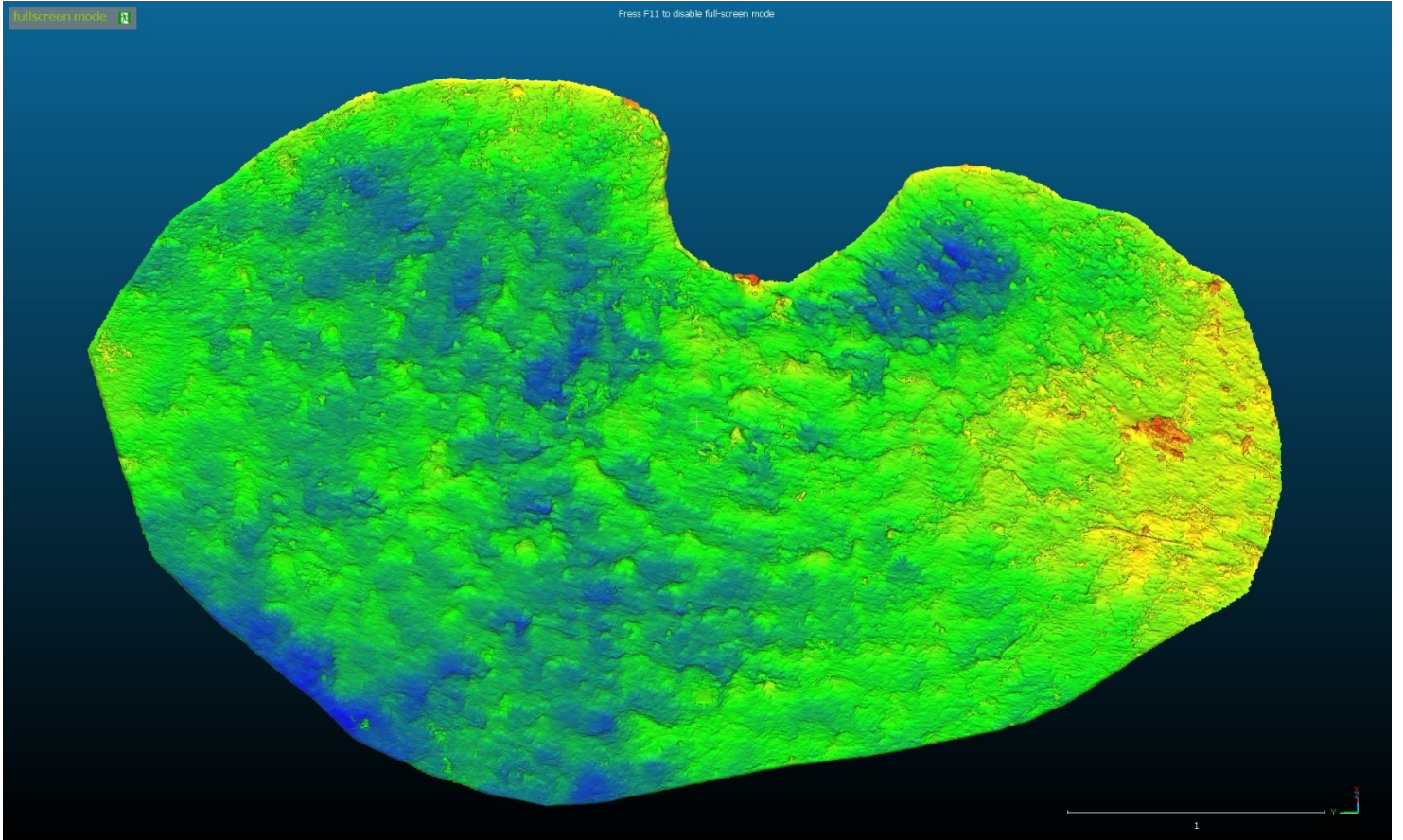
Liite 3 (9). Trimble X7-keilaimella mitatun kohde 1 kuvat jokaisesta työvaiheesta korkeus- ja tosikuva-väriyksellä.

CSF:n jälkeinen pilvi, tosiväri



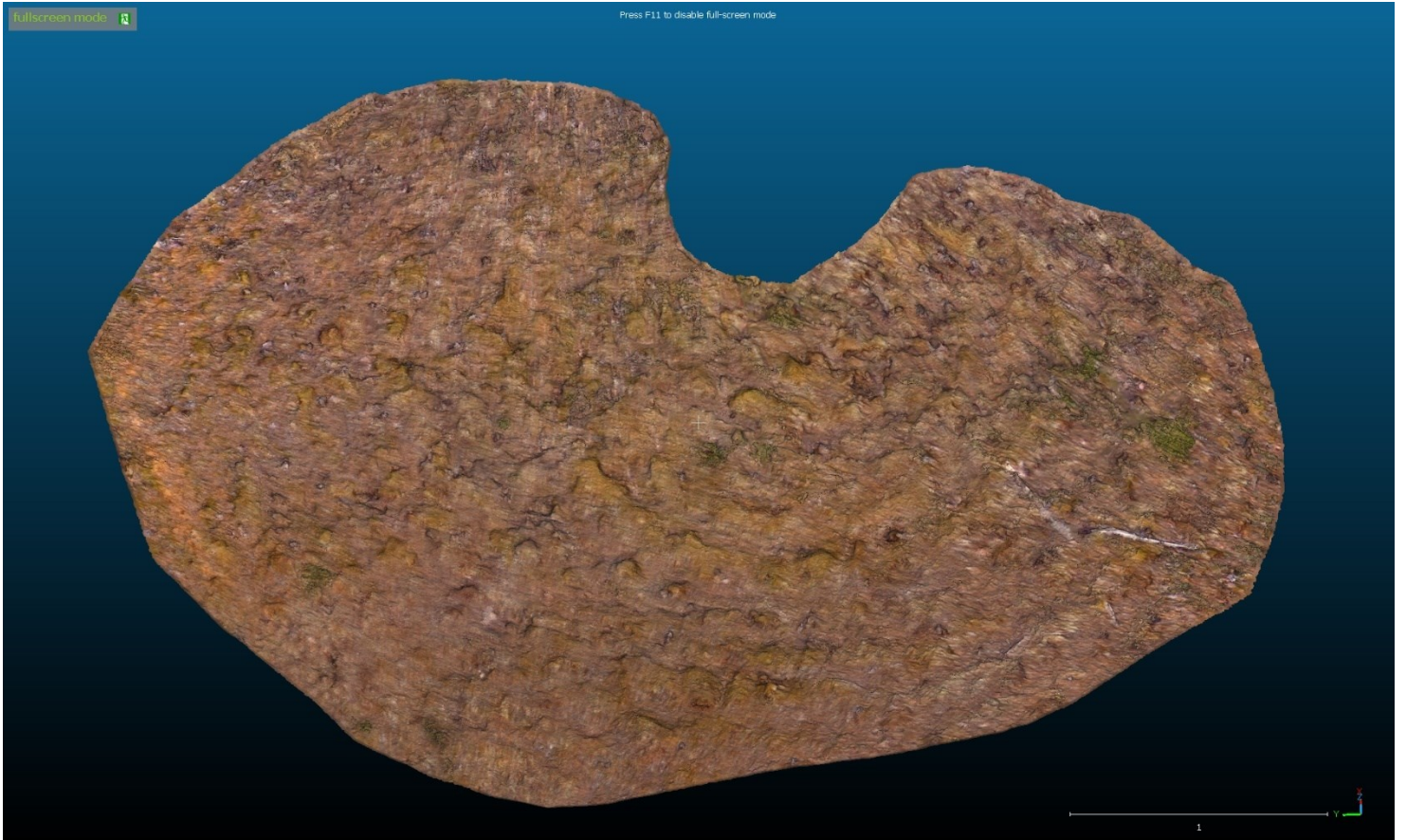
Liite 3 (10). Trimble X7-keilaimella mitatun kohde 1 kuvat jokaisesta työvaiheesta korkeus- ja tosikuva-väriyksellä.

3D-malli PoissonReconin jälkeen



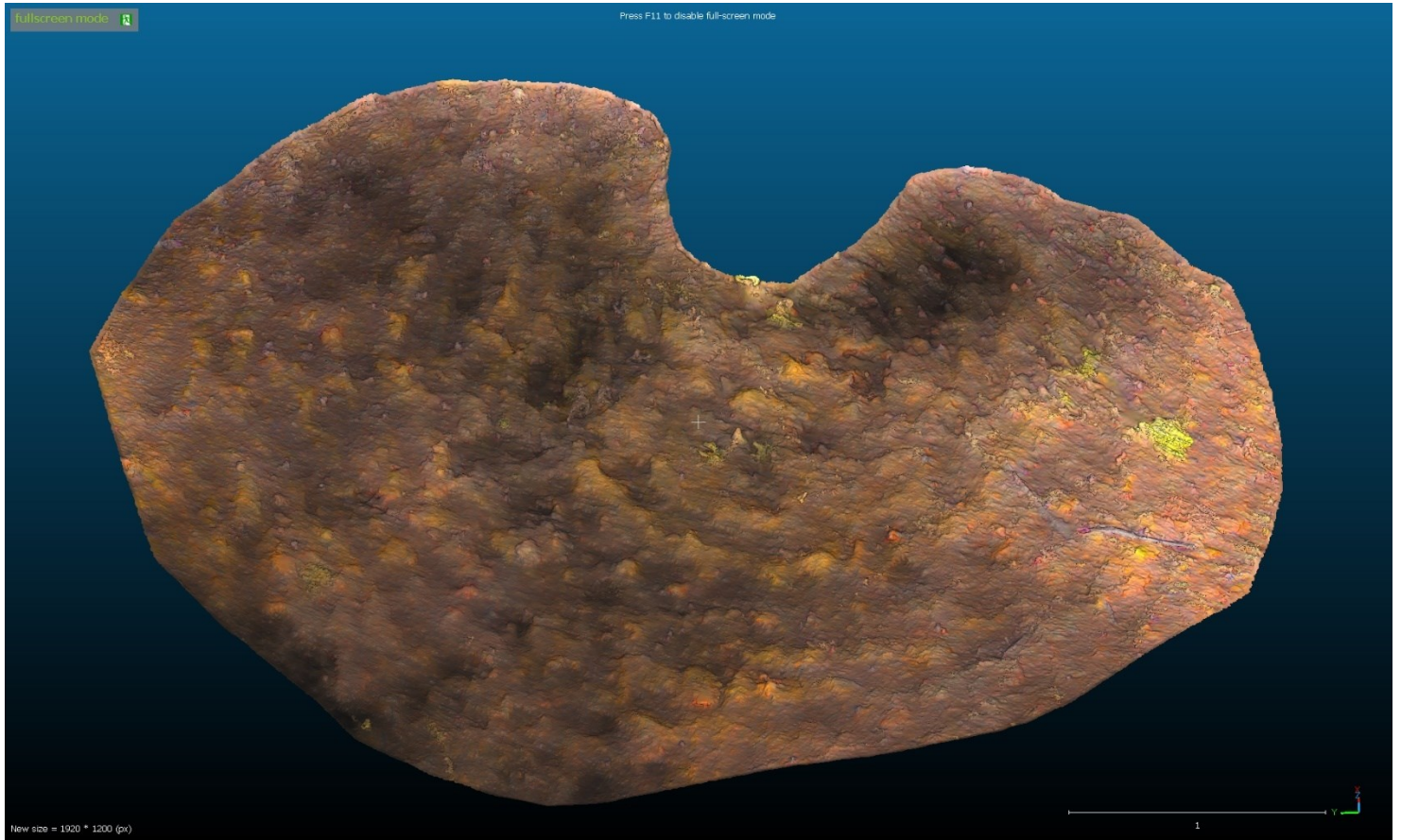
Liite 3 (11). Trimble X7-keilaimella mitatun kohde 1 kuvat jokaisesta työvaiheesta korkeus- ja tosikuva-väriyksellä.

3D-malli PoissonReconin jälkeen, tosiväri



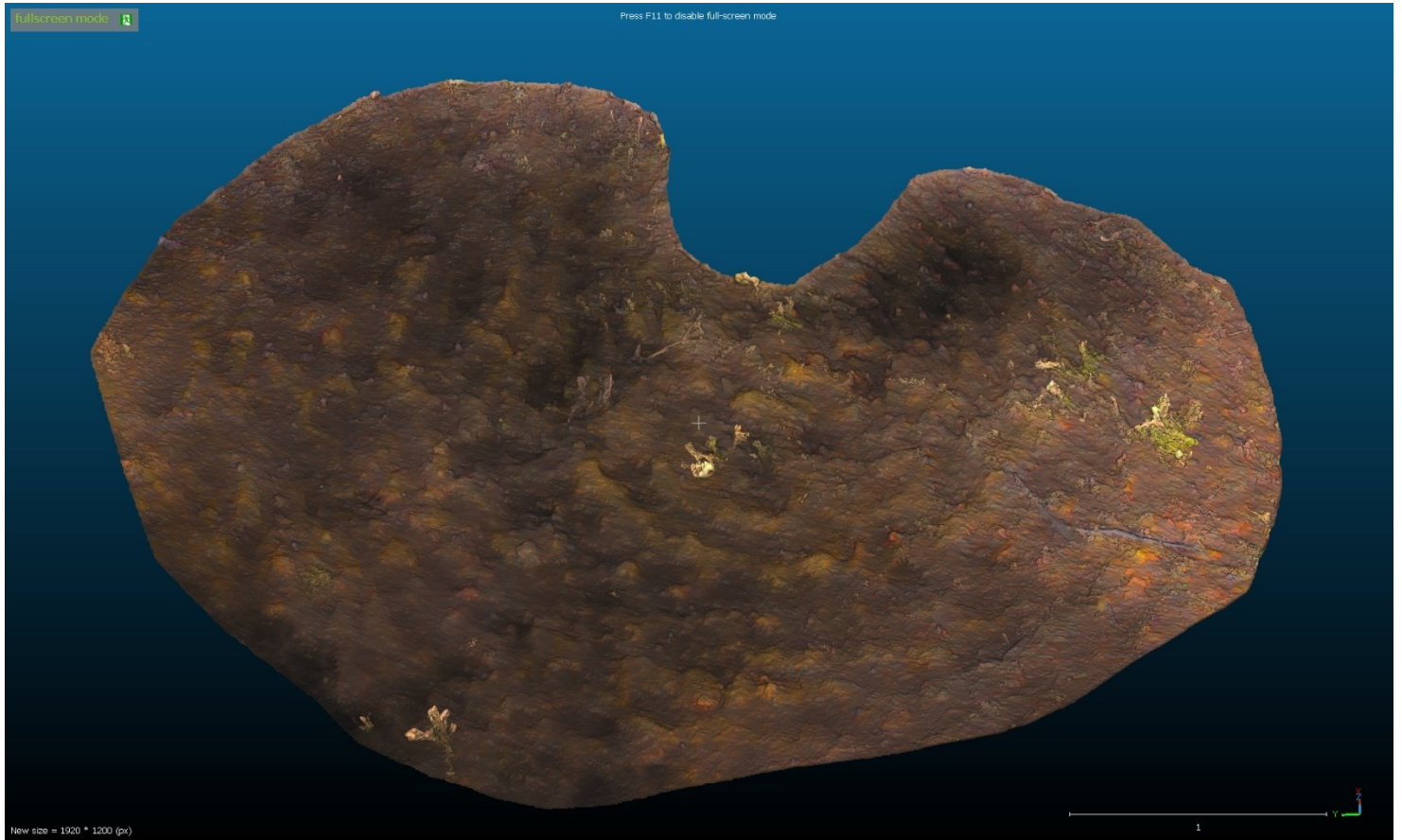
Liite 3 (12). Trimble X7-keilaimella mitatun kohde 1 kuvat jokaisesta työvaiheesta korkeus- ja tosikuva-väriyksellä.

Väritetty 3D-malli



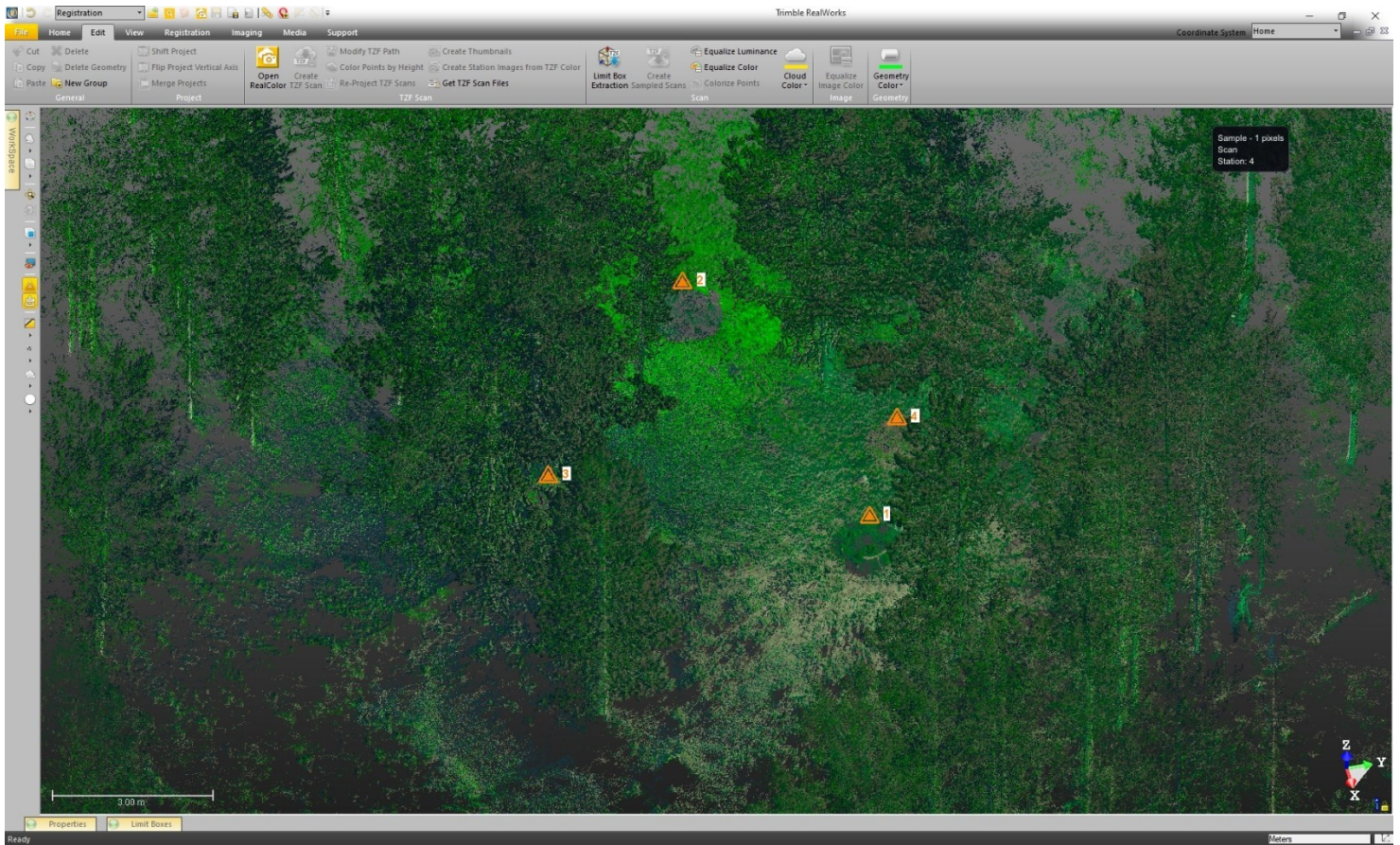
Liite 3 (13). Trimble X7-keilaimella mitatun kohde 1 kuvat jokaisesta työvaiheesta korkeus- ja tosikuva-väriyksellä.

Väritetty 3D-malli ilman CSF-filtteriä



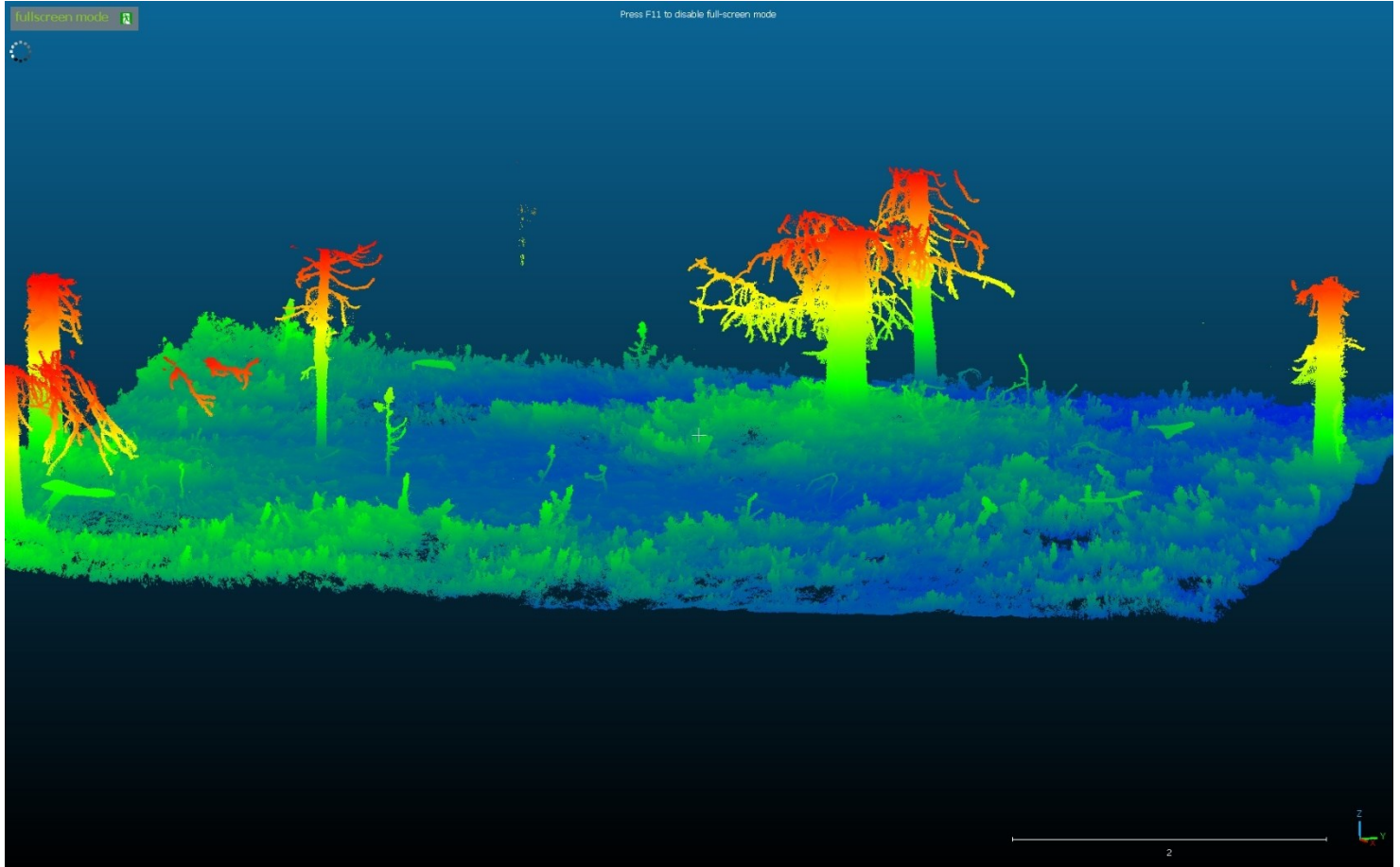
Liite 4 (1). Trimble X7-keilaimella mitatun kohde 2 kuvat jokaisesta työvaiheesta korkeus- ja tosikuva-väriyksellä.

Rekisteröimätön aineisto RW:ssä



Liite 4 (2). Trimble X7-keilaimella mitatun kohde 2 kuvat jokaisesta työvaiheesta korkeus- ja tosikuva-väriyksellä.

CC:n tuotu rekisteröity aineisto väritetty ja segmentoitu



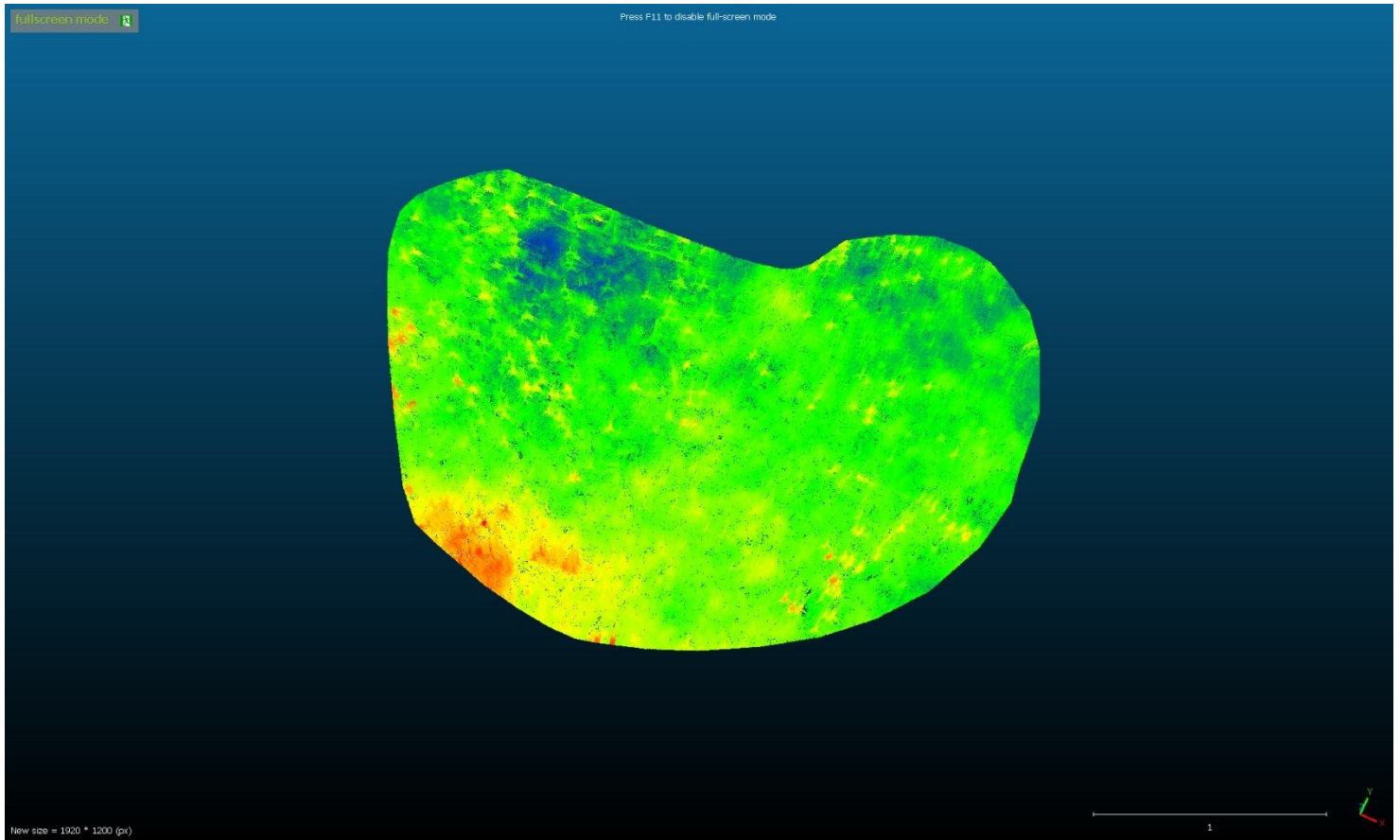
Liite 4 (3). Trimble X7-keilaimella mitatun kohde 2 kuvat jokaisesta työvaiheesta korkeus- ja tosikuva-väriyksellä.

CC:n tuotu rekisteröity aineisto, tosiväritetty ja segmentoitu



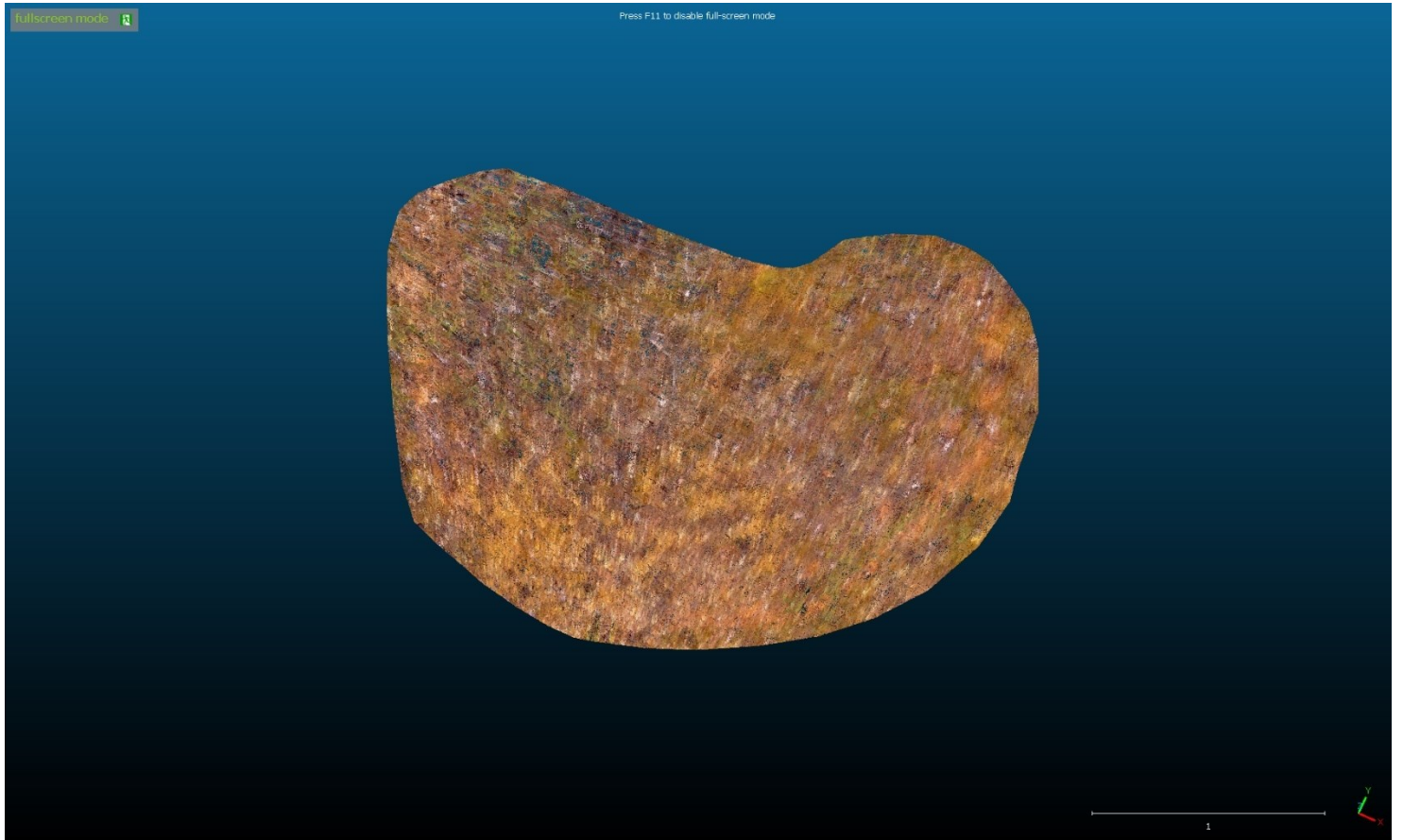
Liite 4 (4). Trimble X7-keilaimella mitatun kohde 2 kuvat jokaisesta työvaiheesta korkeus- ja tosikuva-väriyksellä.

Rajattu pistepilvi



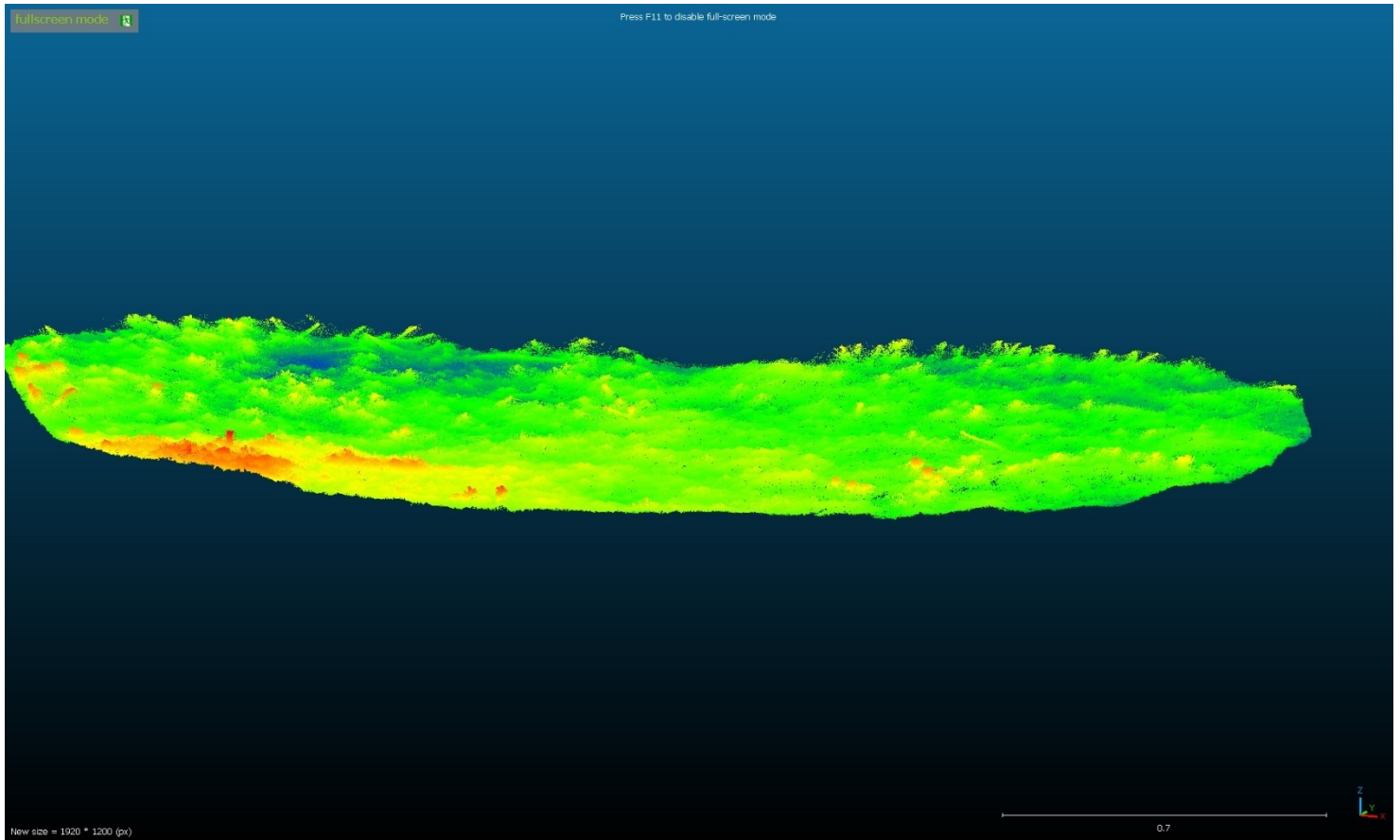
Liite 4 (5). Trimble X7-keilaimella mitatun kohde 2 kuvat jokaisesta työvaiheesta korkeus- ja tosikuva-väriyksellä.

Rajattu pistepilvi, tosiväri



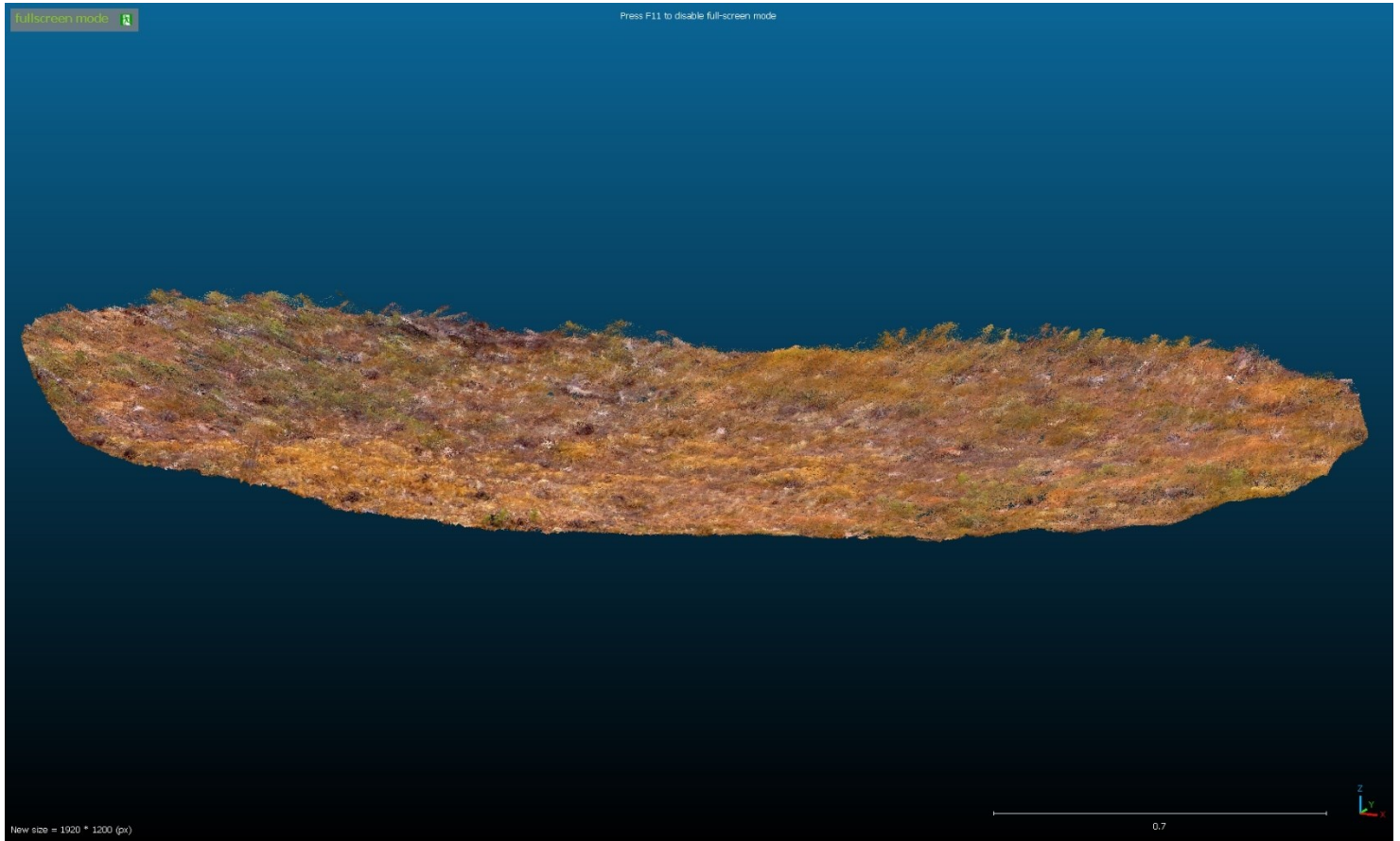
Liite 4 (6). Trimble X7-keilaimella mitatun kohde 2 kuvat jokaisesta työvaiheesta korkeus- ja tosikuva-väriyksellä.

Pistepilvi ennen CSF



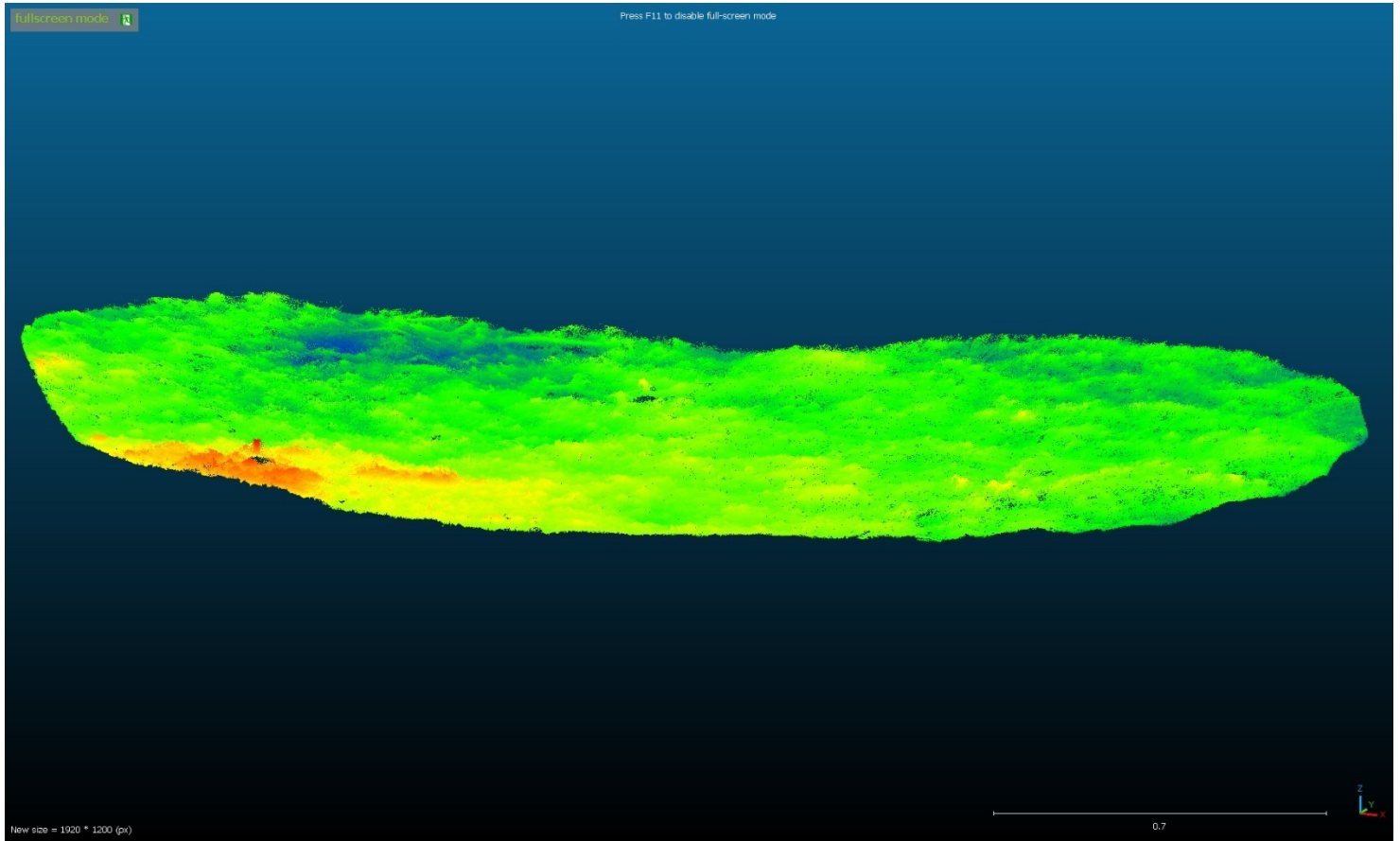
Liite 4 (7). Trimble X7-keilaimella mitatun kohde 2 kuvat jokaisesta työvaiheesta korkeus- ja tosikuva-väriyksellä.

Pistepilvi ennen CSF, tosiväri



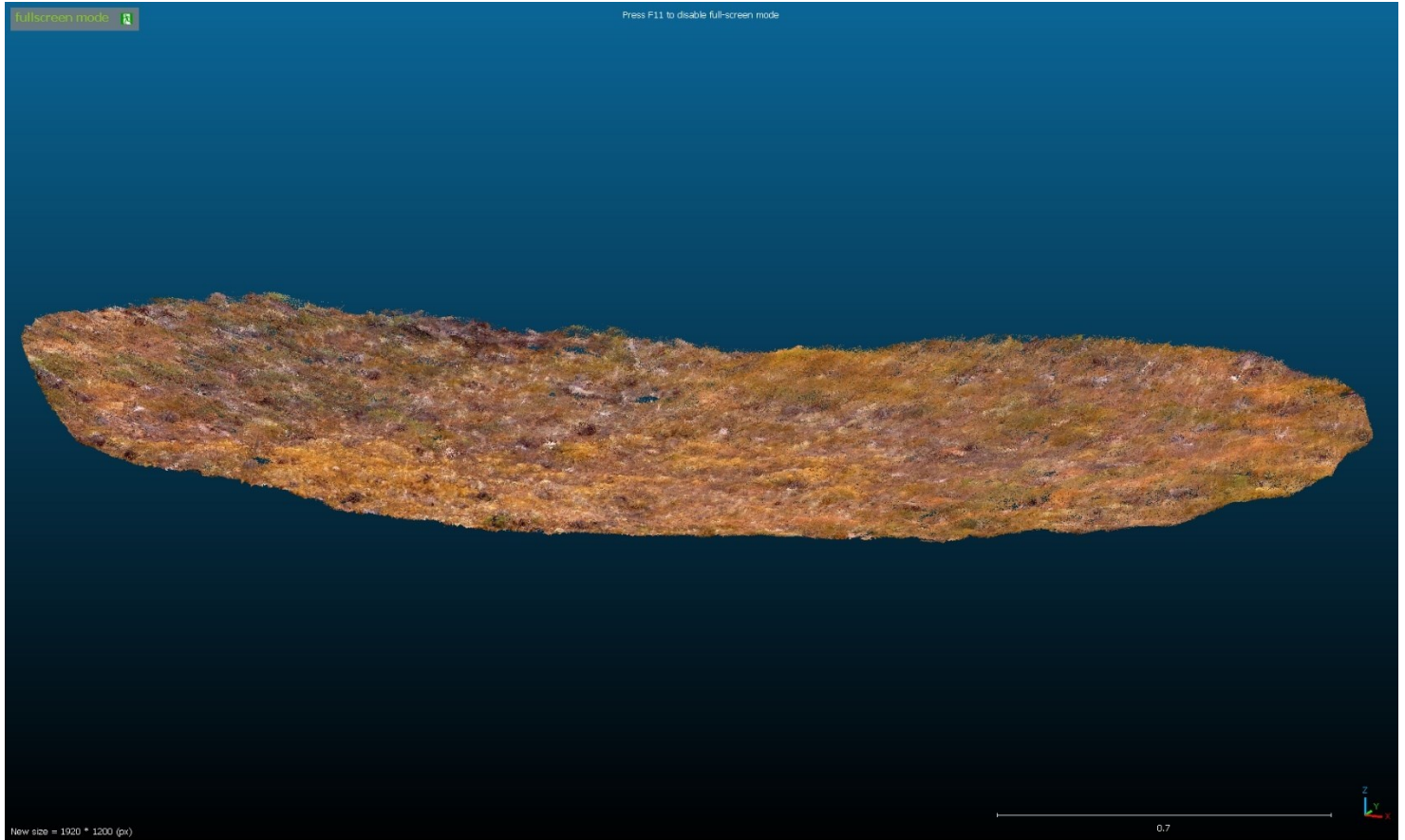
Liite 4 (8). Trimble X7-keilaimella mitatun kohde 2 kuvat jokaisesta työvaiheesta korkeus- ja tosikuva-värityksellä.

CSF:n jälkeinen pilvi



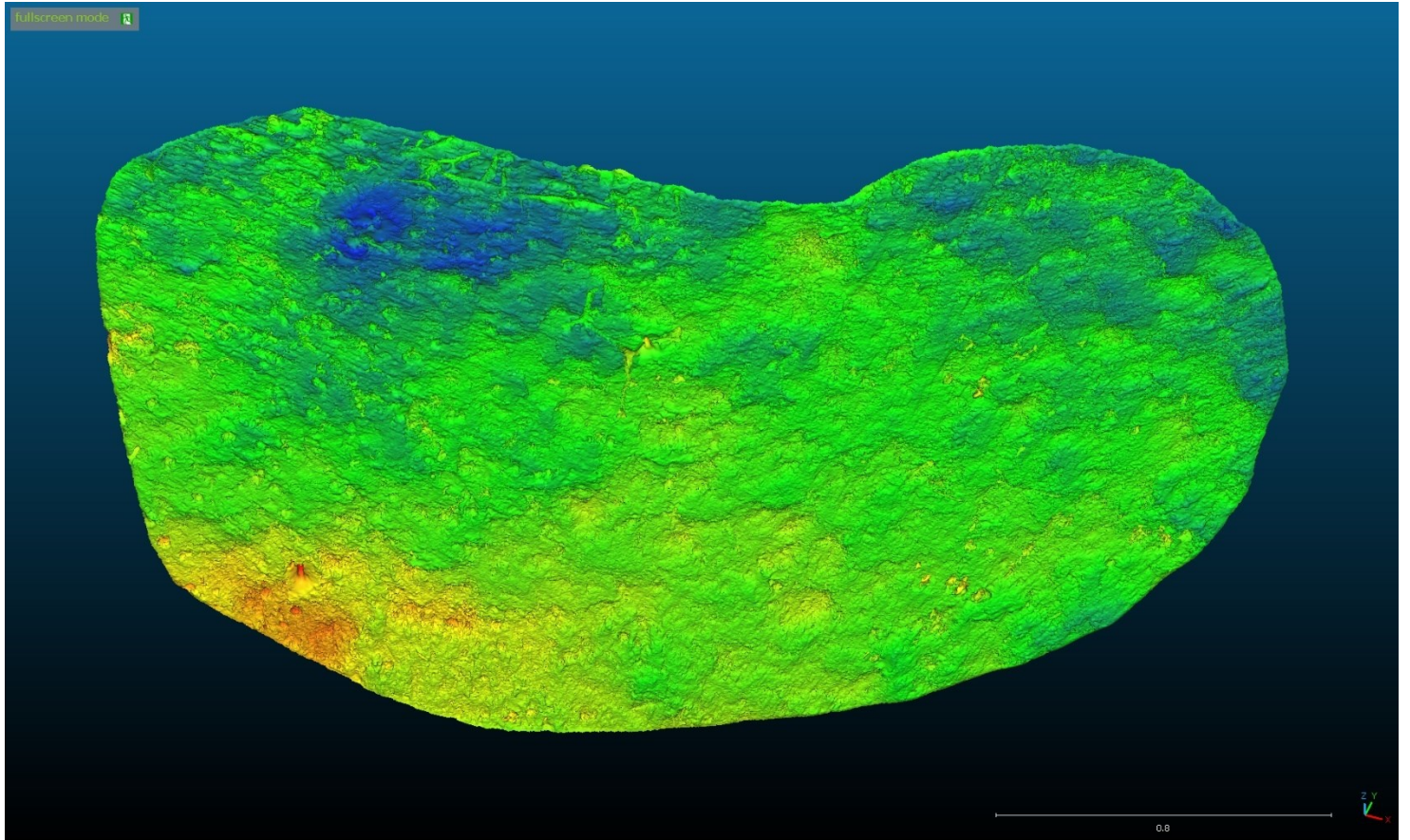
Liite 4 (9). Trimble X7-keilaimella mitatun kohde 2 kuvat jokaisesta työvaiheesta korkeus- ja tosikuva-väriyksellä.

CSF:n jälkeinen pilvi, tosiväri



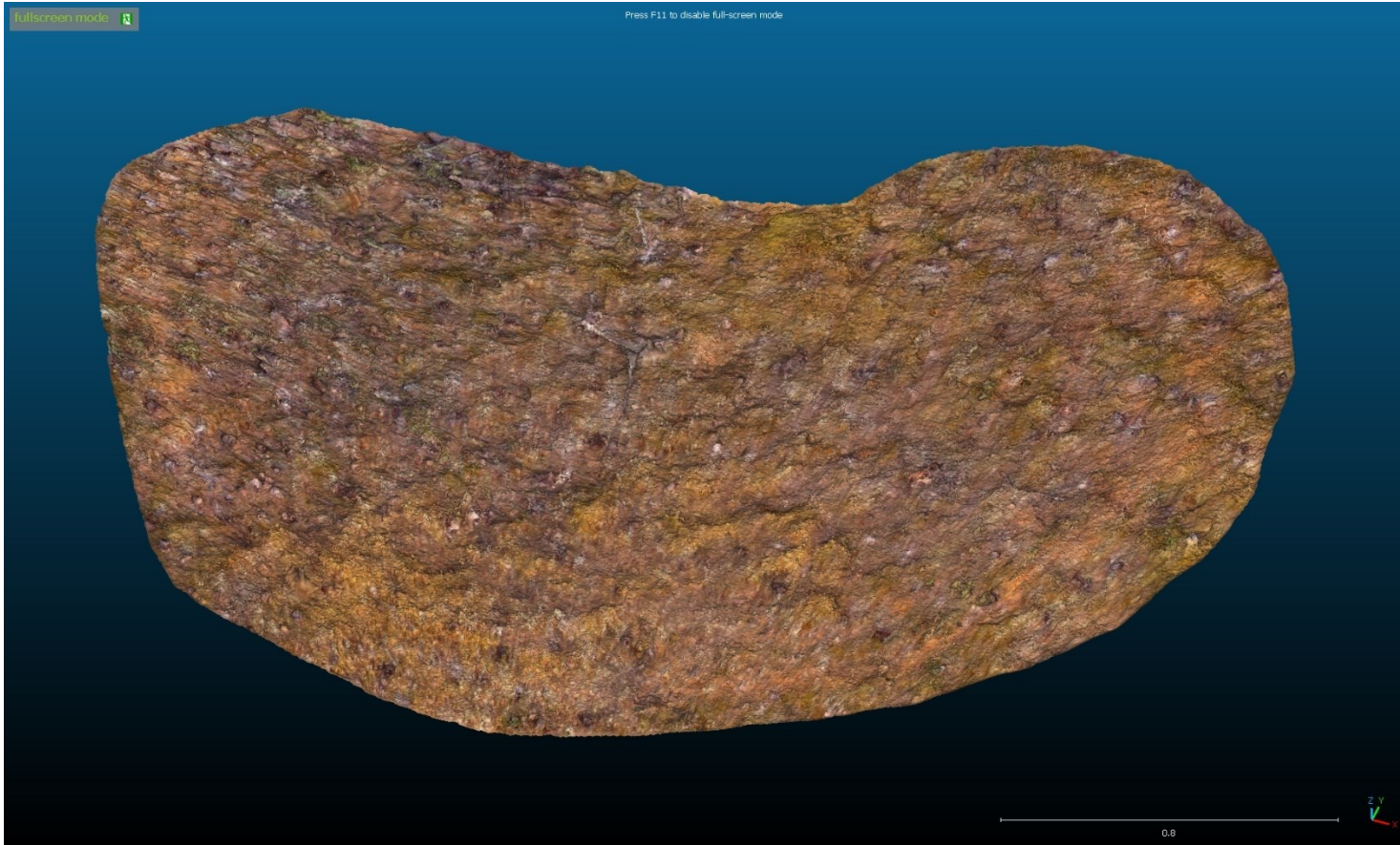
Liite 4 (10). Trimble X7-keilaimella mitatun kohde 2 kuvat jokaisesta työvaiheesta korkeus- ja tosikuva-väriyksellä.

3D-malli PoissonReconin jälkeen



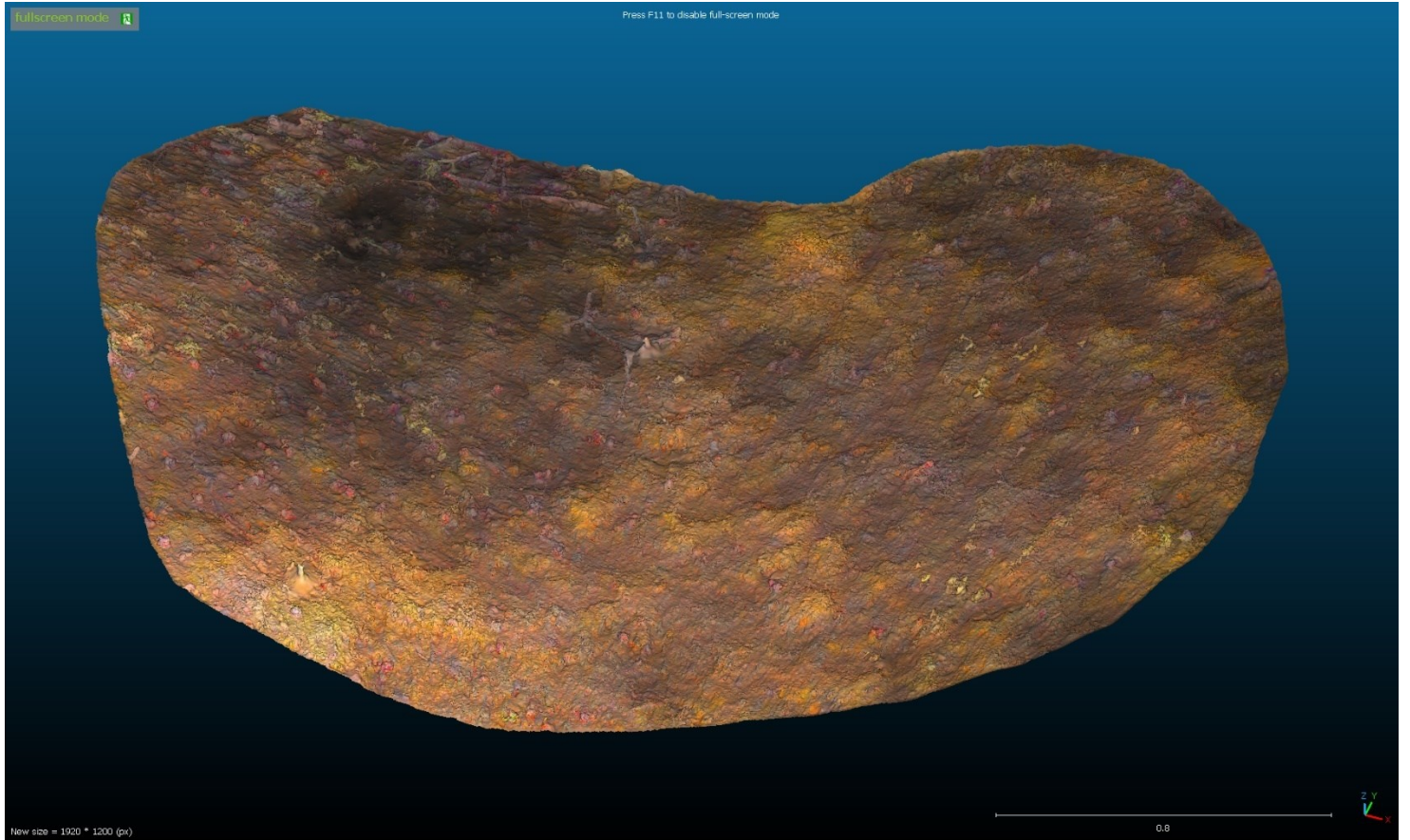
Liite 4 (11). Trimble X7-keilaimella mitatun kohde 2 kuvat jokaisesta työvaiheesta korkeus- ja tosikuva-väriyksellä.

3D-malli PoissonReconin jälkeen, tosiväri



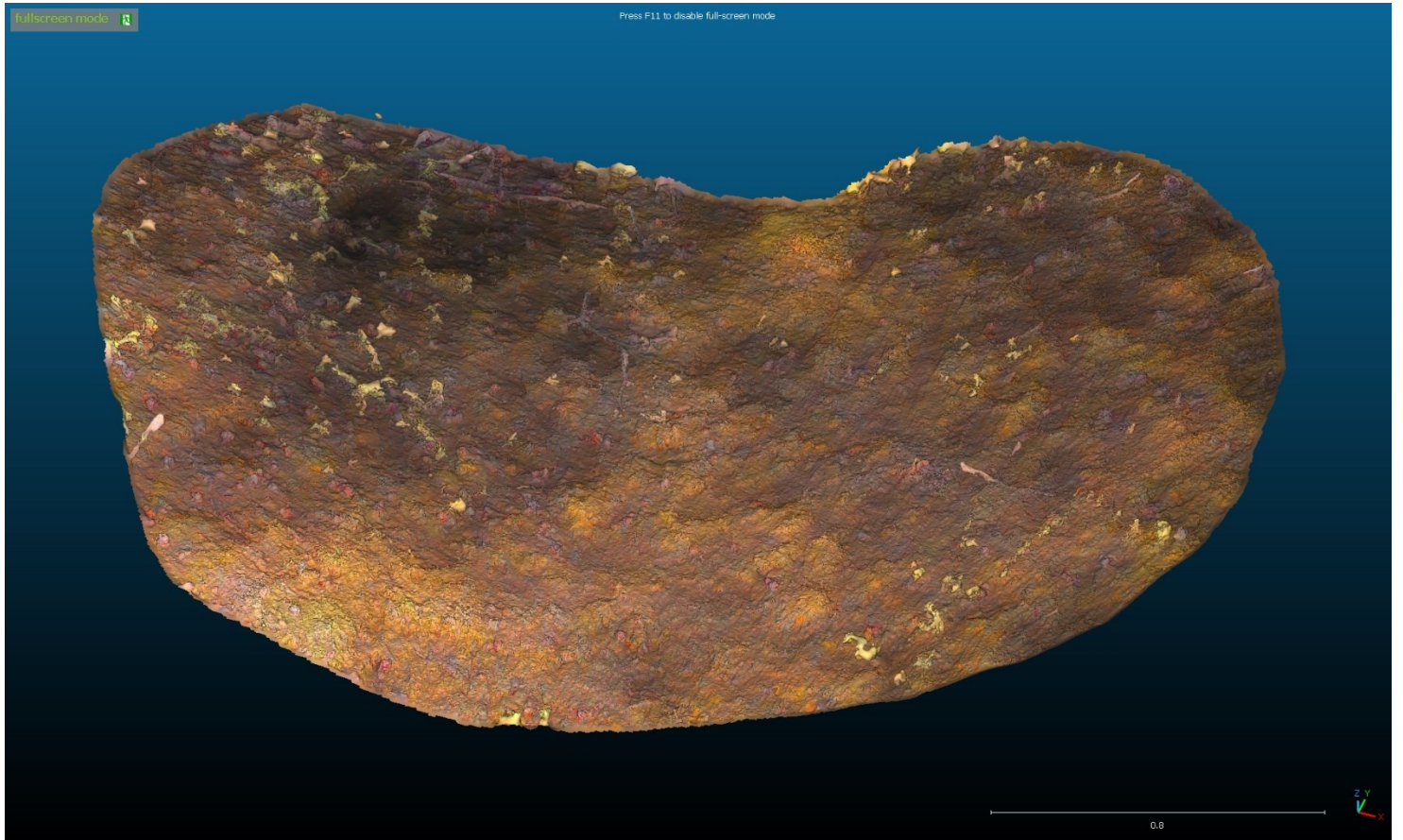
Liite 4 (12). Trimble X7-keilaimella mitatun kohde 2 kuvat jokaisesta työvaiheesta korkeus- ja tosikuva-väriyksellä.

Väritetty 3D-malli



Liite 4 (13). Trimble X7-keilaimella mitatun kohde 2 kuvat jokaisesta työvaiheesta korkeus- ja tosikuva-väriyksellä.

Väritetty 3D-malli ilman CSF-filtteriä

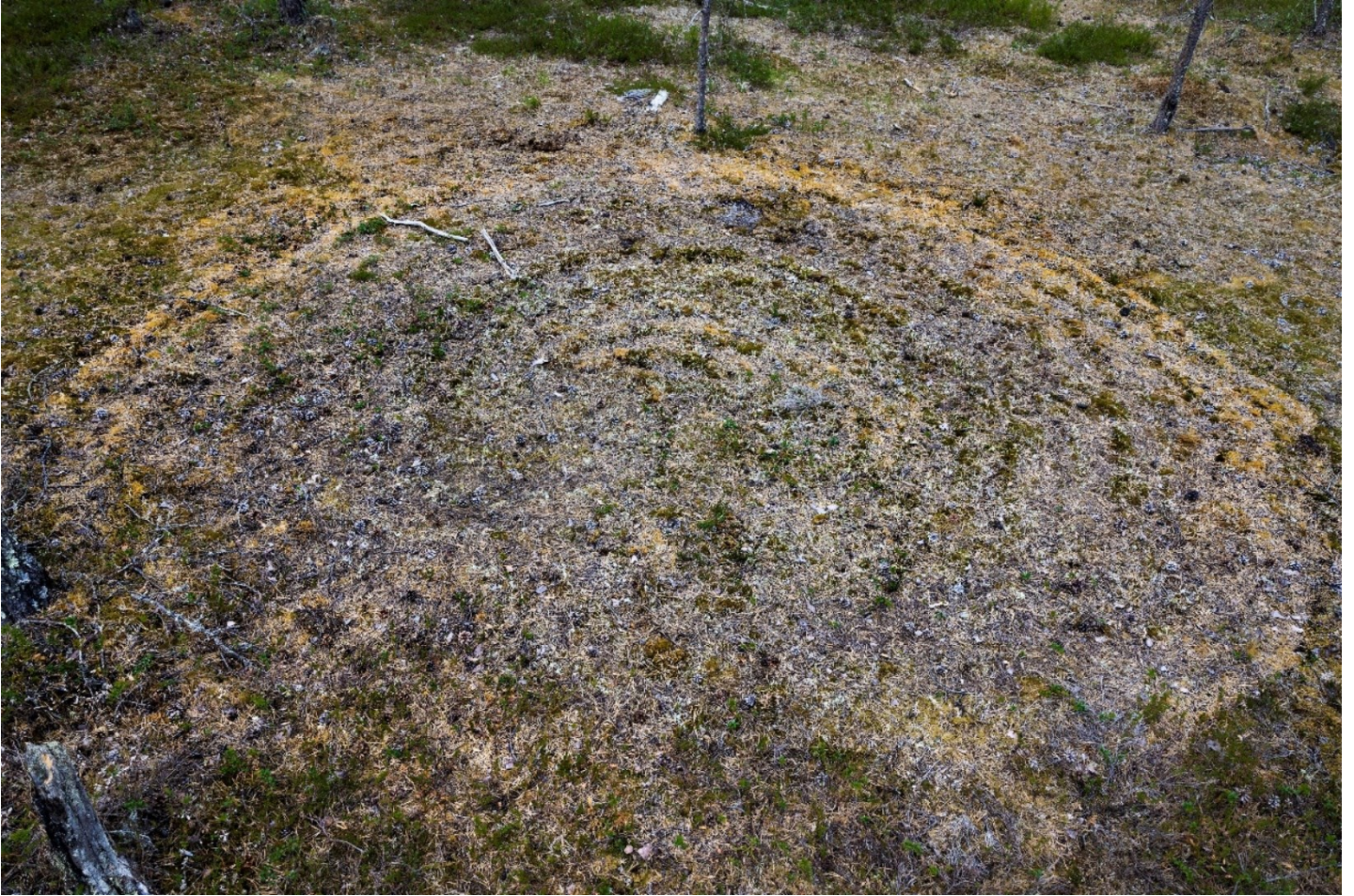


Liite 5. Työssä läpi käydyn kohteen rekisteröintiraportti ennen rekisteröinnin korjausta

	AP1	AP2	AP3	AP4
AP1		4.08 mm, 3%	8.33 mm, 16%	10.7 mm, 30%
AP2	4.08 mm, 3%		3.85 mm, 4%	5.35 mm, 2%
AP3	8.33 mm, 16%	3.85 mm, 4%		2.94 mm, 72%
AP4	10.7 mm, 30%	5.35 mm, 2%	2.94 mm, 72%	
ref				

Liite 6. Kuva kohde 1

Kuvaaja ja kuvankäsittelijä Karoliina Paatos, Lapin Maakuntamuseo. Kuvan kontrastia on säädetty kuvion korostamiseksi.



Liite 7. Kuva kohde 2

