

Teemu Rekonen

# Riegl VZ-400 -laserskannerin ja skannaus- aineiston käsittelyohjelmiston käyttöohjeet Helsingin rakentamispalvelu Staralle

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Maanmittaustekniikan tutkinto-ohjelma

Insinööriyö

21.5.2014

<p>Tekijä Otsikko</p> <p>Sivumäärä Aika</p>	<p>Teemu Rekonen Riegl VZ-400 -laserskannerin ja skannausaineiston käsittelyohjelmiston käyttöohjeet Helsingin rakentamispalvelu Staralle</p> <p>74 sivua 21.5.2014</p>
<p>Tutkinto</p>	<p>insinööri (AMK)</p>
<p>Tutkinto-ohjelma</p>	<p>maanmittaustekniikka</p>
<p>Ohjaajat</p>	<p>palvelupäällikkö Petri Lahti lehtori Jussi Laari</p>
<p>Helsingin kaupungin rakentamispalvelu Stara hankki Riegl VZ-400 -maalaserskannerin tehostaakseen ja monipuolistaakseen mittauspalveluitaan. Tuli tarpeelliseksi myös laatia käyttöohjeet laserskannerille sekä skannausaineiston käsittelyohjelmalle (RiSCAN PRO), jotta laitteen käyttöönotto tapahtuisi mahdollisimman sujuvasti.</p> <p>Insinööriytyössä perehdytään laserskannausprojektin toteuttamiseen Staran mittauspalveluiden näkökulmasta. Alkupuolella tutustutaan laserskannauksen yleisiin periaatteisiin ja laserskannausprojektin kulkuun ja suunnitteluun. Pääsisältö koostuu kuitenkin Riegl VZ-400 -laserskannerin käytön sekä skannausaineiston käsittelyohjelmiston käyttöohjeista. Käyttöohjeet on pyritty esittämään loogisesti vaihe vaiheelta käyttäen hyödyksi paljon kuvia, jotta ohjeet olisivat helposti omaksuttavia.</p> <p>Käyttöohjeissa käydään läpi skannaussuunnitelmaa, jossa selvitetään mm. skannausvalmistelujen järjestämistä ja laatutekijöitä. Aineiston keruu -osiossa käsitellään skannerin alkuasetusten määrittämistä, skannauksen toteuttamista ja tiedonsiirtoa. Aineiston käsittely -osiossa käydään läpi RiSCAN PRO -ohjelman päätoiminnot, kuten aineistojen lataaminen ohjelmaan, erilaiset visualisointimahdollisuudet ja suodatintyökalut. Tässä työssä keskitytään pistepilvien eri rekisteröintitavoista rekisteröinnin toteuttamiseen tähyksillä sekä Multi Station Adjustment -verkkotasoitus menetelmään. Myös kolmiointi ja maastomallin tekeminen sekä mallinnustyökalut käsitellään käyttöohjeissa.</p>	
<p>Avainsanat</p>	<p>laserskannaus, maalaserskanneri, Riegl VZ-400, RiSCAN PRO</p>

Author Title	Teemu Rekonen Instructions of Riegl VZ-400 Laser Scanner and Data Processing Software
Number of Pages Date	74 pages 21 May 2014
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Land Surveying
Instructors	Petri Lahti, Service Manager Jussi Laari, Senior Lecturer
<p>A new Riegl VZ-400 terrestrial laser scanner is to be employed by the City of Helsinki to improve and expand their measurement service capacity. Therefore, they needed a user guide of the scanner and scanning data processing program (RiSCAN PRO), to commission the use of the scanner successfully.</p> <p>The basic information about the use of the scanner and the data processing program was received in a training session organized by the importer of the device. Thereafter, the properties of the scanner were tested in several survey sessions. Later, when problems arose, additional information and solutions were received from the importer's representative. The user guide was mainly written on the bases of these sources. The most relevant information was collected to facilitate the learning process of a new scanner user for the kind of scanning projects the city of Helsinki mainly undertakes. The guide follows the same step by step process that one would while scanning, leaving out unnecessary indepth details, retaining a utilitarian approach.</p> <p>The final product of this thesis is a user guide to the Riegl VZ-400 laser scanner and its data processing program. It enables employees to work more independently and more efficiently.</p>	
Keywords	laser scanning, terrestrial laser scanner, Riegl VZ-400, RiSCAN PRO

## Sisällys

1	Johdanto	1
2	Staran organisaatio	2
2.1	Yleisesti Starasta	2
2.2	Mittausosastot	3
2.3	Maalaserskannerin tarve Staralla	4
3	Laserskannaus	4
3.1	Laserskannaus ja mittausperiaate	4
3.2	Laserskannauksen jaottelutapoja	5
3.2.1	Jaottelu mittauskohteen perusteella	5
3.2.2	Jaottelu mittausperiaatteen perusteella	5
3.2.3	Jaottelu toimintaperiaatteen perusteella	6
3.2.4	Staattinen laserskannaus ja mobiililaserskannaus	7
4	Riegl	7
4.1	Rieglin laserskannereista	8
4.2	Monipistelaser	8
5	Riegl VZ-400 -laserskanneri	10
5.1	Riegl VZ-400 -laserskannerin ominaisuuksia	10
5.2	Riegl VZ-400 -laserskannerin sisäinen GPS ja kompassi	12
5.3	Nikon D800 -järjestelmäkamera	12
5.4	Muut tarvikkeet	14
6	Skannaussuunnitelma	15
6.1	Laserskannausprojekti ja työn kulku	15
6.2	Skannaussuunnitelman lähtökohdat	16
6.3	Skannausasemien sijoittaminen	17
6.4	Tähtysten sijoittaminen ja hyvä mittausgeometria	18
6.5	Tarkkuus ja epävarmuustekijät	19
7	Aineiston keruu laserskannerilla	20
7.1	Laserskannerin ohjausmahdollisuudet	20

7.2	Työn luonti ja alkuasetusten määrittäminen	21
7.3	Laserskannaaminen	26
7.4	Tiedonsiirto	28
8	Aineiston käsittely	30
8.1	RiSCAN PRO -ohjelma	30
8.1.1	Lisenssit	30
8.1.2	RiSCAN PRO -ohjelman käyttöliittymä	32
8.1.3	Projektin luominen ja aineistojen lataaminen	33
8.1.4	Aineistojen visualisointi	36
8.1.5	Object Inspector ja visualisointi	39
8.1.6	Pistepilven värjääminen valokuvalla	41
8.1.7	Object viewin tallentaminen	41
8.1.8	Valintatyökalut	42
8.1.9	Suodattimet	45
8.1.10	Polydatojen luominen	46
8.2	Rekisteröinti eli pistepilvien yhdistäminen	48
8.2.1	Koordinaatistot	48
8.2.2	Rekisteröintitavat	49
8.2.3	Rekisteröinti tähyksillä	50
8.2.4	Verkkotasoisuus eli Multi Station Adjustment	53
8.3	Georeferointi	60
8.4	Kolmiointi ja maastomalli	63
8.5	Vektorointi eli mallinnus	66
8.6	Tilavuuslaskenta	71
8.7	Lopputuotteet	72
9	Lopuksi	73
	Lähteet	75

## 1 Johdanto

Tämä insinööri työ on tehty Staralle, joka hankki 2013 vuoden loppupuolella uuden Riegl VZ-400 -laserskannerin, jonka tarkoituksena on tehostaa ja monipuolistaa Staran mittauspalveluja.

Insinööri työni tarkoituksena on toimia ohjeistuksena Staran henkilökunnalle Riegl VZ-400 -laserskannerin käytössä sekä aineiston käsittelyssä. Aineistoja käsitellään RiSCAN PRO -ohjelmalla. Selvitän myös yleisesti skannausprojektin suunnittelua ja työn kulkua. Aluksi käsitelen Staran organisaatiota, laserskannereita ja niiden tekniikkaa sekä Riegl VZ-400 -laitteen erityisominaisuuksia. Insinööri työni pääsisältö koostuu kuitenkin Riegl VZ-400 -laserskannerin käyttöohjeista ja aineiston käsittelyosuudesta.

Tavoitteena on selittää Riegl VZ-400 -laserskannerin ja tarvittavan ohjelmiston käytön perusteet selkeästi ja käytännönläheisesti, jotta uuden laitteen käyttöönotto olisi mahdollisimman sujuvaa ja helppoa. Laitteen käyttö ja aineiston käsittely käydään vaiheittain läpi. Esittelen laitteen ja ohjelmiston käyttöä esimerkein ja visuaalisin keinoin, jotta ohjeistus olisi mahdollisimman helposti lähestyttävää ja ymmärrettävää.

Riegl VZ-400 -laserskannerin käyttömahdollisuudet ovat erittäin monipuoliset, eikä kaikkiin laitteen ja RiSCAN PRO -ohjelmiston toimintavaihtoehtoihin ole mahdollista perehtyä. Keskitynkään laserskannausprojektin oleellisimpien vaiheiden kuvaamiseen Staran mittauspalveluiden näkökulmasta. Esimerkiksi uusi työntekijä voi tutustua ko. laitteeseen ja sen toimintaperiaatteisiin sekä ohjelmistoon insinööri työni avulla, mutta vasta kokemuksen myötä käyttäjien osaaminen ja tietous laitteesta ja ohjelmistosta laajenee ammattimaiselle tasolle.

Minulla on ollut myös mahdollisuus osallistua Nordic Geo Center Oy:n (Rieglin laserskannerien maahantuoja) Staralle järjestämään koulutukseen skannerin ja ohjelmiston käytöstä. Koulutuksessa olen saanut perusosaamisen Riegl VZ-400 -laserskannerin ja ohjelmistojen käyttöön. Koulutuspäivät järjestettiin Nordic Geo Centerin toimistossa helmikuussa 2014. Myös sen jälkeen Star ja Nordic Geo Center ovat tehneet tiiviisti yhteistyötä skanneriin ja ohjelmistoon perehdyttämisessä.

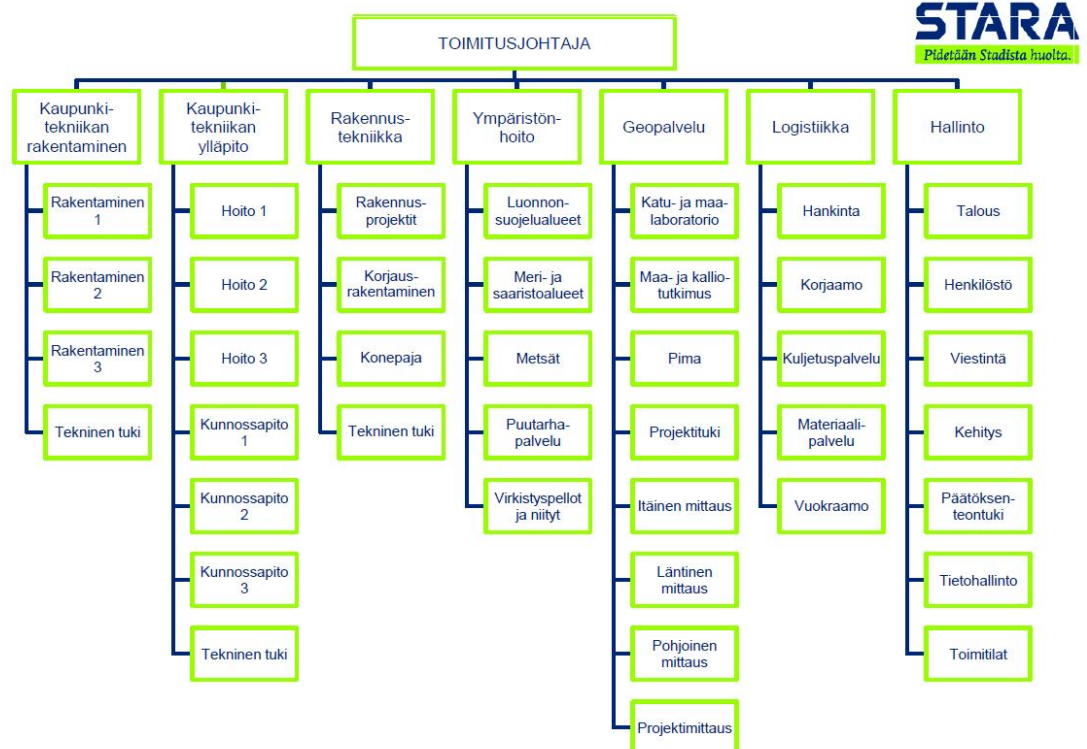
## 2 Staran organisaatio

### 2.1 Yleisesti Starasta

Stara on Helsingin kaupungin rakentamispalvelu, jonka tehtävät liittyvät rakentamiseen, ympäristönhoitoon ja logistiikkaan. Stara on melko uusi kaupunginvirasto, mutta sen historia ulottuu vuonna 1878 perustettuun Helsingin rakennuskonttoriin. Vuonna 2009 tuottajayksiköt HKR-ympäristötuotanto (Helsingin kaupungin rakennusvirasto) ja HKR-tekniikka siirtyivät omaksi Helsingin kaupungin rakennuspalvelu -nimiseksi virastoksi rakennusviraston muuttuessa vain tilaajaorganisaatioksi. Vuonna 2010 rakennuspalvelu muutti nimensä Staraksi, joka tulee sanoista Stadin Rakentajat. Staran toimintaa ohjaa ja valvoo tekninen lautakunta. [1; 2.]

Staran liikevaihto oli vuonna 2012 noin 240 miljoonaa euroa, ja Stara työllistää noin 1 600 työntekijää. Staran suurimpia asiakkaita ovat rakennusviraston katu- ja puisto-osasto, kiinteistöviraston tilakeskus, HKR-rakennuttaja sekä Helsingin seudun ympäristöpalvelut. [1]

Stara jakautuu kuuteen eri osastoon, jotka ovat kaupunkitekniikan rakentaminen, kaupunkitekniikan ylläpito, rakennustekniikka, ympäristönhoito, logistiikka ja geopalvelu. Geopalvelu tuottaa maa- ja kallioperän tutkimuspalveluja, laboratoriotutkimuksia, pilaantuneen maan käsittelyä ja teknisiä mittauksia. [1] Kuvassa 1 esitellään kaavio Staran organisaation rakenteesta.



Kuva 1. Staran organisaation rakenne [3].

## 2.2 Mittausosastot

Staran geopalvelun mittausosastot jakautuvat neljään eri piiriin: pohjoiseen, itäiseen, läntiseen sekä projektimittaukseen. Pohjoinen, itäinen ja läntinen piiri toimivat omilla toiminta-alueillaan. Projektimittaus keskittyy pääasiassa viheralueiden mittaustehtäviin. Mittausosastojen palveluvalikoimaan kuuluu esimerkiksi maastokartoitukset, suunnitelmien maastoon merkitsemiset, määrälaskennat sekä maisemasuunnittelut ja rakentamisen mittauspalvelut. [1]

Mittausosastoilla käytetään tällä hetkellä pääasiassa Trimblen nykyaikaista takymetri-mittauskalustoa (Trimble S6, Trimble S8 ja Trimble VX Spatial Station) ja GNSS-mittauskalustoa (Trimble R6 ja Trimble R8). Mittauskalustoa käytetään Trimble CU-maastotietokoneilla. Mittausaineiston käsittely tehdään MicroStation-ympäristössä ja siihen liittyvissä Terra-sovelluksissa. Trimble VX Spatial Station -takymetrin skannausaineistoa käsitellään Trimblen RealWorks-ohjelmalla.



### 2.3 Maalaserskannerin tarve Staralla

Maalaserskannerin tarvetta ja hyötyä mittauksissa on pohdittu Staralla jo aikaisemmin, ja asiaa on tutkittu mm. erilaisissa insinööritöissä. Laserskannerin avulla voidaan kerätä yksityiskohtaista tietoa nopeammin kuin olemassa olevalla takymetrikalustolla, siksi laserskannerin hankinta tuli ajankohtaiseksi. Joulukuussa 2013 päädyttiin hankkimaan Riegl VZ-400 -maalaserskanneri tehostamaan ja monipuolistamaan mittauspalveluita. Varsinkin erilaisissa kartoitusmittauksissa laserskannausaineistolla voidaan nopeuttaa ja tarkentaa toimintaa. Tarkoituksena on tehostaa mittausprojektin tiedonkeruuvaihetta, jotta prosessin lopputuotteeseen on esimerkiksi mahdollista lisätä tarvittavia yksityiskohtia muilla mittausmenetelmillä ja käsitellä aineistoa MicroStation-ympäristössä.

Staralla on myös harkittu skannerin käyttöä ns. Stop and Go -mittauksessa, jossa laserskanneri asetetaan mobiililaitteen, esimerkiksi auton päälle, josta kartoitus suoritetaan auton ollessa pysähdyksissä. Suoritetun skannauksen jälkeen auto siirtyy eteenpäin uudelle skannausasemalle ja pysähtyy, jotta seuraava skannaus saadaan suoritettua.

## 3 Laserskannaus

### 3.1 Laserskannaus ja mittausperiaate

Laserskannaus on mittausmenetelmä, jolla kohteesta saadaan kolmiulotteista ja mittatarkkaa tietoa koskematta kohdetta fyysisesti. Laserskanneri lähettää lasersäteen kohteen pintaan ja mittaa takaisin heijastuvan paluusäteen. Laserin kulkema matka saadaan selville laserin lähettämisen ja paluusäteen välisellä aikaerolla, kun tiedetään lasersäteen nopeus eli valonnopeus. Kun lasersäteen sekä vaaka- että pystykulmatiedot ovat tiedossa, pystytään kohteen sijainti määrittelemään. Lasersäde lähetetään pyörivää tai oskilloivaa peilijärjestelmää kohden, jossa lasersäteen vertikaalinen skannausnäkyvä tuotetaan. Mittaus tapahtuu peilijärjestelmästä tiettyyn suuntaan heijastuvan lasersäteen perusteella. Sijaintitiedon lisäksi jotkin laserskannerit tallentavat myös pulssin intensiteettiarvon eli paluusäteen voimakkuuden. Intensiteettiarvon perusteella saadaan tietoa pinnan heijastavuudesta. [4; 6; 5, s. 1.]

Erilaiset laserskannerit tulivat markkinoille 2000-luvun vaihteessa. Ensimmäinen laserskanneri tuotiin Suomeen 2001. Tämän jälkeen markkinat ovat kasvaneet, ja on kehitetty monenlaisia laserskannereita eri käyttötarkoituksiin. Nykyään laserskannaus on yleinen mittausmenetelmä kaikkialla maailmassa. [6]

Laserskannausta käytetään, jotta kohteen pintojen muoto ja spatiaaliset suhteet saadaan mitattua. Mittaus tapahtuu automaattisesti ja reaaliaikaisesti. Laserskannaus on optinen mittausmenetelmä, eli kohteeseen tulee olla suora näköetäisyys. Jos kohde halutaan mallintaa kokonaan, pitää se skannata monesta eri suunnasta siten, että kaikki kohteen osat näkyvät jostain kojeasemasta. [7]

Laserskannaustekniikan avulla saadaan tiheä joukko 3D-pisteitä eli pisteitä, joilla on x-, y- ja z-koordinaatit. Tällaista pistejoukkoa kutsutaan pistepilveksi. Pistepilvissä saattaa olla miljoonia pisteitä. Mittauksessa eri mittausasemista saadut pistepilvet yhdistetään eli rekisteröidään toisiinsa siten, että kaikilla pistepilvillä on yhteinen koordinaatisto. [8; 7.]

## 3.2 Laserskannauksen jaottelutapoja

### 3.2.1 Jaottelu mittauskohteen perusteella

Laserskannauksen voi jakaa monenlaisiin eri tyypeihin mittauskohteen, -tekniikan tai toimintatavan mukaan. Yleisin jaottelu tapahtuu mittauskohteen mukaan. Laserskannerit luokitellaan kolmeen eri pääluokkaan: kaukokartoituslaserskannereihin, joita käytetään lentokoneista ja helikoptereista käsin, maalaserskannereihin, joita käytetään esimerkiksi eri rakennushankkeissa ja joiden mittausetäisyys on noin 1–300 m, sekä teollisuuslaserskannereihin, joilla mitataan erittäin tarkasti (alle 1 mm) pieniä kohteita lähietäisyyksillä (alle 30 m). [8; 7; 4.]

### 3.2.2 Jaottelu mittausperiaatteen perusteella

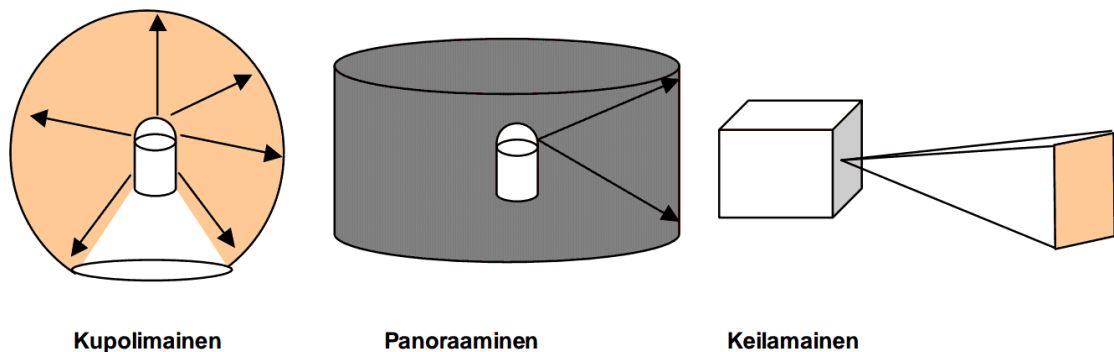
Maalaserskannerit jaetaan mittausperiaatteen mukaan pulssilaserskannereihin ja vaihe-erolaserskannereihin. Pulssilaserskannerit eli aikaerolaserskannerit perustuvat valon (laserin) kulkuaikaan. Laserskanneri lähettää pyörivän peilin avulla kohteen suuntaan laserpulsseja, jotka heijastuvat takaisin. Laserpulssien edestakainen kulkuaika

mitataan. Tämä skannaustekniikka on hitaampaa, mutta sillä saadaan varsinkin pittemmillä etäisyyksillä tarkempaa mittaustulosta. [8]

Vaihe-erolaserskannerien mittausperiaate perustuu taas laserin aaltomuodon tai useampien kantaallonpituuksien mukaisesti muuttuvan signaalin käyttöön. Etäisyyshavainto saadaan lähetetyn ja takaisin heijastuvan signaalin välistä vaihe-eron suuruutta mittaamalla. Tämä perustuu jatkuvan, intensiteetin voimakkuudeltaan tasaisen, signaalin käyttöön. Vaihe-eromittaus on nopeaa, ja mittausetäisyyden maksimi on nykyään useita satoja metrejä, esimerkiksi uudella Faron vaihe-eroskannerilla, mutta mittauksien tarkkuus huononee huomattavasti näin pitkillä etäisyyksillä [23]. Myös pistepilven laatu, varsinkin kohteen reunoissa, ei ole yhtä hyvää kuin aikaerolaserilla mitattaessa. [8; 7; 4; 9.]

### 3.2.3 Jaottelu toimintaperiaatteen perusteella

Mittauskohteiden erilaisuuden takia on kehitetty erilaisia toimintaperiaatteita laserskannereille, jotta ne palvelisivat erilaisia mittauksia mahdollisimman hyvin. Erilaiset toimintaperiaatteet soveltuvat erilaisiin mittauskohteisiin ja -tarkoituksiin.



Kuva 2. Maalaserskannerien toimintaperiaatejaottelu [4].

Maalaserskannerit voidaan jaotella kolmeen erilaiseen toimintaperiaatetyyppiin: kupolimaisesti skannaaviin, panoraamisesti skannaaviin ja tiettyyn suuntaan (keilamaisesti) skannaaviin (kuva 2). [4]

Kupolimainen mittaustapa, jossa skanneri pystyy pyörimään eri suuntiin, soveltuu parhaiten suurien kohteiden ja laajempien näkymien skannaamiseen. Ainoastaan pientä

aluetta laitteen alapuolella ei teknisen rajoitteen vuoksi pystytä mittaamaan. Nykyisin suurin osa laserskannereista mittaa kupolimaisesti. [4]

Panoraamisesti mittaavat laitteet pystyvät pyörimään pysty akselinsa ympäri. Laitteen ylä- ja alapuoliset alueet jäävät mittaamatta, mikä voi vaikeuttaa mittaamista joissain tilanteissa. Menetelmää käytetään tyypillisesti pidempien mittausetäisyyksien skannaamisessa. [4; 10; 23.]

Keilamaisesti mittaavia laitteita käytetään pääasiassa teollisuudessa. Ne soveltuvat pienempien kohteiden ja esineiden tarkkaan mallintamiseen. Tällä menetelmällä saadaan hyvin tarkkaa mittausaineistoa. Rajoitteena ovat suuret katvealueet. On myös olemassa keilamaisesti mittaavia pitkien etäisyyksien skannereita, kuten esimerkiksi Optech Iiris. [8; 7; 4; 23.]

#### 3.2.4 Staattinen laserskannaus ja mobiililaserskannaus

Maalaserskannausta voidaan tehdä staattisesti tai mobiilisti. Staattisessa mittauksessa laserskanneri on paikoillaan jalustan päällä. Mobiililaserskannauksessa laite on asetettu liikkuvan alustan, esimerkiksi auton, veneen tai junan, päälle, jolloin mitataan liikkeestä käsin. Mobiilimittaus vaatii inertianavigointijärjestelmää ja GNSS-laitteistoa. [7]

## 4 Riegl

Riegl on itävaltalainen yritys, jolla on yli kolmenkymmenen vuoden kokemus laseretäisyysmittausten tekniikan tutkimuksesta, kehityksestä ja tuotannosta. Riegl on pääasiassa keskittynyt laserlaitteistojen kehittämiseen ja valmistamiseen ja onkin siinä yksi alan asiantuntijoita. Myös ohjelmistot ovat toimivia ja monipuolisia, ja ne tukevat eri organisaatioissa muita käytettäviä ohjelmia. [11]

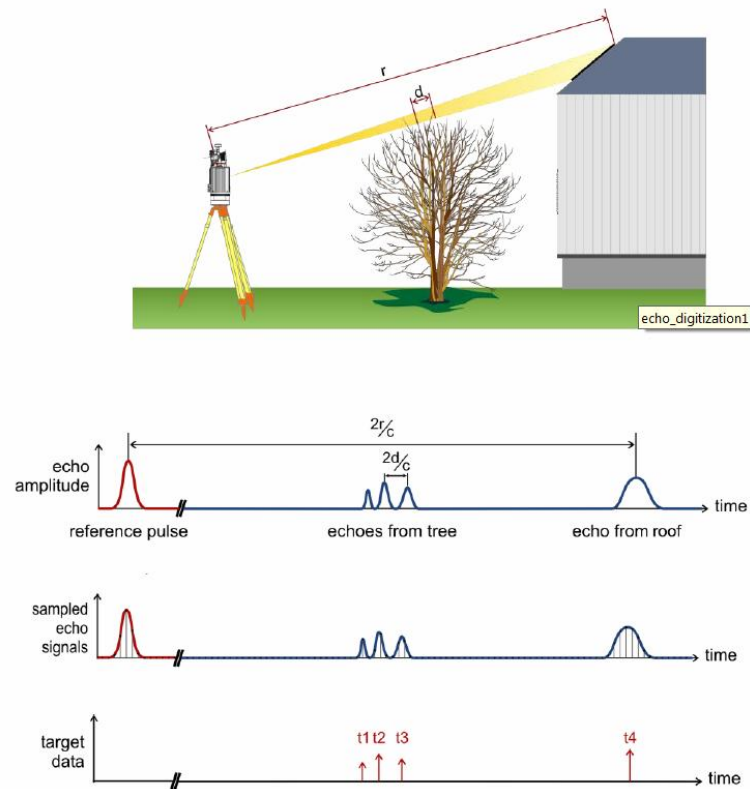
#### 4.1 Rieglin laserskannereista

Stara valitsi Rieglin VZ-400 -laserskannerin, koska sen ominaisuudet vastasivat parhaiten Staran käyttötarpeita. Riegl VZ-400:n monipuolisuus ja tarkkuus sekä ohjelmistojen käyttöliittymät olivat etuina muihin laserskannerilaitteistoihin verrattaessa.

Riegl VZ-400 on Rieglin VZ-sarjan perusversio. Muita VZ-sarjan maastolaserskannereita ovat VZ-1000, VZ-4000 ja VZ-6000, joissa on pieniä teknisiä eroja, esimerkiksi pidemmät mittausetäisyydet ja sisäänrakennettu kamera. Mutta kaikki VZ-sarjan laitteet sopivat monentyyppisiin mittauksiin ja käyttävät samaa tekniikkaa. VZ-400:sta ja VZ-1000:sta on olemassa myös S-mallit, jotka soveltuvat teollisuuden erikoismittauksiin. [12; 10.]

#### 4.2 Monipistelaser

Riegl VZ-sarjassa (myös VZ-400:ssa) laserskannerin käyttämä tekniikka mahdollistaa skannerin tarkkuuden ja mittausten laadukkuuden. Tekniikka tekee mahdolliseksi monen mittauspisteen erottelun yhdestä laserpulssista reaaliaikaisesti. Rieglin skannereissa käytetään ilmalaserskannauksen puolelta tuttua täyden aallonmuodon tekniikkaa (full waveform). Heijastuvien laserpulssien eli kaikujen määrä ja muoto riippuvat heijastuspinnan tyypistä sekä heijastuskulmasta. Takaisin heijastunut signaali digitalisoidaan ja myös vain osittaiset heijastumat erotellaan. Jos laserpulssi osuu koko säteen poikkipinnan kokoiseen tasomaiseen pintaan, heijastuu takaisin vain yksi kaiku. Jos laserpulssi osuu useampiin kohteisiin tai laserpulssi sivuaa kohdetta, tallentaa skanneri myös useamman kuin yhden palautuvan kaiun. Kun koko palautuva heijastussignaali digitalisoidaan, voidaan eri kaiut erotella toisistaan ja yhdestä laserpulssista saadaan monta pistetietoa. Tästä on hyötyä esimerkiksi silloin, kun mitataan kasvillisuuden läpi. Tekniikkaa kutsutaan monipistelaseriksi. (Kuva 3.) [13; 5, s. 28–29.]



Kuva 3. Monipistelaser [17, s. 20].

Kaiun muoto määräytyy pinnan materiaalin, värin ja karkeuden perusteella. Eroteltuja kaikujen muotoja verrataan ns. kaikukirjastoon, jossa osakaiku saadaan tulkittua skannerin laskettua reaaliaikaisesti kaiun ominaisuuksia. [13]

Monipistelaseriteknikan hyödyt normaaliin pulssilaseriin ovat mittaustarkkuus, osittain peitteisten kohteiden mittaushmahdollisuus sekä pisteiden luokittelumahdollisuus, joka nopeuttaa pisteaineiston jälkikäsitelyä [13].

Skannauksen mittaustarkkuus paranee, koska mitattavaa pistettä laskettaessa voidaan huomioida myös kohteen materiaali, joka vaikuttaa signaalin heijastumiseen ja sen aiheuttaman kaiun muotoon [13].

Peitteisten alueiden mittauksissa, kuten esimerkiksi kasviston läpi mitatessa, voidaan huomioida vain viimeinen kaiku, jolloin tarpeettomat mittauspisteet (kasveihin osittaisesti osuneet lasersäteet) saadaan karsittua aineistosta. Myös sisätiloissa monipistelaserilla saadaan harhapisteet minimoitua. Laserpulssin osuessa esimerkiksi pilarin tai putken reunaan saadaan vain osittain ”hipaisusta” tarkka tieto, ja ylimääräiset ilmapis-

teet ja esimerkiksi pylväiden reunoille ilmestyvät pistesuihkut saadaan helposti suodatettua pois myöhemmin. [13; 23.]

Jokaisen mitatun pisteen kaiun muoto tallentuu, jolloin pisteitä voidaan luokitella niiden ominaisuuksien perusteella. Aineistosta voidaan etsiä esimerkiksi vain tietyn heijastusarvon ylittäviä pisteitä, jolloin saadaan vain kohteen tiettyyn materiaaliin osuneiden pisteiden pistepilvi luokitelluksi. Luokittelu mahdollistaa automaattisen editoinnin, mikä nopeuttaa jälkikäsitelyä. [13]

## 5 Riegl VZ-400 -laserskanneri

### 5.1 Riegl VZ-400 -laserskannerin ominaisuuksia

Riegl VZ-400 -laserskanneri on moniin erityyppisiin mittauksiin soveltuva maalaserskanneri (kuva 4). Laitteen mittausperiaate on pulssilaser, joka perustuu aikaeron mittaamiseen. Skanneri mittaa panoraamisesti täyden kierroksen, jolloin sekä alapuolelle että yläpuolelle jäävät ympyränmuotoiset katvealueet. Skannauskulma on 100 astetta hiukan yläviistoon kohdistettuna siten, että kulma horisontaalisesta tasosta ylöspäin on 60 astetta ja alaspäin 40 astetta. [12; 14.]



Kuva 4. Riegl VZ-400 -laserskanneri (kuvat Teemu Rekonen).

Riegl VZ-400 -laserskannerissa on mahdollista käyttää erilaisia mittausohjelmia. Long range (300 kHz) on tarkoitettu pidemmille matkoille, noin yli 300 m, ja High speed (100 kHz) sitä lyhyemmille matkoille. Pidemmälle mitatessa laserpulssilla kestää hieman kauemmin heijastua takaisin ja skannerin täytyy odottaa palaavaa pulssia pidemmän aikaa. Tämän takia laserpulseja ei voi lähettää kovin tiheästi. Kaupunkiympäristössä etäisyydet ovat yleensä kuitenkin lyhyitä, jolloin High speed -mittausohjelma riittää tavanomaisiin mittauksiin. [12; 14; 23.]

Laitteella on mahdollista myös valita Reflektor-HS-mittausohjelma, joka on tarkoitettu erittäin heijastavien pintojen, kuten tähysten, mittaamiseen. Tällöin skanneri laskee automaattisesti laserpulssinsa tehoa, jottei palautuva heijastussignaali vahingoita skannerin herkkiä sensoreita. Tätä mittausohjelmaa ei ole tarkoitettu itse käytettävän, koska skanneri käyttää ohjelmaa automaattisesti. [14; 15; 23.]

Nopeimmillaan skanneri lähettää yli 122 000 laserpulssia sekunnissa 300 kHz:n mitaustaajuudella. Koska yhdestä laserpulssista voidaan laskea monta mittauspistettä (monipistelaser), voi laite parhaimmillaan rekisteröidä noin kaksi miljoonaa havaintoa sekunnissa. [12]

Skannerilla pystytään mittaamaan 600 metriin asti voimakkaasti heijastavaan materiaaliin (90 %:n heijastus) ja 280 metriin heikosti heijastavaan materiaaliin (20 %:n heijastus). Rieglin tekemien testien perusteella VZ-400-laitteen kokonaistarkkuus on 5 mm sadalla metrillä ja toistotarkkuus 3 mm sadalla metrillä. Laitteen kulmaerotuskyky on sekä vaakasuunnassa että pystysuunnassa 0.0005 astetta. [12; 16.]

Riegl VZ-400 -laserskannerissa on 32 gigatavun sisäinen flash-muisti. Skannerissa on myös USB 2.0 -portti, jonka avulla aineistot voi tallentaa suoraan muistitikulle. [14]

Riegl VZ-400 -laserskanneri soveltuu hyvin myös Suomen vaihteleviin sääolosuhteisiin. Skanneri on erittäin tiivis ja kestävä, ja sen sisäilma on korvattu kuivalla typpikaasulla. Skanneri mittaa hyvin vielä  $-20$  °C:ssa, kunhan laitteen sisälämpötila pysyy vain tarpeeksi korkeana. Teknisissä tiedoissa laitteen lämpötilakestävyys on  $-40...+40$  °C. [12]



## 5.2 Riegl VZ-400 -laserskannerin sisäinen GPS ja kompassi

GPS-tekniikkaa voidaan hyödyntää laserskannauksessa. Riegl VZ-400:ssa on sisäänrakennettu GPS-vastaanotin, joka käyttää L1-taajuutta, sekä antenni. Sisäisessä GPS-vastaanottimen laskennoissa ei käytetä korjausdataa, jolloin sijaintitarkkuus on vain likimääräinen, varsinkin korkeudessa sijainti voi heittää useita metrejä. Sisäisen GPS-vastaanottimen käyttöä voidaan kuitenkin hyödyntää skannauksessa pistepilvien rekisteröinnin yhteydessä. Eri pistepilvet saadaan suoraan yhteiseen koordinaatistoon, jossa asemapisteen likimääräinen sijainti riittää hyvin esimerkiksi mittausjärjestyksen hahmottamiseen, mikä helpottaa pistepilvien tarkempaa rekisteröintiä. [16; 12; 14.]

Laitteeseen on mahdollista myös liittää ulkoinen GPS-vastaanotin, jolloin tarkkuus parantuu huomattavasti ja sijaintitietoa voi käyttää suoraan skannerin asemapisteen määrittämiseen. Korjauslaskennan on kuitenkin tapahduttava suoraan GPS-vastaanottimessa eikä ulkoisessa maastotietokoneessa. Ulkoinen GPS vaatii myös erillisen adapterin, jolla vastaanotin saadaan kalibroitu laserskannerin pysty akselin suuntaisesti, jolloin ylimääräistä korjauslaskentaa ei tarvita. [12; 14.]

Riegl VZ-400:sta löytyy myös sisäinen kompassi, josta on hyötyä mitattaessa sisäisen GPS:n varassa. Kompassi määrittää pohjoissuunnan maapallon magneettikentän perusteella käyttäen hyväksi GPS:n antamaa sijaintitietoa, jonka avulla skanneri osaa antaa suuntatiedolle tarvittavan korjauksen. Teknisten tietojen mukaan kompassilla voidaan parhaimmillaan päästä jopa yhden asteen tarkkuuteen, mutta käytännössä kulmatiedot voivat poiketa mittauksissa, jopa kymmeniä asteita, johtuen ympäristön aiheuttamista häiriöistä. [16; 17; 14; 23.]

## 5.3 Nikon D800 -järjestelmäkamera

Rieglin VZ-400 -laserskanneriin voidaan kiinnittää kamera tukemaan mittauksia. Mittatarkoista valokuvista voi olla paljon hyötyä skannausaineistojen ohella. Staran hankkiman skannerin yhteydessä käytetään Nikon D800 -järjestelmäkameraa (kuva 5), joka kalibroidaan mittakameraksi. Nikon D800 on täyden kennon FX-kamera, jossa on 36,3 megapikselin FX-koon CMOS-kemmo, joka takaa laadukkaan kuvan myös etäällä sijaitsevista kohteista. 14 millimetrin objektiivilla saadaan laaja ja tarkka kuva myös etäämmältä. Pikseliresoluutio on 30 metrin päässä 10 millimetriä. Laajan kuvauskulman ansi-

osta kameralla saadaan 360 asteen panoraamakuva viidellä kuvalla, joiden kuvaamiseen menee noin minuutti. Kuvilla on 20 asteen peitto toisiinsa nähden, jotta kuvien yhdistäminen on mahdollisimman saumatonta. [12; 14.]



Kuva 5. Nikon D800 ja kamera-adapteri (kuva Teemu Rekonen).

Kamera kiinnitetään skannerin päälle irrotettavan kiinnitysadapterin avulla. GPS-vastaanotin on kiinni adapterissa kameran päällä. Kiinnitysadapteri kiinnitetään skanneriin kahdella kiinnitysruuvilla siten, että skannerin USB/DC-virtaliitin asettuu kameran kiinnitysadapterin vastaavaan liittimeen. Kun kamera ei ole kiinni skannerissa, täytyy suojalevyt pitää kiinni laitteissa, jotta liittimet eivät vahingoitu. Kamera pitää myös muistaa painaa aina erikseen päälle sekä sammuttaa, kun skannaus lopetetaan. Kameran virtakytkimenä on laukaisupainikkeen vierestä oleva kiekko. Jos kamera on päällä ja asetuksista on valittu automaattinen kuvaus, kuvaaminen alkaa heti skannauksen jälkeen. Jos salamalampun avaa kameran päältä, kamera ottaa kuvan salamalla automaattisesti. [14]

Koska kuvaus ei tapahdu samasta pisteestä, josta skannaus tapahtuu, vaan skannerin yläpuolelta, eivät kuvat ole suoraan mittatarkkoja. Jotta kuvat saadaan mittatarkoiksi ja kuvien pikselit vastaamaan skannattuja pisteitä, käytetään kalibroitiedostoja, joissa kameran oma koordinaattijärjestelmä (CMCS = Cameras Coordinate System) muunnetaan yhtenäiseksi skannerin oman koordinaattijärjestelmän (SOCS = Skanners Own

Coordinate System) kanssa. Kameran koordinaattijärjestelmä on oikeakätinen järjestelmä, jossa Z-akseli osoittaa kuvattavaan suuntaan. [14]

Muunnos tehdään sisäisen ja ulkoisen kamerakalibroinnin avulla. Sisäisessä kamerakalibroinnissa kameran sisäiset muuttujat, kuten linssivirheet ja kameran geometriat, asetetaan kohdilleen. Ulkoisessa kamerakalibroinnissa määritellään kameran sijainti ja asento 3D-avaruudessa skannerin suhteen. Muuttujia kutsutaan kalibroitiparametreiksi. Kalibroitiparametrit ovat syötettyinä RiSCAN PRO -ohjelmaan kameramallin mukaan. [14]

Kameran asentomatriisin säädöksi (Mounting) kutsutaan ulkoisen kalibroinnin hienosäätöä, joka tulee tehdä joka kerta, kun kamera kiinnitetään laserskanneriin. Siinä korjataan kameran kalibrointia, joka on voinut siirtyä muutaman pikselin verran kameran kiinnitysvaiheessa. Säättämällä matriisia päästään alle yhden pikselin virheisiin. [14]

Kuvat tulevat automaattisesti muiden tiedostojen mukana, kun aineistoja siirretään tietokoneelle käsiteltäviksi. Kuvia voidaan tarkastella ja muokata yksittäisinä tiedostoina eri ohjelmissa. Ei kannata kuitenkaan kääntää kuvia pystyasentoon Windowsin puolella, koska muuten RiSCAN PRO -ohjelma ei pysty käsittelemään kuvia automaattisesti pistepilvien värjäyksen yhteydessä, koska valokuvien suunta on määritelty kalibrointitiedostoissa [23]. Skanneriin on mahdollista kiinnittää erilaisia kameroita. Esimerkiksi lämpökameran hyödyntäminen skannausten yhteydessä on mahdollista. [18]

#### 5.4 Muut tarvikkeet

Laserskannerilla mittaamiseen tarvitaan skannerin lisäksi myös paljon välttämättömiä tarvikkeita. Tärkeimmät tarvikkeet ovat akku, jalusta ja pakkokeskitysalusta. Lisäksi skannausprojektin luonteesta riippuen voidaan tarvita kameraa ja kameran adapteria, tarratähyksiä, kannettavaa tietokonetta ja TCP/IP-kaapelia LAN-yhteyttä varten. On hyvä varmistaa, että projektin kannalta kaikki tarvittavat oheistarvikkeet ovat mukana ja kunnossa. [14]

Skannerin sisäinen akku on 2,1 kg painava, ja sen käyttöaika täyteen ladattuna on noin kaksi tuntia +20 °C:ssa. Skanneriin on mahdollista hankkia myös ulkoinen akku, joka on pidempiaikaisissa mittauksissa välttämätön. Akun lataaminen onnistuu verkkovirrassa.

ta latauskaapelilla. Skanneriin on mahdollista myös hankkia kallistusadapteri, joka mahdollistaa skannaamisen suoraan ylöspäin. Esimerkiksi joissain sisätila- ja tunnelimittauksissa tämä voi olla hyödyllinen lisätarvike. [14]

## 6 Skannaussuunnitelma

### 6.1 Laserskannausprojekti ja työn kulku

Laserskannausprojekti koostuu kolmesta päävaiheesta, joita ovat skannausvalmistelut ja aineiston keruu, pistepilvien yhdistäminen eli keskinäinen rekisteröinti sekä aineiston valmistelu loppukäyttöä varten eli editointi. Yleensä aineiston keruu suoritetaan maastossa, muut vaiheet tehdään toimistolla. [8; 14.]

Skannauksen valmisteluvaiheessa kannattaa miettiä, miten mittaukset saadaan helpoiten paikalliseen koordinaattijärjestelmään, jos mittaukset halutaan jossain tietyssä koordinaatistossa. On syytä myös ottaa huomioon, mitä rekisteröintitapaa halutaan käyttää ja miten tähykset kannattaa mitata, tarvitaanko kuvia mittausten tueksi sekä tarvitaanko tarkempaa skannausta kohteesta tai jostain muusta yksityiskohdasta. Suositeltavaa on käydä kävelemässä kohteen ympäristössä, ennen kuin aloittaa varsinaisen skannaamisen. Itse aineiston keruu on koko projektin kannalta hyvin nopea osuus. [14]

Laserskannausprojektin toinen päävaihe on pistepilvien yhdistäminen eli keskinäinen rekisteröinti, mikä voidaan toteuttaa monella tapaa. RiSCAN PRO -ohjelmassa rekisteröintitapoja ovat esimerkiksi rekisteröinti tähysten avulla, karkea rekisteröinti, rekisteröinti tunnetun asemapisteen avulla (Backsighting Orientation) ja rekisteröinti verkkotasoituksella eli Multistation Adjustment (MSA) -tekniikan avulla. Oletettavasti Staralla tullaan pääasiassa käyttämään aineistojen rekisteröimiseen verkkotasoitustekniikkaa (MSA) sekä rekisteröintiä tähysten avulla. [8; 14.]

Tähyksillä tehdyssä rekisteröinnissä pistepilvet sovitetaan toisiinsa yhteisten tähysten eli kontrollipisteiden avulla. Multistation Adjustment -verkkotasointu on taas RiSCAN PRO -ohjelman työkalu, jolla voidaan rekisteröidä pistepilviä ilman ulkoisia tähyksiä. Rekisteröitävät aineistot on oltava jo karkeasti paikoillaan. Menetelmässä pistepilvien yhteensovitus tapahtuu pistepilviin muodostettujen tasojen avulla. Muodostetuille tasoil-

le lasketaan normaalivektori, joka kuvaa tason suuntaa. Aineistoihin muodostettuja normaalivektoreita sovitetään toisiinsa ICP-algoritmin (Iterative closest point algorithm) mukaisesti. ICP-menetelmässä iteratiivisen laskentaprosessin avulla etsitään kahden likimääräisesti lähekkäin olevien kolmiulotteisten pintojen mahdollisimman pientä sijainnillista eroa. [14; 19.]

Laserskannausprojektin kolmas päävaihe on aineiston valmistelu loppukäyttöä varten eli editointi. Tämän vaiheen toimenpiteet vaihtelevat huomattavasti aineiston käyttötarkoituksen mukaan, mutta yleensä aineistolle suoritetaan erilaisia suodatustoimenpiteitä kohinan poistamiseksi ja pyritään poistamaan aineistossa mahdollisesti ilmeneviä virheitä. Usein myös on tarvetta poistaa mittausten kannalta tarpeettomia pisteitä, jotka saattavat häiritä tai ovat muuten tarpeettomia lopputuotteessa. [8]

Editointivaiheessa pistepilvet usein värjätään skannauksen ohessa otetuilla valokuvilla tai visualisoidaan jonkin muun tarkoituksiperän mukaan, kuten esimerkiksi korkeustason mukainen värjäys. Aineistoja yleensä siivotaan halutun tarkoituksen mukaisesti. Turhat ns. roskapisteet rajataan pois. Erilaisilla suodattimilla voidaan aineistoa rajata tai harventaa automaattisesti erilaisten määritettyjen kriteerien perusteella.

Usein on myös tarvetta mallintaa pistepilveä jollain tapaa. Pistepilveen voidaan esimerkiksi vektoroida pisteitä, taiteviivoja ja tasoja. Maanpinnan kolmioinnin avulla luodaan maastomalli. Editointivaiheessa aineistolle voidaan myös tehdä erilaisia mittauksia, esimerkiksi tilavuuslaskentaa.

## 6.2 Skannaussuunnitelman lähtökohdat

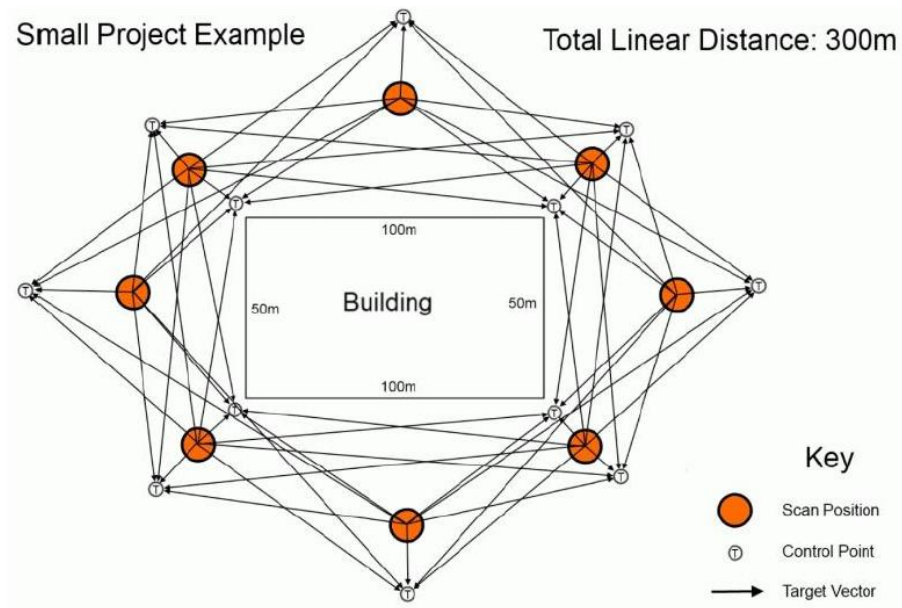
Mittaussuunnitelman tekeminen on tärkeä osa koko laserskannausprosessia. Jotta mittaus onnistuu mahdollisimman laadukkaasti ja sujuvasti, on hyvä ymmärtää mittausprojekti kokonaisuudessaan. Projektin onnistumiseen vaikuttavat monet tekijät. Projektisuunnittelussa on ensisijaisesti otettava huomioon projektin vaatimukset eli mitä ja millaista tietoa työn tilaaja tarvitsee kohteesta. Projektivaatimuksia ovat esimerkiksi tarkkuusvaatimukset, resoluutiovaatimukset, projektin tavoitteet, työskentelyajan vaatimukset ja toimitettaviin aineistoihin kohdistuvat vaatimukset. Alustavassa projektisuunnitelmassa mietitään, millä keinoin näihin vaatimuksiin tullaan pääsemään ja miten varmistetaan, että päästään vaadittuun tarkkuuteen lopputuotteessa. [14]

Mittaus suunnitelmassa on otettava huomioon myös, mitä kaikkia aineistoja on toimitettava ja missä koordinaattijärjestelmässä aineistot halutaan. On hyvä pohtia, miten skannaus pysyy kontrollissa eli miten varmistetaan lähtöpisteiden laadukkuus. Sen jälkeen on mietittävä kohteen kannalta sopivin mittautapa ja rekisteröinnin toteuttamistapa. Voidaan esimerkiksi käyttää eri rekisteröintitapojen yhdistelmiä. Voidaan myös miettiä, onko laserskannaus edes paras menetelmä mittauksen toteuttamiseen vai saisiko vastaavat tulokset esimerkiksi takymetrillä nopeammin ja vähemmällä vaivalla. Projektia suunniteltaessa on hyvä ottaa huomioon myös sään vaikutus skannaukseen sekä muut mahdolliset esteet, esimerkiksi liikenteen aiheuttamat haitat, sekä pohtia tiedonsiirtoa projektin loppuvaiheessa. [14; 7.]

### 6.3 Skannausasemien sijoittaminen

Jotta lopputulos olisi mahdollisimman laadukas ja projekti etenisi sujuvasti, on tärkeää sijoittaa skannausasemat oleellisiin paikkoihin mitattavan kohteen kannalta. Eri skannausasemilta tulee näkyä riittävästi yhteisiä tähyksiä sekä yhteisiä alueita, jotta aineistojen rekisteröinti onnistuu ja rekisteröinnin laatua pystytään tarkistamaan. Käytettävä rekisteröintimenetelmä vaikuttaa myös skannausasemien sijoittamiseen. Jos käytetään esimerkiksi MSA-verkkotasoitusta, tulee kiinnittää erityistä huomiota, että eri skannausasemilta näkyy riittävästi yhteisiä alueita, jotta rekisteröinti onnistuu laadukkaasti.

Jos skannattavana kohteena on esimerkiksi rakennus, tulee ensisijaisesti sijoittaa skannausasemat talon nurkille, jolloin eri skannausasemilta tulee samoista seinistä aineistoa. Jos mittauskohteesta, esimerkiksi rakennuksesta, halutaan erityisesti tarkkailla julkisivun dimensioita, kannattaa lisätä myös skannausasemat kohtisuoraan mitattavaa seinää kohden, jolloin myös syvänteet ja ulokkeet tulevat täysin mitattua. Myös valokuvat ovat laadukkaampia kohtisuoraa julkisivua kohden otettuina. (Kuva 6.) [14]



Kuva 6. Skannausasemien sijoittaminen [14].

#### 6.4 Tähysten sijoittaminen ja hyvä mittausgeometria

Jos skannausprojektissa aineistojen rekisteröinti toteutetaan tähysten avulla, tulee varmistaa yhteisten tähysten näkyvyys eri skannausasemilta. Jotta rekisteröinti voidaan suorittaa, tulee eri skannausasemilla olla vähintään kolme yhteistä tähyistä. Rekisteröinnin laatu paranee, jos yhteisiä tähyksiä on enemmän. Suositeltavaa olisi ainakin viiden yhteisen tähyksen käyttö. [14]

Kun tähyksiä sijoitetaan ja mitataan, tulee ottaa huomioon hyvä mittausgeometria. Tähysten sijaintiin vaikuttavat samat periaatteet kuin muussakin mittaamisessa. Tähysten tulee olla riittävän kaukana kohteen ulkopuolella ja mielellään mahdollisimman kohtisuoraan skanneriin nähden. Skannausasemalta katsottuna olisi optimaalista, jos tähykset sijoittuisivat tasaisesti skannerin ympärille eivätkä keskittyisi vain toiselle puolelle skanneria. Tähyksiä tulee olla myös riittävästi, jotta varmistetaan, että yhteisiä tähyksiä näkyy tarpeeksi jokaiselta skannausasemalta. Ylimääräyksellä varmistetaan rekisteröinnissä hyvä laatu. Myös mittausprosessi sujuvoituu, kun skannausasemalta näkyy riittävästi tähyksiä siitä huolimatta, että jonkun tähyksen näkyvyys estyisikin hetkellisesti. [14]

## 6.5 Tarkkuus ja epävarmuustekijät

Kaikkiin mittaustöihin liittyy läheisesti tarkkuuden käsite. Jotta laserskannausprojektin lopputuote kestää lähemmän tarkastelun, tulee erilaiset virhelähteet olla kontrollissa skannausprojektissa. Ensimmäiseksi on virhelähteet tunnistettava. Mittaavat laitteet tuottavat aina myös virhettä. Laserskannerien systemaattiset virheet johtuvat laitteen rakenteesta. Etäisyshavainnon, vaakakulmahavainnon sekä pystyakselin havainnon virheitä esiintyy aina jonkin verran mitattaessa. Laserskannauksen latuun voidaan katsoa vaikuttavan kolme erilaista kriteeriä: yksittäisen pisteen laatu, pistepilven tiheys ja pistepilvien rekisteröinnin laatu. [5, s. 92–93; 21; 19.]

Yksittäisen pisteen laatuun ja etäisyshavaintoihin vaikuttava tekijä on mitattujen pulsien keskihajonta, joka voidaan tulkita etäisyysmittauksen sisäisen tarkkuuden mittariksi. Pistepilven laatua voidaan parantaa poistamalla pisteet, joiden keskihajonta-arvo on korkea. Muita systemaattisia virheitä laserskannauksessa ovat myös laitteen käyttötavasta ja pintojen heijastuksen luonteesta johtuvat virheet. [5, s. 97; 20; 19.]

Jos pistepilveä käytetään mallintamiseen, vaikuttaa pistepilven tiheys suoraan mallintamisen laatuun. Mitä tiheämpää pistepilvi on kohteessa, sitä tarkemmin kohteen yksityiskohtia pystytään mallintamaan. Pistepilven tiheys ja virheet kasvavat suhteessa etäisyyteen, siksi varsinkin projekteissa, joissa skannausetäisyydet ovat suuria, tulee kiinnittää erityistä huomiota skannauksen kontrollipisteiden laadukkuuteen ja hyvään mittaustapaan. Isoissa projekteissa virheet lähtevät herkästi kasvavamaan ja kertautumaan. Varsinkin vaihe-eroskannereiden virheet kasvavat voimakkaasti etäisyyden mukaan, ja siksi vaihe-eroskannereiden tähykset pyritäänkin sijoittamaan suhteellisen lähelle skanneria. [14; 19; 23.]

Pistepilvien rekisteröinnissä ja koordinaatistomuunnoksissa syntyy myös aina virhettä. Pistepilvien rekisteröintiin on käytössä eri menetelmiä, joiden tarkkuus vaihtelee. Parhaimmillaan voidaan päästä 1–3 mm:n tarkkuuteen rekisteröinnissä. Jos tähyksiä on käytetty rekisteröinnissä tai aineiston viemisessä paikalliseen koordinaatistoon, on huomioitava tähyksien mittaamisessa syntyvät virheet sekä myös lähtöpisteiden virheet, varsinkin jos tähyksiä ei ole mitattu samasta kojeasemasta. [19]

Helsingin kaupungin runkopisteverkossa saattaa paikoin olla huomattavaakin virhettä. Nämä eivät kuitenkaan ole laserskannauksen virheitä. Pääpiirteissään lyhyillä etäi-



syyksillä skannerin mittaustarkkuuden virheet ja rekisteröinnistä johtuvat virheet ovat usein sen verran pieniä verratessa lähtöpisteiden virheisiin, että skannauslopputuotteita voidaan pitää varsin tarkkoina.

Koska yhtenäistä standardia laserskannereiden tarkkuuden ilmoittamiselle ei ole, on eri valmistajien skannereiden tarkkuuksia vaikea verrata, koska ilmoitustavoissa esiintyy huomattavaa vaihtelua. Suomessa ei tällä hetkellä ole mahdollista tehdä virallista kalibrointia laserskannereille. Laitteilla tehtyjen mittausten määreiden oikeellisuus ja jäljitettävyys varmistetaan huoltamalla skanneri maahantuojalla säännöllisin väliajoin. Skanneri voidaan lähettää valmistusmaahan, jossa virallinen kalibrointi voidaan suorittaa. Skannerin mittaustarkkuutta kannattaa organisaatiossa seurata esimerkiksi vertailemalla tuloksia kalibroiduilla takymetreillä mitattuihin referenssituloksiin. [21]

## **7 Aineiston keruu laserskannerilla**

### **7.1 Laserskannerin ohjausmahdollisuudet**

Riegl VZ-400 -laserskanneria pystyy ohjaamaan monella eri tavalla. Käyttöliittymän avulla säädetään kojeen asetuksia ja kerätään aineistoa. Erilaiset ohjausmahdollisuudet helpottavat käyttöä erityistilanteissa. Perinteisin ja yleisin käyttöliittymä on laitteen ohjaaminen skannerin oman näytön ja näppäimistön välityksellä. Tästä käytetään nimitystä HMI (Human Machine Interface). Tämä on helppo ja nopea tapa käyttää skanneria ilman ylimääräisiä kaapeleita. Skannerissa ei ole kosketusnäyttöä, ja HMI:ssä skanneria ohjataan näppäimistön avulla. Kursorinäppäimillä liikutaan haluttuun suuntaan. Muuttuvilla näppäimillä osoitetaan näytöllä lukevia asetuksia. ENTER-painikkeella hyväksytään valittu kohta käyttöliittymässä, ja ESC-painikkeilla valikoissa päästään takaisin päin. START-painikkeella aloitetaan skannaus ja STOP-painikkeella keskeytetään toiminnot. [14]

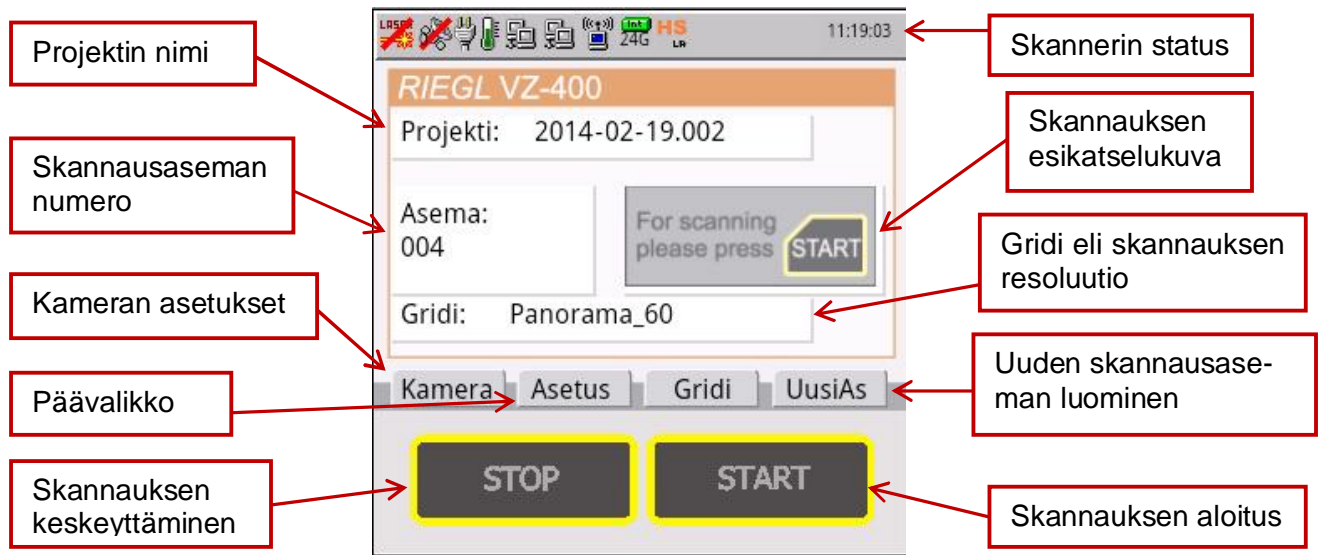
Skanneria on mahdollista käyttää myös nettiselaimen avulla esimerkiksi älypuhelimella tai tabletilla. Tämän mahdollistaa skannerin oma langaton lähiverkko (WLAN). On hyvä varmistaa skannerin asetuksista, että WLAN on päällä ja että käytössä on DHCP\_SERVER asetuksena. Skannerin käyttö nettiselaimella onnistuu etsimällä skannerin verkko omalla päätelaitteella ja syöttämällä verkon salasana. Avataan selain ja kirjoitetaan otsikkoriville skannerin sarjanumero tai IP-osoite, jolloin skannerin kotisi-

vut avautuvat. Painetaan Display Control, jolloin käyttöliittymä aukeaa. Etäkäyttö voi helpottaa mittaamista esimerkiksi, jos skanneri on jouduttu pystyttämään erittäin korkealle, jolloin näköyhteys skannerin omaan näyttöön heikentyy. Käytettäessä skanneria nettiselaimen kautta toimii näyttö kosketusnäyttönä, jolloin se on hiukan erinäköinen kuin skannerin oma näppäimistö ja näytön yhdistelmä, mutta on periaatteiltaan täysin samanlainen. [14]

Skannerin ohjaaminen on mahdollista myös RiSCAN PRO -ohjelman kautta. Tämä vaatii kannettavan tietokoneen tuomista maastoon mukaan sekä LAN-yhteyden skannerin ja tietokoneen välille. Tällöin aineiston voi tallentaa suoraan koneelle ja projektin täydellinen hallinta sekä visuaalinen tarkastelu ovat mahdollisia heti maastossa. [14]

## 7.2 Työn luonti ja alkuasetusten määrittäminen

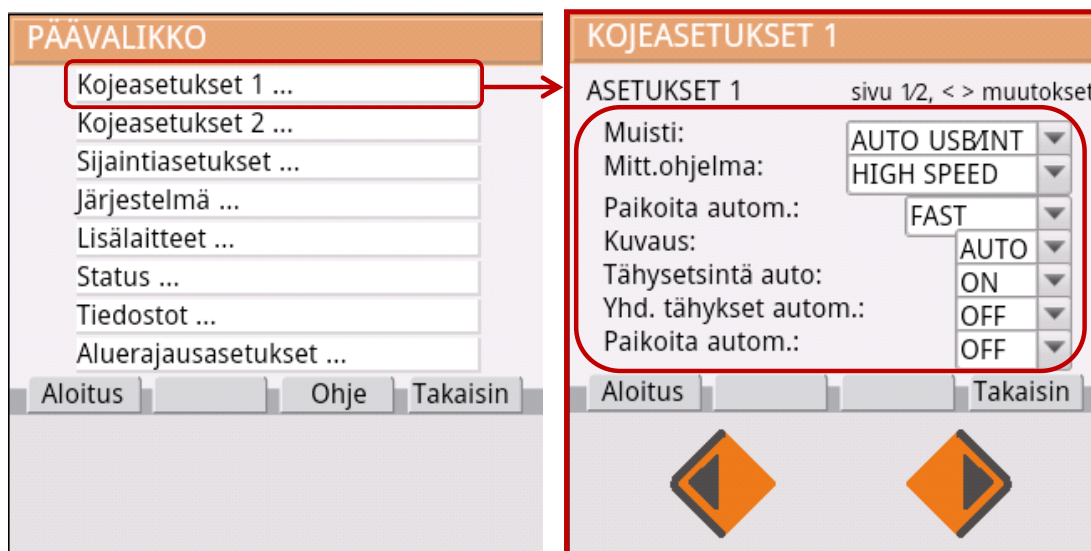
Laitteen käynnistäminen tapahtuu skannerin etupaneelin oikeanpuolimmaisesta ON/OFF-painikkeesta. Laitteen käynnistyttyä avautuu käyttöliittymän alkuvalikko (kuva 7), jossa näkyy skannauksen Projekti, Asema ja Gridi. Projektissa määritellään uusi skannausprojekti. Asema-kohdassa näkyy projektin asemapisteen numero ja Gridi-kohdassa näkyy valittu resoluutio eli skannaustiheys. Näiden alapuolella ovat tarkentavat valikot: Kamera, Asetus, Gridi ja UusAs (uusi asema). Yläpaneelissa olevat symbolit kertovat päällä olevista toiminnoista eli skannerin statuksesta.



Kuva 7. Riegl VZ-400:n alkuvalikko (WLAN-yhteydellä).

Ennen aineiston keruuta luodaan uusi projekti ja määritellään kyseiseen projektiin sopivat alkuasetukset. Uusi projekti luodaan siirtymällä nuolinäppäimillä alkuvalikon Projektin-kohtaan, joka hyväksytään ENTER-painikkeella, jolloin avautuu ikkuna, johon voi määritellä projektille haluamansa nimen. Laite tarjoaa automaattisesti päivämäärää projektin nimeksi.

Asetuksia päästään säätämään projektille sopiviksi siirtymällä Asetus-kohtaan, jota painamalla avautuu päävalikkoikkuna (kuva 8). Päävalikossa ylimpänä ovat Kojeasetukset 1 -kohta, josta avautuu kolmisivuinen Kojeasetukset 1 -valikko. Tässä valikossa määritellään projektin kannalta kaikkein merkittävimmät asetukset.



Kuva 8. Päävalikko ja kojeasetukset 1 -ikkuna.

Kojeasetukset 1:n Muisti-kohdassa määritellään, mikä on ensisijainen tallennuskohde, eli tallentuvatko aineistot laitteen sisäiseen muistiin vai muistitikulle? Valittavat vaihtoehdot toiminnoille on sijoitettu pudotusvalikon alle. Jos kohtaan on valittu AUTO USB/INT, aineistot tallentuvat muistitikulle, jos muistitikku on kiinnitetty skanneriin. Muuten aineistot tallentuvat skannerin sisäiseen muistiin.

Mitt.ohjelma-kohdassa on valittavana lyhyemmille matkoille HIGH SPEED -ohjelma, joka sopii käytännössä kaikkiin mittauskohteisiin. LONG RANGE -ohjelma on tarkoitettu pidemmille matkoille ja REFLECTOR-HS-ohjelma erittäin heijastuville pinnoille. REFLECTOR-HS-ohjelmaa ei suositella käytettävän kuin erikoistapauksissa. (Ks. luku 5.1.) [14]

Automaattinen paikoitus (Paikoita autom.) voidaan valita päälle, jolloin skanneri käyttää sisäistä GPS-vastaanotintaan asemapisteen määrittämiseen. Valittavana on FAST- ja ACCURATE-ohjelmat.

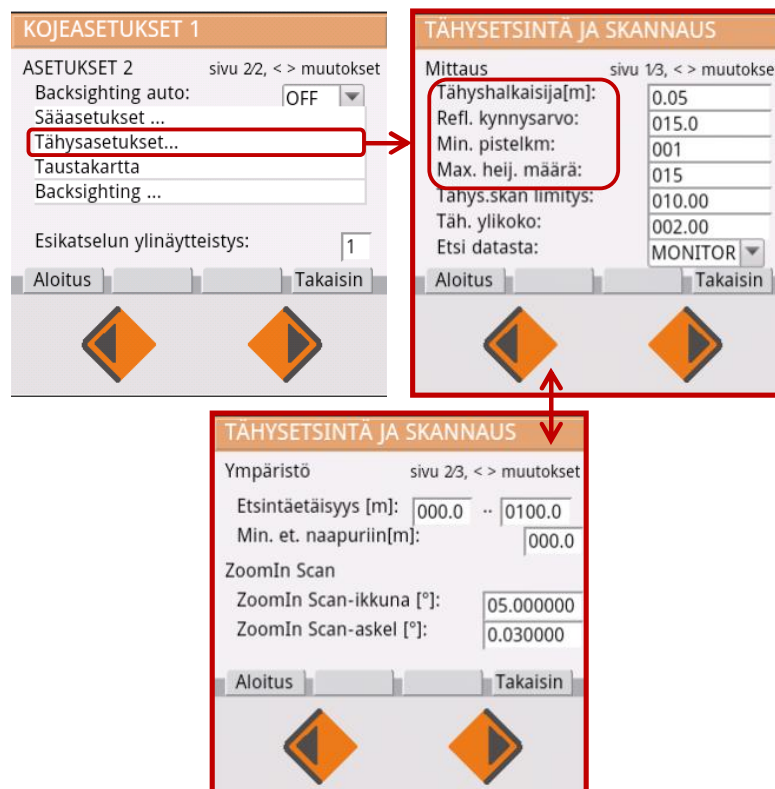
Kuvaus-kohdassa määritellään, otetaanko skannerilla valokuvat automaattisesti skannauksen jälkeen. Jos kohtaan on valittu AUTO, kuvaaminen alkaa automaattisesti, kunhan kamera on kiinnitetty skanneriin ja se on päällä.

Tähysetsintä auto -kohdassa määritellään, etsiikö skanneri tähykset automaattisesti kuvauksen jälkeen ja suorittaa niille tarkemman hienoskannauksen. Tähyyskannauksen tarkempia asetuksia voidaan säätää Kojeasetus 1 -valikon toisella sivulla.

Jos skanneriin on etukäteen syötetty tähysten pistetietoja, voidaan automaattinen tähysten yhdistäminen kytkeä päälle (Yhd. tähykset autom.). Tällöin aineisto kääntyy suoraan haluttuun koordinaattijärjestelmään. [14]

Viimeisessä Paikoita autom. -kohdassa, nimestä huolimatta (nimi harhaan johtava), määritellään, halutaanko skannausasemien näkyvän suoraan kartassa skannauksen jälkeen. Tämä voi edesauttaa mittausten sujuvuutta joissain tapauksissa. [14; 15.]

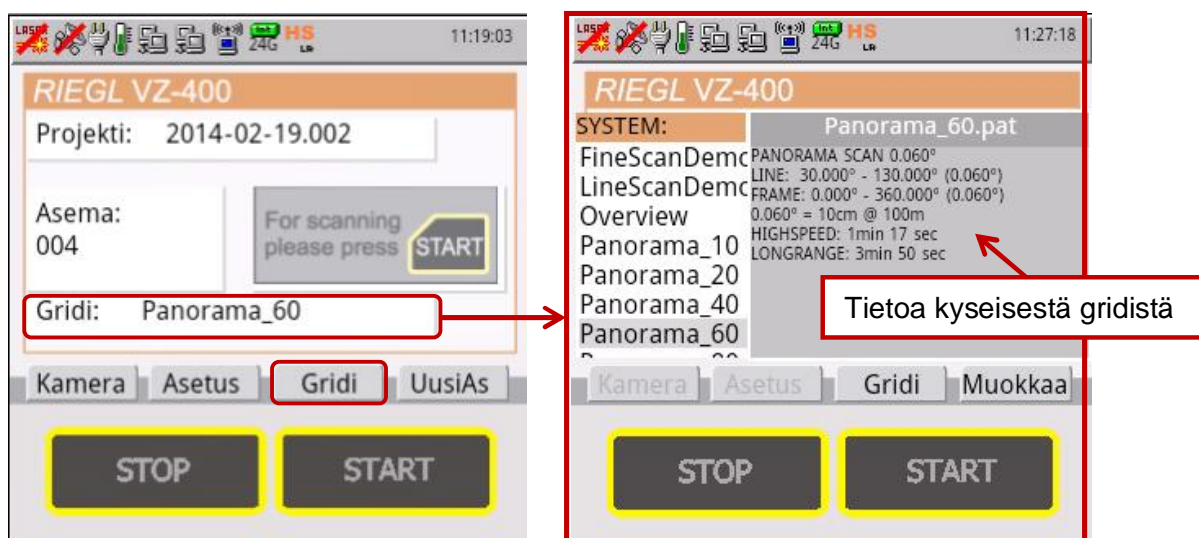
Kojeasetus 1:n toiselle sivulle voidaan siirtyä nuolinäppäimillä (kuva 9). Siellä voidaan määritellä jonomittauksessa käytettävää Backsighting-toimintoa. Myös tarkemmat säätöasetukset, tähyasetukset sekä taustakartta ovat tällä sivulla. Tähyasetuksia on syytä tarkastella aina uutta skannausprojektia tehdessä.



Kuva 9. Kojeasetukset 1 -ikkuna sekä Tähysetsintä ja skannaus -valikko.

Tähysesintä ja skannaus -valikossa (kuva 9) voidaan määrittää, kuinka paljon ja min-kälaisia tähyksiä skanneri alkaa etsiä automaattisesti. Tähysetsintä ja skannaus -valikon tärkeimmät kohdat ovat Tähyshalkaisija[m], Refl. kynnyсарvo, Min. pistelkm, Max. heij. määrä. Myös tähysten etsinnän etäisyyttä voidaan määrittää. Tähyshalkaisija[m]-kohdassa määritellään, kuinka isoja tähyksiä skanneri etsii. Refl.kynnyсарvo-kohdassa (tähyksen heijastusarvo eli reflektanssi) määritellään, kuinka herkästi heijastavia kohteita skanneri tulkitsee tähyksiksi. Reflektanssi on etäisyyskorjattu ja kalibroitu intensiteetti-arvo. Perusasetusten mukainen 15 desibeliä on yleensä sopiva tähysten etsimiseen. Jos heijastusarvorajan asettaa liian matalaksi, löytää skanneri liikaa tähyksiä, ja jos raja on liian korkea, ei skanneri löydä tähyksiä tarpeeksi. Ympäristössä, jossa on paljon heijastavia pintoja ja kohteita, voi kynnyсарvoa nostaa, jolloin skanneri ei tunnista niin paljoa ns. turhia tähyksiä. Min. pistelkm -kohdassa määritellään, kuinka monta havaintoa tähyksestä tarvitaan, ja Max. heij. määrä -kohdassa määritellään, kuinka monta tähyistä skanneri hienoskannaa. [14; 17]

Gridin eli pistetiheyden määrittäminen tapahtuu alkuvalikossa (kuva 10). Siirytään Gridi-kohtaan ja painetaan ENTER, jolloin avautuu Gridin valintavalikko. Mittaukseen sopiva gridi valitaan nuolinäppäimillä. Yleisimmin perusgridinä on käytetty Panorama\_60:tä, jossa pistetiheys on kymmenen metrin päässä noin yksi senttimetri ja sadan metrin päässä noin kymmenen senttimetriä. Tämä sopii hyvin erilaisiin mittauksiin. Valittuasi Gridin näytössä näkyy tietoja kyseisestä tiheydestä ja ajasta, kuinka kauan panoraaman skannaamiseen menee. [14]



Kuva 10. Gridin valinta.

### 7.3 Laserskannaaminen

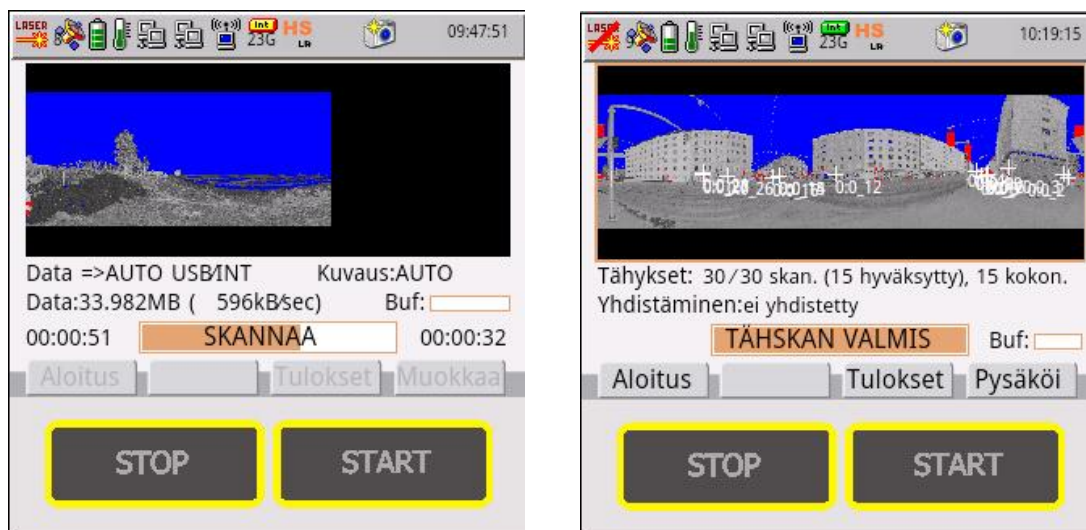
Aineiston keruu eli skannaus on varsin suoraviivainen ja automatisoitu toimenpide. Työprosessi koostuu projektista riippuen eri määrästä työvaiheita, jotka on määritelty alkuasetuksissa. Yleisimmät työprosessin vaiheet ovat seuraavat:

- panoraamaskannaus
- valokuvaus
- tähysten etsintä ja hienoskannaus
- yksityiskohtien skannaus
- uuden skannausaseman valinta.

Sopivan asemapisteen valitsemisen jälkeen kiinnitetään kamera skanneriin ja pystytetään jalusta ja pakkokeskitysalusta, johon skanneri kiinnitetään vakaasti. Tasauksen jälkeen käynnistetään laite. Kannattaa ottaa huomioon, että skannerin parkkiasento eli asento, josta skanneri aloittaa mittaamisen, ei ole päin mitattavaa kohdetta, jolloin tarkemman skannauksen rajaaminen panoraamasta ei ole yhdellä rajauksella mahdollista.

Käynnistyttyään laite tarkistaa kompensattorit pyörähtäen ympäri. Täytyy muistaa myös kytkeä kamera päälle. Ellei aikaisemmin olla tehty vielä uutta projektia ja määritetty alkuasetuksia, se tehdään tässä vaiheessa. Kun asetukset ovat kunnossa, voidaan skannaus aloittaa START-painikkeella. Skanneri kääntyy parkkiasentoonsa ja aloittaa skannaamisen heti. Skannaus kestää noin 1–5 minuuttia määritellystä tarkkuudesta riippuen. Jäljellä oleva skannausaika näkyy näytöllä (kuva 11). Skannattuaan laite aloittaa kuvauksen välittömästi. Kuvaamiseen menee noin minuutti. [14]

Kuvaamisen jälkeen skanneri suorittaa tähysesinnän ja aloittaa tähysten hienoskannauksen, jos se on määritelty asetuksissa. Näytöltä voi seurata tähysskannauksen onnistumista. Skannattava tähyys piirtyy näytölle, ja voidaan arvioida, mitä kohdetta skanneri kulloinkin on skannaamassa, ja kiinnittää huomiota siihen, skannautuvatko kaikki mitatut tähykset ja mitä ylimääräisiä heijastuksia skanneri tulkitsee tähyksiksi. Ylimääräiset tähykset voidaan poistaa jo paikan päällä.

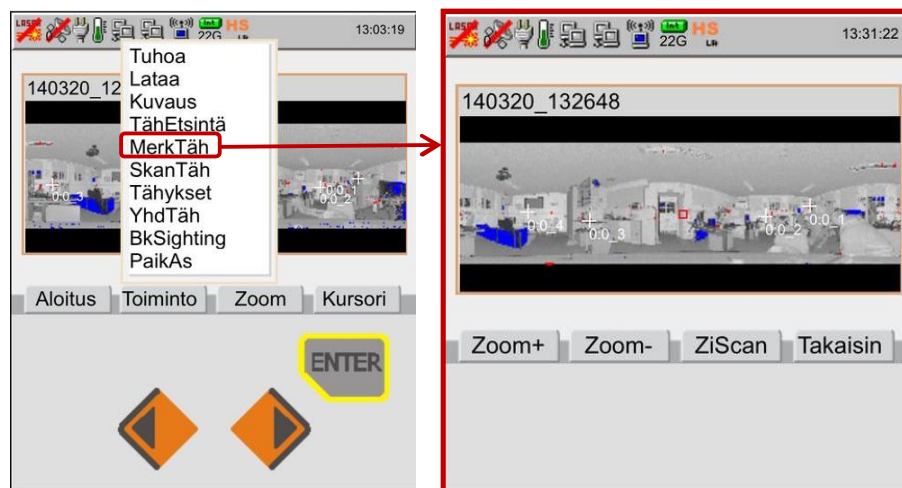


Kuva 11. Skannauksen esikatselu.

Kun skannaus on suoritettu, voidaan tuloksia tarkastella. Jos jostain yksityiskohdasta halutaan tarkempaa aineistoa kuin kohteen ympäristöstä, voidaan yksityiskohdalle rajata tarkentava skannaus. Myös jos jokin mitatun tähyksen hienoskannaaminen ei jostain syystä onnistunut, voidaan tähykset hienoskannata myös erikseen. Samoin myös valokuvaus voidaan uusida, jos se ei ensimmäisellä kerralla onnistunut. Muuten voidaan siirtyä seuraavalle asemalle tai lopettaa mittaaminen.

Rajatun skannauksen tekeminen aloitetaan, kun muut asetusten mukaiset skannausvaiheet ovat valmiit. Näytön näkymässä (kuva 11) siirrytään nuolinäppäimin Tulokset-kohtaan, josta klikkaamalla avautuu ikkuna, jossa voidaan tarkastella skannauksia. Ikkunasta valitaan Toiminnot-kohta, josta klikkaamalla avautuu toimintolista (kuva 12). Täällä voidaan valita tarkentavia toimintoja. Valitsemalla Lataa-kohta avautuu ikkuna, jossa on mahdollista nuolinäppäimin rajata panoraamakuvasta alue, jolle tarkentava skannaus halutaan tehdä. Näytöllä voi zoomata Zoom-painikkeilla, mikä helpottaa rajauksen tekemistä, koska 360 asteen panoraamakuvalla kohteiden hahmottaminen saattaa olla hankalaa. Rajausta voidaan muuttaa siirtämällä nuolinäppäimin rajausikkunan aktiivisena olevaa reuna kerrallaan. Seuraavaksi voidaan asettaa skannaukselle tarkempi resoluutio eli gridi. Esimerkiksi Panorama\_20:llä mittaustiheys on 2 cm 100 metrillä. Jos muut asetukset on jätetty ennalleen, ottaa skanneri myös rajatusta skannauksesta valokuvat automaattisesti skannauksen jälkeen.





Kuva 12. Tähyksen hienoskannaaminen erikseen.

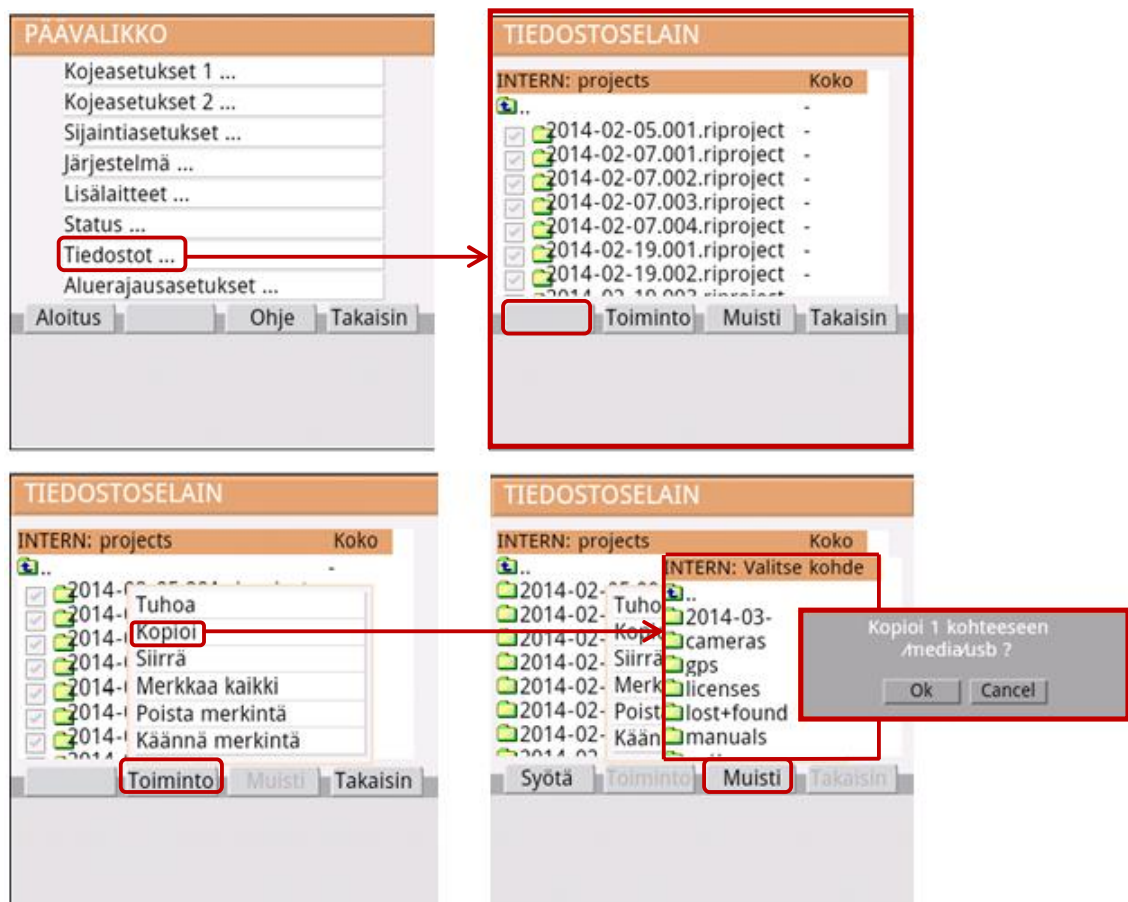
Tähykselle, jota skanneri ei jostain syystä löytänyt automaattiasetuksilla, voidaan suorittaa hienoskannaus erikseen. Samoin kuin tarkennettua skannausta tehdessä painetaan Tulokset-kohtaa, josta klikkaamalla avautuu ikkuna, jossa voidaan tarkastella skannauksia. Ikkunassa voidaan nuolinäppäimin tarkastella hienoskannattuja tähyksiä, joista on mahdollista poistaa huonoimmat, jotta uusi mitattava tähyks mahtuu tähyksasetuksissa valittuun maksimiheijastusten määrään. Klikataan Toiminto-kohtaa, josta avautuu lista toiminnoista (kuva 12). Valitaan Merk Täh -kohta, josta avautuu panoraamakuva (kuva 12). Panoraamakuvassa on punaisen neliön muotoinen rajaustyökalu, jolla voidaan rajata kuvasta hienoskannaamatta jäneet tähykset. Kuvassa voidaan zoomata Zoom-painikkeilla, jotta halutun tähyksen rajaaminen olisi helpompaa. Kun tähyks on rajattu, klikataan ZiScan-painiketta, jolloin hienoskannaus alkaa.

Myös uusien valokuvien ottaminen epäonnistuneiden tilalle löytyy Toiminto-painikkeen alta avautuvasta toimintolistasta. Listan Kuvaus-kohdasta saadaan auki näkymä, jossa uudet kuvat voidaan ottaa.

#### 7.4 Tiedonsiirto

Jotta skannattuja aineistoja voidaan käsitellä RiSCAN PRO -ohjelmalla, tulee aineistot siirtää tietokoneelle. Tiedonsiirto voidaan tehdä eri tavoin. Aineistot on voitua alun perin tallentaa skannerin sisäiseen muistiin tai ulkoiseen muistiin esimerkiksi skanneriin liitettylle muistitikulle. Tiedonsiirto onnistuu myös suoraan skannerista LAN-yhteyden kautta tai langattomasti WLAN-yhteydellä. [14]

Aineistojen siirtäminen skannerin sisäisestä muistista ulkoiseen muistiin tehdään skannerin käyttöliittymän kautta. Ulkoinen muistitikku tulee olla kiinnitettynä laitteeseen. Päävalikon Tiedostot-kohdasta avautuu tiedostoselain-ikkuna, jossa voidaan tarkastella ja käsitellä tiedostoja. Tiedosto valitaan aktiiviseksi merkkamalla se. Toimintokohdasta voidaan valita haluttu toimintatapa, esimerkiksi siirto tai kopiointi, jolloin avautuu uusi ikkuna, jossa on lista sisäisen muistin kansioista. Painamalla Muisti-painiketta avautuu ulkoisen muistin, esimerkiksi USB-tikun, kansiot, jonne tiedostot voidaan kopioida hyväksymällä ne OK-painikkeella. Tiedoston koosta riippuen siirtämiseen voi kulu jonkun aikaa. (Kuva 13.)



Kuva 13. Tiedostonsiirto sisäisestä muistista ulkoiseen muistiin. Tiedostoselain-ikkunassa vasemmanpuoleisimmasta funktionäppäimestä puuttuu Merkkää-kohta.

Riegl VZ-400 -laserskannerin raakatiedostoformaatti on rpx-tiedostomuoto. Laserskannausprojektit tallentuvat riproject.rsp-muotoon, joka on XML-pohjainen pakattu skannaustiedosto. Muita RiSCAN PRO:n tiedostomuotoja ovat rdb-tiedostomuoto, jota käytetään

tetään tietokantojen tuottamiseksi kansioon, ja vtp-tiedostomuoto, jota käytetään suodattamalla luotujen pistepilvien ja kolmioitujen aineistojen tallentamiseen. [14; 22.]

## **8 Aineiston käsittely**

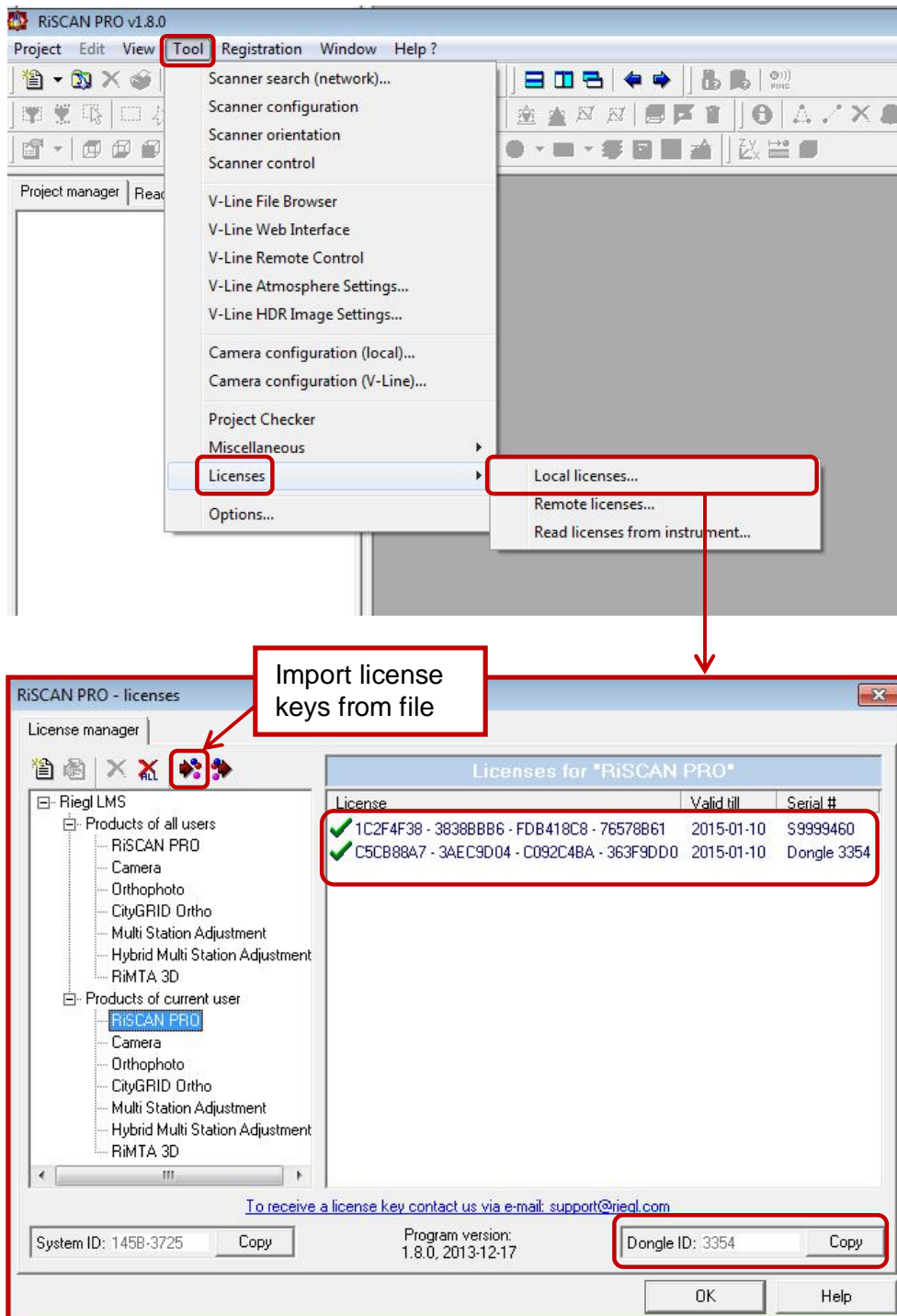
### 8.1 RiSCAN PRO -ohjelma

RiSCAN PRO -ohjelma on Rieglin skannausaineistojen käsittelyohjelma, jolla voidaan käsitellä Rieglin 3D-aineistoja hyvin monipuolisesti. RiSCAN PRO on projektikeskeinen ohjelma, jossa kaikki projektien aineistot on tallennettu yhden hakemiston rakenteeseen, joka sisältää kaikki skannausaineistot, kalibroidut valokuvat, tiedot rekisteröinneistä ja käsitellyt lopputuotteet. [22]

#### 8.1.1 Lisenssit

Osa RiSCAN PRO:n toiminnoista vaatii lisenssejä. Staralla on käytössä RiSCAN PRO Processing -yksittäislisenssi prosessointiin, joka toimii ulkoisen donglen (muistitikun) kautta. Pääkäyttölisenssin ohelle voidaan hankkia myös plugin-lisenssejä joidenkin erityisominaisuuksien hallintaan. [14]

Ohjelman lisenssien tietoja voidaan tarkastella RiSCAN PRO - licenses -ikkunassa, joka on valikkorivin Tool-kohdasta avautuvan paneelivalikon Licenses alla, josta valitaan Local licenses. (Kuva 14.)

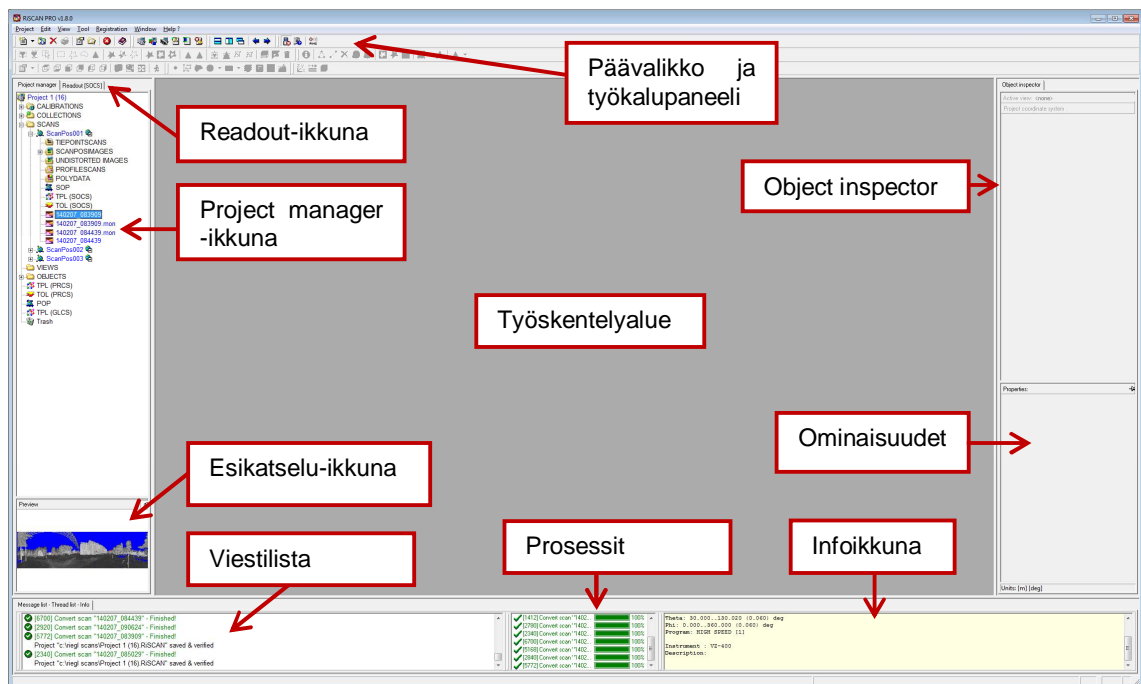


Kuva 14. Lisenssien hallinta.

RiSCAN PRO - licenses -ikkunassa (kuva 14) voimassa olevat lisenssit on merkitty vihreällä väkäsellä. Ikkunan oikeassa alareunassa näkyy lisenssidonglen ID, joka tulee vastata koneessa kiinni olevan donglen ID:tä. Jos ikkunassa ei näy lisenssejä, tulee lisenssitiedostot tuoda ohjelmaan sisään Import license keys from file -symbolin kautta. [14; 22, s. 8–10.]

### 8.1.2 RiSCAN PRO -ohjelman käyttöliittymä

RiSCAN PRO:n pääikkuna (kuva 15) on varsin selkeä ja looginen. Paneelivalikko ja työkalupaneeli sijaitsevat ikkunan yläosassa. Vasemmassa reunassa on Projekt manager -ikkuna. Kun uusi projekti ladataan ohjelmaan, se avautuu ikkunaan hierarkkisessa puurakennemuodossa. Keskellä pääikkunaa on työskentelyalue, johon aineistot avautuvat. Vasemmassa reunassa on myös esikatseluikkuna, joka näyttää esikatselukuvan avattavasta tiedostosta. Vasemmassa alareunassa on viestilista, josta voi seurata projektin tapahtumia, esimerkiksi virheilmoituksia. Viestilistaan tallentuu projektin kaikki tapahtumat. Prosessit-ikkunasta näkyy lataustoiminnot. Pääikkunan oikeassa reunassa on Object inspector -ikkuna, johon avautuu tiedostoja, kun aineistot avataan työskentelyalueelle. Object inspector -ikkunassa voidaan hallita aineistojen visualisointia. Oikean alareunan ikkunasta näkyy Object inspector -ikkunassa aktiiviseksi valitun aineiston ominaisuuksien tietoja. [14; 22, s. 15.]



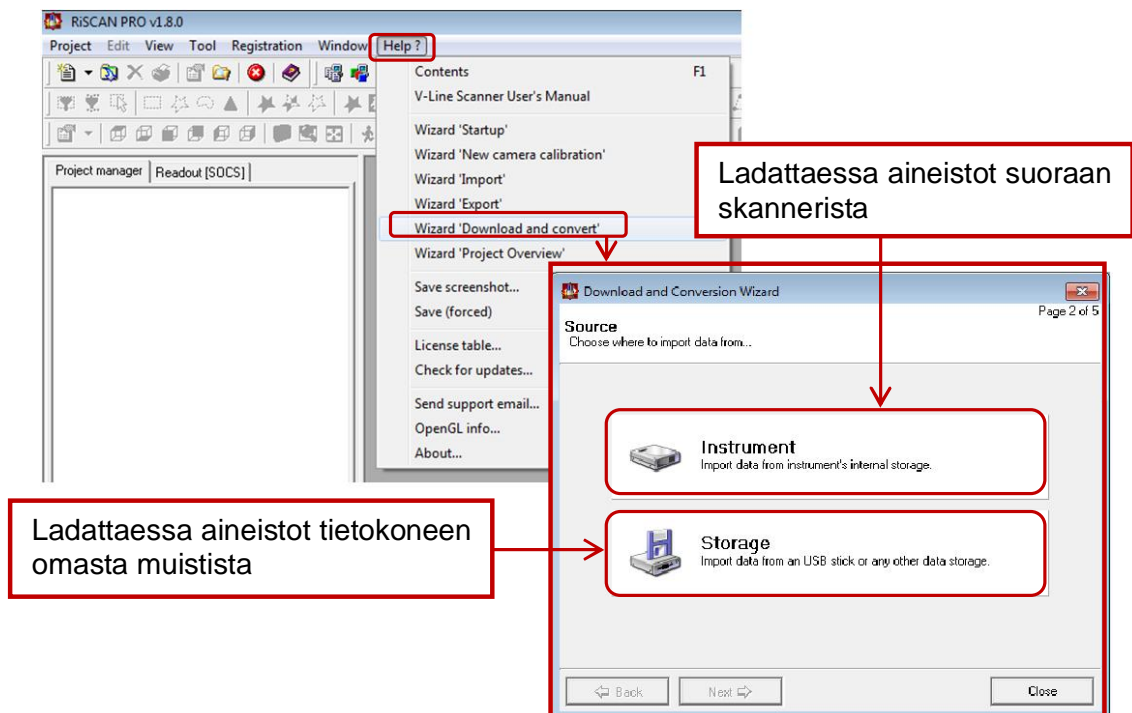
Kuva 15. RiSCAN PRO:n pääikkuna.

Project manager -ikkunassa hallitaan projektia. Projekti muodostuu puurakennemuotoisesta tietokannasta, joka kertoo projektin rakenteen. Tietokantaan sisältyvät kaikki projektin aineistot, kuten kalibroinnit, kuvat, skannausaineistot, suodatetut aineistot ja koordinaatit. Painamalla Project managerin kohteita hiiren oikealla painikkeella avautuu lista toimintoja, joilla kohdetta voidaan muokata. [14; 22, s. 14.]

Avattuja aineistoja voidaan tarkastella kolmeulotteisesti joka suunnasta. Näkymässä liikutaan hiiren avulla. Kun työskentelyikkunaa klikataan jostain aineiston pisteestä, muuttuu kyseinen piste punaiseksi. Punainen piste on näkymän ”tarkennuspiste”, jonka suhteen liikkuminen tapahtuu näkymässä. Zoomaus näkymässä onnistuu hiiren rullapainikkeella. Hiiren rullapainiketta painamalla voidaan näkymässä liikkua näytön näkökulman suuntaisesti.

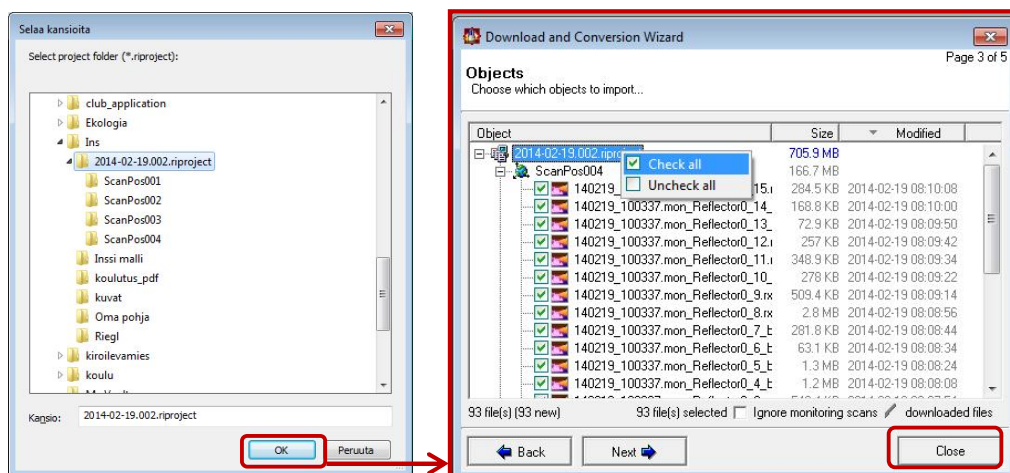
### 8.1.3 Projektin luominen ja aineistojen lataaminen

Voit luoda uuden projektin valisemalla päävalikon Project-kohdan alta New Project ja tallentaa sen haluamaasi paikkaan. Ohjelma tekee uuden projektin automaattisesti, kun aineistoja ladataan ohjelmaan. Aineistojen lataaminen ohjelmaan tapahtuu valikkorivin Help?-kohdasta avautuvan paneelivalikon Wizard 'Download and convert' -kohdan kautta (kuva 16). Download and Conversion -ikkunassa pitää valita, mistä aineisto ladataan ohjelmaan. Jos aineistot ovat tietokoneen muistissa, valitaan Storage-painikkeesta avautuvasta Selaa kansioita -ikkunasta haluamasi aineistot. Jos aineistot ladataan suoraan skannerista LAN-kaapelin tai WLAN-yhteyden kautta, valitaan Instrument-painike. [14]



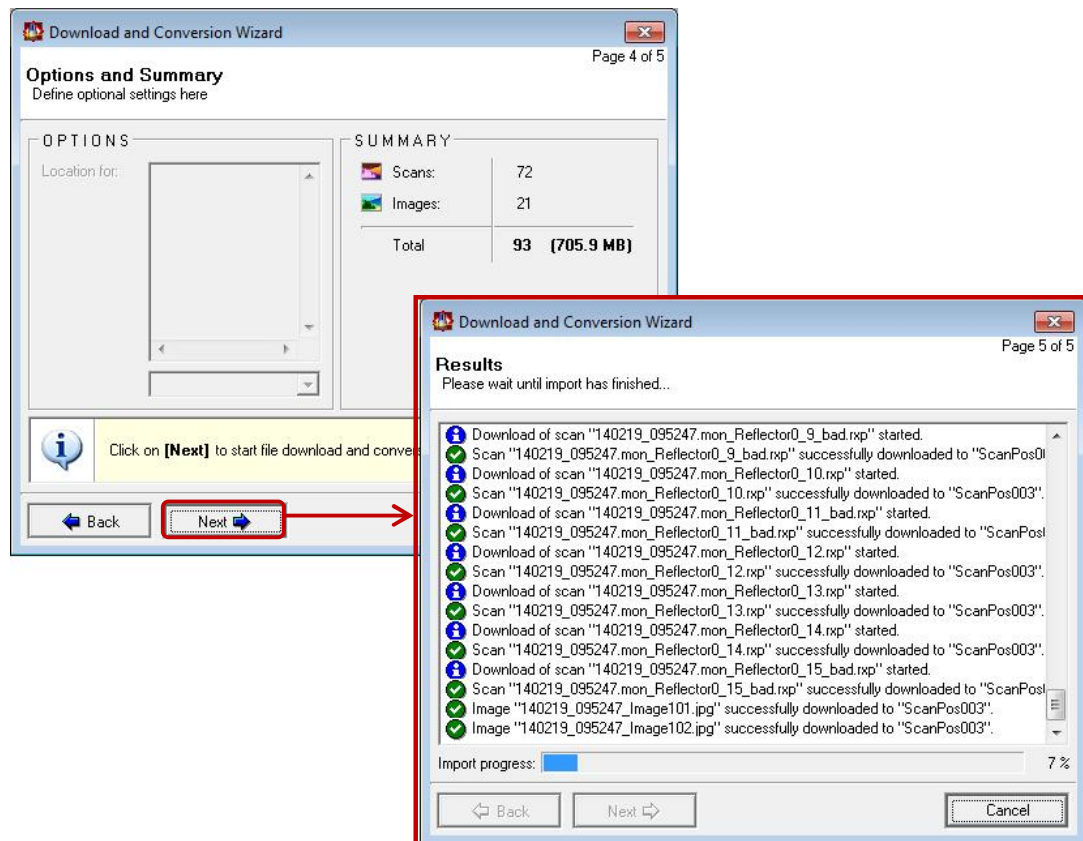
Kuva 16. Aineistojen lataaminen.

Selaa kansioita -ikkunasta (kuva 17) voidaan valita haluttu projekti ladattavaksi. Kun valittu tiedosto on valittu OK-painikkeella, avautuu Download and Conversion Wizard -ikkuna (kuva 17), johon on listattu kaikki projektin aineistot. Painamalla skannaustiedostojen puurakenteen juuresta hiiren oikealla näppäimellä, voidaan kaikki aineistot valita kerralla laittamalla Check all -kohtaan väkänä. Jos ei haluta ladata monitoring-tiedostoja eli harvennettuja skannausaineistoja, laitetaan väkänä kohtaan Ignore monitoring scans. Aineistot hyväksytään painamalla Next-painiketta, josta avautuu Options and Summary -ikkuna.



Kuva 17. Ladattavien aineistojen valitseminen.

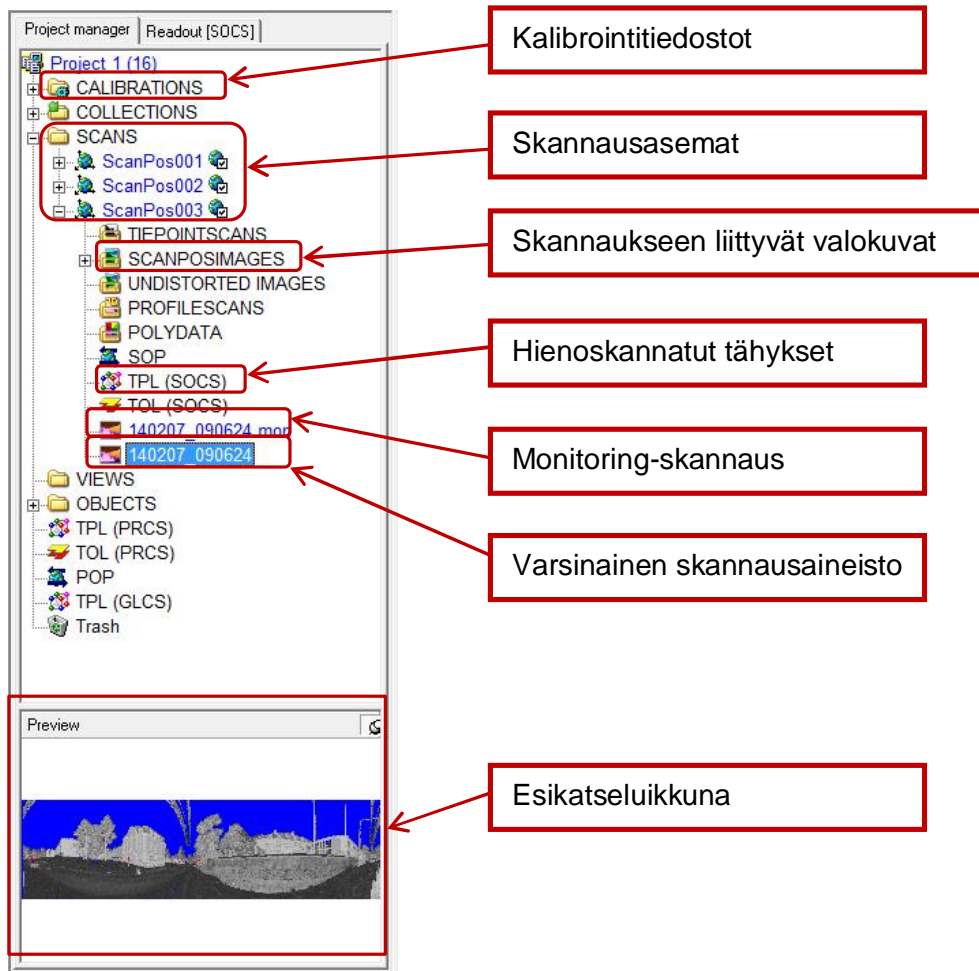
Options and Summary -ikkunasta (kuva 18) voidaan tarkastella tiedostojen lukumäärää ja kokoa. Hyväksytään lataus Next-painikkeella. Tiedostojen latautumista voidaan seurata Results-ikkunasta sekä alareunan prosessit-ikkunasta. Jos tiedostojen latauksessa ilmenee häiriöitä, ne näkyvät ikkunassa punaisella kirjoitettuna.



Kuva 18. Ladattavien aineistojen hyväksyminen.

Kun aineistot ovat latautuneet, suljetaan Results-ikkuna Close-painikkeesta. Project manager -ikkunaan on syntynyt aineistot hierarkkisessa järjestyksessä (kuva 19). Eri skannausasemat ovat omina tiedostoinaan tiedostojen puurakennemuodostelmassa. Kunkin skannausaseman alta löytyvät ko. skannaukseen liittyvät tiedostot. Varsinaiset skannausaineistot löytyvät alimpina skannausaseman alta avautuvista tiedostoista punertavalla symbolilla merkittyinä. Monitoring-tiedoston erottaa mon-päätteestä. Skannaukseen liittyvät valokuvat löytyvät omalta paikaltaan SCANPOSIMAGES-kansion alta. Skannauksen saa auki kaksoisklikkaamalla sitä tai raahaamalla sen työskentely-alueelle. Painamalla tiedoston aktiiviseksi näkyy Project manager -ikkunan alapuolelissa esikatseluikkunassa tiedoston esikatselukuva.

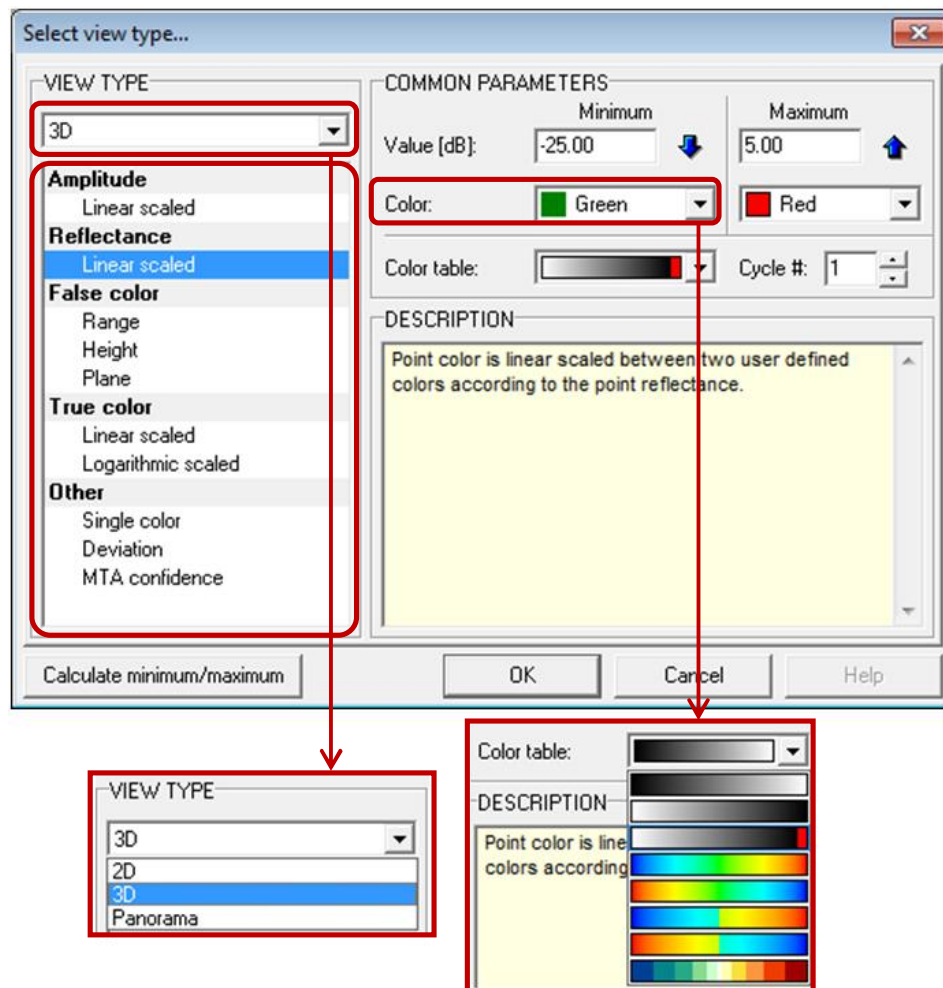




Kuva 19. Project manager -ikkunan rakenne.

#### 8.1.4 Aineistojen visualisointi

Kun aineisto avataan, avautuu Select view type -ikkuna (kuva 20), josta aineistoa voidaan visualisoida eri tavoin. Vasemmalla VIEW TYPE -osiossa ovat eri visualisointimahdollisuudet. Oikealla ylhäällä on COMMON PARAMETERS -osio, jossa voidaan valita valitun visualisointityylin asetuksia. COMMON PARAMETERS -osion alapuolella on DESCRIPTION-ikkuna, jossa kuvaillaan lyhyesti visualisointityylin ominaisuuksista.



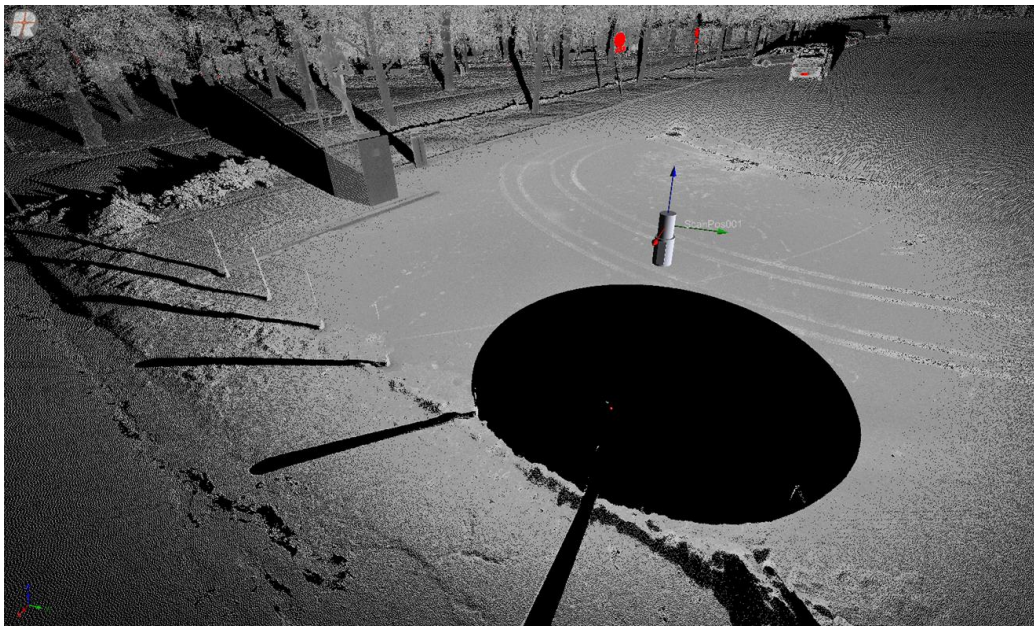
Kuva 20. Aineistojen visualisointi.

Pistepilvi on mahdollista näyttää 2D-, panoraama- ja 3D-muodossa. 2D-muoto on kaksiulotteinen kuva skannauksesta. Panoraamamuodossa skannausta voidaan tarkastella vain skannerin omasta näkökulmasta, eli käytännössä voidaan vain pyöriä pystyakselin ympäri. 3D-muodossa aineistoa voidaan tarkastella kolmiulotteisesti joka suunnasta ja liikkua 3D-avaruudessa kaikkiin suuntiin. Käytännössä vain 3D-muotoa voidaan hyödyntää aineistojen käsittelyssä. Aineistoja on mahdollista visualisoida seuraavin keinoin [14]:

- VIEW TYPE -osion Amplitude-kohdassa aineistot voidaan visualisoida intensiteettiarvonsa mukaisesti. COMMON PARAMETERS -osiossa voidaan valita erilaisia visualisointeja, kuten väriskaaloja pisteiden intensiteettien kuvaamiseen.
- Reflectance-kohdassa aineistot visualisoidaan reflektanssiarvon eli heijastusarvon mukaisesti. Reflektanssi on etäisyyskalibroitu intensiteettiarvo, jonka avulla eri voimakkuuksilla heijastuvat materiaalit on helppo erottaa toisistaan.

- False color -kohdassa voidaan aineistot visualisoida erilaisilla vääräväriyhdistelmillä. Esimerkiksi voidaan valita aineistot väritettävän sen mukaan, kuinka etäällä ne sijaitsevat skannerista. Pisteiden korkeuden mukaisesta tai jonkin tason suhteen värjäämisestä voi olla hyötyä joissain tapauksissa.
- True color -kohdassa pistepilvet voidaan värjätä skannauksen yhteydessä otettujen valokuvien perusteella.
- Other-kohdasta löytyy vielä muutama muu visualisointikeino. Aineistot voidaan värjätä vain yhdellä värillä (Single color) tai pisteen hajonnan mukaan (Deviation).

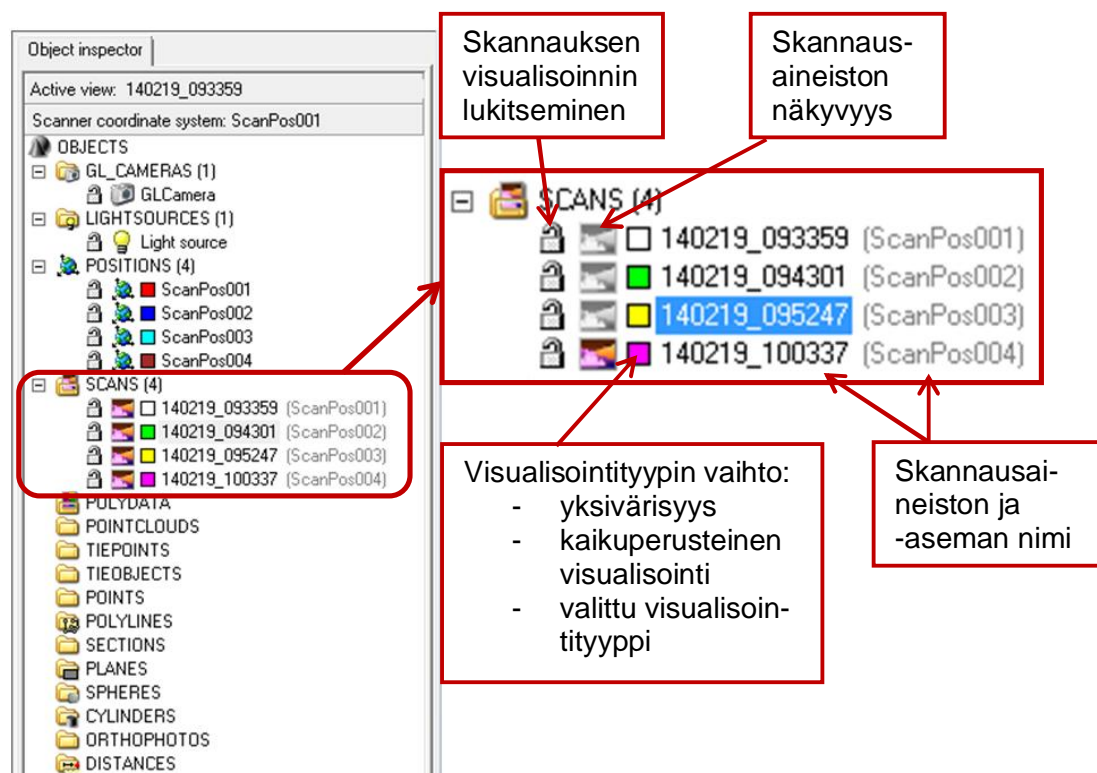
Kun haluttu visualisointityyli on valittu, hyväksytään se OK-painikkeella, jolloin pistepilvi ilmestyy työskentelyalueelle. Aineiston visualisointityyliä voi helposti vaihtaa myöhemmin. Kuvassa 21 aineisto on esitetty reflektanssin mukaan mustavalkoisella väriskaalalla, jossa kuitenkin korkeat heijastusarvot värjäytyvät punaisella, jolloin esimerkiksi tähykset on helppo löytää aineistosta. Pisteiden reflektanssiarvoja voidaan tarkastella osoittamalla työskentelyalueelta jotain pistettä ja painamalla i-näppäintä ja hiiren oikeaa painiketta, jolloin kyseisen pisteen tietoja avautuu infoikkunaan. [15]



Kuva 21. Reflektanssin mukainen visualisointi.

### 8.1.5 Object Inspector ja visualisointi

Työskentelyalueelle avattujen aineistojen visualisointia hallitaan Object Inspector -ikkunassa (kuva 22), joka löytyy ohjelman pääikkunan oikealta sivustalta. Ikkunaan avautuu kansioita, kun aineistot avataan työskentelyalueelle. Esimerkiksi jos skannausaineisto avataan, ilmestyy sen symboli ja nimi myös Object Inspector -ikkunaan. Object inspector -ikkunassa on kansioita valmiina eri aineistoille tai aineistojen osille. Kansion alle ilmestyy avatun kohteen symboli, josta kohteen ominaisuuksia voidaan tarkastella. Esimerkiksi jos projektissa luodaan uusi taso tai polydata, ilmestyvät näiden aineistojen symbolit Planes- ja Polydata-kansioiden alle. [14]



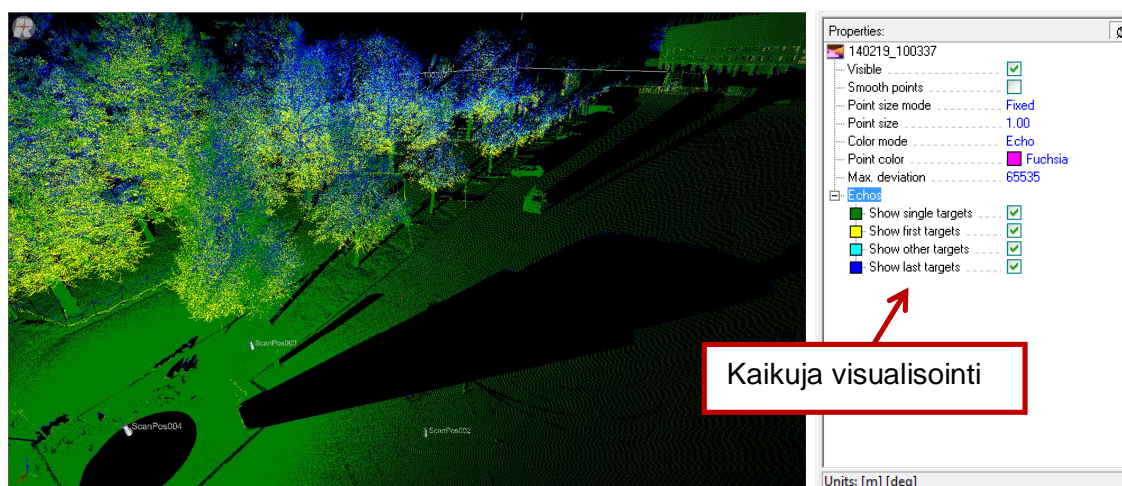
Kuva 22. Object inspector -ikkunan.

Object inspector -ikkunassa Scans-kansion alla ovat avatut skannausaineistot. Skannausaineiston symbolin vieressä on lukkosymboli sekä värisymboli. Lukkosymbolia painamalla voidaan aineiston näkyvyys lukita. Skannausaineiston symbolia painamalla pistepilven aineisto saadaan pois näkyvistä. Tällöin symboli muuttuu harmaaksi. Uudelleen klikkaamalla skannausaineiston symbolia pistepilvi tulee uudelleen näkyviin. Kuvasssa 22 on esitelty Object inspectorin symboleita.

Värisymbolia klikkaamalla voidaan aineisto värjätä yksivärisesti kyseisellä värillä. Väriä voidaan vaihtaa ominaisuusikkunasta (Properties) (kuva 23), joka sijaitsee Object inspector -ikkunan alapuolella. Yksivärisesti värjätystä skannausaineistoista on hyötyä esimerkiksi aineistojen rekisteröinnissä, jolloin eri skannausasemien pistepilvet on helppo erottaa toisistaan. Kun värisymbolia klikkaa toisen kerran, muuttuu aineisto kaikujen perusteella visualisoiduksi aineistoksi, jossa eri värein on kuvattu kohteesta eri lailla heijastuneita pulsseja. Kun värisymbolia klikataan kolmannen kerran, palautuu skannausaineiston alkuperäinen visualisointityyli. [14]

Klikkaamalla hiiren oikealla painikkeella skannausaineiston symbolin päällä ja valitsemalla Change view-type avautuu Edit view-type -ikkuna uudelleen ja aineiston visualisointityyliä voidaan vaihtaa.

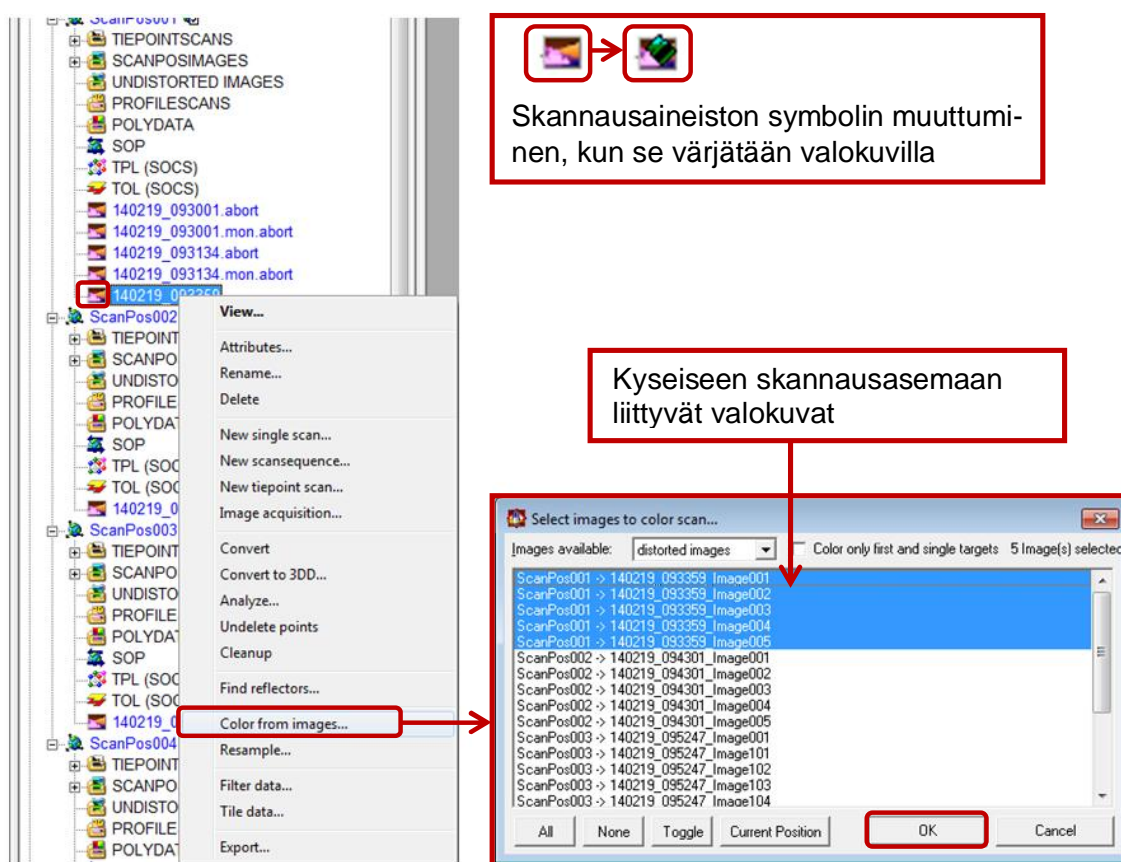
Object inspector -ikkunan alapuolella on ominaisuusikkuna (Properties), jossa näkyy tietoja Object inspector -ikkunassa aktiiviseksi valitusta aineistosta. Ikkunassa voidaan säätää valitun aineiston ominaisuuksien näkyvyyttä, esimerkiksi vaihtaa yksivärisen esitystavan väriä tai tarkastella aineistoja kaikujen perusteella. Kaikuperäisessä visualisoinnissa on eroteltuna eri tavoin takaisin heijastuneita pulsseja. Voidaan erottaa kohteesta suoraan takaisin heijastuneet kaiut. Kaiuista, jotka ovat heijastuneet monesta kohteesta, voidaan erottaa ensimmäisestä kohteesta heijastuneet pisteet sekä viimeisestä kohteesta heijastuneet pisteet. Myös välipisteet on mahdollista erottaa. Kuvasssa 23 on visualisoitu erityyppiset kaiut eri värein.



Kuva 23. Kaikujen visualisointi ja ominaisuusikkuna.

### 8.1.6 Pistepilven värjääminen valokuvalla

Pistepilven värjäys onnistuu painamalla hiiren oikealla halutun aineiston päällä ja napsauttamalla Color from images -kohtaa avautuvasta valikosta (kuva 24). Tällöin avautuu Select images to color scan -ikkuna, jossa kyseiseen skannausasemaan liittyvät valokuvat ovat aktiivisina. Skannausaseman värjääminen alkaa, kun se hyväksytään OK-painikkeella. Skannausaineistojen värjäys ei onnistu, jos aineistot ovat aktiivisia eli näkyvissä työskentelyalueella. Aktiivinen aineisto on kirjoitettu myös punaisella Project Manager -ikkunassa. Myös aineiston symboli muuttuu, kun se on värjätään valokuvilla. [14]



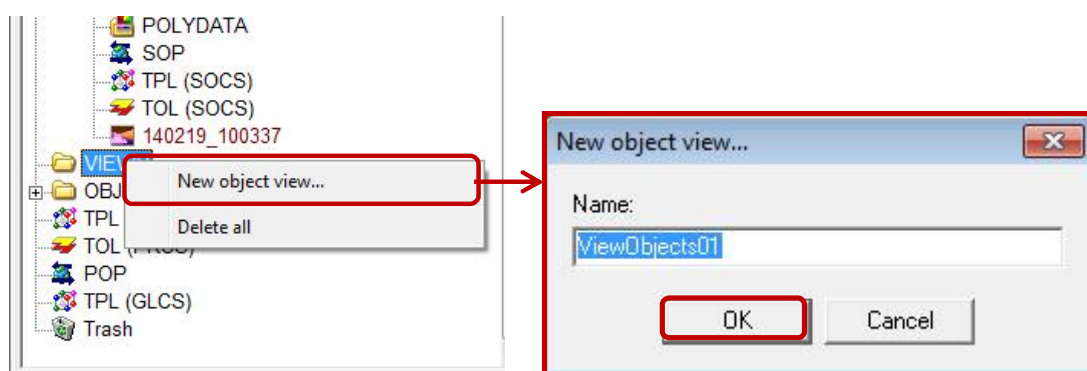
Kuva 24. Pistepilven värjääminen valokuvilla.

### 8.1.7 Object viewin tallentaminen

Työskentelyikkunan näkymä voidaan tallentaa missä projektin vaiheessa tahansa luomalla uusi Object view. Object viewiin tallentuu kaikkien näkyvissä olevien aineistojen asetukset. Näin eri skannausasemien aineistot saadaan halutulla tavalla näkyviin hel-

posti myös myöhemmin. Esimerkiksi joitain toimenpiteitä, kuten pistepilven värjäämistä valokuvilla, ei pysty tekemään, jos värjättävät aineistot ovat auki näkymässä. Näkymä voidaan tallentaa nopeasti Object viewiin ja sen jälkeen poistaa aineistot näkymästä ja tehdä halutut toimenpiteet. Näkymä saadaan heti uudelleen näkyviin, eikä kaikkia aineistoja tarvitse raahata ja säätää enää erikseen.

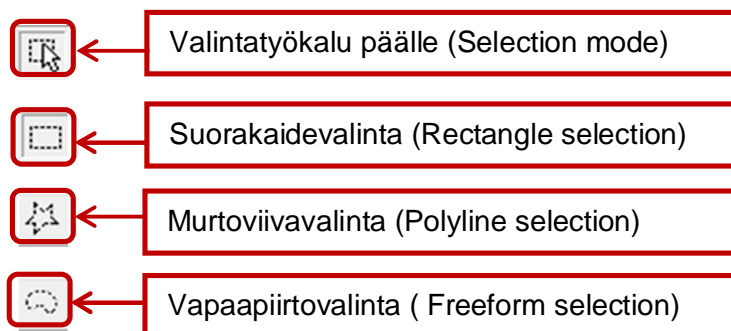
Uuden object viewin voi tehdä painamalla hiiren oikealla Project managerista löytyvää VIEW-kansiota ja valitsemalla New object view (kuva 25). Ikkunassa voidaan näkymä nimetä ja tallentaa.



Kuva 25. Object viewin tallennus.

### 8.1.8 Valintatyökalut

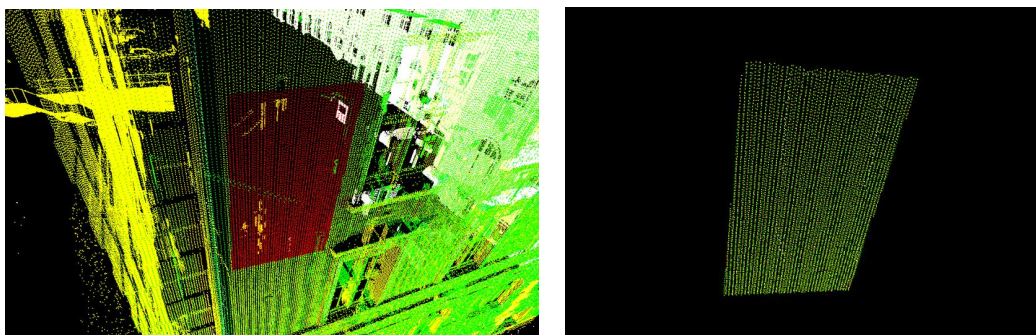
3D-näkymään työskentelyalueelle avattuja aineistoja voidaan valita aktiivisiksi erilaisilla valintatyökaluilla. Aktiivisiksi valittujen aineistojen pisteet näkyvät kuvassa punaisella. Aktiivisiksi valittuja kohteita voidaan muokata ja tarkastella erikseen muusta aineistosta. Valintatyökalut ovat työkalupaneelissa.



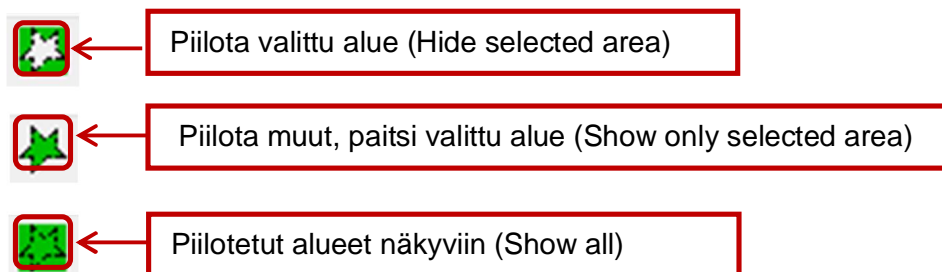
Kuva 26. Valintatyökalusymbolit.

Valintatyökalu tulee käyttöön painamalla välilyöntinäppäintä tai valitsemalla työkalupaneelista Selection mode -symboli. Kursori muuttuu ristiksi, jolla voi valita kohteita eri tyyleillä riippuen käytetystä työkalusta. Kun valintatyökalu on päällä, niin näkymässä ei pysty liikkumaan. Näkymän liikkumisominaisuus saadaan päälle painamalla uudestaan välilyöntinäppäintä. Kun valintatyökalu on käytössä, on työkalu oletuksena positiivinen, jolloin kohteita voi valita aktiivisiksi. Tällöin kursorin vieressä on pieni plusmerkki. Painamalla u-näppäintä työkalu muuttuu negatiiviseksi, jolloin aktiivisia kohteita voidaan valita pois päältä. Tällöin kursorin vieressä on pieni miinusmerkki. Kursorin saa takaisin positiiviseksi painamalla m-näppäintä.

Työkalupaneelissa on valittavana eri valintatyökaluja (kuva 26), joilla aineistoa voi käsitellä. Suorakaidevalinnalla voidaan valita aineistosta suorakaiteita näkymää kohden. Monikulmiovalinnalla voidaan valita alueita rajaamalla viivoilla. Vapaapiirtotyökalulla voidaan piirtää näytölle vapaasti aktiivisia alueita. Kuvassa 27 on suorakaidevalinnalla valittu rakennuksen seinää.



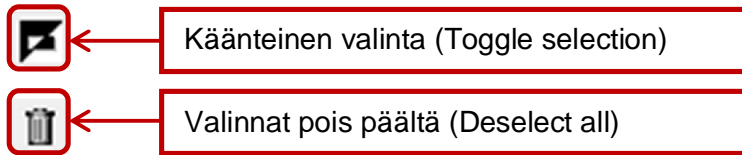
Kuva 27. Vasemmalla on suorakaidevalinnalla valittu alue rakennuksen seinästä. Oikealla on sama alue valittu näkyväksi ja muut alueet piilotettu Show only selected area -työkalulla.



Kuva 28. Valitun alueen näkyvyyteen vaikuttavat työkalut.



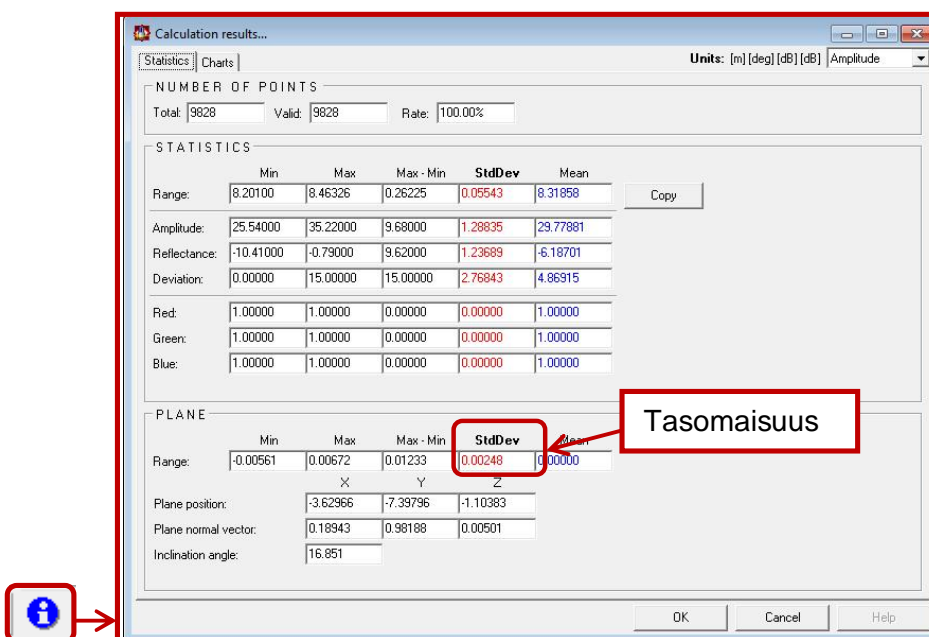
Työkalupaneelissa on myös työkaluja aktiivisen alueen näyttämiseen (kuva 28). Aktiivinen kohde voidaan valita pois näkyvistä tai valita ainoastaan aktiivinen kohde näkyväksi ja kaikki muu pois näkyvistä, kuten kuvan 27 oikeanpuoleisessa kuvassa on havainnollistettu. On mahdollista myös valita takaisin kaikki kohteet näytöllä näkyväksi.



Kuva 29. Käänteinen valinta ja valinnat pois päältä.

Toggle selection -symbolilla voidaan valita aktiivisuudet muuttumaan päinvastaisiksi niin, että aktiiviset kohteet muuttuvat ei-aktiivisiksi ja ei-aktiiviset aktiivisiksi. Roskakori-symbolilla kaikki näytön aktiiviset kohteet saadaan pois päältä. Kuvassa 29 on näiden työkalujen symbolit.

Aktiiviseksi valitusta kohteesta saadaan tietoa painamalla infosymbolia (kuva 30). Esimerkiksi jos on valittu jokin taso aktiiviseksi, voidaan tarkastella tason tasomaisuutta. Tämä on hyvä työkalu rekisteröinnin onnistumisen tarkistamiseen. Valitaan jokin taso, esimerkiksi rakennuksen seinä, jossa on pisteitä monelta eri skannausasemalta, ja tarkistetaan tasomaisuus. [14]

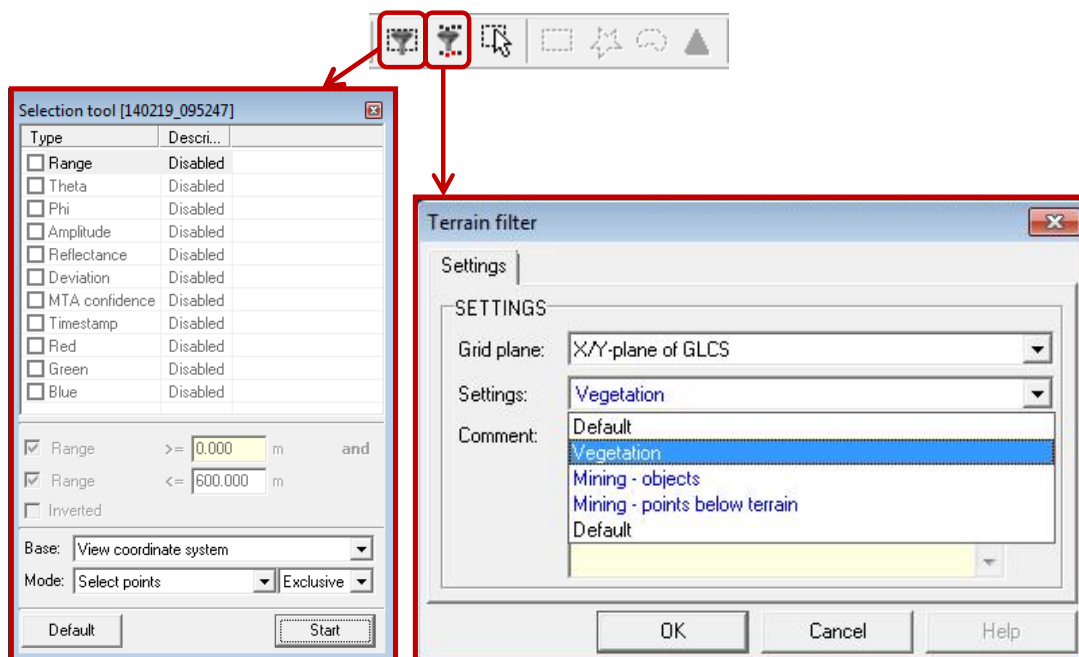


Kuva 30. Valitun kohteen tasomaisuus.

### 8.1.9 Suodattimet

Erilaisilla suodattimilla aineistoja voidaan valita aktiivisiksi ja erotella muusta aineistosta erilaisilla määritetyillä kriteereillä. Voidaan poistaa pisteitä, joita ei haluta mukaan jatkokäsittelyyn. Automaattisilla suodattimilla helpotetaan monia käsittelyn työvaiheita. Pistepilven karsiminen ja siivoaminen olisi erittäin työlästä ilman suodattimia. Osa suodattimista käyttää pääasiassa samoja periaatteita kuin eri visualisointikeinot, mutta suodattimissa osia aineistosta erotellaan muusta aineistosta valittujen raja-arvojen mukaisesti. Suodatettu aineisto esitetään ohjelmassa aktiivisena ja sille voidaan tehdä haluttuja toimenpiteitä, esimerkiksi poistaa tai siirtää. Joillain suodattimilla voidaan harventaa aineistoa halutulla tavalla. Maastosuodattimilla voidaan erotella maanpinta muista häiritsevistä kohteista, kuten esimerkiksi kasvillisuudesta tai autoista. [14; 19.]

Työkalupaneelista löytyy suodatussymboli, josta avautuu Selection tool -ikkuna (kuva 31), jossa voidaan valita haluttu suodatinperiaate. Valittuasi suodatusperiaatteen voit määrittää suodatukselle haluamasi kriteerit tai raja-arvot. Suodatin hyväksytään Start-painikkeella, ja arvoja vastaavat pisteet tulevat valituiksi ja värjäytyvät punaisella.



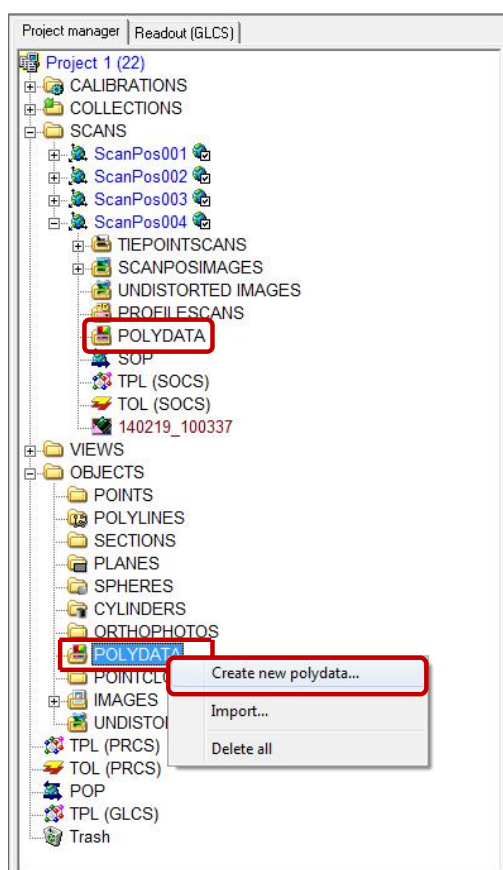
Kuva 31. Suodatin- ja maastosuodatintyökalut.

Maastosuodatinsymbolista avautuu Terrain filter -ikkuna (kuva 31), jossa voidaan valita eri toimintoja esimerkiksi kasvillisuuden tai autojen erotteluun maanpinnan pisteistä. Ikkunassa Grid plane -kohdassa voidaan valita, minkä koordinaatitason mukaan

suodatus tehdään. Settings-kohdassa valitaan maastosuodatintyyppi. Vegetation-suodatin erottelee kasvillisuuden maanpinnasta. Mining - objects -suodatimella erotellaan maanpinnasta erilaisia pystysuoria kohteita, kuten tolppia, aitoja ja autoja. Maastosuodatintyökalu on hyödyllinen maastomallin tekemisen valmistelussa. [14]

### 8.1.10 Polydatojen luominen

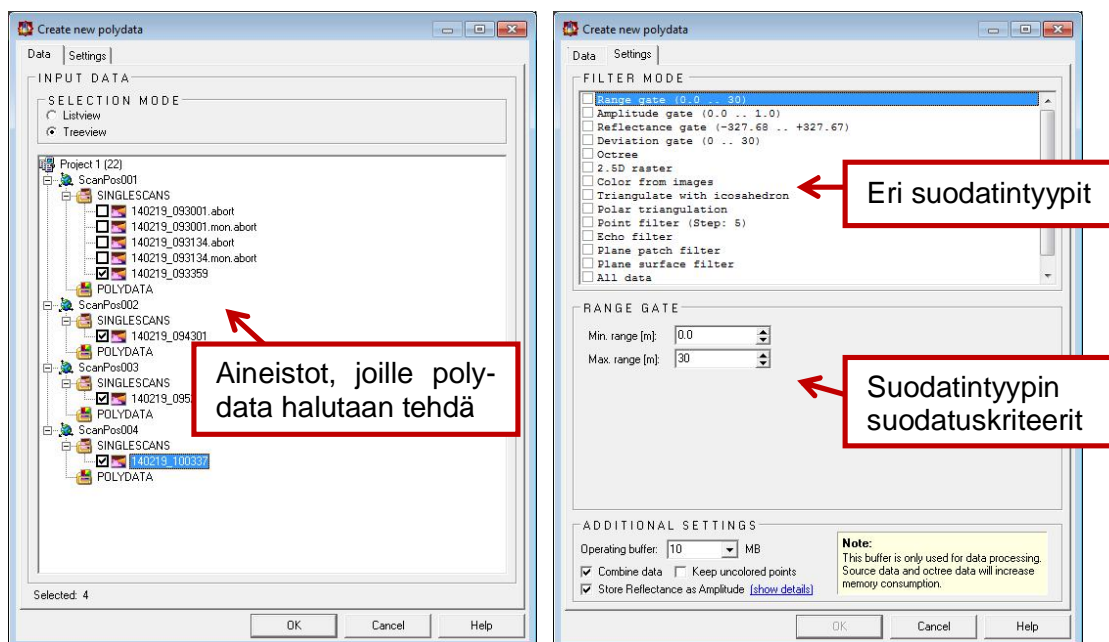
Polydatoilla tarkoitetaan aineistoja, jotka on eroteltu muusta aineistosta ja tallennettu omiksi tiedostoiksi. Polydataja voidaan luoda suodattamalla aineistoja kokonaisuudessaan jonkin suodattimen läpi. Uusi polydata-tiedosto luodaan klikkaamalla hiiren oikealla POLYDATA-kansion päältä Project manager -ikkunassa ja valitsemalla Create new polydata, jolloin avautuu Create new polydata -ikkuna (kuva 32). Polydata voidaan tehdä erikseen jokaisen skannausaseman aineiston pohjalta skannausaseman alta avautuvan POLYDATA-kansion kautta tai koko projektin aineistojen pohjalta OBJECTS-kansion alla olevan POLYDATA-kansion kautta. [14]



Kuva 32. Uuden polydatan luominen.

Create new polydata -ikkunan ensimmäisellä Data-sivulla (kuva 33) valitaan suodatettavat aineistot. Voidaan valita monia aineistoja, kuten skannauksia, tallennettuja objekteja ja aikaisemmin luotuja polydatoja, jolloin kaikille valituille aineistoille luodaan uusi polydata. Toisella Settings-sivulla (kuva 33) määritellään polydatan suodatusperiaate ja kriteerit.

Ohjelmassa on mahdollista suorittaa hyvin erilaisia suodatuksia. Polydata voidaan luoda suodattamalla aineistot etäisyyden, intensiteetin, reflektanssin, kaikkujen tai hajonnan perusteella. Aineistoa voidaan myös harventaa ja kolmioida suodattimilla tai etsiä aineistosta tasoja. Voidaan myös luoda polydata, jossa kaikki halutut aineistot saadaan yhdistettyä. On myös mahdollista valita monta suodatinperiaatetta kerralla. [14]



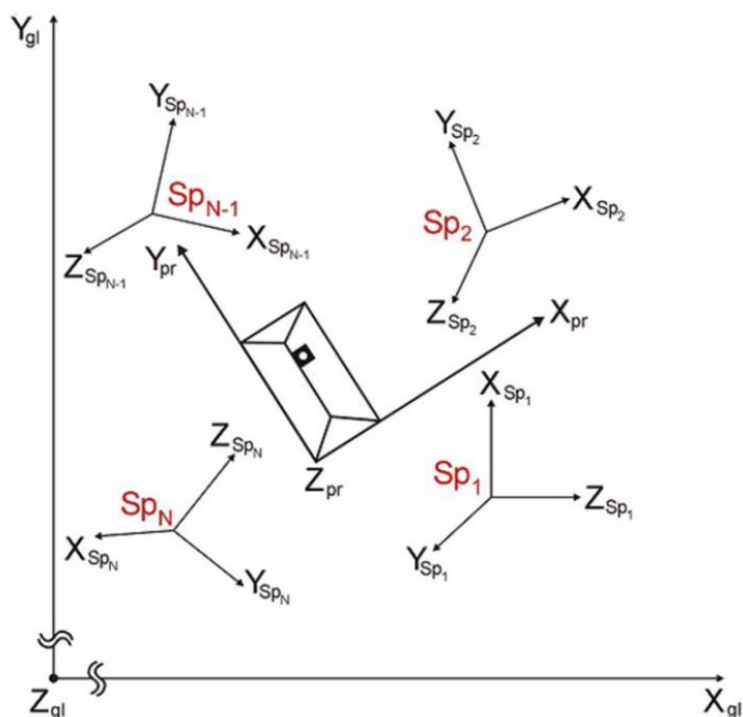
Kuva 33. Vasemmalla on Data-sivu, jossa valitaan aineistot, joille polydata halutaan tehdä. Oikealla on Settings-ikkuna, jossa valitaan polydatan suodatusperiaate sekä suodatuskriteerit.

Polydata voidaan myös luoda ruudulta valitusta aineistosta. Rajataan aineistosta valintatyökaluilla haluttu alue ja painetaan työkalupaneelistä löytyvää Create new polydata object -symbolia (kuva 52), jolloin valittu aineisto tallentuu polydatana Project managerin OBJECTS-kansion alle.

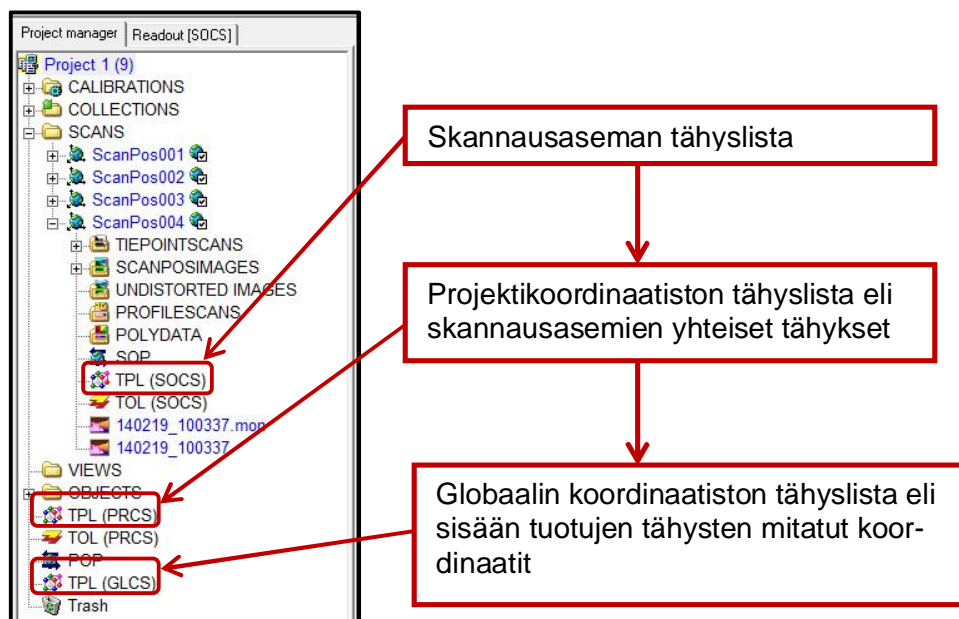
## 8.2 Rekisteröinti eli pistepilvien yhdistäminen

### 8.2.1 Koordinaatistot

Jotta eri skannausasemien pistepilviä voidaan yhdistää eli rekisteröidä, on hyvä ymmärtää skannausprojektin eri koordinaattijärjestelmiä, joita on skannerin oma koordinaattijärjestelmä (Scanners Own Coordinate System = SOCS), projektin koordinaattijärjestelmä (Project Coordinate System = PRCS) ja globaali koordinaattijärjestelmä (Global Coordinate System = GLCS). Kuvassa 34 on havainnollistettu koordinaatistojen suhdetta. Project Manager -ikkunassa on kakkien koordinaatistojen kontrollipisteille eli tähyksille oma TPL-kansio (Tie Point List), jossa voi tarkastella kyseisen koordinaatiston kontrollipisteitä (kuva 35). Jokainen skannaus tapahtuu skannerin omassa koordinaattijärjestelmässä, jossa origona on skannerin nollapiste. Kun skannausasemat rekisteröidään keskenään, lasketaan kaikille skannausasemille yhteinen projektikoordinaatisto. Tämä projektikoordinaatisto voidaan viedä globaaliin koordinaatistoon eli tavoitekoordinaattijärjestelmään. Tätä vaihetta kutsutaan georeferoinniksi. [14; 22, s. 35–36.]



Kuva 34. Koordinaattijärjestelmät [22, s. 37].



Kuva 35. Laserskannausprojektin koordinaatistot.

Skannausten vieminen globaaliin koordinaatistoon onnistuu mitattujen tähysten eli kontrollipisteiden avulla. Tähykset kannattaa mitata takymetrillä paikalleen ennen skannaamista. Mitatut tähykset hienoskannataan ja mitatut koordinaatit tuodaan RiSCAN PRO -ohjelmaan sisään ja koko skannausprojekti voidaan kääntää globaaliin koordinaatistoon linkittämällä tähysten projektikoordinaatit mitattuihin globaaleihin koordinaatteihin.

### 8.2.2 Rekisteröintitavat

Pistepilvien keskinäiseen rekisteröintiin on monia eri tapoja. Rekisteröintitavan valintaan vaikuttaa projektin ominaispiirteet ja se, mitä projektilta vaaditaan, sekä se, mikä on kulloinkin helpoin toteuttamistapa. Eri rekisteröintitapoja voidaan myös yhdistää. RiSCAN PROssa rekisteröinti voidaan toteuttaa neljällä eri tavalla, joita ovat rekisteröinti tähyksillä (kontrollipisteet), karkea rekisteröinti, tunnettu asemapiste (Backsighting Orientation) ja verkkotasointus (Multi Station Adjustment). Staralla tullaan oletettavasti enimmäkseen käyttämään tähyksillä rekisteröintiä ja verkkotasointusta. [14]

### 8.2.3 Rekisteröinti tähyksillä

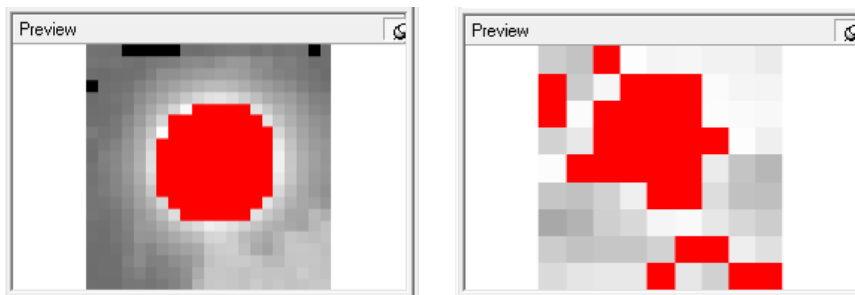
Yleisin ja perinteisin tapa aineistojen rekisteröimiseen tehdään tähysten avulla, jossa pistepilvet yhdistetään sovittamalla erikseen mitattuja kontrollipisteitä eli tähyksiä toisiinsa.

Rekisteröinnin valmistelu aloitetaan siistimällä skannausasemien hienoskannattuja tähylistoja. Valitaan skannausaseman tähylista TPL (SOCS) kaksoisklikkaamalla Projekt manager -ikkunassa kyseisen skannausaseman alta avautuvasta listasta TPL (SOCS) -kohtaa, jolloin työskentelyalueelle avautuu lista kyseisen skannausaseman löydetyistä tähyksistä (kuva 36). Listan Name-saraketta voi venyttää siten, että riville mahtuu tähyksen koko nimi, jolloin paljastuu myös ohjelman automaattisesti huonoiksi tähyksiksi tulkitsemat tähykset nimen perässä olevasta bad-tekstistä (kuvassa 36 sini-sellä pohjalla). Nämä tähykset voidaan poistaa.

Name	Link	Ref.	FinScan	RefType	Size	Points	Ampli.	Reflec.	X	Y	Z	Range	θ	φ	Δ X	Δ Y	Δ Z	Δ R	Δ θ	Δ φ	
140219_094301.mon_Reflector0_10		0	140219_...		0.045	1005	28.959	26.86	-19.483	-59.573	-1.174	62.689	91.073	251.890	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
140219_094301.mon_Reflector0_11 bad		0	140219_...		0.000	0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
140219_094301.mon_Reflector0_12		0	140219_...		0.053	1769	28.141	27.46	15.584	-72.068	-0.730	73.738	90.567	282.201	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
140219_094301.mon_Reflector0_13		0	140219_...		0.039	505	28.544	27.34	26.740	-64.106	-1.472	69.475	91.214	292.642	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
140219_094301.mon_Reflector0_14 bad		0	140219_...		0.024	1858	27.938	27.33	17.810	-57.128	-2.550	82.719	90.334	334.234	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
140219_094301.mon_Reflector0_15		0	140219_...		0.049	3892	37.103	29.37	32.661	-5.783	0.201	33.170	89.653	349.959	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
140219_094301.mon_Reflector0_1 bad		0	140219_...		0.088	7516	32.673	26.58	40.178	-3.224	-1.513	40.335	92.149	4.587	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
140219_094301.mon_Reflector0_2 bad		0	140219_...		0.072	5391	31.889	26.93	40.233	4.778	-1.515	40.842	92.126	6.723	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
140219_094301.mon_Reflector0_3		0	140219_...		0.050	10703	43.628	30.49	3.110	17.333	-1.033	17.840	93.356	79.828	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
140219_094301.mon_Reflector0_4		0	140219_...		0.052	5384	39.644	30.56	-8.479	26.753	0.469	28.095	89.043	107.585	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
140219_094301.mon_Reflector0_5		0	140219_...		0.056	5262	30.430	23.61	-36.641	6.695	-0.726	37.254	91.117	169.646	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
140219_094301.mon_Reflector0_6		0	140219_...		0.048	5828	38.403	27.68	-23.486	-1.128	0.306	23.516	89.255	182.751	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
140219_094301.mon_Reflector0_7		0	140219_...		0.180	18362	26.301	22.48	25.134	-44.742	-0.766	51.324	90.855	240.675	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
140219_094301.mon_Reflector0_8 bad		0	140219_...		0.193	19344	25.674	22.43	49.074	-47.724	-0.755	49.355	-3.838	24.931	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
140219_094301.mon_Reflector0_9 bad		0	140219_...		0.183	17481	26.571	22.93	-20.631	-48.169	-0.715	52.406	90.782	246.815	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

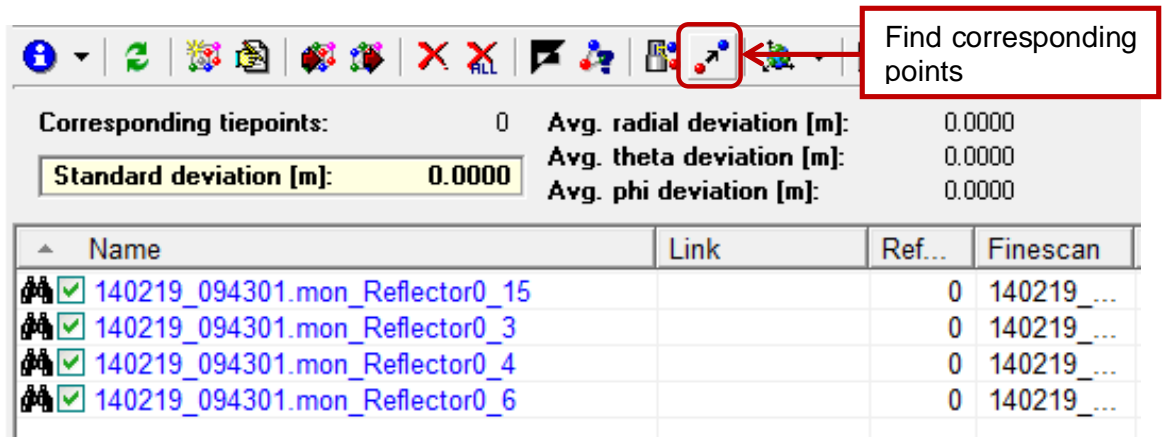
Kuva 36. Huonojen tähysten poistaminen.

Tähyksiä voidaan tarkastella myös esikatseluikkunasta valitsemalla tähys aktiiviseksi. Mukana on usein muitakin käyttökeltottomia tähyksiä, esimerkiksi autojen valojen heijastumia. Nämäkin tähykset voidaan poistaa, jolloin epätarkat heijastumat eivät häiritse rekisteröintiä. Kuvassa 37 on esitelty esikatseluikkunan kuvia tähyksistä.

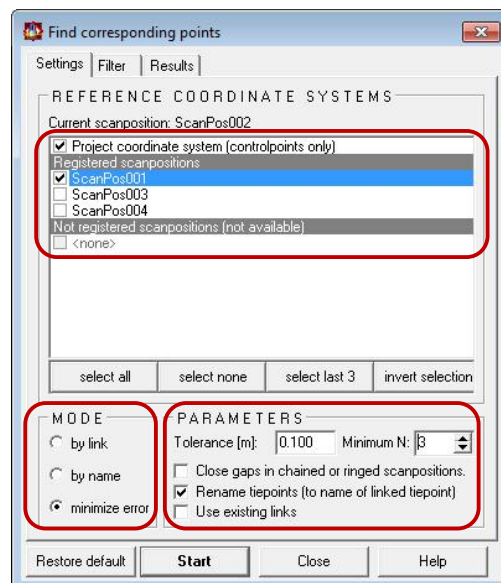


Kuva 37. Tähykset esikatseluikkunassa. Vasemmalla on mitattu tähys. Oikealla on skannerin tähykseksi luokittelema heijastuma, joka voidaan poistaa.

Rekisteröinti aloitetaan etsimällä jonkin skannausaseman tähyksille yhteisiä tähyksiä muista skannausasemien TPL-listoilta tai projektikoordinaatiston TPL-listalta, johon on kopioitu mitattujen tähyksen globaalit koordinaatit. (Ks. luku 8.3.) Painamalla Find corresponding points -symbolia (kuva 38) avautuu Find corresponding points -ikkuna (kuva 39), jossa voidaan valita aineistot, joista yhteisiä tähyksiä etsitään, ja tekniikka. [14]



Kuva 38. Yhteisten tähyksen etsintä.



Kuva 39. Yhteisien tähyksen etsintä muista aineistoista.

Kuvassa 39 on Find corresponding points -ikkuna, jossa ensimmäisenä on projektikoordinaatisto, johon voidaan laittaa väkänä, jolloin skannausaseman tähyksiä sovitetaan projektikoordinaatiston TPL:n tähyksiin. Seuraavana listassa ovat muut projektin skannausasemat. Jos skannausasema merkataan väkäsellä, etsii ohjelma

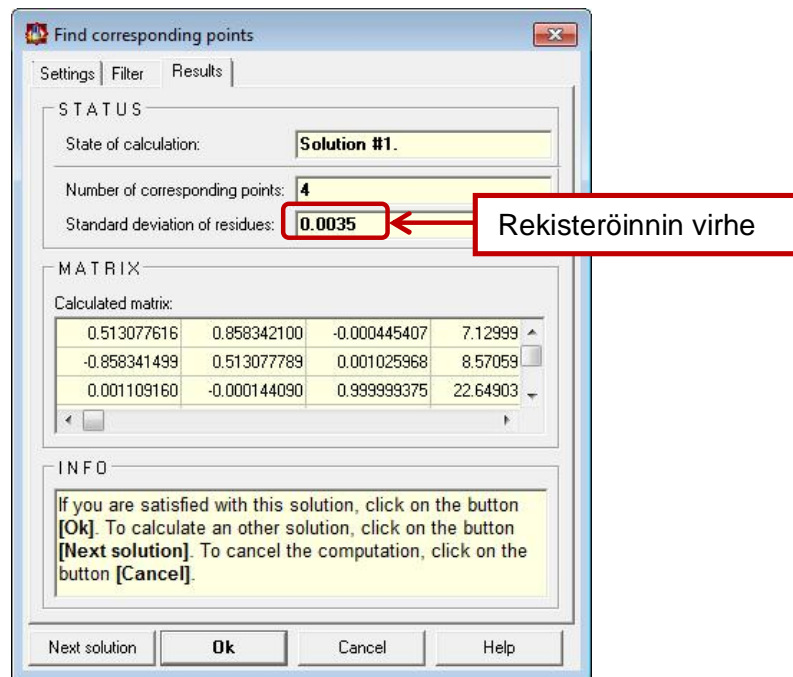


yhteisiä tähyksiä tämän skannausaseman TPL:stä. Rekisteröinti on yleensä hyvä tehdä järjestyksessä, jossa ensin etsitään yhdelle skannausasemalle vastinpisteet projektikoordinaatistosta sekä toisen skannausaseman tähyslistasta. Sitten etsitään seuraavan skannausaseman tähyksiä aikaisemmin rekisteröityjen skannausasemien tähyslistoilta. Jokainen skannausasema rekisteröidään vuorollaan projektikoordinaatistoon. Välillä voidaan tarkistaa työskentelyalueen näkymästä, miten asemat ovat menneet yhteen, sulkemalla TPL-ikkunat. [14; 22, s. 180.]

Find corresponding points -ikkunan vasemmassa alareunassa on MODE-osio, jossa määritellään yhteisten tähyksen etsinnän hakutapa. Yhteisiä tähyksiä voidaan hakea linkityksen, nimen tai pienimmän virheen periaatteella. Suositeltavaa on käyttää pienimmän virheen menetelmää (Minimize error), jossa sovitetaan eri skannausasemien kontrollipisteitä 3D-avaruudessa. [14]

Find corresponding points -ikkunan oikeassa alareunassa on PARAMETERS-osio, jossa voidaan määritellä yhteisten tähyksen etsinnän asetuksia. Tolerance [m] -kohdassa määritellään etsintäsäteen suuruus kahden vastinpisteen välille. Oletusarvo 10 cm on riittävän tarkka löytämään oikeat tähykset. Minimum N -kohdassa taas määritellään etsittävien vastinpisteiden määrää. Minimimäärä skannausasemien välillä on vähintään kolme vastinpistettä, jotta muunnos voidaan laskea. [14]

Jos laittaa väkisen Rename tiepoints -kohtaan, nimeää ohjelma projektikoordinaatistoon vastinpisteet uudelleen. Jos projektikoordinaatistossa on jo kopioituina mitattujen tähyksen koordinaatteja, käyttää ohjelma niiden nimiä projektikoordinaatistossa. [14]



Kuva 40. Rekisteröinnin virhe.

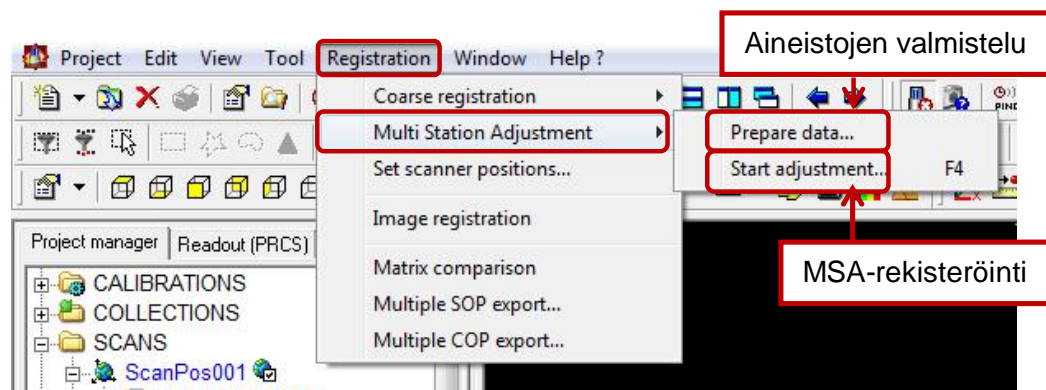
Laskenta aloitetaan hyväksymällä asetukset Start-painikkeella, jolloin ikkunaan avautuu Results-välilehti (kuva 40), jossa on esitetty laskettu muunnosmatriisi, yhteisten vastinpisteiden määrä sekä rekisteröinnin virhe pistepilvien välillä. Alle 8 mm on hyvä tarkkuus rekisteröinnille. Tämä tehdään jokaiselle skannausasemalle, kunnes kaikki skannausasemat on rekisteröity keskenään yhteiseen projektikoordinaatistoon.

#### 8.2.4 Verkkotasointu eli Multi Station Adjustment

RiSCAN PRO -ohjelmassa voidaan rekisteröinti tehdä Multi Station Adjustment -tekniikan eli verkkotasointuun avulla, jolloin ei tarvita erikseen tähyksiä, paitsi georeferointiin. Tämä tekniikka vaatii kuitenkin sen, että aineistot ovat valmiiksi jo alustavasti rekisteröity, eli tällä MSA-työkalulla voidaan korjata muiden rekisteröintitapojen tuloksia. Skannerin sisäisen GPS:n tarkkuus riittää aineistojen rekisteröintiin MSA:ta varten. [14]

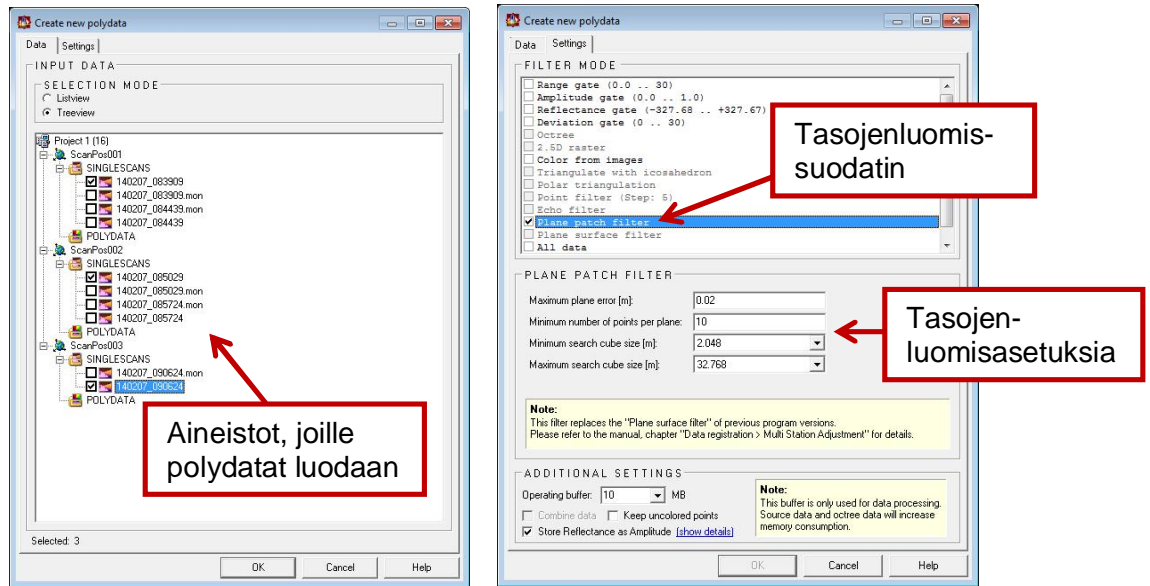
Tekniikka perustuu tasojenetsimissuodattimeen, jolla aineistosta etsitään määriteltyjä tasoja. Tasojen painopisteeseen lasketaan tason normaalivektori, joka kertoo tason suunnan. Näitä normaalivektoreita sovitetaan toisiinsa ICP-menetelmän mukaisesti. (Ks. luku 6.1.)

MSA-rekisteröinti aloitetaan valmistelemalla aineistoja. Aluksi luodaan aineistoista uusi polydata, jossa etsitään aineiston pisteistä muodostuvia tasoja. Päävalikon Registration-kohdan alta avautuvasta valikosta painetaan Multi Station Adjustment -kohtaa, josta avautuu valikko, jossa ovat kohdat Prepare data ja Start adjustment. Prepare data -kohtaa klikattaessa avautuu kaksisivuinen Create polydata -ikkuna (kuva 41).



Kuva 41. Multi Station Adjustment -rekisteröinti.

Create polydata -ikkunan ensimmäiseltä Data-sivulta (kuva 42) valitaan aineistot, joista polydata luodaan, ja ikkunan toiselta Settings-sivulta (kuva 42) määritellään polydatan suodatintyyppi. Tasojen etsiminen onnistuu Plane path filter -suodattimella. Käytettävä suodatintyyppi hyväksytään laittamalla väkänä kyseisen suodatintyyppin eteen, jolloin ikkunaan avautuu kyseisen suodattimen asetuksia.



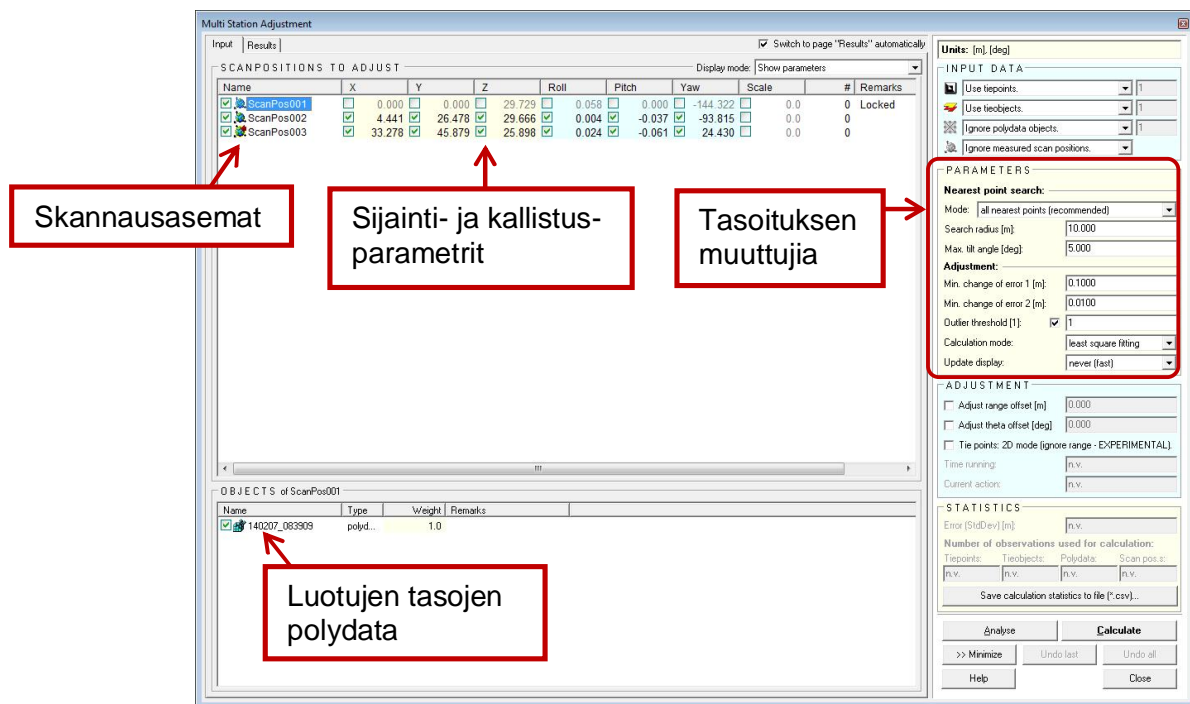
Kuva 42. Vasemmalla ovat rekisteröitävät aineistot. Oikealla ovat tasojenluomis-polydatan suodatuskriteerit.

Ensimmäisessä Maximum plane error -kohdassa määritellään jäännösvirheiden keskihajonta. Sopiva arvo rakennetussa ympäristössä on noin 0.01 m. Toisessa Minimum number of points per plane -kohdassa määritellään, kuinka monta pistettä vaaditaan tason muodostamiseen. Noin kymmenellä pisteellä tasoja löytyy riittävästi. Minimum search cube size -kohdassa määritellään laskentakauutien kynnyсарvo. Sopiva arvo tähän kohtaan on 2.048 m. [14]

Kun polydatan asetukset on määritelty, hyväksytään ne OK-painikkeella. Muodostettu polydata ilmestyy Project Managerin POLYDATA-kansioon kunkin polydatan luontiin valitun skannausaseman alle. Avaamalla polydata työskentelyikkunaan ja valitsemalla pisteiden normaalit näkyviksi Properties-ikkunassa voidaan muodostettujen tasojen painopisteitä ja tasojen normaalivektoreita tarkastella myös visuaalisesti. [14]

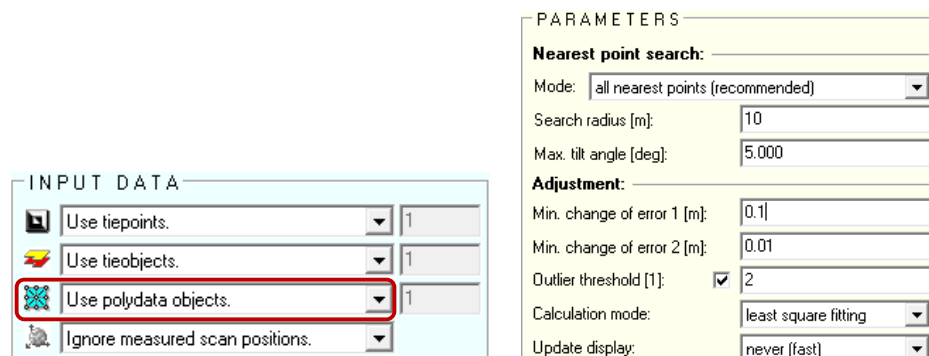
Rekisteröinti aloitetaan samaa reittiä kuin aineiston valmistelu. Päävalikon Registration-kohdan alta avautuvasta valikosta klikataan Multi Station Adjustment -kohtaa ja valitaan Start adjustment, jolloin avautuu Multi Station Adjustment -ikkuna (kuva 43). Ikkunassa skannausasemat ovat esitettyinä listalla, jossa näkyvät kunkin skannausaseman sijainti- ja kallistustiedot. Listalla voidaan lukita jokin skannausasema paikalleen, jolloin muut asemat rekisteröityvät tämän referenssiskannausaseman suhteen. Skannausasema lukitaan painamalla hiiren oikealla painikkeella halutun skannausaseman päällä ja valitaan avautuvasta valikosta Lock position and orientation. Lukitussa skan-

nausasemassa väkäset eivät ole päällä. Lukituksen voi tehdä myös jokaiselle skannausaseaman sijainti- ja kallistusparametrille erikseen. [14]



Kuva 43. Multi Station Adjustment -ikkuna.

Multi Station Adjustment -ikkunan oikeassa yläreunassa on INPUT DATA -osio (kuva 44), jossa voidaan valita, mitä tekniikkaa skannausasemien sijainnin ja asennon määrittämiseen käytetään. Valitaan Use polydata objects, jolloin asemien rekisteröintiin käytetään aiemmin luotua polydataa. Tällöin rekisteröinti tapahtuu sovittamalla skannausasemille muodostettujen tasojen normaaleja toisiinsa.



Kuva 44. INPUT DATA -ikkuna ja PARAMETERS -ikkuna.

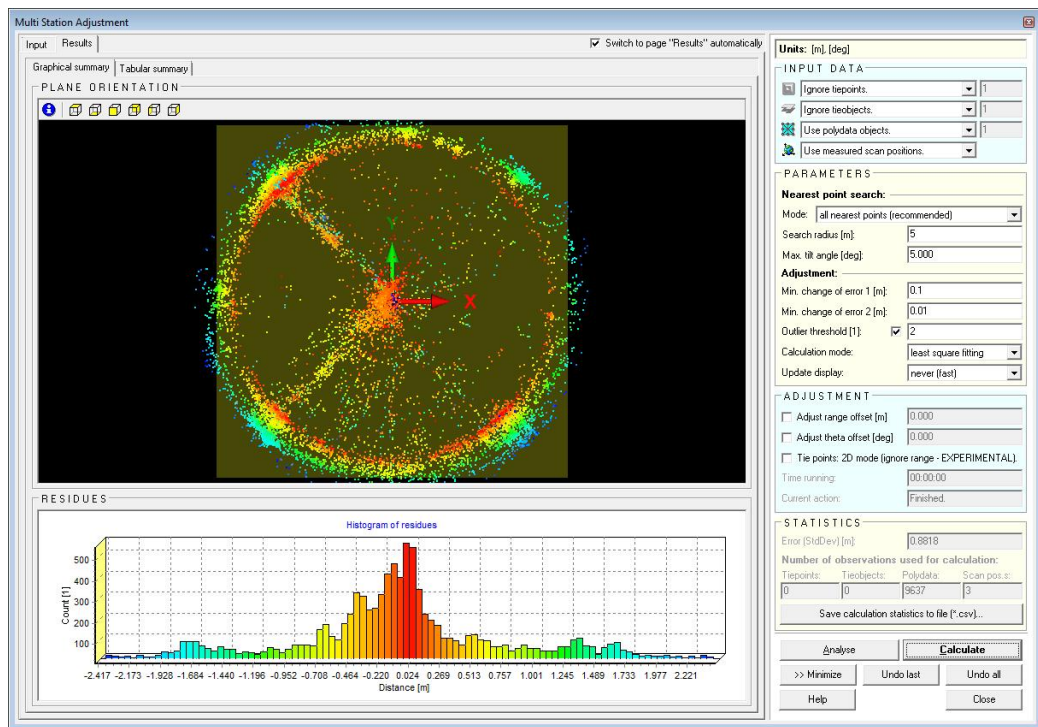
Multi Station Adjustment -rekisteröinti tehdään aineistolle vaiheittain. Ensimmäisellä laskentakierroksella aineistoille luotujen tasojen normaalivektoreita verrataan muiden rekisteröitävien aineistojen likimääräisesti lähelle kohdistettuihin tasojen vastinnormaalivektoreihin. Vastinnormaalien väliset etäisyydet mitataan ja etäisyyksien neliösumma lasketaan yhteen. Parasta tasoitusta lähdetään haarukoimaan skannausasemille iteratiivisen laskentaprosessin avulla aloittaen karkeammilla muuttujien arvoilla. Jokaisella laskentakierroksella muuttujien arvoja tarkennetaan, jolloin päästään lähemmäksi vastinnormaalien etäisyyksien pienintä neliösummaa ja aineistojen keskinäistä sijainnillista vastaavuutta. Parhaimmillaan tasoitus saadaan tehtyä muutaman millimetrin tarkkuudella. Jokaisella laskentakierroksella keskinäisen virheen tulisi pienentyä ja tasoja löytyä enemmän. [14; 19.]

INPUT DATA -osion alla on PARAMETERS-osio (kuva 44), jossa voidaan määritellä rekisteröinnin muuttujien arvoja. Suositeltavaa on käyttää all nearest points -menetelmää. Search radius [m] -kohdassa asetetaan etsintäsäde, jonka sisältä yhteneviä tasoja etsitään. Ensimmäisellä kierroksella noin viisi metriä on sopiva arvo. Asettavan arvon suuruus riippuu myös sisäisen GPS:n tarkkuudesta. Kuvalta voi arvioida, kuinka paljon asemat suurin piirtein heittävät. Max. tilt angle [deg] -kohdassa määritellään maksimikallistuskulman ero, joka sallitaan yhteisten tasojen normaalivektoreille. Noin viisi astetta on sopiva arvo tähän kohtaan.

Min. change of error 1 [m] -kohdassa määritellään tasauksen arvo, jonka algoritmi hyväksyy kahden iteraatiokierroksen välillä. Ensimmäisellä laskentakierroksella sopiva arvo on noin 0,1 m. Min. change of error 2 [m] -kohdassa määritellään arvo, johon asti iteratiivista tasausta jatketaan. Ensimmäisellä laskentakierroksella sopiva arvo on noin 0,01 m. Outlier treshold -kohdassa määritellään, miltä alueelta laskenta suoritetaan normaalijakautuneella käyrällä. Arvo yksi tarkoittaa, että yhden sigman ulkopuolelle jääviä tasoja ei oteta mukaan laskentaan. Ensimmäisillä kierroksilla tässä kohdassa on suositeltavaa pitää arvoa kaksi. [14]

Ensin suoritetaan vain analyysi, jolla voi tarkastella yleisesti virheiden esiintymistä aineistossa. Painetaan Analyze-kohtaa, jolloin avautuu Multi Station Adjustment -ikkunan Results-sivu, jossa esitetään yhtenevien tasojen histogrammi ja polaariesitys (kuva 45). Histogrammista voi tarkastella yhtenevien tasojen virhejakautumaa. Polaariesityksestä voidaan tarkastella tasoituksen jakautumista. STATISTICS-osiossa Error (StdDev) [m] -

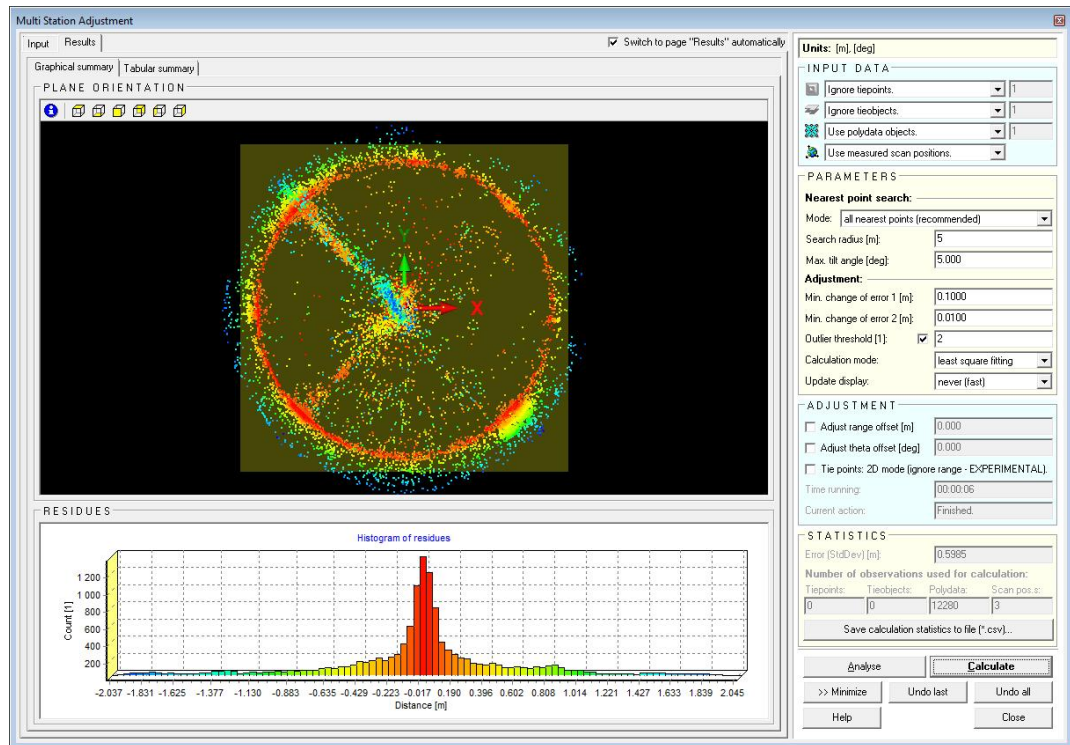
kohdassa näkyy tasoituksen keskinäinen virhe ja Polydata-kohdassa löydettyjen yhteisten tasojen määrä.



Kuva 45. Analysoitu tasoitus.

Analysoinnin jälkeen aloitetaan ensimmäinen laskentakierros. Suositeltavaa on asettaa etsintäsäteeksi noin kaksi kertaa analysoidun virheen suuruus. Muut muuttujien arvot voidaan pitää samoina. Laskenta aloitetaan klikkaamalla Calculate-painiketta, jolloin laskenta alkaa. Siirtämällä Multi Station Adjustment -ikkunan syrjään voidaan tarkastella työskentelyikkunasta, kuinka aineistot alkavat rekisteröityä. Tasoitus paranee, jos keskinäinen virhe pienenee ja ohjelma löytää uusia yhteisiä tasoja. Ensimmäisen laskentakierroksen jälkeen histogrammin normaalijakauman pitäisi olla jyrkkä. (Kuva 46.)

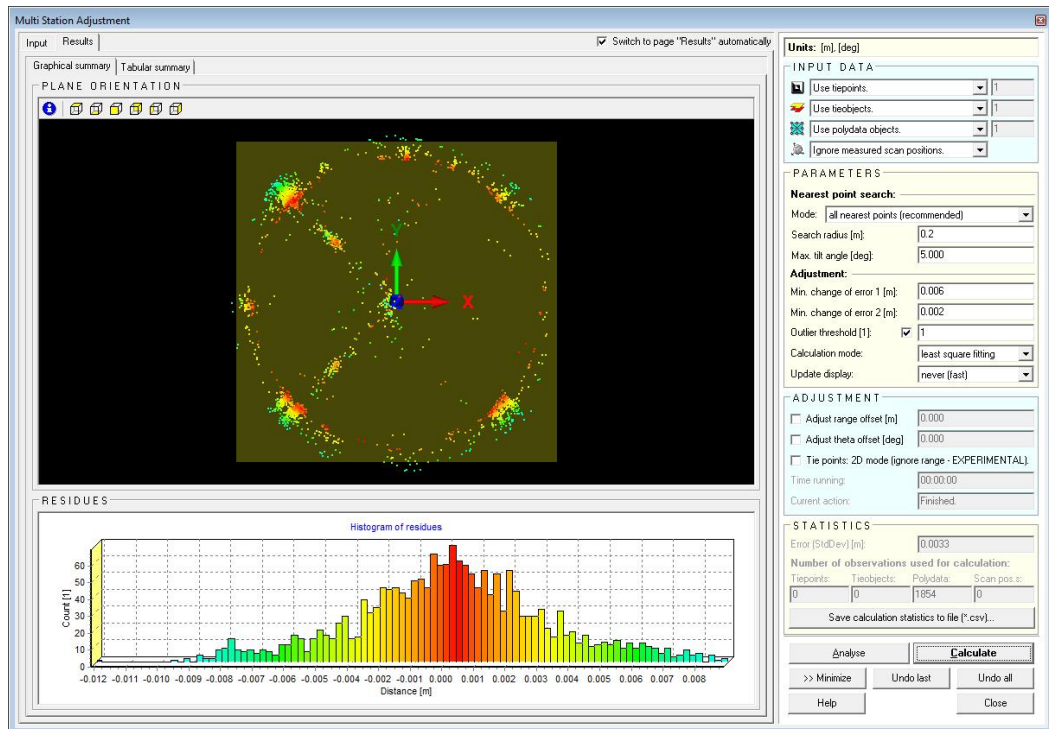
[14]



Kuva 46. Ensimmäisen laskentakierroksen tasoitus.

Toisella laskentakierroksella käytetään pienempää etsintäsädettä ja virhearvoja. Esimerkiksi etsintäsäde voisi olla noin 0.2 m, Min. change of error 1 [m] noin 0.006 ja Min. change of error 2 [m] noin 0.02. Min. change of error 1 [m] -kohdassa arvon tulee olla suurempi kuin Min. change of error 2 [m] -kohdassa. Outlier treshold -kohdassa voidaan käyttää arvoa 1, jolloin tasoitukseen otetaan mukaan vain tarkemmat tasoitukset. Aloitetaan laskenta Calculate-painikkeella. Normaalijakauman tulisi näyttää suhteellisen loivalta. Laskentakierroksia tehdään tarpeellinen määrä, jotta päästään mahdollisimman tarkkaan lopputulokseen. Muutamien millimetrien kokonaisvirhe on hyvä. Tasoituksen onnistuminen on syytä tarkistaa kuvasta esimerkiksi joltain tasomaiselta pinnalta, jossa on pisteitä monelta skannausasemalta (ks. kuva 30). (Kuva 47.) [14; 23.]





Kuva 47. Toisen laskentakierroksen tasoitus.

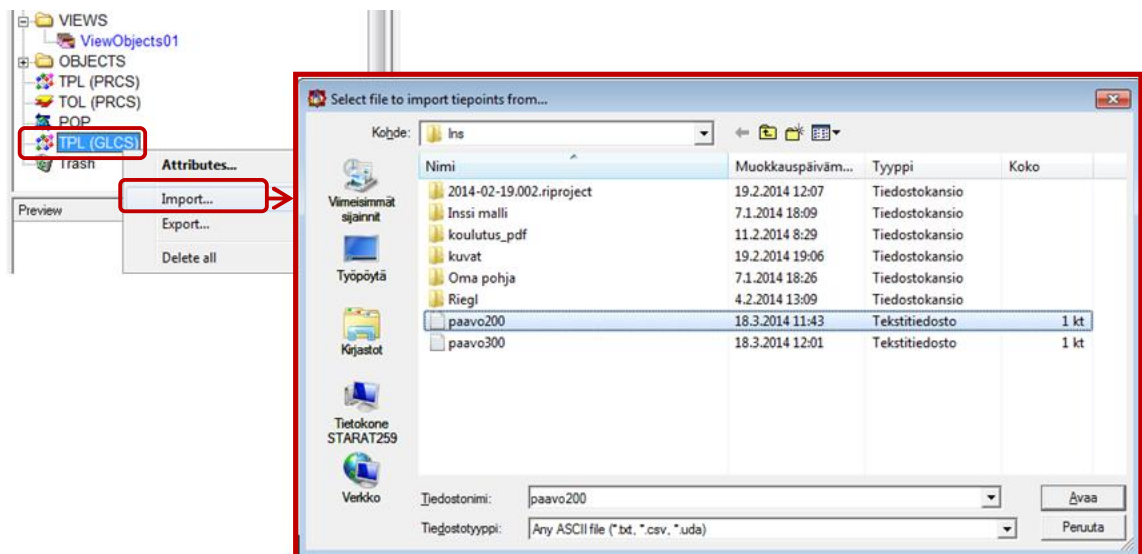
### 8.3 Georeferointi

Pistepilven viemistä tavoitekoordinaatistoon kutsutaan georeferoinniksi. Jotta pistepilvet saa sidottua globaaliin koordinaatistoon, pitää kontrollipisteiden koordinaatit mitata. Kontrollipisteet eli tähykset on hyvä mitata ennen skannaamista. Pistetiedot voidaan myös viedä skanneriin etukäteen ennen mittaamista, jolloin skannaukset tallentuvat suoraan haluttuun koordinaatistoon.

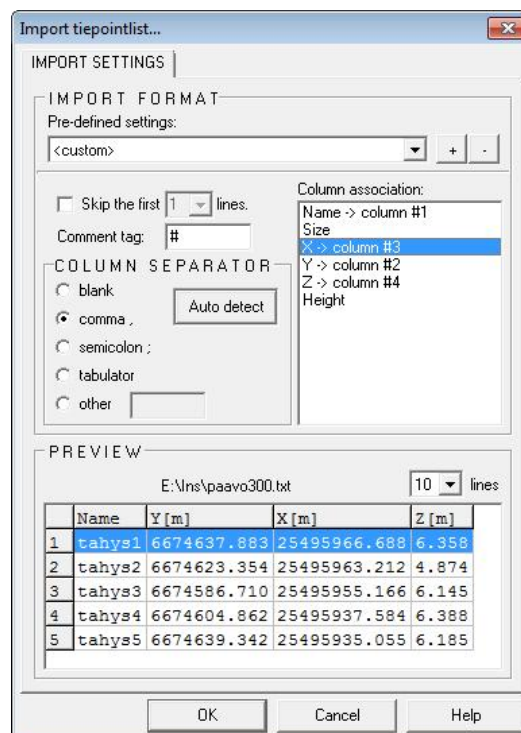
Ensimmäiseksi täytyy takymetrillä mitattujen tähysten pistetiedot tuoda sisään ohjelmaan. Tämä on suositeltavaa tehdä ennen skannausasemien rekisteröintiä, koska silloin skannausasemien tähyksille voidaan hakea vastinpisteitä suoraan globaalista koordinaatistosta projektikoordinaatistoon kopioiduista kontrollipisteistä.

Tähykpisteiden koordinaatit kannattaa kirjoittaa ulos takymetristä esimerkiksi CSV-muodossa, jolloin niiden avaaminen onnistuu suoraan RiSCAN PROssa. Pisteet tuodaan GLCS:n TPL:ään. Klikkaa hiiren oikealla painikkeella Project Manager -ikkunassa (GLCS) TPL -symbolia, josta avautuu valikko. Täältä valitaan Import-kohta. Avautuvasta Select file to import tiepoints from -ikkunasta etsitään mitattujen tähysten

koordinaattien tiedosto ja avataan se, jolloin päästään Import tiepointlist -ikkunaan. Kuvassa 48 on esitelty tähysten koordinaattien sisääntuonti.



Kuva 48. Mitattujen tähysten tuominen ohjelmaan.

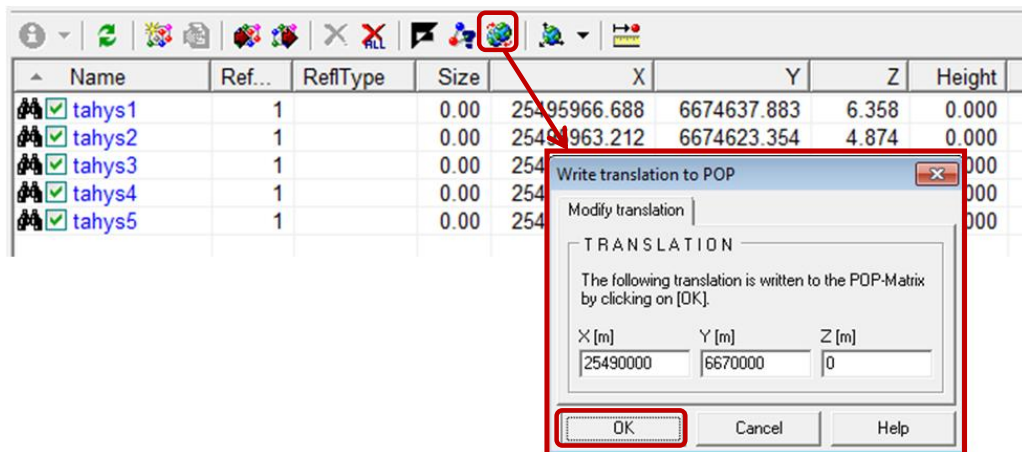


Kuva 49. Mitattujen tähysten koordinaattien muokkaaminen sopiviksi.

Import tiepointlist -ikkunassa (kuva 49) on lista tähysten koordinaateista. Koordinaattilistaa tulee muokata siten, että erotin jakaa sarakkeet oikein. COLUMN SEPARATOR

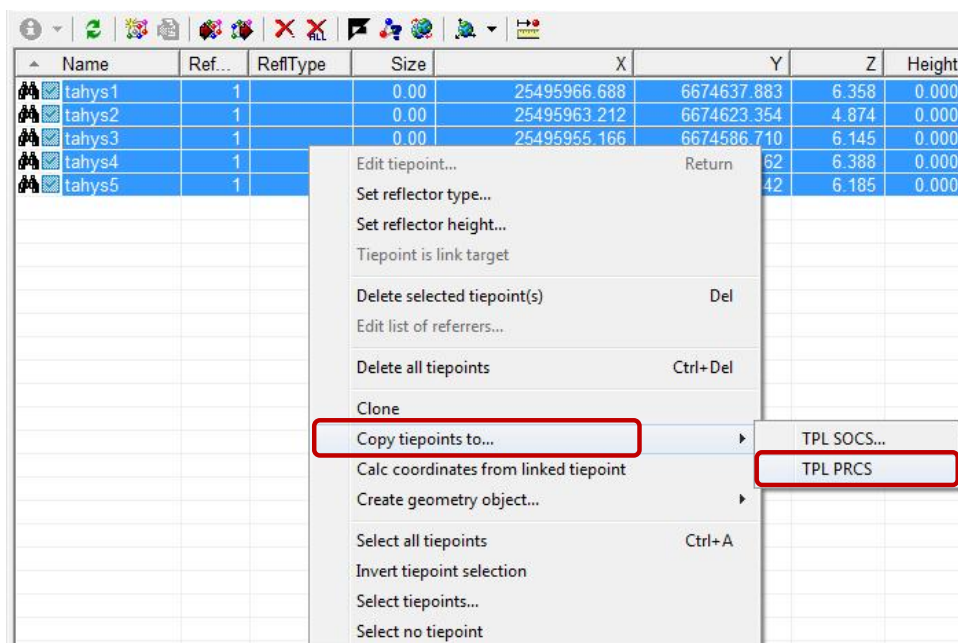
-osiossa voidaan valita sarakkeille sopiva erotinmerkki. Eri ohjelmat toimivat erikätisissä koordinaatistoissa, joten pitää tarkistaa, että y- ja x-koordinaatit tulevat oikein päin. Akselitunnusten vaihtaminen onnistuu raahaamalla Column association -ikkunasta haluttu symboli taulukkoon oikeaan sarakkeeseen. Asetukset hyväksytään OK-painikkeella.

Pisteet avautuvat GLCS:n TPL-ikkunaan. Koska globaalit koordinaatit ovat liian pitkiä ohjelman muunnettaviksi eri koordinaatistojen välillä, tehdään tähysten koordinaateille POP-muunnos, jossa koordinaateille valitaan kertoimet, joita ohjelma käyttää muunnoslaskuissaan pitkien koordinaattien sijasta. POP-muunnos tehdään klikkaamalla Calculate translation for POP -symbolia, josta avautuu Write translation to POP -ikkuna (kuva 50). Hyväksytään asetukset OK-painikkeella. [14]



Kuva 50. POP-muunnos.

Seuraavaksi kopioidaan GLCS:n TPL:ään tuodut tähy pisteet PRCS:n TPL:ään (kuva 51), josta skannausaseman tähyksille haetaan vastinpisteitä rekisteröitäessä tähyksillä. Jos rekisteröinti on jo tehty, voidaan PRCS:n TPL:n kautta etsiä vastinpisteitä GLCS:n TPL:stä.



Kuva 51. Tähysten kopioiminen projektkoordinaatistoon.

#### 8.4 Kolmiointi ja maastomalli

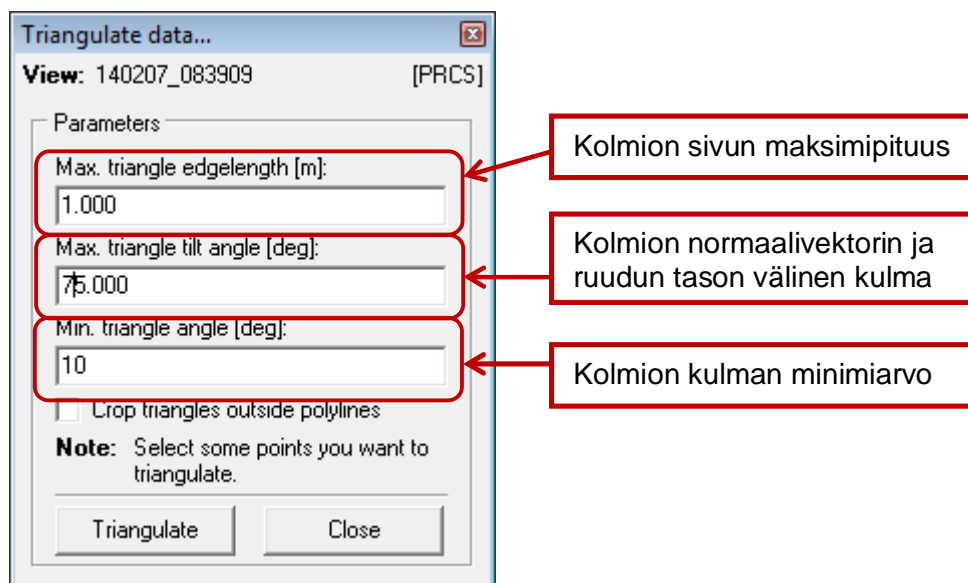
Kolmiointilla tarkoitetaan prosessia, jossa pistepilvestä muodostetaan pinta yhdistelmällä pisteistä kolmioita. Kolmiointia käytetään maastomallin tekemiseen. RiSCAN PROssa on kaksi erilaista kolmiointityyppiä: tasokolmiointi ja polaarinen kolmiointi. Tasokolmiointia käytetään maastomallin tekemiseen, ja se on myös hyödyllinen työkalu valmiin mallin reikien sulkemiseen. Ohjelma käyttää kolmiointissa 2D-Delaynay-algoritmia. Taso, jossa pisteitä verrataan naapureihinsa kolmioiden luomiseksi, määrittyy katselusuunnan perusteella. Polaarinen kolmiointi toimii samoilla periaatteilla kuin tasokolmiointi, mutta siinä kolmioverkko projisoidaan sylinterimuotoiselle kappaleelle eikä tasolle. Polaarista kolmiointia käytetään mallinnettaessa tunneleita. [14; 22, s. 231–233.]

Kolmiointi voidaan tehdä vain yhdelle polydata-aineistolle kerrallaan, koska valmis kolmiointi tallentuu samaan polydata-aineistoon. Ennen pinnan kolmiointia kannattaa polydata-aineisto siivota huolellisesti. Esimerkiksi maastosuodatintyökaluilla aineistosta saa karsittua nopeasti kasvillisuuden ja muut pintaan kuulumattomat objektit, kuten autot ja pylväät. Maastomallia kolmioidessa kannattaa poistaa pisteet, joilla on korkea hajonta, ja harventaa pistepilveä, jotta kolmiointi onnistuu mahdollisimman hyvin. [22, s. 233.]



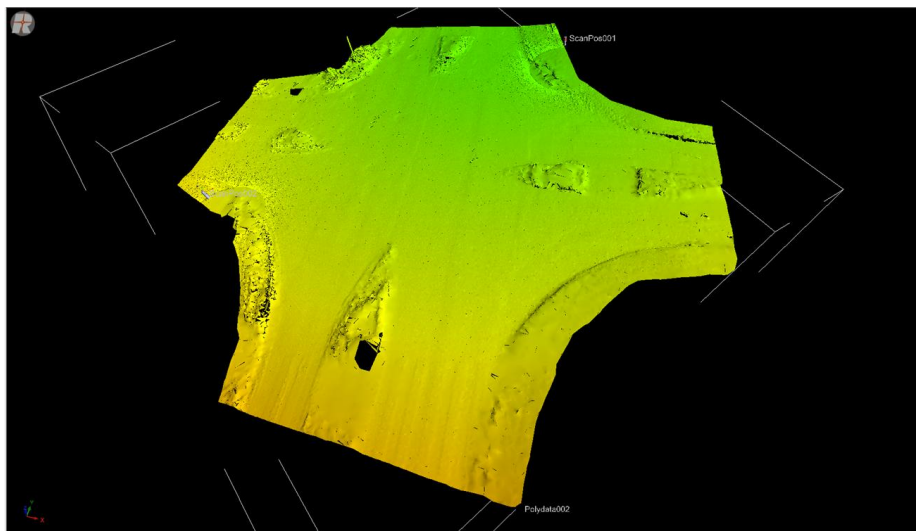
Kuva 52. Objektien poisto ja polydatan luomistyökaluja.

Kolmiointi aloitetaan luomalla uusi polydata alueesta, joka halutaan kolmioida. Raja-taan valintatyökaluilla alue ja klikataan Create new polydata object -symbolia (kuva 52), jolloin valitusta alueesta muodostetaan polydata. Project managerin OBJECTS-kansion alle on syntynyt uusi polydata-symboli. Avataan polydata työskentelyikkunaan ja vali-taan kaikki aineiston pisteet valintatyökalulla ja klikataan hiiren oikealla painikkeella kuvan päällä, jolloin avautuu valikko. Valikosta klikataan Triangulation-kohtaa, josta saadaan auki kolmiointityyppivaihtoehdot. Klikataan Plane triangulation, jos tarkoituk-sena on tehdä maastomalli, jolloin avautuu Tringulate data -ikkuna (kuva 53), jossa voidaan valita kolmiointin asetuksia.



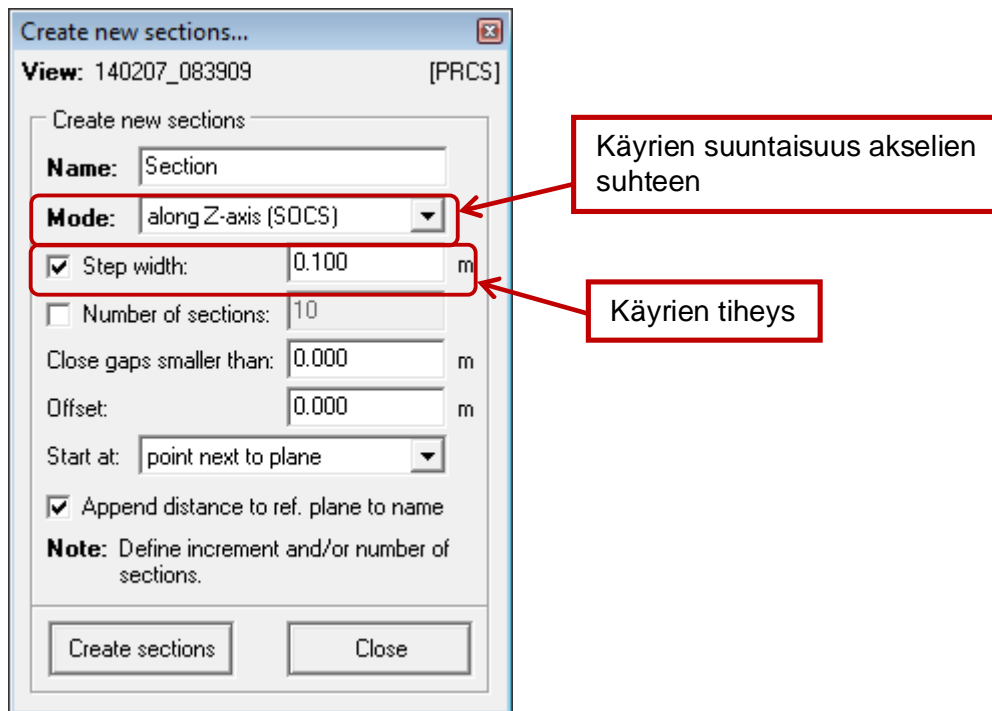
Kuva 53. Kolmiointi.

Triangulate data -ikkunassa määritellään parametrit, joiden mukaan kolmiointi tehdään. Max. triangle edgelenght [m] -kohdassa määritellään kolmion sivun maksimipituus. Mitä pienempi arvo on, sitä paremmin kolmiointi seuraa oikeaa pintaa, mutta tällöin pintaan voi muodostua aukkoja. Max.triangle tilt angle [deg] -kohdassa määritellään kolmion normaalivektorin ja ruudun määrittämän tason muodostama kulma. Jos kulma on isompi kuin annettu arvo, kolmiota ei luoda. Min. triangle angle [deg] -kohdassa määritellään kolmion kulmien minimiarvo, jolla estetään jyrkkien kulmien syntyminen. Halutut asetukset hyväksytään Triangulate-painikkeesta, jolloin aineisto kolmioidaan. Jos kolmiointi ei toteudu halutulla tavalla, voidaan se helposti poistaa Remove selected triangles -symbolilla (kuva 52), jolloin aineisto voidaan kolmioida taas uudelleen. Kuvassa 54 on esitettyinä kolmioitu risteysalue. [14]



Kuva 54. Kolmioitu risteysalue.

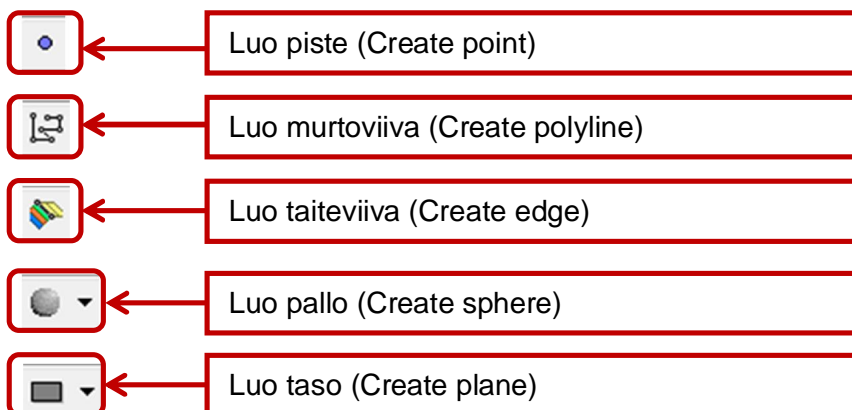
Maastomalliin saa tehtyä korkeuskäyrät klikkaamalla hiiren oikealla painikkeella työkentelyikkunassa ja valitsemalla avautuvasta valikosta New Object ja Section, josta avautuu Create new sections -ikkuna (kuva 55). Ikkunassa voidaan määrittellä korkeuskäyrien asetuksia, kuten käyrien tiheyttä. Create sections -painikkeella hyväksytään asetukset, ja käyrät tulevat näkyviin kuvalla. Myös Object inspector -ikkunassa SECTIONS-kansion alle ilmestyy kunkin käyrän symboli.



Kuva 55. Korkeuskäyrien luominen.

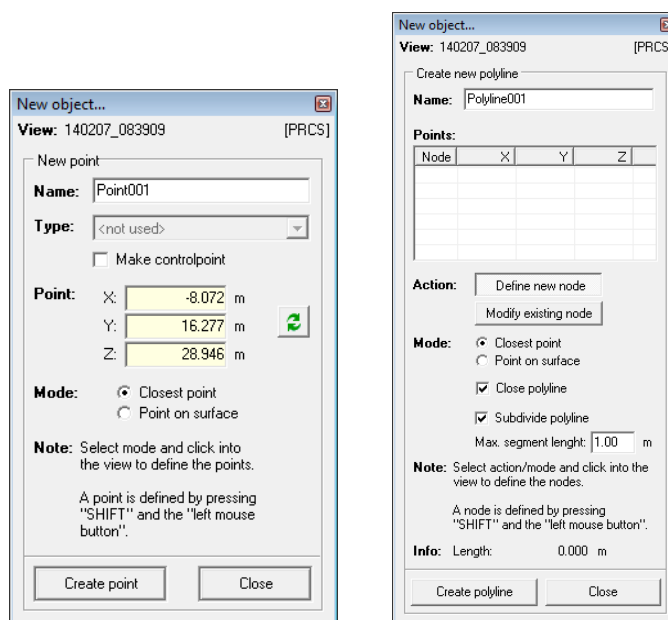
## 8.5 Vektorointi eli mallinnus

RiSCAN PROssa on mahdollista luoda kolmiulotteisia geometrisia kohteita, kuten pisteitä, murtoviivoja, taiteviivoja, palloja, tasoja ja sylintereitä. Työkalupaneelissa on erilaisia työkaluja objektien luomiseen (kuva 56). Taiteviivojen luomisella voidaan vaikuttaa maastomallin tekemiseen. Työkaluilla voidaan esimerkiksi mallintaa reunakivien taiteviivoja. [14]



Kuva 56. Vektorointityökaluja.

Pisteen luominen onnistuu klikkaamalla Create point -symbolia (kuva 56), josta avautuu New object -ikkuna (kuva 57). Ikkunassa voidaan määrittellä luotavan pisteen sijainti syöttämällä pisteen koordinaatit tai klikkaamalla pistettä työskentelyikkunassa käyttäen vaihtonäppäintä. Piste luodaan ja tallennetaan painamalla Create point -painiketta. Pisteen symboli ilmestyy myös OBJECTS-kansion POINTS-kansioon.



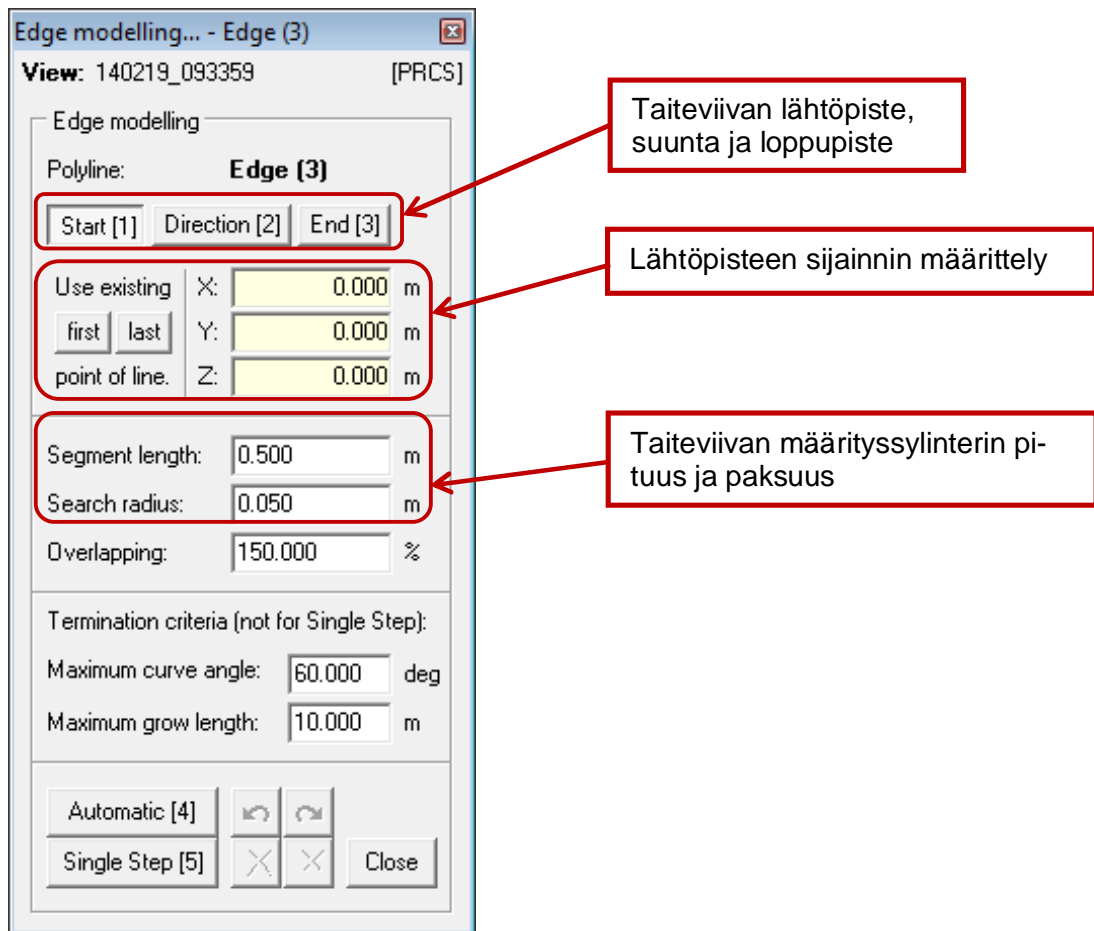
Kuva 57. Vasemmalla pisteenluomisikkunan määrittelyä ja oikealla murtoviivanluomisikkunan määrittelyä.

Murtoviivan luominen ja tallentaminen onnistuu klikkaamalla Create polyline -symbolia (kuva 56), josta avautuu New object -ikkuna (kuva 57), jossa voidaan määrittellä murtoviivan asetuksia. Murtoviivoja käytetään suodattamisen ja tilavuuslaskennan aluerajauksiin. Voidaan luoda murtoviivan noodeja eli viivantaitepisteitä klikkaamalla näyttöä käyttäen vaihtonäppäintä. Murtoviivan voi sulkea painamalla Close polyline -kohtaa. Murtoviiva luodaan ja tallennetaan painamalla Create polyline -painiketta. Murtoviivan symboli ilmestyy myös OBJECTS-kansion POLYLINE-kansioon. [14]

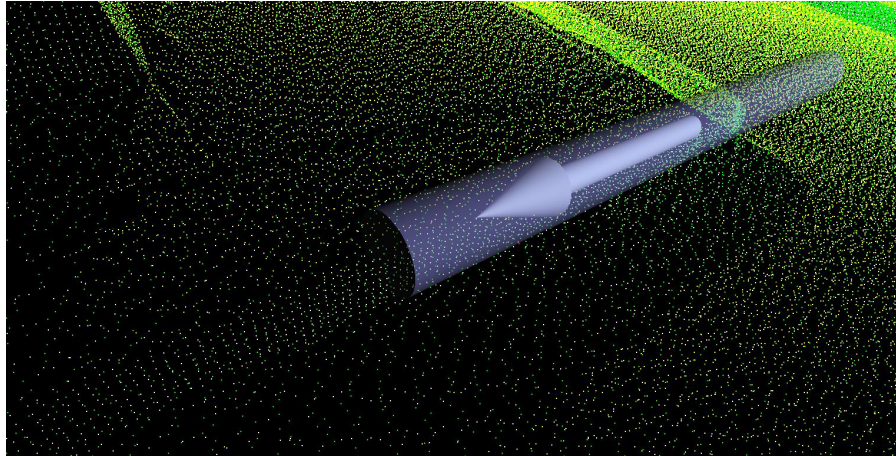
RiSCAN PROssa taiteviivan mallinnus pistepilvestä onnistuu puoliautomaattisesti. Taiteviivan luonti onnistuu klikkaamalla Create edge -symbolia (kuva 56), josta avautuu Edge modelling -ikkuna (kuva 58). Taiteviivan mallinnus pistepilvestä vaatii muutamien lähtötietojen määrittämistä, kuten alkupiste, suunta, loppupiste ja segmentin pituus. Alkupiste määritetään painamalla Start-kohtaa ja klikkaamalla näytöltä haluttu kohta käyttämällä vaihtonäppäintä. Näytölle ilmestyy läpikuultava sylinterinmuotoinen nuoli,



joka muuntuu lähtötietojen määrittysten mukaisesti (kuva 59). Samalla tekniikalla määritellään myös suunta ja loppupiste, jolloin nuoli osoittaa loppupistettä kohden. Säädetään myös segmentin pituus, joka määrittää taiteviivan taitepisteiden maksimietäisyyden toisistaan, ja etsintäsäde, joka määrittää alueen, jonka sisältä pisteitä verrataan taiteviivan muodostamiseksi. Näytöllä tämä näkyy nuolen pituutena ja paksuutena. Taiteviivojen mallinnuksessa käytetty apunuoli on esitettyä kuvassa 59.



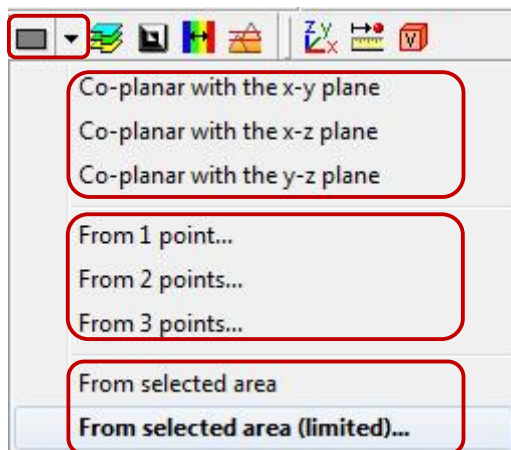
Kuva 58. Taiteviivan vektorointi.



Kuva 59. Taiteviivan määrittämisen apusylinteri.

Mallinnus aloitetaan painamalla joko Automatic-painiketta, jolloin ohjelma luo taiteviivan automaattisesti loppupisteelle asti annettujen määritysten mukaisesti, tai Single Step-painiketta, jolla taiteviivaa mallinnetaan askel kerrallaan seuraavalle taitepisteelle.

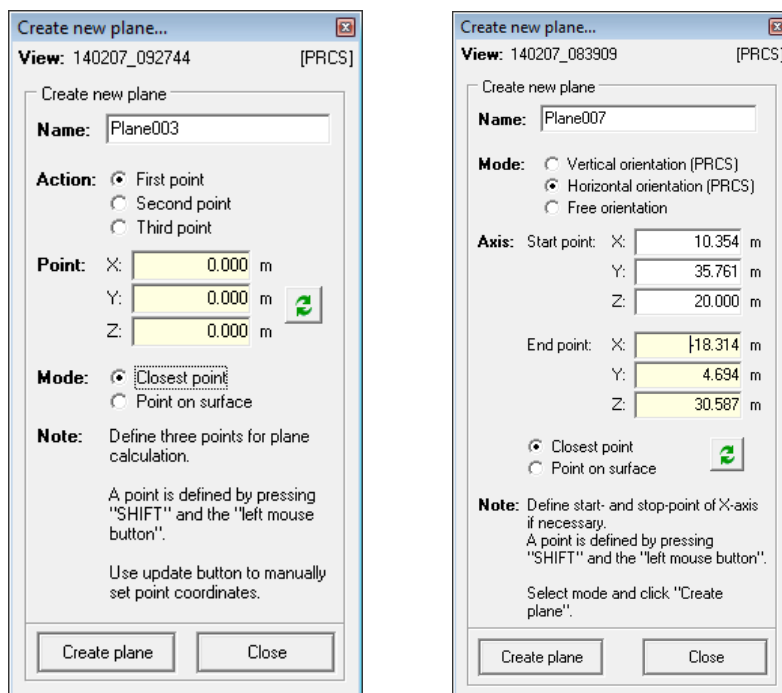
RiSCAN PROssa voidaan myös luoda erilaisia tasoja. Klikataan Create plane-symbolia, josta avautuu valikko erilaisista tasojen muodostustyypeistä (kuva 60). Ensimmäisissä kolmessa tason muodostustyypeissä taso muodostetaan automaattisesti joko x-y-, x-z- tai y-z-akselin suuntaisesti valitun koordinaatiston mukaan. Muodostettu taso tallentuu myös OBJECTS-kansion PLANE-kansioon.



Kuva 60. Tasojenmuodostustyyppejä.

Tasoja voidaan luoda aineistoon myös yhden, kahden tai kolmen osoitetun pisteen avulla. Yhdellä pisteellä määritetty taso määräytyy osoitetulle pisteelle kuvaruudun mukaisesti. Kahdella pisteellä määritetty taso muodostuu kohtisuoraan ruutuun nähden

kahden määritetyn pisteen mukaisesti. Toiminto on mahdollinen vain näkymän ollessa ortogonaalisessa kuvaustyyliässä. Tason määrittäminen kolmella pisteellä onnistuu osoittamalla kuvasta kolme pistettä käyttäen vaihtonäppäintä. Taso muodostetaan osoitettujen pisteiden suuntaisesti. Tämän tasonmuodostustyyppin asetuksia säädetään Create new plane -ikkunassa (kuva 61). [14]



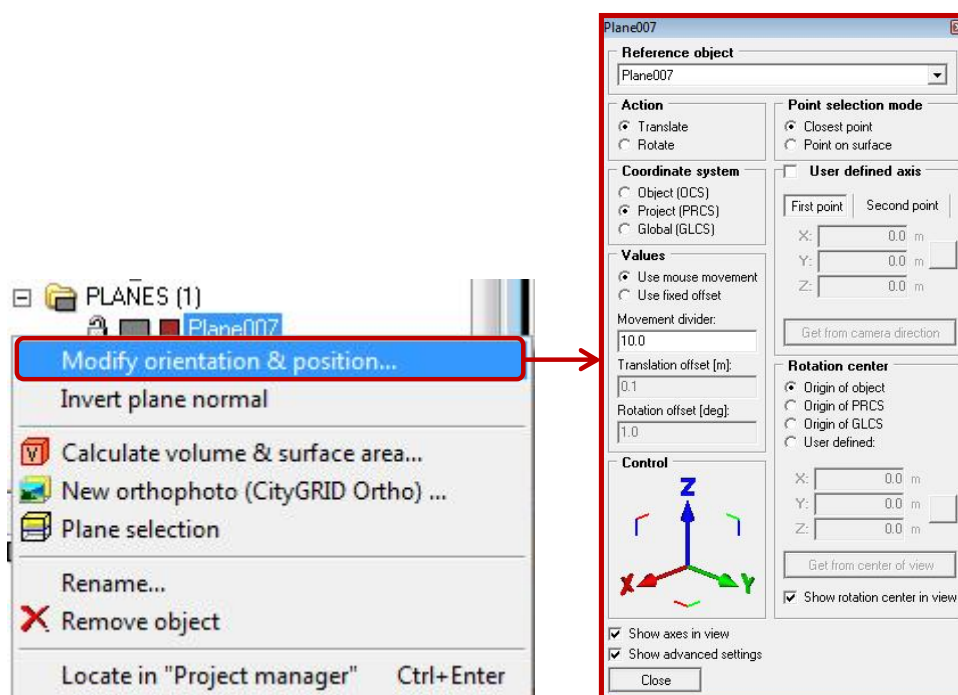
Kuva 61. Vasemmalla on tason luominen kolmella pisteellä (From 3 points). Oikealla on tason luominen valitusta alueesta (From selected area (limited)).

Tasoja voidaan luoda aineistoon myös valittujen alueiden perusteella. Ensin rajataan valintatyökalulla aineistosta jokin alue ja klikataan From selected area -kohtaa, jolloin ohjelma sovittaa uuden tason valitun alueen mukaisesti. Luodulla tasolla ei ole kokorajoitteita.

From selected area (limited) -kohdassa voidaan muodostaa taso myös valitun alueen perusteella, tässä tasonluomistyyppissä voidaan määrittellä tason suuntaa ja kokoa. Avautuneesta Create new plane -ikkunassa valitaan tason asetukset (kuva 61). Taso voidaan määrittää kuvassa valitsemalla aloituskulma vaihtonäppäin pohjassa sekä tason lopetuskulma samalla tavalla, jolloin taso muodostetaan katselukulman suuntaiseksi. Painamalla Create plane taso ilmestyy työskentelyikkunaan ja Object inspector -ikkunaan PLANES-kansioon.

## 8.6 Tilavuuslaskenta

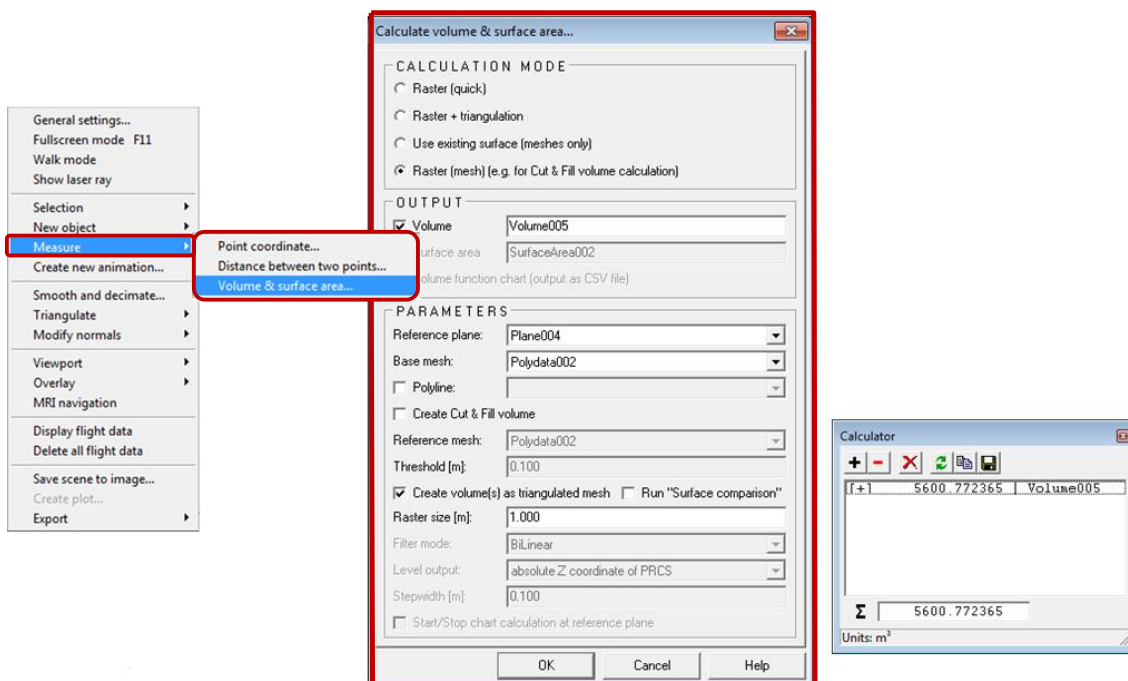
RiSCAN PROssa voidaan tilavuuksia laskea monella eri tavalla. Tilavuutta voidaan laskea pistepilvistä suoraan tai kolmioitujen mallien pohjalta. Tilavuuslaskentaa varten tarvitaan referenssitaso, koska tilavuus lasketaan polydatan (kolmiointi) ja referenssitason välille. Ensimmäiseksi muodostetaan x-y-akselin suuntainen taso. Luodun referenssitason sijaintia ja kokoa voidaan säätää properties-ikkunassa, kun taso on valittu aktiiviseksi Object inspector -ikkunassa. Tason ulottuvuudet säädetään siten, että taso sijoittuu haluttuun kohtaan pistepilven alapuolelle. Tason suuntaa ja paikkaa voidaan myös muuttaa klikkaamalla Object inspectorissa tasonsymbolia hiiren oikealla painikkeella ja valitsemalla Modify orientation ja position -kohta, josta avautuu kyseisen tason niminen ikkuna (kuva 62). Ikkunassa voidaan siirtää ja kiertää tasoa halutussa koordinaatistossa. [14; 22, s. 289–290.]



Kuva 62. Tason ulottuvuuksien määrittäminen.

Tilavuuslaskenta aloitetaan klikkaamalla hiiren oikealla painikkeella työskentelyikkunaa, josta valitaan Measure ja Volume & Surface area. Tästä avautuu Calculate volume & Surface area -ikkuna (kuva 63). Ikkunassa voidaan määrittellä tilavuuslaskennan tyyppi, tilavuuslaskennan nimi, referenssitaso ja muita asetuksia. Laskenta voidaan myös tallentaa visuaaliseen polydata-muotoon laittamalla väkänä Create volume as

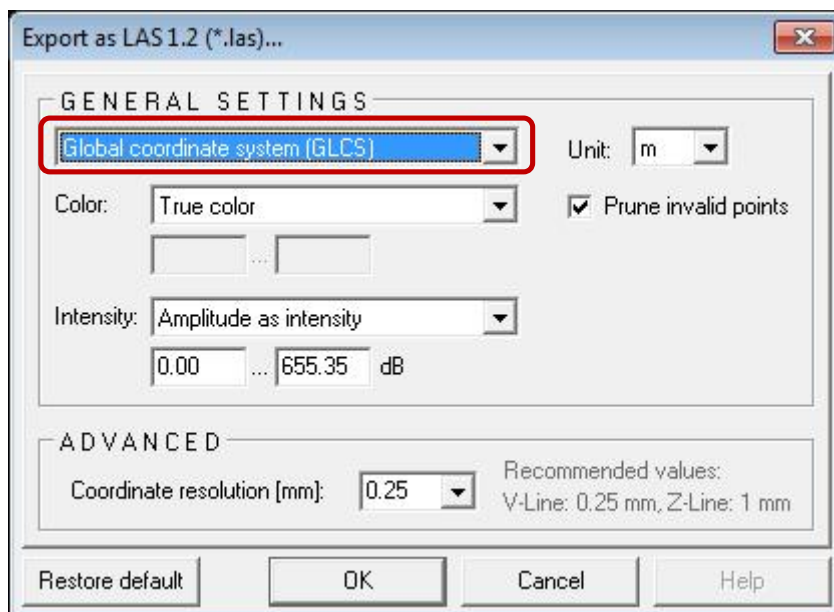
triangulated mesh -kohtaan. Laskenta aloitetaan hyväksymällä asetukset OK-painikkeella, jolloin avautuu myös Calculator-ikkuna (kuva 63), jossa laskettu tilavuus esitetään.



Kuva 63. Tilavuuslaskenta.

## 8.7 Lopputuotteet

Riippuen projektin luonteesta voi lopputuotteita olla hyvin erityyppisiä. Jos pistepilvää tai käsiteltyä polydataa halutaan jatkokäsitellä vielä esimerkiksi MicroStation-ympäristössä, tulee aineistot siirtää ohjelmaan esimerkiksi LAS- tai POD-tiedostomuodoissa. Siirtäminen onnistuu painamalla Project manager -ikkunassa haluttua aineistoa hiiren oikealla painikkeella ja valitsemalla Export, jolloin avautuu tiedoston tallennusikkuna. Valitaan haluttu tallennuspaikka ja tiedostomuoto. Suositeltavaa on käyttää LAS 1.2 -tiedostomuotoa, jossa myös pisteiden väriarvot tallentuvat. Hyväksytään asetukset OK-painikkeella, jolloin avautuu vielä Export as LAS 1.2 -ikkuna (kuva 64), jossa on hyvä muistaa valita haluttu koordinaattijärjestelmä. Valitaan Global coordinate system (GLCS), jolloin tiedosto tallentuu paikallisessa koordinaattijärjestelmässä. MicroStation-ohjelmalla pystyy myös avaamaan suoraan joitain RiSCAN PRO:n tiedostomuotoja. [14]



Kuva 64. Tiedostojen siirto muihin ohjelmiin.

Kannattaa myös miettiä, missä muodossa lopputuote pystytään siirtämään työn tilaajalle. Aineistot voi olla hyvin suuria, jolloin tiedonsiirrossa esimerkiksi sähköpostilla voi olla ongelmallista. Vaihtoehtoisena menetelmänä voidaan aineistot esimerkiksi polttaa CD-/DVD-levylle tai siirtää muistitikulle, jotka toimitetaan eteenpäin.

## 9 Lopuksi

Helsingin kaupungin rakennuspalvelu Stara hankki Riegl VZ-400 maalaserskannerin tehostaakseen mittauspalveluitaan. Tarkoituksena oli hyödyntää laserskannauksia erilaisissa suunnittelu- ja lähtötietojen hankinnassa sekä monipuolistaa Staran toimintamahdollisuuksia erilaisissa mittaustöissä. Jotta laitteen käyttöönotto tapahtuisi mahdollisimman sujuvasti, oli tarvetta saada kootuksi keskeisimpien toimintojen ohjeet, joihin henkilökunta voisi tutustua, joten Staralta ehdotettiin tämän ohjeistuksen laatimista.

Insinööriytyössäni selvitin Riegl VZ-400 -laserskannerin käyttöä sekä aineiston käsittelyä RiSCAN PRO -ohjelmalla. Työssäni käsittelin myös laserskannausprojektin kulkua ja suunnittelua sekä tarkastelin laserskannaustekniikkaa yleisesti. Tavoitteena oli koota Staran näkökulmasta oleellisimmista laserskannausprojektin työvaiheista helposti lähestyttävä ohjeistus, jotta henkilökunta voisi laajentaa osaamistaan laserskannaamisessa ja aineiston käsittelyssä.

Ohjeistuksen laatimisessa haasteellisinta oli Staran mittaus toiminnan kannalta oleellisen tiedon selvittäminen. Koska laitteen ja käsittelyohjelmiston käyttömahdollisuudet ovat laajat ja monipuoliset, jouduin rajaamaan ja tiivistämään ohjeistusta, jotta selkeys säilyisi. Toisaalta laitteen eri toimintoja ja käyttömahdollisuuksia tuli esitellä paikoitellen melko yksityiskohtaisesti, jotta ohjeistus olisi loogisesti seurattavissa, vaikka aihealue ei olisi käyttäjälle ennestään tuttu.

Mielestäni saavutin insinööriyölleni asetetut tavoitteet ja uskoisin, että ohjeistuksesta on hyötyä laserskannerin käytössä sekä aineistojen käsittelyssä varsinkin työtekijöille, joille laserskannaus on uusi mittausmenetelmä. Käyttöohjeiden ohella toivon, että insinööriyöstäni saadaan tarpeellista tietoa laserskannauksen yleisistä periaatteista ja skannausprojektin suunnittelusta, mistä on hyötyä kaikille laserskannauksen parissa työskenteleville ja aiheesta kiinnostuneille. Minulle itselleni insinööriyön tekeminen antoi hyviä valmiuksia tutkimuksellisesta työskentelytavasta ja syvensi tietoutta laserskannerien käytöstä. Laserskannerit tulevat olemaan tulevaisuudessa yhä yleisempi mittausväline.

Uuden mittalaitteen ja ohjelmiston hankkiminen on Staran kokoisessa mittausorganisaatiossa varsin suuri hankinta, ja laitteen käyttöönotto vaatii huolellista suunnittelua. Henkilöstön riittävään kouluttamiseen uuden laitteen käytössä tulee kiinnittää erityistä huomiota, jotta hankinnalle saadaan mahdollisimman suuri hyötysuhde ja virheellisen käytön minimointi. Todellinen hyöty ohjeistuksesta ilmenee vasta tulevaisuudessa, kun laserskannausprojektit yleistyvät Staran mittauspalveluissa ja käyttöohjeita tullaan tarvitsemaan enemmän.

## Lähteet

- 1 Staran esittely. 2013. Verkkodokumentti. Stara.  
<<http://www.hel.fi/hki/Rakpa/fi/Staran+esittely>>. Päivitetty 24.09.2013. Luettu 17.1.2014.
- 2 Helsingin kaupungin rakennusvirasto. 2013. Verkkodokumentti. Wikipedia.  
<[http://fi.wikipedia.org/wiki/Helsingin\\_kaupungin\\_rakennusvirasto](http://fi.wikipedia.org/wiki/Helsingin_kaupungin_rakennusvirasto)>. Päivitetty 14.11.2013. Luettu 17.1.2014.
- 3 Staran organisaation rakenne. 2013. Verkkodokumentti. Stara.  
<<http://www.hel.fi/wps/wcm/connect/4ce4b8004c439f4195d0b558a88902bd/Organisaatiokaavio2013.pdf?MOD=AJPERES&CACHEID=4ce4b8004c439f4195d0b558a88902bd>>. Päivitetty 21.12.2014. Luettu 17.1.2014.
- 4 Joala, Vahur. 2006. Laserkeilauksen perusteita ja mittauksen suunnittelu. Verkkodokumentti. <<https://docs.google.com/file/d/0B3MfAq-wXowIN2Q4MzJIYjktZTA5Ni00ZGMylTlkOWUtNTQzMdlwZTI3NDVm/edit?hl=en&pli=1>>. Päivitetty 30.11.2006. Luettu 31.1.2014.
- 5 Vosselman, George & Maas, Hans-Gerd. 2010. Airborne and Terrestrial Laser Scanning.
- 6 Ruohonen, Sanna. 2007. Faro LS 880 -laserkeilain vapaan keilainaseman menetelmässä. Opinnäytetyö. Tampereen ammattikorkeakoulu.
- 7 Laserkeilausohje. 2014. Verkkodokumentti. Nordic Geo Center.  
<<http://www.geocenter.fi/laserkeilausohje/>>. Päivitetty 18.2.2013. Luettu 9.2.2014.
- 8 Järvinen, Jaakko. 2008. Maalaserkeilauksen tekniikkaa. Positio-lehti. 1/2008, s.16–17.
- 9 Kari, Veera. 2011. Laserkeilaus ja pistepilven käsittely ydinvoimarakentamisessa. Opinnäytetyö. Tampereen ammattikorkeakoulu.
- 10 Laine, Herkko. 2013. Maalaserskannerin hankintaselvitys Helsingin rakentamispalvelu Staralle. Insinööryö. Metropolia Ammattikorkeakoulu.
- 11 Riegl. 2014. Verkkodokumentti. Nordic Geo Center.<<http://www.geocenter.fi/riegl/>>. Luettu 31.1.2014.



- 12 Riegl VZ-400. 2014. Verkkodokumentti. Nordic Geo Center.<<http://www.geocenter.fi/riegl-vz-400/>>. Päivitetty 12.10.2012. Luettu 7.1.2014.
- 13 Riegl-tekniikasta. 2013. Verkkodokumentti. Nordic Geo Center.<<http://www.geocenter.fi/riegl-tekniikasta/>>. Päivitetty 12.2.2013. Luettu 7.1.2014.
- 14 Koulutusmateriaalit. Powerpoint-esitys. Nordic Geo Center.
- 15 Heiska, Nina. Nordic Geo Center. Koulutustilaisuus 3.2.2014, 4.2.2014, 7.2.2014.
- 16 Riegl. VZ-400 Data sheet. 2013.
- 17 3D Terrestrial Laser Scanner Riegl VZ-400 / Riegl VZ-1000. General Description and Data Interfaces. Austria 2013.
- 18 Nikon-D800. 2013. Verkkodokumentti. Nordic Geo Center. <<http://www.geocenter.fi/nikon-d800/>>. Luettu 9.2.2014.
- 19 Cronvall, Timo, Kråknäs, Pasi & Turkka, Tommi. 2012. Laserkeilauksen käyttö liikennetunneleiden kunnossapidon hallinnassa. Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 41/2012. Liikennevirasto.
- 20 Riegl V-sarja: kalibroidun amplitudin ja pulssin keskihajonnan merkitys aineiston laadulle. 2011. Blogi-kirjoitus. Nordic Geo Center.
- 21 Joala, Vahur. 2003. Laserkeilaimien toimintaperiaatteet ja kalibrointi. Verkkodokumentti. <[http://www.google.fi/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=0CC0QFjAA&url=http%3A%2F%2Fmts.fgi.fi%2Fpaivat%2F2003%2Fpaperit%2Fjoala.pdf&ei=F\\_I7U-jhFqvp4gSVz4GoCg&usg=AFQjCNGSxrpcAxkYb9IFxWa5g6VK-3f8UA&bvm=bv.63934634,d.bGE](http://www.google.fi/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=0CC0QFjAA&url=http%3A%2F%2Fmts.fgi.fi%2Fpaivat%2F2003%2Fpaperit%2Fjoala.pdf&ei=F_I7U-jhFqvp4gSVz4GoCg&usg=AFQjCNGSxrpcAxkYb9IFxWa5g6VK-3f8UA&bvm=bv.63934634,d.bGE)>. Päivitetty 23.10.2003. Luettu 3.4.2014.
- 22 Software Description & User's Instructions. RiSCAN PRO. Viewer, Acquisition & Processing Software. 2013.
- 23 Heiska, Nina. 2014. Nordic Geo Center. Sähköpostiviesti.

