



Fotogrammetrian hyödyntäminen ratahankkeissa

Juha-Matti Haantaus

OPINNÄYTETYÖ
Maaliskuu 2024

Rakennustekniikan tutkinto-ohjelma
Infrarakentaminen

TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Rakennustekniikan tutkinto-ohjelma
Infrarakentaminen

JUHA-MATTI, HAANTAUS:
Fotogrammetrian hyödyntäminen ratahankkeissa

Opinnäytetyö 43 sivua, joista liitteitä 2 sivua
Maaliskuu 2024

Opinnäytetyössä selvitettiin fotogrammetrian hyödyntämistä ratahankkeissa. Tarkoituksena oli selvittää kuinka suuri hyöty fotogrammetrialla tuotetuista piste-pilvistä ja ilmakuvasta on ratahankkeissa. Ilmakuva aineisto on kuvattu DJI Mavic 3E dronella ja laskenta on suoritettu sovelluksella Pix4DMapper. Työssä on haastateltu ratahankkeilla työskenteleviä eri osapuolia. Nämä osapuolet ovat tilaajan edustajat, suunnittelijat, mittaustyönjohtajat, tietomallikoordinaattorit, työmaainsinöörit, työnjohtajat ja työpäälliköt.

Opinnäytetyön tuloksena saatiin selvitys, miten fotogrammetriaa voidaan hyödyntää ratahankkeilla. Selvitykseen sisältyy tarvittava kalusto, perustiedot valokuvaamisesta, lennonsuunnittelun perusteet, datan käsittely ja hyödyntäminen.

Työn tulokseksi saatiin fotogrammetrialla luotujen aineistojen olevan hyödyllisiä jokaiselle ratahankkeella työskentelevälle. Ilmakuvan koettiin hyödylliseksi viestinnässä ja työmaaseurannassa. Pistepilveä hyödynnettiin visuaalisessa tarkastelussa, määrälaskennassa ja mallintamisessa.

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Degree Programme in Civil Engineering
Infrastructure Engineering

JUHA-MATTI, HAANTAUS:
Utilization of photogrammetry in railway projects

Bachelor's thesis 43 pages, appendices 2 pages
March 2024

The thesis investigated the utilization of photogrammetry in railway projects. The aim was to determine the extent of the benefits derived from point clouds and aerial imagery produced through photogrammetry in railway projects. The aerial imagery was captured using a DJI Mavic 3E drone and the processing was conducted using the Pix4DMapper application. The study involved interviews with various stakeholders in railway projects, including representatives of the client, designers, surveying supervisors, BIM coordinators, site engineers, supervisors and project managers.

As a result of the thesis, an analysis was obtained on how photogrammetry can be applied in railway projects. The investigation covers the necessary equipment, fundamental information on photography, basics of flight planning, data processing and utilization.

The findings of the study concluded that the datasets created through photogrammetry are beneficial for everyone involved in railway projects. Aerial imagery was perceived as valuable in communication and site monitoring, while point clouds were utilized in visual inspections, quantity surveys and modeling.

Key words: photogrammetry, railway project, drone

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	7
2	TAUSTOITUSTA.....	8
	2.1 Fotogrammetria.....	8
	2.2 Kolmiolaskenta.....	8
	2.3 Valokuvaaminen.....	9
	2.3.1 F-luku	10
	2.3.2 ISO-arvo	11
	2.3.3 Suljinaika	11
3	KALUSTO	12
	3.1 Dronet	12
	3.2 Mittalaitteet.....	13
	3.3 Tietokoneet	14
	3.4 puhelin/kamera.....	15
4	MITTAUSTEKNISET ASIAT	16
	4.1 GCP	16
	4.2 GCP-pisteiden mittaaminen	17
5	DRONEN LENNÄTTÄMINEN	18
	5.1 Lupa-asiat	18
	5.2 Turvallisuus	18
	5.3 Ympäristö.....	19
	5.4 Sää.....	19
	5.4.1 Sade ja kosteus	19
	5.4.2 Tuuli.....	20
	5.4.3 Lämpötilat.....	20
	5.5 Lennon suunnittelu.....	21
	5.6 Ennen automatisoitua lentoa.....	21
	5.7 Automatisoitu lento.....	22
6	DATAN PROSESSOINTI	23
	6.1 PIX4Dmapper.....	23
	6.1.1 Kuvien lataaminen ohjelmaan	24
	6.1.2 Asetukset.....	25
	6.1.3 Alkuprosessointi	26
	6.1.4 Georeferointi.....	26
	6.1.5 Pistepilven ja ortomosaiikin prosessointi	27
	6.2 DJI Terra	28
7	DATAN KÄSITTELEMINEN TARKEAINEISTOKSI.....	29

7.1 Haasteet.....	29
7.2 Tarkkuustarkastelu.....	29
7.3 Tarkemittausaineisto	30
7.4 Käsittelyprosessi	31
7.4.1 CloudCompare	31
7.4.2 3D-Win	32
8 DATAN HYÖDYNTÄMINEN	34
8.1 Suunnittelijat	34
8.1.1 Ilmakuva suunnittelijoiden näkökulmasta	34
8.1.2 Pistepilvi suunnittelijoiden näkökulmasta.....	34
8.2 Tilaajan edustajat.....	35
8.2.1 Ilmakuva tilaajan edustajien näkökulmasta	35
8.2.2 Pistepilvi tilaajan edustajien näkökulmasta.....	35
8.3 Tietomallikoordinaattorit	35
8.3.1 Ilmakuva tietomallikoordinaattorien näkökulmasta	35
8.3.2 Pistepilvi tietomallikoordinaattorien näkökulmasta.....	36
8.4 Mittaustyönjohtajat	37
8.4.1 Ilmakuva mittaustyönjohtajien näkökulmasta	37
8.4.2 Pistepilvi mittaustyönjohtajien näkökulmasta.....	38
8.5 Työmaa	39
8.5.1 Ilmakuva työmaan näkökulmasta	39
8.5.2 Pistepilvi työmaan näkökulmasta.....	40
9 YHTEENVETO JA POHDINTA.....	41
LÄHTEET	42
LIITTEET	44
LIITE 1. Haastattelulomake.....	44

TERMIT

Aakkosjärjestyksessä

CMOS	Digitaalikameroissa käytettävän valoherkän kennon tyyppi.
Drone	Miehittämätön ilma-alus.
GSD	Ground Sampling Distance. Kuvapikselin koko muutettuna pituudeksi maastossa.
GCP	Ground Control Point. Maasignaali.
GNSS	Global Navigation Satellite System. Maailmanlaajuisella satelliittinavigointijärjestelmällä.
Georeferointi	Aineiston liittäminen koordinaatistoon tunnettujen pisteiden avulla.
IP-luokitus	Arvo, joka ilmaisee laitteen sietokykyä vedelle ja pölylle.
LIDAR	Light Detection And Ranging.
ND suodin	Neutral density filter.
Ortomosaiikki	Kuva mikä muodostuu useista kuvista, joka muodostaa kohtisuoraan kuvatun ilmakuvan. Opinnäytetyössä ilmakuvalla viitataan ortomosaiikkiin
Pistepilvi	Koostuu miljoonista yksittäisistä koordinaattipisteistä, jotka muodostavat kolmiulotteisen aineiston.
Pisteen luokitus	Pintojen erottelutapa pistepilvestä.
RTK	Real Time Kinematic. Reaaliaikainen korjaussignaali GNSS-järjestelmälle.
VLOS	Visual line of sight. Suora näköyhteys.
TAMK	Tampereen ammattikorkeakoulu
op	240

1 JOHDANTO

Fotogrammetriaa hyödynnetään jatkuvasti enemmän rakennushankkeilla digitalisaation myötä. Fotogrammetrialla saadaan luotua pistepilviä ja ilmakuvia rakennushankkeiden hyödyksi. Tässä opinnäytetyössä keskitytään ratahankkeilla saataviin hyötyihin ja haasteisiin.

Opinnäytetyön toimeksiantaja on Kreate Oy. Kreate on infra-alan yritys, jonka liiketoiminta kattaa mm. silta-, väylä, rata- ja pohjarakentamisen osa-alueet. Kreatella on yli 450 työntekijää. Kreaten liikevaihto oli 320 miljoonaa euroa vuonna 2023. (Kreate 2024)

Kreaten ratahankkeilla on hyödynnetty droneja vuodesta 2022 saakka ja hyödyntämisen uskotaan vain lisääntyvät kehittyvät hankkeiden digitalisaation ansiosta. Opinnäytetyön tarkoitus on selvittää fotogrammetrian hyödyntämistä ratahankkeissa sekä tutkia ja selvittää mahdollisuutta hyödyntää fotogrammetrialla tuotettua pistepilveä tarkeaineiston tukena. Opinnäytetyössä käydään läpi kuvausprosessi, kuvauksesta saadun datan prosessointi ja datan hyödyntämiseen projektin eri tehtävätahoilla.

Työssä käydään läpi kuvaukselle oleelliset kameran asetukset ja kuvanlaadun tavoitteet, georeferoinnille tärkeät mittaustekniset asiat laadun varmistamiseksi, lentosuunnitelmaan ja lentämiseen liittyvät turvallisuus- ja ympäristöasiat ja datan prosessoinnin pääpiirteet ja datan hyödyntäminen tehtäväkohtaisesti.

2 TAUSTOITUSTA

2.1 Fotogrammetria

Fotogrammetria on useisiin kuviin perustuva mittausmenetelmä, jolla tuotetaan kaksiulotteisista kuvista kolmiulotteisia malleja. Fotogrammetria hyödyntää mallien luomiseen kolmiolaskentaa. Valokuvat kuvataan yleisesti dronea hyödyntäen. (Tietoa n.d.)



KUVA 1 Fotogrammetrialla luotu pistepilvi

2.2 Kolmiolaskenta

Kolmiolaskentaa hyödynnetään fotogrammetriassa. Kun kohteesta on vähintään kaksi valokuvaa eri kuvakulmasta, voidaan muodostaa vektorit kameroiden ja kohteen väliin. Vektorien avulla voidaan ratkaista matemaattisesti X-, Y- ja Z-koordinaatit (kuva 2). (Geodetic Services, Inc n.d 4.)

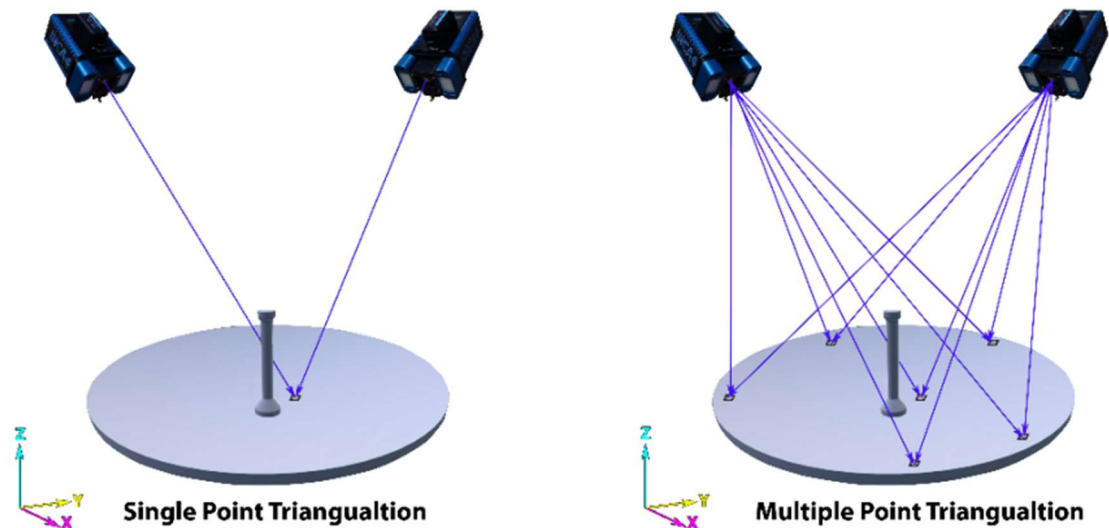


Figure 8: Single and multiple point triangulation.

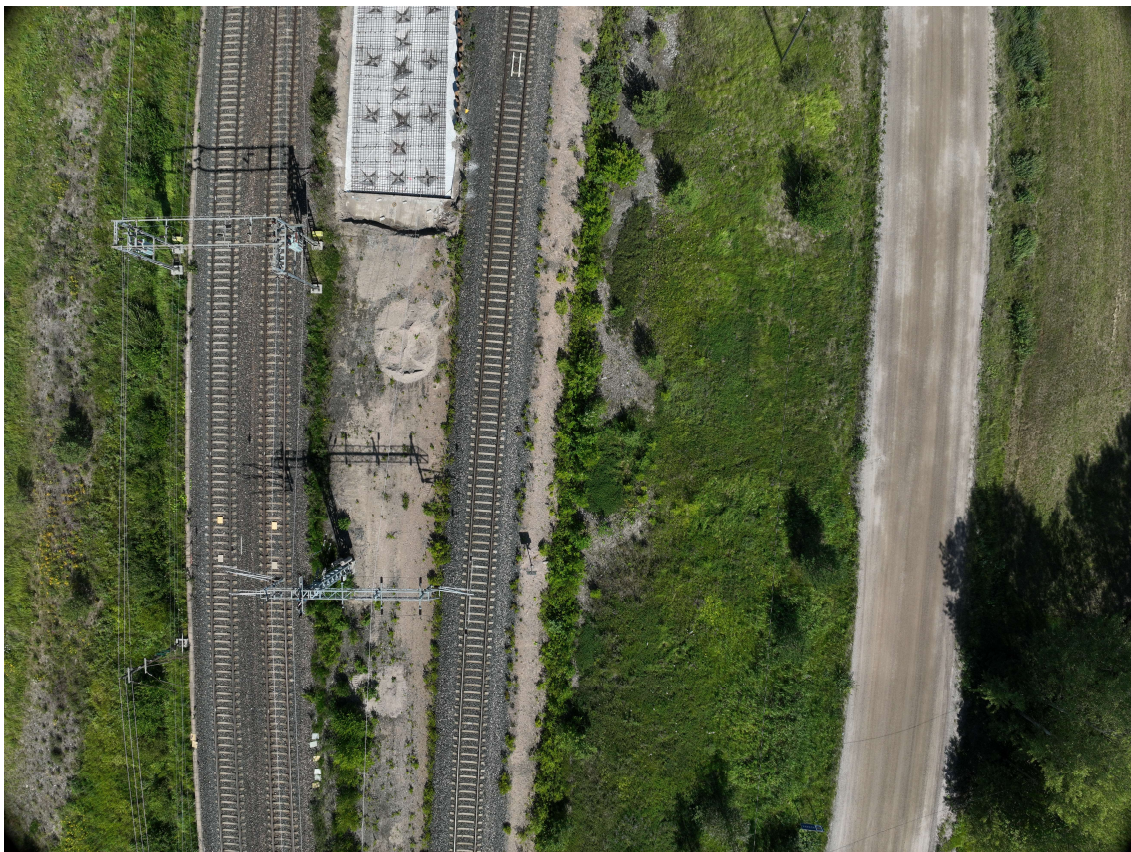
KUVA 2 kolmiolaskennan periaate (Geodetic Services, Inc n.d, 10.)

2.3 Valokuvaaminen

Laadukkaiden valokuvien ottaminen on fotogrammetrian perusta. Mahdollisimman laadukkaan tuloksen takaamiseksi pitää valokuvien olla laadukkaita. F-luku eli aukko, ISO-arvo ja suljinaika ovat valokuvauksessa kolme tärkeintä asetusta.

Fotogrammetrian kannalta näitä kolmea asetusta pitää tasapainottaa niin että saadaan terävä kuva, jonka valotusarvo on -0.7 ja 0 välillä. Polttoväli tulee pitää samana jokaisella kuvausvälillä.

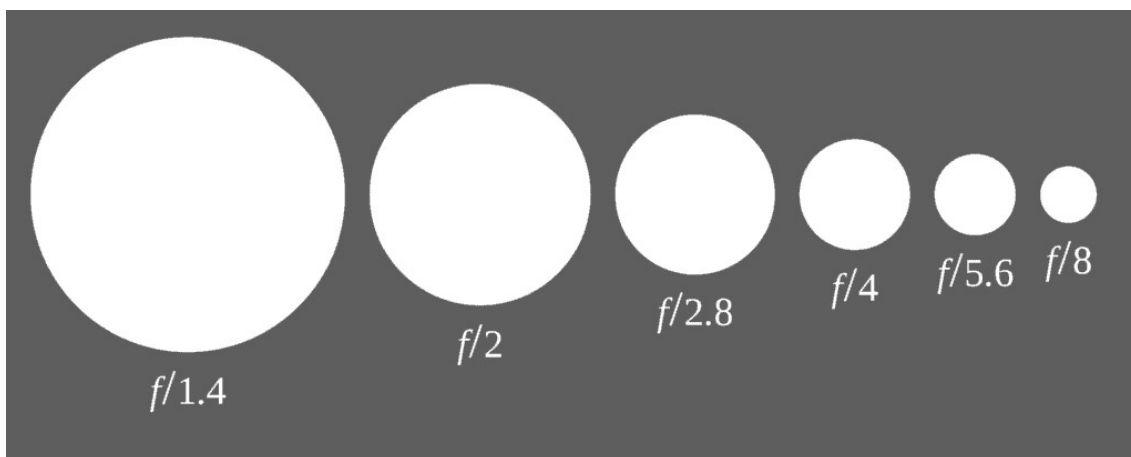
Dronen lentokorkeus vaikuttaa GSD-arvoon. Mitä korkeammalla drone lentää sitä suurempi GSD-arvo on ja ilmakuvan kuvatarkeus pienenee. Lentokorkeus tulee päättää halutun GSD-arvon ja turvallisuuden määrääminä.



KUVA 3 DJI Mavic 3E, ND4-suodin, F/5.6, ISO-100, 1/200 (kuva: Haantaus)

2.3.1 F-luku

F-luku eli aukko tarkoittaa objektiivissa olevan aukon kokoa (kuva 4). Tämä määrittää kuinka paljon valoa pääsee kameraan. Mitä pienempi F-luku, sitä suurempi on fyysinen aukko. (Kamerakoulu.fi n.d.a)



KUVA 4 Havainnollistava kuva F-luvun ja aukon toimintaperiaatteesta (Kamerakoulu.fi n.d.)

F-luvulla on vaikutus syväterävyyteen. Syväterävyydellä viitataan etäisyysalueeseen, jolta kameralla otettu kuva on terävyydeltään hyväksyttävä. (Sony n.d.)

Fotogrammetrisissa ratkaisuissa pyritään pitämään F-luku mahdollisimman suurena. Suuri F-luku mahdollistaa koko kuvausalueen terävyyden syvyydestä huolimatta.

2.3.2 ISO-arvo

ISO-arvolla ilmaistaan, kuinka paljon kennolle tulevaa signaalia vahvistetaan. Mitä pienempi ISO-arvo, sitä vähemmän kenno on herkkä valolle ja kohina on pienempää. Pienellä ISO-arvolla saadaan teknisesti laadukkaimmat kuvat. Pienen ISO-arvon haasteeksi muodostuvat ympäristön riittävä valoisuus. (Kamerakoulu.fi n.d.b)

Fotogrammetrisissa ratkaisuissa pyritään pitämään ISO-arvo mahdollisimman pienenä. Pienen ISO-arvo vähentää kohinaa.

2.3.3 Suljinaika

Suljinajalla tarkoitetaan aikaa, kuinka kauan valoa päästetään kennolle. Suljinaika ilmaistaan sekunteina. Usein suljinaika on pienempi kuin sekunti, jolloin aika ilmaistaan murtolukuna. Suljinajalla vaikutetaan siihen, miten liike kuvantuu. Lyhyellä suljinajalla nopeakin liike saadaan pysähtymään kuvaan. (Kamerakoulu.fi n.d.c)

Dronella kuvatessa suljinajan on hyvä olla kohtuullisen lyhyt. Lyhyellä suljinajalla estetään dronen liikkeestä aiheutuva liike-epäterävyys.

3 KALUSTO

3.1 Dronet

Dronella tarkoitetaan miehittämätöntä ilma-alusta, jota ohjataan joko automaattisesti tai kauko-ohjattuna. Dronet luokitellaan moniroottoriin ja kiinteäsiipisiin. Moniroottorisien toimintaperiaate on sama kuin helikoptereissa eli dronessa ei ole kiinteitä siipiä. Kiinteäsiipisten dronejen toimintaperiaate on samankaltainen kuin lentokoneissa. Kummallakin tyypillä on omat käyttökohteensa. (Liikenne- ja viestintävirasto Traficom 2023a)

Dronen valinnassa on tärkeää ottaa huomioon painoluokka, lennettävän alueen laajuus ja dronen ominaisuudet. Oikean tyyppisen dronen valinta lisää turvallisuutta ja tehostaa työtoimintaa.

Tässä opinnäytetyössä käytettiin DJI Mavic 3 Enterprise dronea (kuva 5). Tämä drone lukeutuu moniroottoriin. Tärkeimmät dronen ominaisuudet ovat käyttölämpötila (-10–40°C), maksimi tuulen nopeus lennättäessä (12 m/s), mekaaninen suljin, 4/3” CMOS-kuvakenno ja 20 megapikselin kuvatarkkuus (DJI Enterprise n.d.). Droneen on asennettu lisävarusteina RTK-moduuli ja ND harmaasuodatin.

Kreatella droneja hyödynnetään rakennushankkeiden tukena. Dronen käyttö hankkeilla tulee lisääntymään digitalisaation myötä.



KUVA 5 Työssä käytetty DJI Mavic 3E (kuva: Haantaus)

3.2 Mittalaitteet

Mittalaitteilla tarkoitetaan usein GNSS-paikanninta tai takymetria. Mittalaitteiden rooli tässä opinnäytetyössä on koordinaattien mittaaminen GCP-pisteille.

GNSS-paikannin perustuu satelliittien antamaan sijaintitietoon, jota tarkennetaan korjaussignaalin avulla. GNSS-paikantimen tarkkuus on noin 2–3 cm XY-suunnassa ja korkeus noin 4–5 cm korkeustasossa.

Takymetrin tarkkuus on millimetri luokkaa riippuen takymetrin kulmatarkkuudesta. GCP-pisteitä mitatessa takymetrillä päästään tarkempaan lopputulokseen.

3.3 Tietokoneet

Fotogrammetriaohjelmistot käyttävät kymmeniä algoritmeja tuottaakseen tarkkoja tuloksia. Tietokoneelta vaaditaan paljon tehoa raskaiden laskelmien tekemiseen. Ohjelmiston kehittäjät antavat usein minimi ja suositellut vaatimukset tietokoneelle. (Pix-pro 2022)

Kreatella on käytössä PIX4Dmapper -ohjelmisto. Ratahankkeet ovat yleisesti pitkiä ja linjamaisia, jolloin kuvattavaa on paljon. Ohjelmiston tukisivuilta löytää suositellut vaatimukset tietokoneelle ottaen huomioon kuvamäärät. Esimerkkinä jos kuvia otetaan noin. 2000 kpl tulisi tukisivujen mukaan koneessa olla 4 tai 6 ytiminen prosessori, 2 GB keskusmuistilla varustettu näytönohjain, 64 GB keskusmuistia ja vähintään 120 GB tallennustilaa vapaana. Yli 2000 kuvan projekteihin sivusto suosittelee PIX4Dmatic -ohjelmaa. (PIX4D n.d.a)

Käsiteltävää dataa muodostuu paljon. Riippuen sovitusta kuvausvälistä ja hankkeen pituudesta datan lataaminen pilveen ei ole käytännöllistä. Ulkoinen kovalevy on hyvä vaihtoehto tiedon säilömiseen.

3.4 puhelin/kamera

Drone ei ole ainoa työkalu, jolla voidaan valokuvata. Pienissä kohteissa missä koordinaatistolla ei ole suurta merkitystä voidaan kohde kuvata esimerkiksi puhelimen kameralla. Tämä mahdollistaa fotogrammetrian hyödyntämisen nopeasti ja ilman erillistä kalustoa. Kuvaamisen apuna voi käyttää esimerkiksi PIX4Dcatch -sovellusta. Sovellus auttaa kuvaamisessa ja hyödyntää puhelimesta mahdollista olevaa lidar-sensoria.

Kun kohde kuvataan ilman GCP-pisteitä ja halutaan aineisto mittakaavaan pitää kuvattavaan kohteeseen lisätä mittanauha tai määritetyn mittainen esine millä voidaan aineisto skaalata mittakaavaan.

Esimerkkinä käyttökohteesta: Työmaalle on tuotu maa-aineksia vaihteen vaihtoa varten valmiiksi ja määristä halutaan varmistua. Työmaalla oleva henkilö asettaa mittanauhan näkyville maa-aineskasan viereen ja valokuvaa tai videokuvaa kohteen ympäri. Kohde on kuvamäärältään pieni, joten prosessointiajat PIX4Dmapper -sovelluksessa ovat lyhyet. Määristä saadaan varmuus nopeasti.

4 MITTAUSTEKNISET ASIAT

4.1 GCP

GCP-pisteet ovat merkkejä maastossa, joille on mitattu koordinaatit. GCP-pisteet ovat usein ulkomuodoltaan shakkilaudan tai ristin muotoisia (kuva 6). Väriytykseltään GCP-pisteet ovat usein mustavalkoisia. Korkea kontrastisen väriytyksen ansiosta pisteet on helpompi huomata ilmakuva-aineistosta. (PIX4D n.d.b)



KUVA 6 GCP-piste suljetulla sillalla (kuva: Haantaus)

GCP-pisteet tehdään maastoon ennen lennon suoritusta. GCP-pisteiden sijainnit suunnitellaan lentoalueen mukaan niin että alueen nurkissa ja mahdollisesti keskellä on pisteet ns."noppavitonen". Tämä varmistaa mahdollisimman laadukkaan georeferoinnin.

4.2 GCP-pisteiden mittaaminen

GCP-pisteet tulee mitata takymetrilla tai GNSS-RTK-mittalaitteella. Ratahankkeilla on yleensä käytettävissä kiintopisteitä, joiden apuna käyttäen on hyvä mitata koordinaatit GCP-pisteille. Näin saadaan lentoaineisto sidottua mahdollisimman tarkasti koordinaatistoon ja minimoitua korkeusheitot. (Saraste 2024)

Lento on mahdollista tehdä myös ilman GCP-pisteitä, mikäli dronessa on RTK ominaisuus. Tällöin aineiston tarkkuuden määrittäminen tulee epävarmaksi ja käyttömahdollisuudet tämän myötä saattavat heikentyä.

5 DRONEN LENNÄTTÄMINEN

5.1 Lupa-asiat

Väyläviraston rautatiealueella kuvaaminen on luvanvaraista. Lupaa voi hakea lähettämällä hakemuksen osoitteeseen kuvausluvut(at)vayla.fi. Hakemuksesta pitää selvittää kuvausajankohta, kuvausalue, kuvaussuunnitelma, kuvausryhmän koko, kuvauskalusto ja vastuullisen henkilön yhteystiedot. (Väylävirasto 2020)

Luvan saaja on vastaa kuvaustöihin liittyvistä kustannuksista ja on vastuussa mahdollisesti aiheutetuista haitoista ja vahingoista. Kuvaamisen aikana tulee noudattaa voimassa olevia yleisiä dronesääntöjä ja väyläviraston ohjeistuksia. Kuvauksen aikana ei saa aiheuttaa vaaraa tai häiriötä junaliikenteelle eikä matkustajille. (Väylävirasto 2020)

5.2 Turvallisuus

Dronea lennättäessä tärkeintä on oma ja muiden ihmisten turvallisuus. Ilmailussa mainitaan usein tilannetietoisuus. Tilannetietoisuudella tarkoitetaan kauko-ohjaajan kykyä hallita koko tilannetta. Lennon aikana on kyettävä ymmärtämään oma toiminta ja mahdolliset muuttujat tai poikkeustilanteet. Hyvä tilannetietoisuus lisää turvallisuutta. (Liikenne- ja viestintävirasto Traficom 2023b)

Kauko-ohjaajan suorituskykyyn vaikuttaa monta tekijää. Kauko-ohjaajan pitää tunnistaa nämä tekijät pitääkseen suorituskyvyn hyvänä. Kauko-ohjaaja ei saa olla päihtynyt tai väsynyt. Ulkopuoliset häiriötekijöitä tulee minimoida.

Lentoa suorittaessa on huolehdittava suorasta näköyhteydestä droneen (VLOS). Suoran näköyhteyden lisäksi on pidettävä turvallinen etäisyys ihmisiin, eläimiin, rakennuksiin, ajoneuvoihin ja muihin ilma-aluksiin. Turvaetäisyydet muuttuvat alakategorian mukaan. (Liikenne- ja viestintävirasto Traficom 2023b)

Opinnäytetyötä tehdessä on noudatettu Alakategorian A2 sääntöjä. Alakategoriassa A2 saa lentää ihmisten lähellä vähintään 30 m vaakasuoralla etäisyydellä.

Lentokorkeuden noustessa yli 30 m, tulee etäisyyttä kasvattaa 1:1-säännön mukaisesti. Esimerkiksi jos lentokorkeus on 60 m tulee vaakasuoran turvaetäisyyden olla vähintään 60 m (Liikenne- ja viestintävirasto Traficom 2023c). Ratahankkeilla tämä on usein helppo saavuttaa ottaen huomioon mahdolliset syrjäiset sijainnit.

5.3 Ympäristö

Suomen ilmatilassa on olemassa useita alueita ja ilmatiloja, jotka ovat kiellettyjä tai rajoitettuja joko tiettyinä aikoina tai jatkuvasti. Alueille voi olla mahdollista anoa lupaa (Liikenne- ja viestintävirasto Traficom 2023b). On tärkeää tuntee ympäristön ja suunnitellun lentoreitin, jotta lento olisi mahdollisimman turvallinen ja häiritsee ympäristöä mahdollisimman vähän.

5.4 Sää

Säällä on suuri merkitys dronen lennättämiseen. Dronen kauko-ohjaajan vastuulla on tietää valmistajan ohjeistukset eri sääolosuhteista. Kauko-ohjaajan on tiedettävä lämpötilan, kosteuden ja tuulen vaikutus dronetoimintaan.

Ilmatieteenlaitos tarjoaa dronesääpalvelua. Palvelussa esitetään lennättämiseen kriittiset sääparametrit taulukkomuodossa maanpinnasta aina 1000 metriin saakka. Palveluun on kehitetty liikennevaloväriytykset. (Ilmatieteenlaitos n.d.)

5.4.1 Sade ja kosteus

Droneilla ei yleisesti ole IP-luokitusta. Ilman IP-luokitusta drone on altis kosteuden aiheuttamille häiriöille ja vaurioille. Tämän takia dronen lennättämistä tulee välttää sumussa, liian suuressa ilman kosteudessa sekä vesi- ja lumisateessa. (Liikenne- ja viestintävirasto Traficom 2023d)

5.4.2 Tuuli

Tuulella on suuri vaikutus droneen. Dronen tyyppi, paino, painopiste, koko ja hyötykuormat vaikuttavat paljon siihen kuinka paljon tuuli vaikuttaa droneen. Turvallisen lennon varmistamiseksi kauko-ohjaajan on noudatettava valmistajan antamaa ohjeistusta maksimi tuulen nopeudesta. (Liikenne- ja viestintävirasto Traficom 2023d)

Tuuli vaikuttaa dronen virrankulutukseen. Dronen järjestelmät varoittavat tuulen nopeudesta mutta eivät ota huomioon tuulen vaikutusta virrankulutukseen. Turvallisen lennon varmistamiseksi tuuli on otettava huomioon jo lentoa suunniteltaessa. (Liikenne- ja viestintävirasto Traficom 2023d)

5.4.3 Lämpötilat

Kylmä ilma vaikuttaa droneihin. Kylmissä olosuhteissa tulee ottaa huomioon jäätäminen, akkujen kestävyys, vaikutukset droneen ja radio-ohjaimen ja vaikutus kauko-ohjaajaan. (Liikenne- ja viestintävirasto Traficom 2023d)

Jäätäminen tapahtuu, kun ilman lämpötila ja kastepiste kohtaavat. Tällaisissa olosuhteissa dronen potkureihin muodostuu jäätä. Kun jäätä muodostuu potkureihin dronen paino nousee ja nostokyky vähenee. Kun jäätä muodostuu tarpeeksi drone ei pysy ilmassa. (Liikenne- ja viestintävirasto Traficom 2023d)

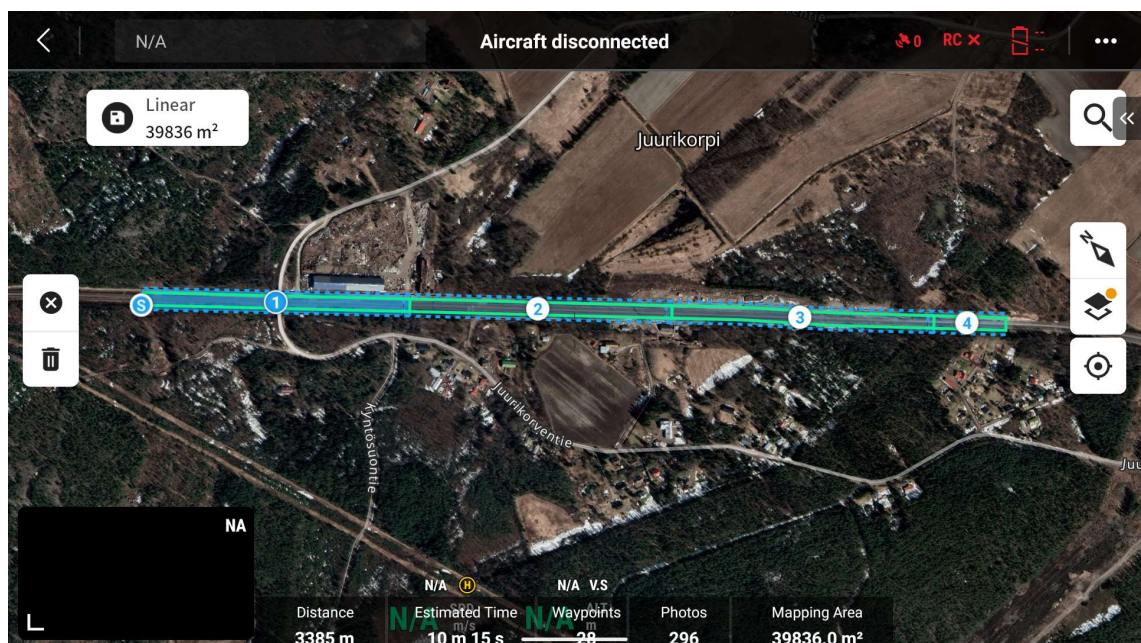
DJI Mavic 3E varoittaa jäätämisestä. Jos joutuu tilanteeseen missä jäätä on muodostunut niin paljon, että drone varoittaa tulee drone laskea välittömästi turvalliseen paikkaan. Dronea ei tule yrittää ohjata laskeutumispisteelle takaisin turvallisuuden takia.

Kylmässä akkujen kyky luovuttaa energiaa heikkenee. Heikentyneestä energian luovutuksesta voi aiheutua äkillinen varauksen loppuminen. Akut tulee pitää lämpimänä ennen käyttöä esimerkiksi autossa. (Liikenne- ja viestintävirasto Traficom 2023d)

5.5 Lennon suunnittelu

Opinnäytetyötä tehdessä DJI Mavic 3E:lle lentoreitti suunniteltiin DJI Pilot 2 sovelluksella. Sovelluksessa on erilaisia reittivaihtoehtoja. Rata-alueen lentämiseen paras vaihtoehto on Linear Route. Linear Route reittisuunnitelmalla voidaan valita radan mittalinja ja määrittää tämän avulla lentoalue niin että rata jää keskelle lentoaluetta (kuva 7).

Lentoreittiä suunnitellessa on tärkeä ottaa huomioon näkyvyys. Tämä määrittää kuinka pitkissä osissa automatisoitu lento voidaan suorittaa turvallisesti. Lennon korkeus määritetään turvallisuus ja tarkkuusvaatimuksien mukaisesti.



KUVA 7 DJI Pilot 2 -sovelluksessa tehty lentosuunnitelma

Lentoreitti pyritään suunnittelemaan niin että drone lentää suoraa radan päällä mahdollisimman vähän. DJI Mavic 3E:n laajakuvakameran ansiosta radan päällä lentämistä pystytään välttämään.

5.6 Ennen automatisoitua lentoa

Dronen kunto tulee tarkistaa ennen jokaista lentoa. Tarkastus suoritetaan valmistajan ohjeistuksien mukaisesti.

Drone suositellaan ohjaamaan manuaaliohjauksella turvallisesti ilmaan ennen automatisoitua lentoa. Manuaalisen lennon aikana drone nostetaan lentoreitissä määritettyyn korkeuteen ja tarkistetaan, onko korkeudessa vaaroja tai esteitä. Kun dronen kunto ja turvallisuus on tarkistettu, voidaan aloittaa automatisoitu lento.

5.7 Automatisoitu lento

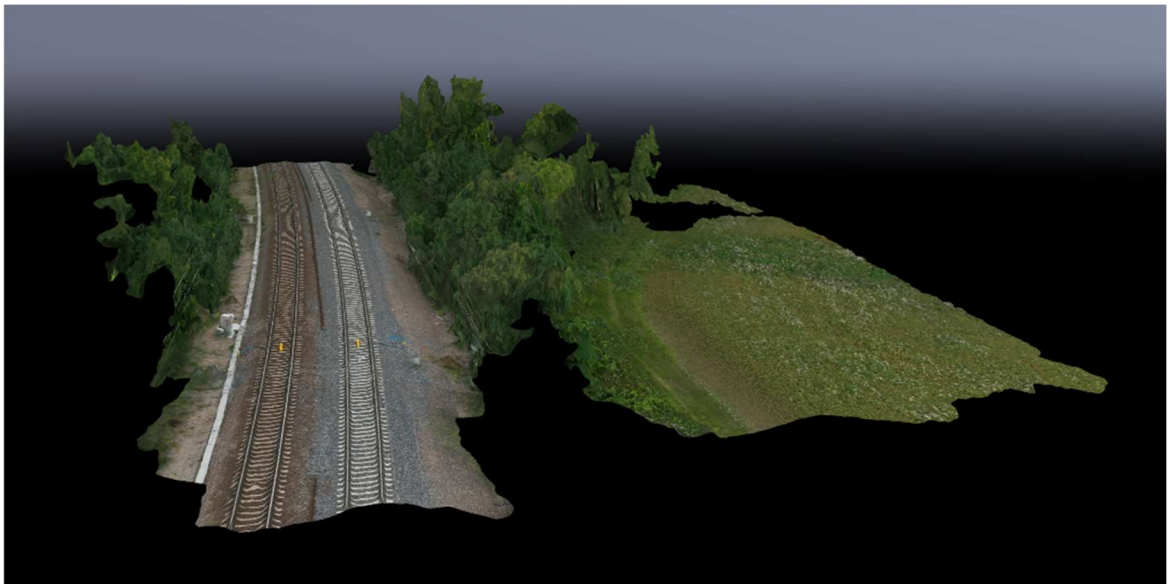
DJI Mavic 3E:llä automatisoidun lento aloitetaan DJI Pilot 2 sovelluksesta. Sovellus pyytää tarkistamaan ennen automatisoitua lentoa asetukset. Kun asetukset ja turvallisuus on tarkistettu, voidaan aloittaa automatisoitu lento.

Drone seuraa automatisoidun lennon aikana lentoreittiä ja kuvaa määritetyn kuvatiheyden mukaan. Kun ohjelma on suorittanut automatisoidun lennon drone suuntaa automaattisesti takaisin edellä määritettyyn laskeutumispaikkaan.

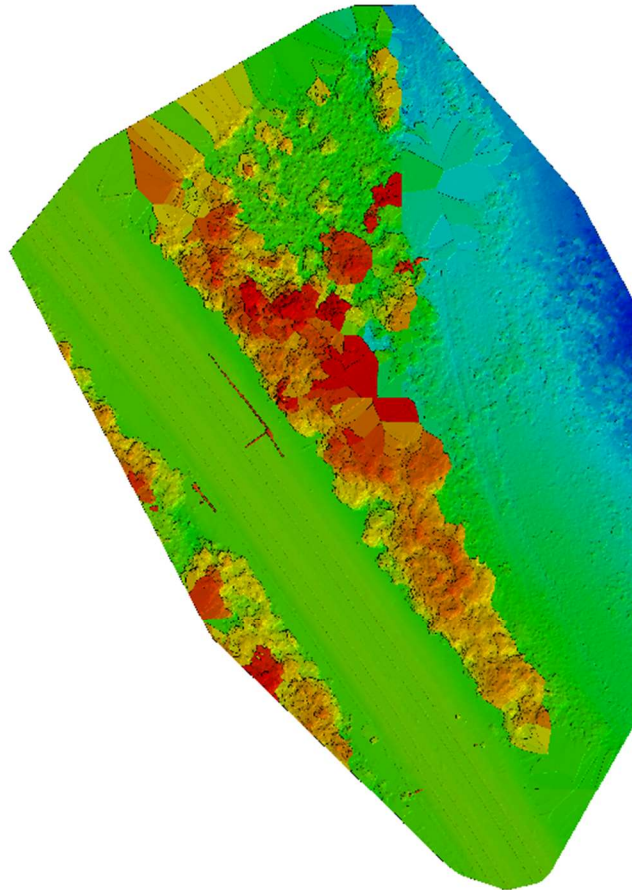
6 DATAN PROSESSOINTI

6.1 PIX4Dmapper

PIX4Dmapper on johtava fotogrammetria sovellus. Sovelluksella voidaan luoda tarkkoja luokiteltuja pistepilviä, ortomosaiikkeja, DSM karttoja (kuva 9), 3D meshejä (kuva 8), indeksi karttoja ja lämpökuva karttoja. (PIX4D 2024)



KUVA 8 PIX4Dmapperilla luotu mesh-malli



KUVA 9 PIX4Dmapperilla luotu DSM kartta

Kreaten ratahankkeilla näistä ominaisuuksista hyödynnetään pistepilvien ja ortomosaiikkien luontiin. PIX4Dmapper on erinomainen sovellus laajan kameratuen ansiosta. Sovellus tukee käytännössä jokaista kameraa, kunhan kuvan tiedostomuoto on .jpg tai .tif. Sovellus tukee myös videoita. Video pilkotaan osiin sovellukseen ladatessa.

6.1.1 Kuvien lataaminen ohjelmaan


Kuvat ladataan sovellukseen. Tämän jälkeen projektille valitaan haluttu koordinaattijärjestelmä. Tässä esimerkissä halutaan koordinaattijärjestelmän olevan ETRS-GK27, joten valikosta valitaan kyseinen koordinaatisto pitkillä koordinaateilla (kuva 10).

Projektille voidaan valita ellipsoidi korkeus, joka korjaa korkeuden oikeaan tasoon. Tämä ei ole pakollinen koska projekti georeferoidaan oikeaan korkoon.

New Project ×

Select Output Coordinate System

Selected Coordinate System

 Datum: European Terrestrial Reference System 1989
Coordinate System: ETRS89 / GK27FIN (EGM 96 Geoid)

Output/GCP Coordinate System

Unit:

Arbitrary Coordinate System [m]

Auto Detected: WGS 84 / UTM zone 35N

Known Coordinate System [m]

More projection systems (.prj) available at <http://spatialreference.org/>

Vertical Coordinate System

MSL Expressed in metre above WGS 84

Geoid Height Above GRS 1980 Ellipsoid [m]

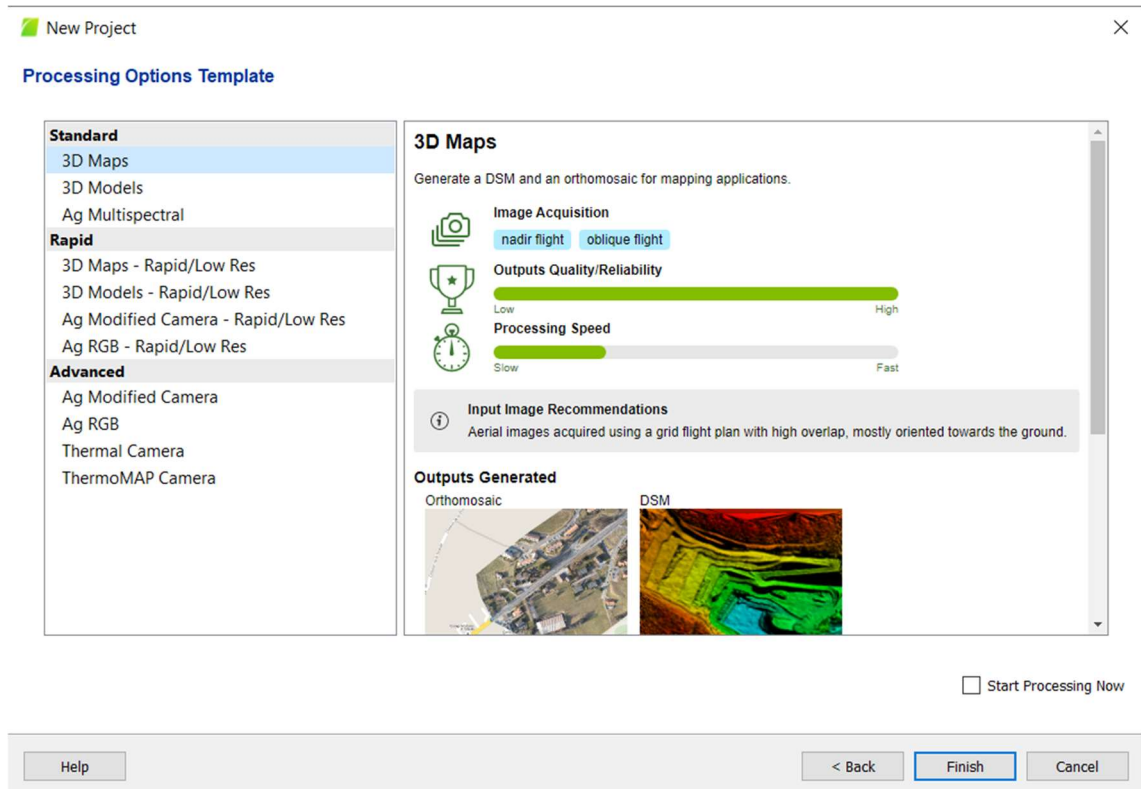
Arbitrary

Advanced Coordinate Options

KUVA 10 Koordinaattijärjestelmän valintaikkuna

6.1.2 Asetukset

PIX4Dmapperissa on monia prosessointi asetuksien pohjia. Näistä valitaan 3D Maps pohja (kuva 11). Tässä pohjassa on määritetty prosessoinnin asetukset optimaalisiksi dronella kuvattuihin projekteihin.



KUVA 11 Prosessointi asetusten valintaikkuna

Ensimmäistä kertaa ohjelmaa käyttäessä tulee varmistaa tietokoneen resurssien käyttö. Asetuksista saa valittua ohjelman hyödyntämään mahdollista NVIDIA:n näytönohjainta.

6.1.3 Alkuprosessointi

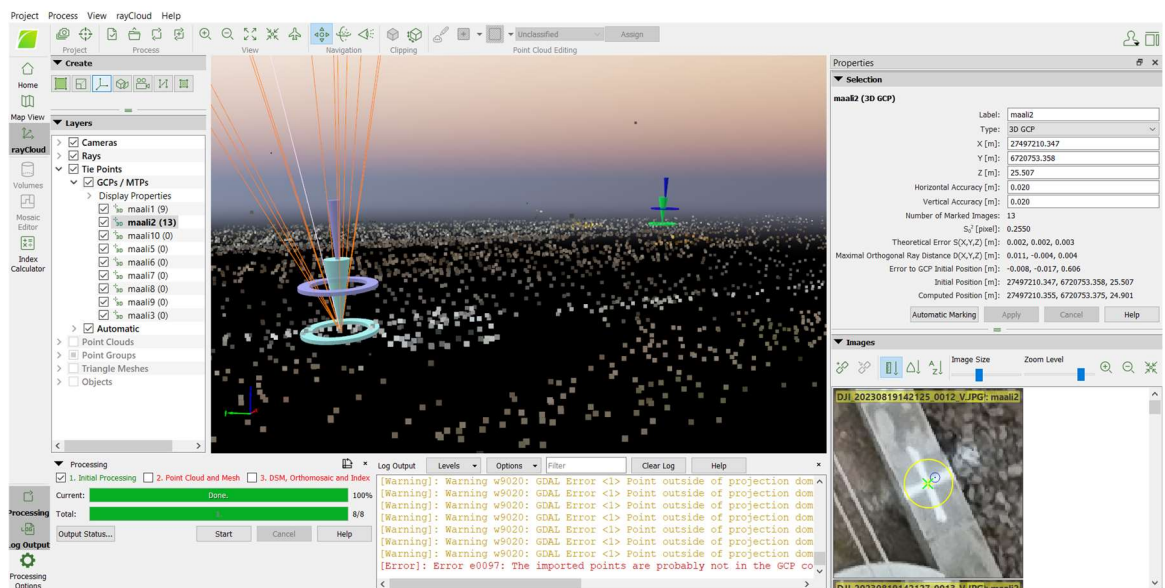
Alkuprosessissa ohjelma prosessoi kuvien avainpisteet. Avainpisteitä hyödynnetään löytämään vastaavuuksia kuvien väliltä. Asetuspohjan asetukset voi jättää sellaisenaan, mutta jos projekti on suuri voi kuvan skaalauksen puolittaa nopeuttaakseen prosessointia.

6.1.4 Georeferointi

Georeferointi tapahtuu PIX4Dmapperissa lataamalla GCP-pisteet ohjelmaan. GCP-pisteitä ladatessa on hyvä huomioida PIX4Dmapperin käyttävän matemaatikassa käytettyä koordinaatistoa. Ohjelmassa on valinta millä voidaan koordinaatit kääntää automaattisesti.

GCP-pisteet näkyvät ohjelmassa vihreinä kartioina. Kartiota napsauttaessa avautuu valikko oikeaan laitaan missä pääsee kuvista valitsemaan GCP-pisteen. Kuvasta napsauttaa GCP-pisteen keskeltä kuvaan ilmestyy keltainen ympyrä (kuva 12). Kolmen valinnan jälkeen voi hyödyntää ohjelman automaattista valitsinta.

3D-näkymään ilmestyy sininen kartio, joka ilmaisee sijainnin heittoa. Pisteiden määrittämisen jälkeen voidaan ohjelmalla laskea uudelleen sijainti. Tämän jälkeen data on georeferoitu GCP-pisteiden mukaan.



KUVA 12 GCP-pisteisiin georeferointi

6.1.5 Pistepilven ja ortomosaiikin prosessointi

Pistepilven ja ortomosaiikin prosessointi voidaan suorittaa peräkkäin. Prosessoinnin asetukset tulee optimoida projektin suuruuden ja halutun lopputuloksen mukaan. Useimpien ratakankkeiden suuruuden takia asetukset tulee pitää mallillisina pitääkseen prosessointiajat kohtuullisina.

PIX4Dmapper luo laajan raportin jokaisesta vaiheesta prosessoin jälkeen. Raportista löytyy kalibrointiin, tarkkuuteen ja prosessointivaiheisiin liittyvät tiedot.

6.2 DJI Terra

DJI Terra on DJI tuoteperheen sovellus millä voi tuottaa 3D malleja fotogrammetrialla. Sovellus tukee kaikkia DJI tuotteita. (DJI Terra n.d.) Tässä opinnäytetyössä oli käytössä kokeilujakso sovelluksesta. Sovellus koettiin helppokäyttöiseksi mutta georeferoinnissa syntyi korkeudessa systemaattista virhettä.

7 DATAN KÄSITTELEMINEN TARKEAINEISTOKSI

7.1 Haasteet

Haasteena on aikataulujen sovittaminen kuvausajankohdan ja rakennusvaiheen yhteensovittamisessa. Toteumien kannalta kriittisessä rakennusvaiheessa tulisi sopia työmaan kanssa kuvausajankohdasta, jotta saataisiin kuvattua rakennekerrosta mahdollisimman paljon. (Saraste 2024)

7.2 Tarkkuustarkastelu

Fotogrammetrialla luodun pistepilven tarkkuus tulee tarkastaa ja todistaa. Pistepilveä vertaillaan mittaustyönjohtajan tarkkeisiin. Esimerkissä kohdassa 7.4.1 pistepilven korkotasoa vertaillaan tarkkeisiin. Esimerkissä korkeuden tarkkuus on < 50 mm (kuva 16). Tämä tarkkuus riittää esimerkiksi eristys- ja välikerroksen tarkeaineiston tueksi.

XY tarkkuuteen vaikuttaa GCP-pisteen tyyppi ja mittaustarkkuus. Shakkiruudun muotoiseen pisteeseen on mahdollista kohdentaa tarkemmin kuin ristin muotoiseen pisteeseen. XY tarkkuutta voidaan tarkastella kiinteän rakenteen tarkkeeseen, vaikka fotogrammetrialla tuotettua pistepilveä ei saa hyödyntää kiinteän rakenteen tarkkeeksi. Esimerkissä XY tarkkuus on < 50 mm (kuva 13). Tähän tarkkuuteen on päästy laadukkailla GCP-pisteillä.



KUVA 13 XY tarkkuusvertailu mittaustyönjohtajan tarkkeisiin (kuva: Haantaus)

7.3 Tarkemittausaineisto

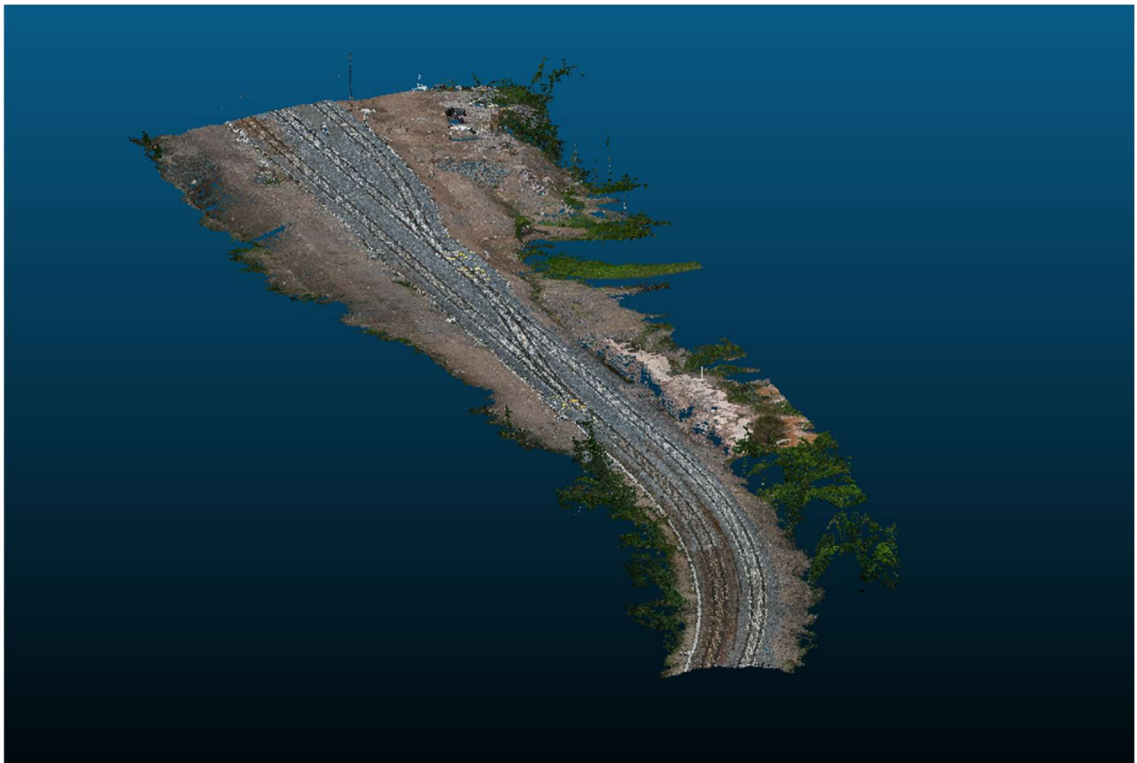
Tämänhetkisten ohjeistukset eivät tunne fotogrammetrialla tuotettua pistepilvää tarkeaineistoksi. Jos GCP-pisteet ja lento on tehty huolellisesti ja tarkasti on mahdollista sopia tilaajan kanssa erikseen pistepilven hyödyntämisestä tarkeaineistona. Pistepilvi ei korvaa mittaajan mittaamia tarkepisteitä takymetrillä vaan pistepilven tarkoitus on toimia mittaajan tarkkeiden tukena.

Pistepilven hyödyntäminen pitää esittää selkeästi mitaussuunnitelmassa ja tiedonhallintasuunnitelmassa. Pistepilvi ei käy pääasiallisena mittausaineistona, joten mittaustarkkuus pitää todeta takymetrillä. (Saraste 2024)

7.4 Käsittelyprosessi

7.4.1 CloudCompare

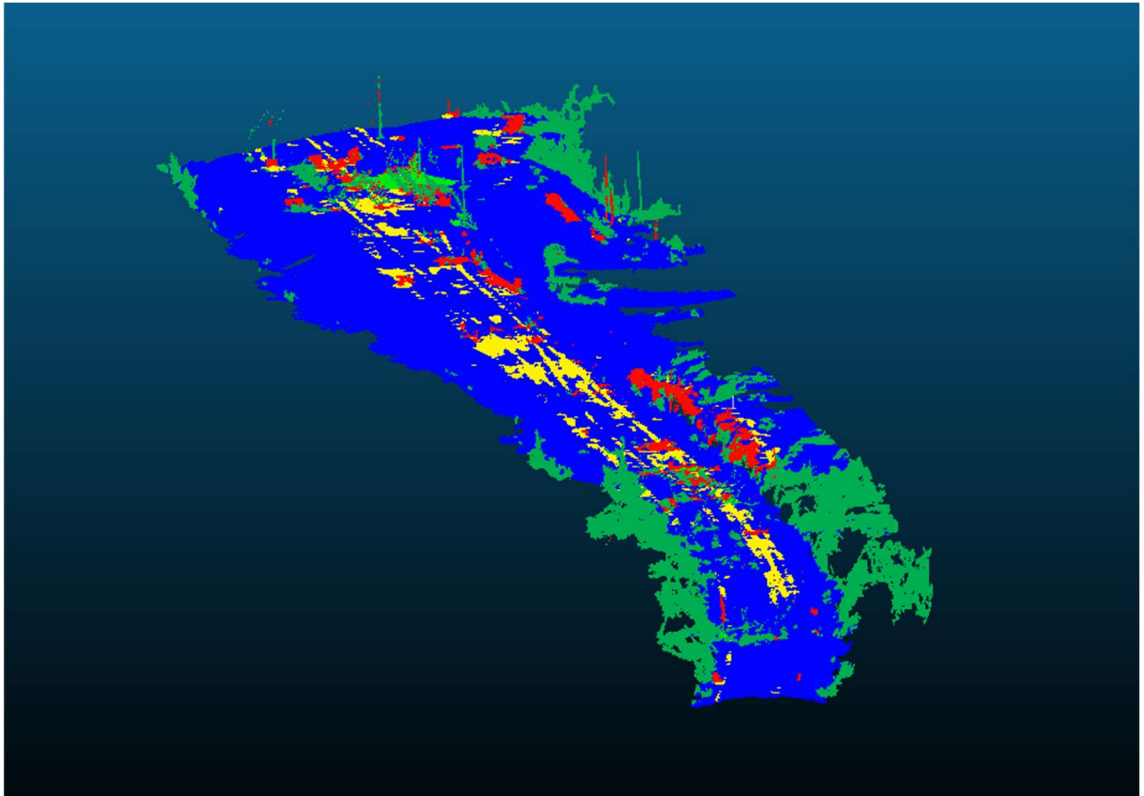
CloudCompare on ilmainen pistepilvien käsittelyohjelma, joka perustuu avoimeen lähdekoodiin. Ohjelma keskittyy pistepilven muokkaamiseen, vertailuun ja myös kolmiointiin. Ohjelman ominaisuuksia pystyy laajentamaan laajalla lisäosa valikoimalla. (CloudCompare n.d.)



KUVA 14 Pistepilvi RGB väreillä

Tarkeaineistoa työstäessä CloudCompare –ohjelmaan ladataan pistepilvi (kuva 14). Pistepilvestä erotellaan maanpinta luokitusten avulla (kuva 15). PIX4Dmapper luokittelee pisteet viiteen eri ryhmään: Maanpinta, Tienpinta, Korkeat kasvilisuudet (esim. Puut), rakennukset ja ihmisten tekemät objektit (esim. autot). (PIX4D n.d.c)

Pistepilvestä leikataan rakennekerroksen alue erikseen. Lopputulokseksi jää pistepilvi, jossa on vain kyseinen rakennekerroksen pinta. Leikattu ja puhdistettu pistepilven voi tarvittaessa vielä harventaa keventääkseen pistepilven käsiteltävyyttä. Pistepilvi tallennetaan muodossa Las/Laz.

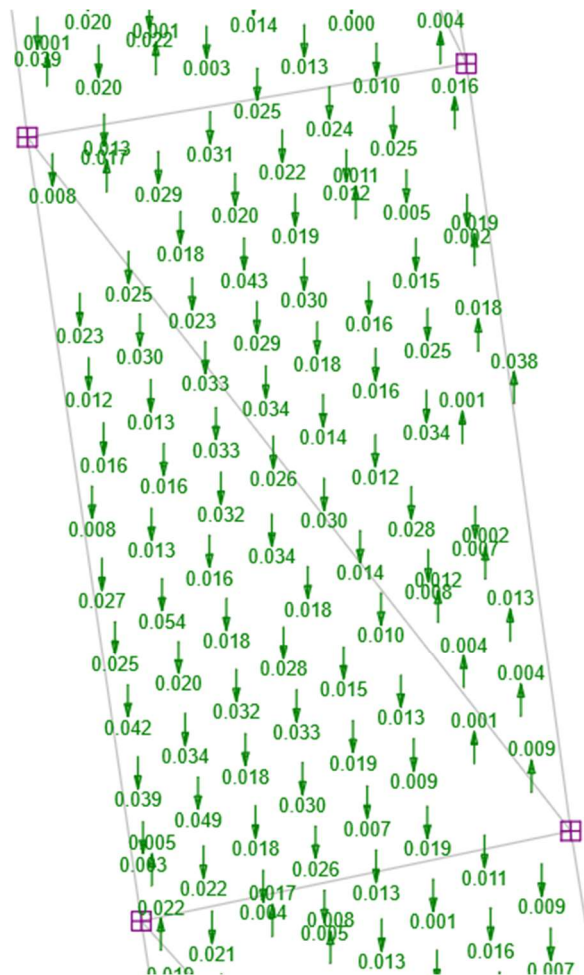


KUVA 15 Pistepilvi, jossa esitetty pisteen luokitukset värein

7.4.2 3D-Win

3D-Win on kotimainen ohjelmisto. 3D-Win on mittaus- ja suunnitelmätiedon tuottamiseen ja käsittelyyn luotu ohjelmisto. Ohjelmisto sisältää laajat editointi-, tarkastus- ja laskentaominaisuudet. Ohjelmiston ominaisuuksia on mahdollista laajentaa lisäosilla. (3D-Win n.d.)

Kun pistepilvi on käsitelty CloudCompare –ohjelmassa voidaan tiedosto avata 3D-Win –ohjelmassa. Pistepilven tarkkuus on syytä tarkastaa ensimmäisenä. Paras tapa tähän on verrata pistepilveä mittaajan tarkkeisiin (kuva 16). Tarkistuksessa huomataan, jos pistepilvessä on virheellisiä pisteitä. Virheelliset pisteet poistetaan. Tarkistetut pistepilven pisteet koodataan kohdekohtaisesti ja luovutetaan tilaajalle. Pisteitä käytetään luovutusvaiheessa toteutamallin tekoon.



KUVA 16 Pistepilven vertailu mittaustyönjohtajan tarkkeisiin

8 DATAN HYÖDYNTÄMINEN

Datan hyödyntämisestä jaettiin kysely missä aiheina oli fotogrammetrialla tuotetun ilmakuvan ja pistepilven hyödyllisyys. Kyselyssä hyödyllisyys pisteytettiin yhdestä viiteen pisteeseen niin että yksi piste kuvaa ei hyödyllistä ja viisi erittäin hyödyllistä.

8.1 Suunnittelijat

8.1.1 Ilmakuva suunnittelijoiden näkökulmasta

Suunnittelijoiden antamien pisteiden keskiarvo oli 3.25. Vastausten perusteella voidaan päätellä ilmakuvan olevan melko hyödyllinen suunnittelijoille. Suunnittelijat hyödyntävät ilmakuvaa yhteensovituksessa ja lähtötietona suunnitteluun. Ilmakuvaa hyödynnetään pääasiallisesti WMS/WMTS linkityksellä.

Haasteena ilmakuvan hyödyntämisessä on hankemuodot. Suunnittelu hyötyy työmaan tuottamista ilmakuvista usein vain allianssi- tai ST-hankkeilla.

8.1.2 Pistepilvi suunnittelijoiden näkökulmasta

Suunnittelijoiden antamien pisteiden keskiarvo oli 3.25. Vastausten perusteella voidaan päätellä ilmakuvan olevan melko hyödyllinen suunnittelijoille. Suunnittelijat hyödyntävät pistepilveä mallintamisen tukena, lähtötietona ja suunnittelun tukena.

Haasteena pistepilven hyödyntämisessä on edellä mainitut hankemuodot. Suunnittelu hyötyy työmaan tuottamista pistepilvistä usein vain allianssi- tai ST-hankkeilla.

8.2 Tilaajan edustajat

8.2.1 Ilmakuva tilaajan edustajien näkökulmasta

Tilaajan edustajien antamien pisteiden keskiarvo oli 4.7. Vastausten perusteella voidaan päätellä ilmakuvan olevan erittäin hyödyllinen tilaajan edustajille. Tilaajan edustajat hyödyntävät ilmakuvaan viestinnässä, työmaan seurannassa ja riskitarkasteluun. Keskeiseksi aiheeksi nousi ilmakuvien havainnollistava kyky keskustelujen tukena.

8.2.2 Pistepilvi tilaajan edustajien näkökulmasta

Tilaajan edustajien antamien pisteiden keskiarvo oli 4.7. Vastausten perusteella voidaan päätellä pistepilven olevan erittäin hyödyllinen tilaajan edustajille. Tilaajan edustajat hyödyntävät pistepilveä tietomallien yhteensovittamisessa ja työmaan visualisoinnissa.

8.3 Tietomallikoordinaattorit

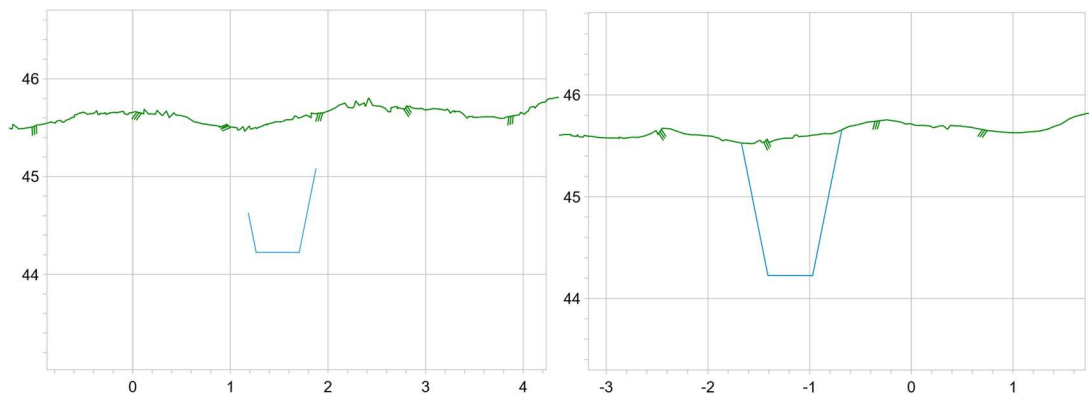
8.3.1 Ilmakuva tietomallikoordinaattorien näkökulmasta

Tietomallikoordinaattorien antamien pisteiden keskiarvo oli 5. Vastausten perusteella voidaan päätellä ilmakuvan olevan erittäin hyödyllinen tietomallikoordinaattoreille. Tietomallikoordinaattorit hyödyntävät ilmakuvaan edistymisen seurantaan, mallintamisen tukena. Tärkeänä ominaisuutena pidettiin ominaisuutta jakaa kuvaa sovellusten välillä WMS/WMTS linkityksen avulla.

8.3.2 Pistepilvi tietomallikoordinaattorien näkökulmasta

Tietomallikoordinaattorien antamien pisteiden keskiarvo oli 4. Vastausten perusteella voidaan päätellä pistepilven olevan erittäin hyödyllinen tietomallikoordinaattoreille. Tietomallikoordinaattorit hyödyntävät pistepilveä mallintamisen tukena, tarkkeiden tukena. Mallintamisessa pistepilveä käytetään usein rajaavana tietona, jolla voidaan mallit leikata maantasoon.

Esimerkiksi putkikaivantomallien reunaviivat eivät leikkaannu maanpintaan. Laadukkaan pistepilven ansiosta mallin reunaviivat voidaan nostaa maantasoon (kuva 17). Tämä nostaa mallintamisen laatua ja tarkentaa määrälaskentaa.

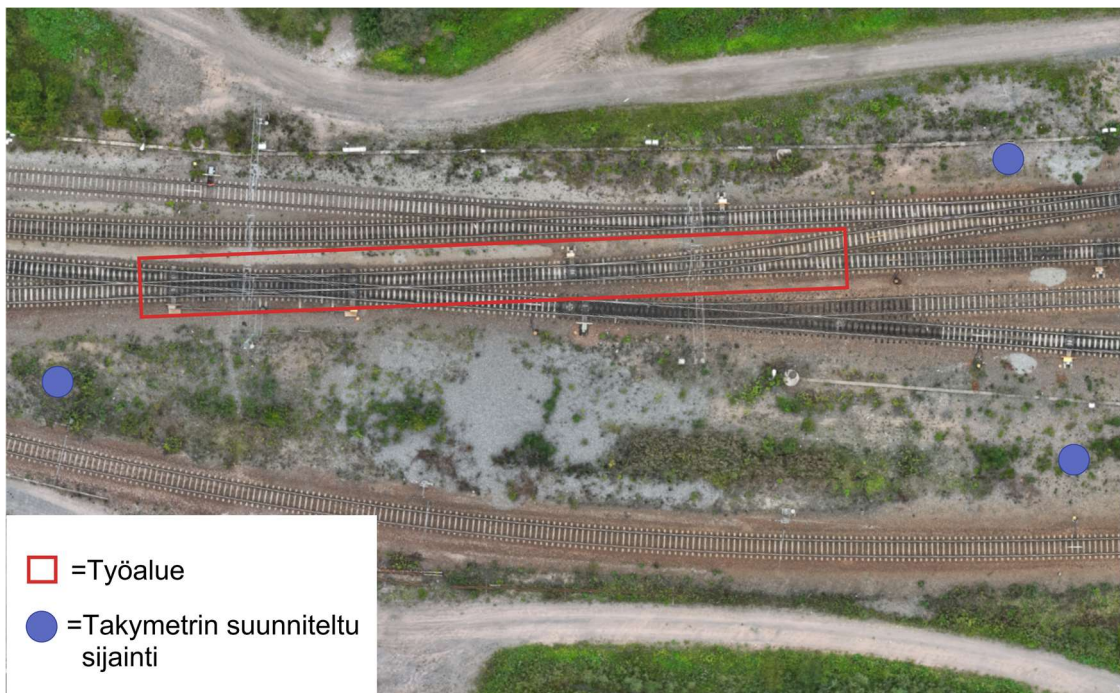


KUVA 17 Kaivantomallin reunaviivojen tuonti maanpintaan.

8.4 Mittaustyönjohtajat

8.4.1 Ilmakuva mittaustyönjohtajien näkökulmasta

Mittaustyönjohtajien antamien pisteiden keskiarvo oli 4.3. Vastausten perusteella voidaan päätellä ilmakuvan olevan erittäin hyödyllinen mittaustyönjohtajille. Mittaustyönjohtajat hyödyntävät ilmakuva mittaussympäristön tarkasteluun, näin pystytään suunnittelemaan mittauskaluston sijainti ja mittaukset etukäteen (kuva 18). Tämä tehostaa mittausten tekemistä maastossa. Mittaustyönjohtajat kokivat ilmakuvan helpottavan työmaan osapuolten kommunikoinnissa.



KUVA 18 Esimerkkisuunnitelma takymetrin sijainneista (kuva: Haantaus)

8.4.2 Pistepilvi mittaustyönjohtajien näkökulmasta

Mittaustyönjohtajien antamien pisteiden keskiarvo oli 3.6. Vastausten perusteella voidaan päätellä pistepilviaineiston olevan hyödyllinen. Pistepilviaineistolla säästettiin aikaa mittauksissa, kun pistepilvestä voitiin laskea maa-aines tilavuuksia.

Esimerkkinä mittaustyönjohtajaa pyydettiin laskemaan karkea maa-aines tilavuus läjitysalueelta. Tämä voitiin laskea suoraan 3D-Winillä hyödyntäen pistepilvi aineistoa (kuva 19). Tässä esimerkissä säästettiin mittaustyönjohtajan työtunteja.



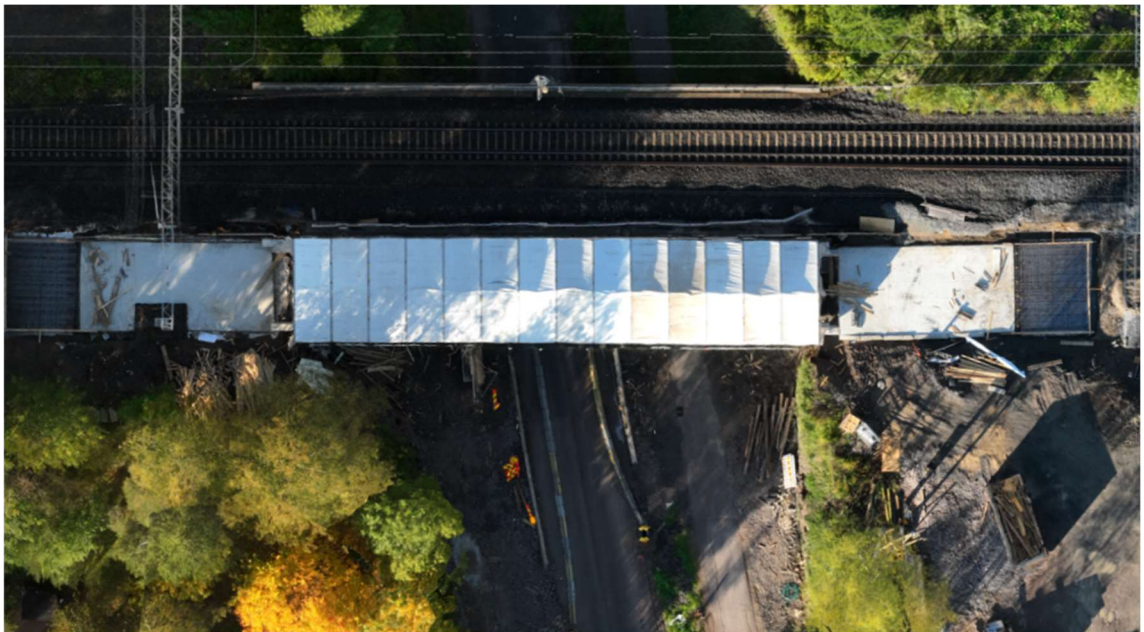
KUVA 19 Pistepilvi läjitysalueella sijaitsevasta maa-aines kasasta

8.5 Työmaa

8.5.1 Ilmakuva työmaan näkökulmasta

Työmaalla työskentelevien toimihenkilöiden antamien pisteiden keskiarvo oli 4.6. Vastausten perusteella voidaan päätellä ilmakuvan olevan erittäin hyödyllinen.

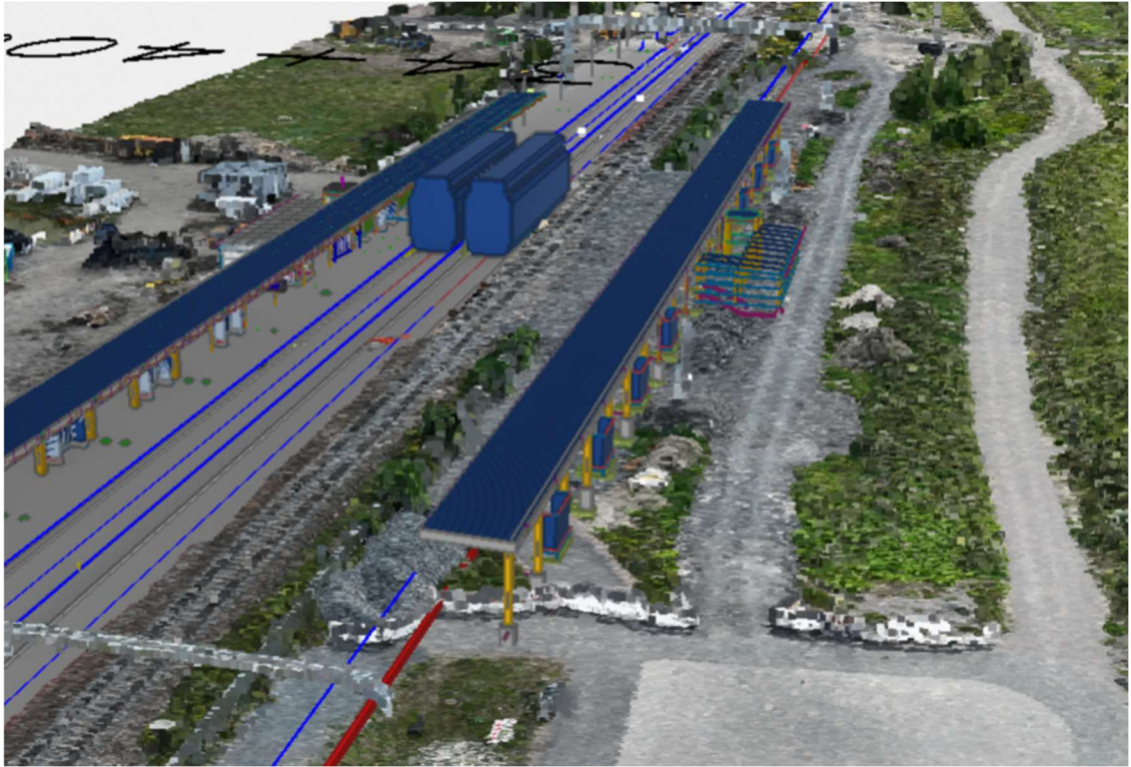
Työmaalla ilmakuva hyödynnetään aluesuunnittelussa, työvaihesuunnittelussa, visualisoinnissa, havainnollistamisessa, työmaaseurannassa ja työmaan alku- ja lopputilanteen dokumentoinnissa (kuva 20).



KUVA 20 Ilmakuva sillan rakennusvaiheesta (kuva: Haantaus)

8.5.2 Pistepilvi työmaan näkökulmasta

Työmaalla työskentelevien toimihenkilöiden antamien pisteiden keskiarvo oli 4.0. Vastausten perusteella voidaan päätellä pistepilviaineiston olevan hyödyllinen. Työmaalla pistepilveä hyödynnetään visualisoinnissa (kuva 21) ja yksinkertaisissa mittauksissa.



KUVA 21 Pistepilvi ja suunnitelmamallit samanaikaisesti esitettynä

9 YHTEENVETO JA POHDINTA

Opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää mahdollisuudet hyödyntää fotogrammetriaa ratahankkeissa. Fotogrammetrian hyödyntäminen haluttiin ottaa laajemmin käyttöön ratahankkeilla ja selvittää tehtäväkohtaiset hyödyt.

Opinnäytetyön teoriaosuus käsittelee perusteet turvalliseen ilmakehuamiseen, tarvittavan kaluston ja mittaustekniset asiat, jotta lukija saa käsityksen minkälaisesta työvaiheesta on kyse.

Opinnäytetyön tuloksena saatiin fotogrammetrialla tuotettujen pistepilvien ja ilmakehien olevat hyödyllisiä ratahankkeilla. Suurimmaksi hyödyksi nousi ilmakehu, jota hyödynnettiin työmaanseurannassa ja viestinnässä. Pistepilveä hyödynnettiin myös visuaalisessa tarkastelussa, mallintamisessa ja määrälaskennassa.

Fotogrammetrialla tuotettu aineisto tuo kustannushyötyjä ajansäästön kautta. Aikansäästöt muodostuvat kohdassa 8 mainituista asioista. Aikansäästön kokonaista lukua on vaikea määrittää hyötyjen olevan hajanaisia työtehtävästä ja hyödyntävän henkilön taidosta hyödyntää aineistoa.

Opinnäytetyö onnistui hyvin, sillä fotogrammetrian hyödyntämisestä saatiin kiinnostavia kokemuksia eri rooleista. Eri roolien vastauksissa voidaan tehdä johtopäätös ilmakehien ja pistepilven helpottavan yhteistyötä ratahankkeilla. Työn onnistumisen mahdollisti Kreaten ja yhteistyökumppanien yhteistyö ja kiinnostus aiheesta kohtaan.

LÄHTEET

CloudCompare. n.d. Introduction. Verkkosivu. Viitattu 22.3.2024.
<https://www.danielgm.net/cc/>

DJI Enterprise. n.d. Specs. Verkkosivu. Viitattu 12.1.2024. <https://enterprise.dji.com/mavic-3-enterprise/specs>

DJI Terra. n.d. DJI TERRA. Verkkosivu. Viitattu 1.2.2024. <https://enterprise.dji.com/dji-terra>

Geodetic Services, Inc. n.d. Basics of Photogrammetry, 4–10. Pdf-tiedosto. Viitattu 26.1.2024. https://www.geodetic.com/wp-content/uploads/2019/01/Basics_of_Photogrammetry_2017.pdf

Ilmatieteenlaitos. n.d. Sääpalvelu dronitoiminnan tueksi. Verkkosivu. Viitattu 31.1.2024. <https://www.ilmatieteenlaitos.fi/uutinen/3AJ205a1u9weUGJ3tEu80S>

Kamerakoulu. n.d.a Valokuvauksen perusteet: aukko. Verkkosivu. Viitattu 22.1.2024. <https://kamerakoulu.fi/valokuvauksen-perusteet-aukko>

Kamerakoulu. n.d.b Valokuvauksen perusteet: ISO-arvo. Verkkosivu. Viitattu 22.1.2024. <https://kamerakoulu.fi/peruskurssi-jakso-4-iso-arvo>

Kamerakoulu. n.d.c Valokuvauksen perusteet: suljinaika ja liikkeen pysäytys. Verkkosivu. Viitattu 22.1.2024. <https://kamerakoulu.fi/valokuvauksen-perusteet-suljinaika>

Kreate. 2024. KREATE – Vaativien kohteiden ratkaisukeskeinen toteuttaja. Verkkosivu. Viitattu 26.1.2024. <https://kreate.fi/yritys/>

Liikenne ja viestintävirasto Traficom. 2023a. Drone ja sen toiminnot – miehittämättömien ilma-alusjärjestelmien yleistuntemus. Verkkosivu. Viitattu 20.1.2024. <https://www.droneinfo.fi/fi/koulutusmateriaali/drone-ja-sen-toiminnot-miehittamattomien-ilma-alusjarjestelmien-yleistuntemus?toggle=Mik%C3%A4%20on%20drone%3F>

Liikenne ja viestintävirasto Traficom. 2023b. Lennä mahdollisimman turvallisesti – lentoturvallisuus. Verkkosivu. Viitattu 30.1.2024. <https://www.droneinfo.fi/fi/koulutusmateriaali/lenna-mahdollisimman-turvallisesti-lentoturvallisuus?toggle=Mit%C3%A4%20tulee%20ottaa%20huomioon%20turvallisen%20lennon%20suorittamiseksi%3F>

Liikenne ja viestintävirasto Traficom. 2023c. Mitä sääntöjä on ilmassa? – ilmailun säädökset. Verkkosivu. Viitattu 31.1.2024. <https://www.droneinfo.fi/fi/koulutusmateriaali/mita-saantoja-ilmassa-ilmailun-saadokset?toggle=Miten%20alakat%20A1%20%E2%80%93%20A2%20%E2%80%93%20A3%20on%20m%C3%A4%C3%A4ritelty%3F>

Liikenne ja viestintävirasto Traficom. 2023d. Miten sää vaikuttaa lentoon – Sääoppi. Verkkosivu. Viitattu 31.1.2024. <https://www.droneinfo.fi/fi/koulutusmateriaali/miten-saa-vaikuttaa-lentoon-saaoppi>.

Pix-pro. 2022. PC For Photogrammetry – What Hardware Do You Need? Verkkosivu. Viitattu 21.1.2024. <https://www.pix-pro.com/blog/photogrammetry-pc>

PIX4D. n.d.a Computer requirements. Verkkosivu. Viitattu 21.1.2024. <https://support.pix4d.com/hc/en-us/articles/115002439383-Computer-requirements-PIX4Dmapper>

PIX4D. n.d.b Step 1. Before Starting a Project > 4. Getting GCPs on the field or through other sources. Verkkosivu. Viitattu 29.1.2024. <https://support.pix4d.com/hc/en-us/articles/202557489-Step-1-Before-Starting-a-Project-4-Getting-GCPs-on-the-field-or-through-other-sources-optional-but-recommended-PIX4Dmapper>

PIX4D. 2024. PIX4Dmapper. Verkkosivu. Viitattu 31.1.2024. <https://www.pix4d.com/product/pix4dmapper-photogrammetry-software/>

PIX4D. n.d.c How to generate the point cloud classification. Verkkosivu. Viitattu 8.3.2024. <https://support.pix4d.com/hc/en-us/articles/115004864586-How-to-generate-the-point-cloud-classification>

Saraste, O. Mittauspäällikkö. Haastattelu 19.1.2024 ja 8.2.2024. Teams

Sony. n.d. Objektiivien perustiedot, Aukko, f-luvut ja terävyysalue. Verkkosivu. Viitattu 22.1.2024. <https://www.sony.fi/electronics/aukko-ja-syvateravyys>

Tietoa. n.d. Fotogrammetria mittausmenetelmänä perustuu tuhansiin valokuviin. Verkkosivu. Viitattu 25.1.2024. <https://tietoa.fi/palvelut/luotettavat-lahtotiedot/fotogrammetria/>

Väylävirasto. 2020. Kuvaaminen rautatiealueella. Verkkosivu. Viitattu 30.1.2024. <https://vayla.fi/tietoa-meista/medialle/kuvausohjeistus>

3D-Win. n.d. 3D-Win perusohjelma. Verkkosivu. Viitattu 22.3.2024. <https://3dwin.fi/ohjelmisto/>

LIITTEET

LIITE 1. Haastattelulomake

1. Nimi, Titteli ja organisaatio *

Kirjoita vastaus

2. Työmaa tuottaa ilmakehu-aineistosta ajankohtaisen/päivittyvän pistepilven. Kuinka hyödyllinen tämä on työssäsi?

1- Ei ole hyödyllinen
5- Erittäin hyödyllinen *

1 2 3 4 5

3. Kommentti

Kirjoita vastaus

4. Työmaa tuottaa ilmakehu-aineistosta ajankohtaisen/päivittyvän Ortokuvan. Kuinka hyödyllinen tämä on työssäsi?

1- Ei ole hyödyllinen
5- Erittäin hyödyllinen *

1 2 3 4 5

5. Kommentti

6. Miten hyödynnät aineistoja työssäsi? *

7. Vapaa sana *