

FOTOGRAMMETRIAN HYÖDYNTÄMINEN TIEHANKKEI-
DEN TOTEUMAMALLEISSA

Nummela, Nikolas

Opinnäytetyö
Maanmittaustekniikka
Insinööri (AMK)

2023

Tekijä	Nikolas Nummela	Vuosi	2023
Ohjaaja(t)	Timo Karppinen		
Työn nimi	Fotogrammetrian hyödyntäminen tiehankkeiden toteuttamalleissa		
Sivumäärä	34		

Tämän opinnäytetyön tarkoitus oli taustoittaa aihetta ja luoda prosessikuvaus erästä tavasta hyödyntää fotogrammetriaa osana laajan tiehankkeen toteuttamittauksia ilmakuvauksella tuotetusta aineistosta.

Opinnäytetyössä kuvattiin dronekalustolla tapahtuvassa ilmakuvauksessa tuotosten hyödynnettävyyden kannalta huomioon otettavia asioita mittauksen ja toteutamatiedon tuottamisen näkökulmasta. Työssä pyrittiin ottamaan kantaa paitsi hyväksi todettuihin toimintatapoihin, myös mahdollisiin ongelmiin.

Metodina käytettiin toiminnallista opinnäytetyötä, mikä tuottaa teoriasta ja itse tuotoksesta muodostuvan kokonaisuuden. Opinnäytetyöllä ei ollut varsinaista tilaajaa, mutta GRK Suomi Oy toimi työssä yhteistyötahona.

Työ kirjoitettiin paitsi vastaavaa toimintaa aiemmin suorittaneiden asiantuntijoiden kokemusten ja kommenttien, myös verkosta löytyvien julkaisujen ja materiaalin perusteella, sekä tekijän aiempaan kokemukseen ja työn tekemisen aikana saavutettuihin tutkimustuloksiin perustuen.

Tätä raporttia voidaan käyttää esimerkiksi sen pohtimiseen, soveltuuko työssä käytetty menetelmä oman hankkeen tarkoituksiin tai avuksi vastaavanlaisen prosessin toteuttamiseen tarpeen vaatiessa.

Author	Nikolas Nummela	Year	2023
Supervisor(s)	Timo Karppinen		
Title	Utilizing Photogrammetry in As-built Models for Road Construction Projects		
Number of pages	34		

The purpose of this thesis study was to give background information and demonstrate an option of utilizing photogrammetric applications as a part of As-built measurements in large road construction projects by using aerial photography.

The research method used in this thesis was a functional thesis, which produced an entity consisting of theory and the product itself. The thesis did not have an actual commissioner, but GRK Suomi Oy acted as a co-operating part during the process. Writing and doing the study was based on experience and comments of some experts who had previously used the same methods, the material and publications found on the Internet and based on the writer's own former experience and research results found during the work.

The thesis demonstrates some things and aspects useful to be noted when executing aerial photography operations with drone equipment. Those from the perspective of surveying and providing As-built information. In addition, the thesis brings up some useful methods as well as some potential problems. The usage of this thesis could be, for instance, to consider whether the methods utilized in the thesis are suitable for someone's project, or possibly to help executing similar processes in case of need and requirement.

Keywords photogrammetry, land surveying, aerial photography

SISÄLLYS

1 JOHDANTO	7
2 TAUSTOITUSTA	8
2.1 Fotogrammetria	8
2.2 UAV-kuvauksen tarkkuudesta.....	10
2.3 Toteumatiedoista	14
2.4 Kohteena oleva hanke	16
3 HARTOLAN LIITTYMIEN MALLINNUS	18
3.1 Valmisteluja	18
3.2 Prosessin aloitus.....	20
3.3 Toiminta maastossa.....	23
3.4 Kuvien prosessointi.....	25
3.5 Pistepilven käsittely	28
3.6 Viimeistely 3D-Winissä	31
4 POHDINTA.....	32
LÄHTEET.....	34

ALKUSANAT

Ennen Hartola-Oravakivensalmi-hanketta minulla ei ollut lainkaan kokemusta dronekuvauksesta tai fotogrammetriasta, mutta hankkeen aikana kehitystä on tapahtunut paljon. Tekemällä ja tutkimalla oppii, mutta hyville neuvoille on myös aina paikkansa. Haluan kiittää Jussi Sunaa dronekuvaukseen liittyvistä vinkeistä, Teemu Sääskilahtea ideoista aineiston jalostamisessa ja Krister Lönnbergiä opastuksesta kuvien prosessointiin ja muihin sovelluksiin. Näiden lisäksi kiitän työnantajaani MittausGroup Oy:tä ja asiakastamme GRK Suomi Oy:tä yhteistyöstä tämän prosessin toteuttamisessa ja työkaluissa.

TERMIT JA KÄSITTEET

Muutamien käsitteiden selittäminen lukijalle voi olla tarpeen tekstin ymmärrettävyyden parantamiseksi:

UAV	miehittämätön ilma-alus
GNSS	maailmanlaajuinen satelliittipaikannusjärjestelmä
georeferointi	kun esimerkiksi kartta tai kuva sidotaan koordinaatioon, se georeferoidaan
takymetri	mittalaite, joka yhdistää kulmamittauksen, elektro-optisen etäisyydenmittauksen ja tietokoneen
yllin yhdistelmäpinta	tien tai katualueen rakenteissa niin sanottu valmis pinta
STk	suunnittele ja toteuta-urakka kehitysvaiheella

1 JOHDANTO

Jokaiseen rakennushankkeeseen sisältyy tarve erilaisille laadunvarmistustoimenpiteille ja dokumentoinnille hankkeen eri vaiheista. Toteutuneista rakennesista tuotettua sijainti- ja ominaisuustietoa kutsutaan toteumatiedoksi. Toteumatiedon tuottamiseen on käytetty monenlaisia, aikojen saatossa kehittyneitä menetelmiä, jotka ovat perustuneet yksittäisten pisteiden sijainnin määrittämiseen yksi kerrallaan. Laserkeilaus ja fotogrammetria ovat tulleet näiden menetelmien rinnalle, mutta ne ovat usein olleet muita menetelmiä kalliimpia, ja ne pääsevät oikeuksiinsa vasta, kun mitattavana on suuria pintoja, joista halutaan tiheitä mitauksia.

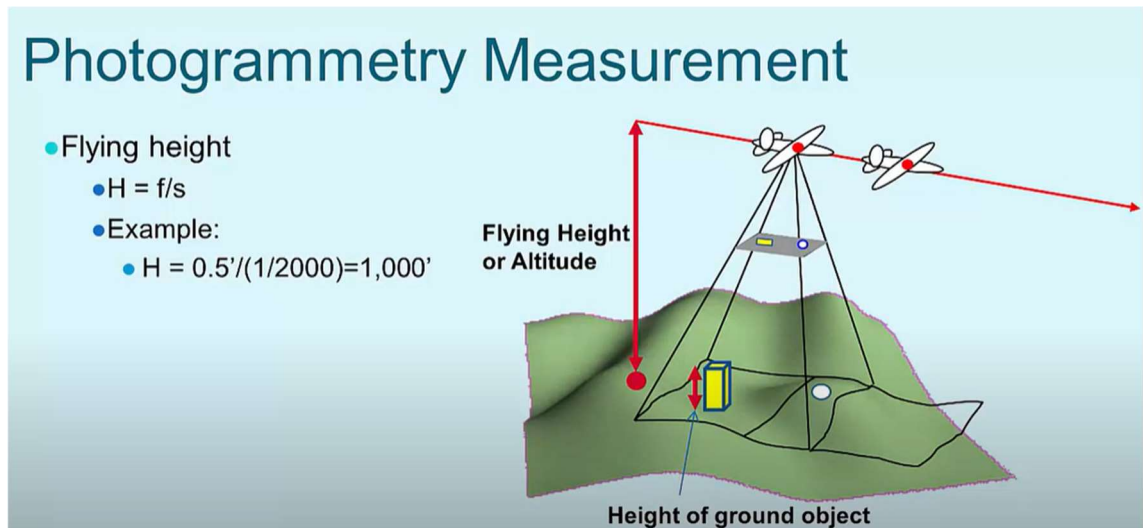
Maalaserkeilausta hyödynnetään paljon kaivos- ja tunnelimitauksessa, teollisuudessa tai kun halutaan tuottaa tarkkoja lähtötietoaineistoja suunnittelun tueksi. Maalaserkeilaus on kuitenkin verrattain hidas menetelmä, mikäli halutaan kattaa laajoja alueita maastoa, joka ei ole sisätilaa tai tiheästi rakennettua. UAV-laitteiden käyttö on yleistynyt viime vuosina paljon, niin siviili- kuin sotilaskäytössäkin. Droneja on alettu hyödyntää entistä enemmän myös fotogrammetriaan, ja niihin on saatavilla kehittyneitä ohjelmistoja erilaisten kuvausoperaatioiden suorittamiseen, eivätkä hinnatkaan aina ole kalleimmasta päästä.

Tätä opinnäytetyötä tehdessäni työskentelen tiehankkeella, jonka työvaiheet ovat suurimmaksi osaksi maanrakennustöitä, jotka toteutetaan mallipohjaisesti työkooneilla. Hankkeessa toteutetaan samalla kertaa kaksi urakkaa, joiden toisistaan kauimpana olevien päiden välimatka on noin 20 kilometriä, tälle matkalle mahtuu suurehkoja alueita luiskia, meluvällejä ja ojia. Kun ensimmäiset valmiit pinnat alkoivat valmistua, mietin olisiko niiden mallintamiseen järkevämpiä tapoja kuin perinteinen satelliittipaikannus tai takymetrimittaus ja sain idean fotogrammetrian hyödyntämisestä niihin osiin, joihin sen tarkkuuden voidaan katsoa riittävän. Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on luoda prosessikuvaus eräästä tavasta hyödyntää fotogrammetriaa tiehankkeen toteumamallin osan tuottamiseen.

2 TAUSTOITUSTA

2.1 Fotogrammetria

Fotogrammetrialla tarkoitetaan kuvista mittaamista, laskemalla kohteiden etäisyyksiä toisistaan, kun kuvien keskipisteiden sijainnit ovat tiedossa. Fotogrammetria voidaan jakaa ilmasta käsin tapahtuvaan ilmakuvaukseen ja maasta käsin tapahtuvan kuvauksen hyödyntämiseen. Yhteistä näille on se, että mittaukset vaativat riittävän peiton, eli kuvien limityksen, jotta syntyy kulmia esimerkiksi korkeuserojen laskemista varten.



Kuvio 1. Ilmakuvaukseen pohjautuva fotogrammetria (iGETT Remote Sensing Education, 2015)

Yllä esitetynä (kuvio 1) ilmakuvaukseen pohjautuvan fotogrammetrian toimintaperiaate. Kuvaustapahtumassa ilmakuvia otetaan jonoissa riittävän peiton saavuttamiseksi kuvausalueelle, ja kuvauslaitteen sijainti tallennetaan satelliittipaikannuksen avulla jokaisen kuvan kohdalla. Kuvauslaite lentää koko kuvaustapahtuman ajan tietyssä korkeudessa, jolloin pystytään laskemaan kameran parametrien avulla mittakaava kuville. Saadaan niin sanottu GSD (Ground Sampling Distance), joka kertoo kuinka montaa senttimetriä yhden pikselin koko vastaa maastossa.



Kuvio 2. GSD vasemmalla 5 cm ja oikealla 30 cm (Pix4D, 2019)

Lentokorkeuden lisäksi GSD-lukuun vaikuttavat kuvan ja kamerasensorin leveys sekä polttoväli (Focal length). Luku lasketaan kertomalla sensorin leveys millimetreinä lentokorkeudella metreinä sekä luvulla 100 ja jakamalla se polttovälillä millimetreinä kerrottuna kuvan leveydellä pikseleinä (Pix4D, 2019).

Esimerkiksi jonkin rakennuksen korkeus voidaan määrittää kuvilta kuviossa 3 kuvatulla tavalla; kertomalla kuvalta näkyvä rakennuksen sivu kuvauskorkeudella ja jakamalla tulos kohteen kuvan sisäisellä poikkeamalla kuvauskohteesta, saadaan tulokseksi sivun todellinen korkeus (Seos Project, 2023).

Photogrammetry Measurement – cont.

- Height measurement
 - $h = \frac{d \times H}{r}$
- For example:
 - d = 20 pixels (relief displacement)
 - H = 1000' (flying height)
 - r = 160 pixels (radial displacement)
 - h = 20 pixels x 1000'/160 pixels = 125'

Kuvio 3. Fotogrammetrinen korkeudenmääritys (iGETT Remote Sensing Education, 2015)

Mittaaminen kuvilta tapahtuu pääasiassa siihen kehitettyjen ohjelmistojen avulla, eikä aineistojen tuottamisessa kuvia prosessoimalla tarvita juurikaan laskenta-

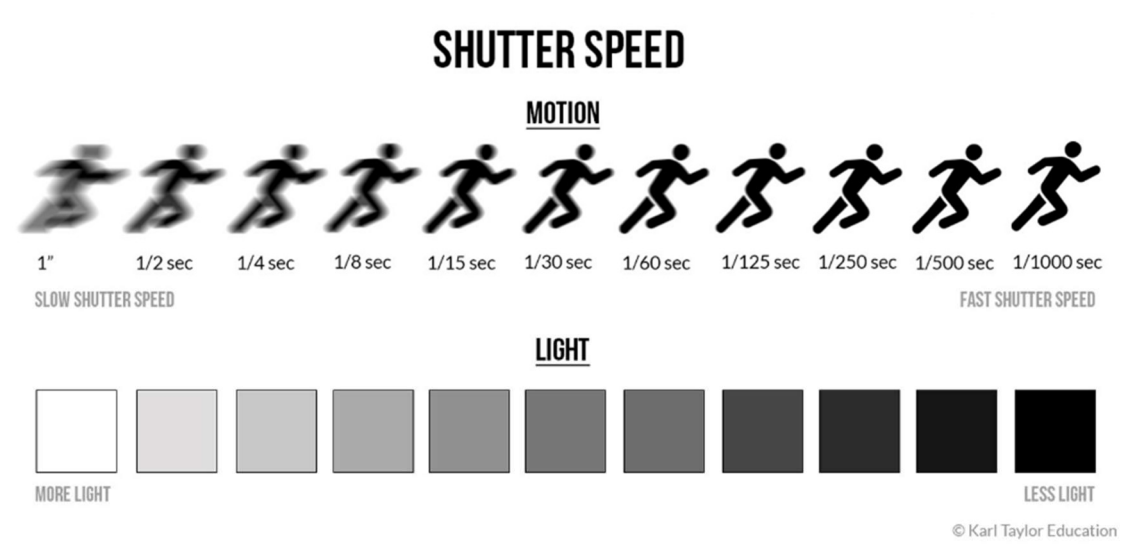
osaamista. On kuitenkin hyvä tietää, mihin laskenta perustuu ja mitä on teke-
mässä. Monissa droneissa on olemassa GNSS-järjestelmä, mikä mahdollistaa
fotogrammetrian soveltamisen ainakin teoriassa myös muille kuin ammattilaisille.
Tulosten tarkkuuteen ja ainakin kuvien sijaintitietoihin vaikuttavat kuitenkin satel-
liittipaikannuksen tarkkuus, joka voi vaihdella paljonkin paikasta, laitteesta ja
ajankohdasta riippuen, tämän tarkkuuden parantamiseksi on kolme tapaa: GCP-
pisteiden hyödyntäminen, RTK ja PPK. Lisäksi sääolosuhteet kuten sade, tuuli ja
lämpötila vaikuttavat kuvaustapahtuman tarkkuuteen. Lentokorkeus, lentono-
peus ja kuvien valotusaika vaikuttavat kuvien laatuun.

Vesisateella lentämistä ei suositella, sillä drone on sähkölaite ja kosteus voi ai-
heuttaa ongelmia sen toiminnalle, lisäksi sade voi heikentää näkyvyyttä. Kova
tuuli pyrkii viemään dronen mukaansa, mikä vaikeuttaa vakaan linjan ja lentokor-
keuden pitämistä ja pahimmillaan vaikuttaa laitteen ilmassa pysymiseen. Korkea
pakkanen saattaa myös vahingoittaa dronen toimivuutta, ja esimerkiksi roottorei-
hin lennon aikana kiinni jäätyvä kosteus voi vaikeuttaa roottorien pyörimistä ja
tuoda lisäpainoa.

2.2 UAV-kuvauksen tarkkuudesta

Kuten todettu, lentokorkeus vaikuttaa kuvauksen mittakaavaan ja tarkkuuteen,
kun lennetään lähempänä kuvauskohdetta, saadaan tarkempia tuloksia, sillä ku-
vista tulee laadukkaampia, tämä kuitenkin lisää vaadittavaa peittoa varten vaa-
dittavien kuvien määrää ja pidentää lentoaikaa. Nopeus puolestaan vaikuttaa
myös lentoaikaan, mutta liian nopealla lentonopeudella kuvien tarkkuus kärsii.

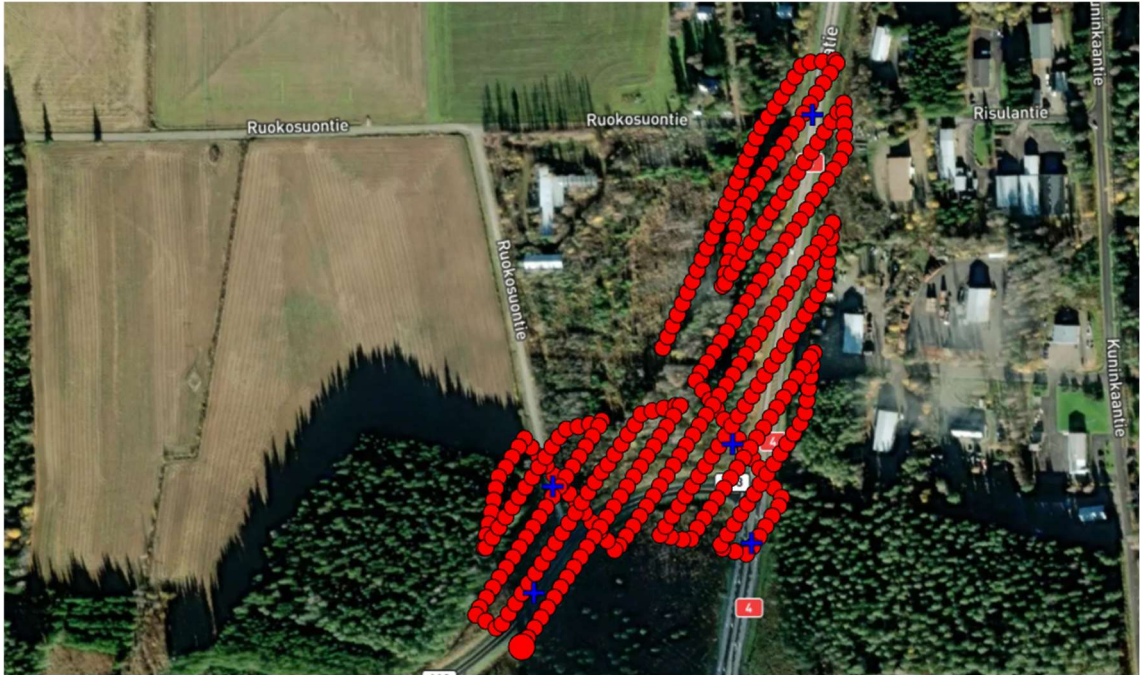
Vuodenajalla on merkitystä siihen, kuinka hyvin kuvista pystytään havaitsemaan
esimerkiksi tiettyjä pintoja, sillä eri kulmista katsottuna kasvillisuus saattaa muo-
dostaa näköesteitä. Tästä johtuen kevättä, juuri lumien sulamisen jälkeen, on pi-
detty ilmakuvaukselle sopivimpana vuodenaikana. Näköesteiden vuoksi pinnoille
laskettavien pisteiden määrä jää vähäisemmäksi, tai kasvillisuus, esimerkiksi kor-
keat kasvustot ojassa, voivat jopa estää pisteiden laskemisen oikeaan pintaan
automaattisesti.



Kuvio 4. Suljinaika (Karl Taylor Education, 2023)

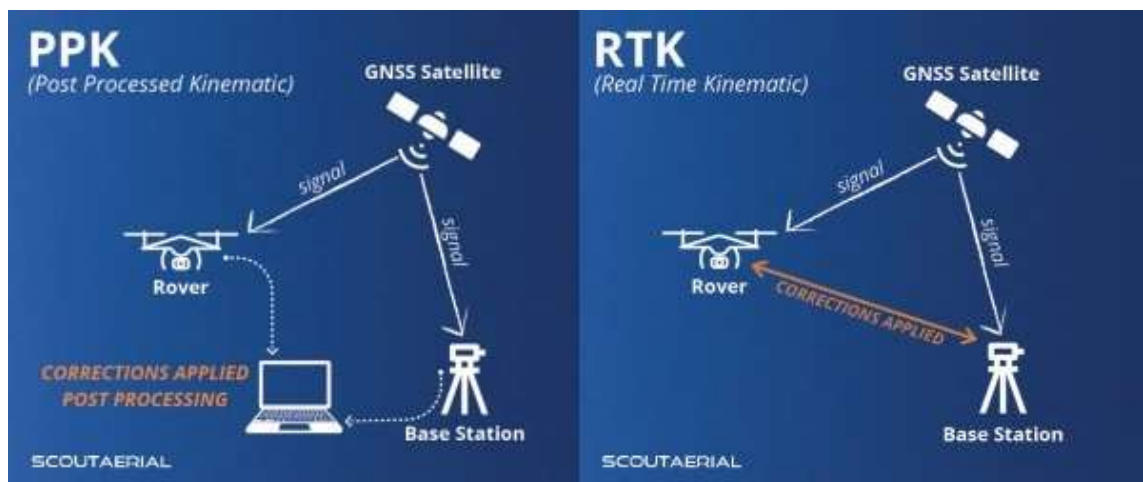
Valotusaika tai suljinaika (englanniksi Shutter Speed) tarkoittaa aikaa, jonka kameran suljin on auki ja päästää valoa kameran kennoille (AVplus, 2022). Aika ilmaistaan sekunnin osina ja valotusaika vaikuttaa olennaisesti siihen, kuinka terävänä liike tallentuu kuviin. Kuvaushetkellä vallitsevista luonnon olosuhteista johtuen voi tulla tarpeeseen muuttaa EV-lukua (Exposure Value), joka vaikuttaa kuvien valoisuuteen. Esimerkiksi jos lyhyttä valotusaikaa käytetään talvella, kun valo on vähäisempää ja maassa on lumipeite, kuvat muuttuvat usein tummiksi ilman EV-luvun käyttöä. Kesäisemmissä valaistusolosuhteissa EV-luvun käyttö ei välttämättä ole tarpeen, sillä liika valoisuus voi myös vääristää kuvien laatua.

GCP-pisteiden (Ground Control Points) käyttäminen on yleinen tapa parantaa kuvien sijainnin tarkkuutta, GCP-pisteet tai signalointipisteet ovat muilla mittausmenetelmillä kuten takymetrillä tai GNSS-mittalaitteella maastoon mitattuja pisteitä, jotka voidaan selkeästi havaita kuvilta. Pisteet merkitään maastoon yleensä ristien muotoisilla kuvioilla, ja tyypillisesti suositellaan, että ne muodostaisivat kuvion, jossa pisteitä on sekä alueen reunoilta, että keskeltä. Mikäli kuvauslaitteen sijainnin määrittämiseen on käytettävissä vain suora GNSS-yhteys, on suositeltavaa ja usein jopa välttämätöntä käyttää GCP-pisteitä kuvien georeferoimiseksi prosessoinnin yhteydessä. GCP-pisteitä on silti hyvä mitata tarkastuspisteiksi, vaikka käytössä olisikin RTK tai PPK-menetelmä, tällöin voidaan huomata mahdolliset virheet ennen lopputuotetta ja tehdä korjaustoimenpiteitä.



Kuvio 5. Valittulantien GCP-pisteiden sijainnit

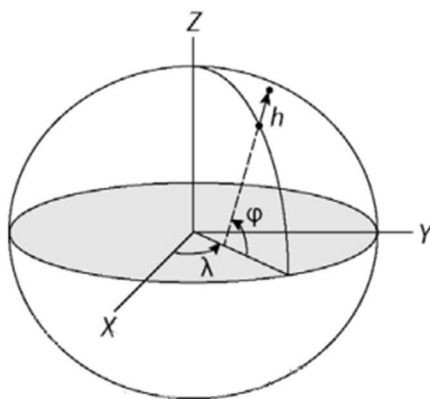
RTK eli Real Time Kinematic, on mittausmenetelmä, jossa vastaanotin (UAV-mittauksessa sisäänrakennettu) on reaaliaikaisessa yhteydessä sekä satelliitteihin, että kiinteään tai virtuaaliseen tukiasemaan korjausdatan vastaanottamiseksi. Vastaanottimen sijaintia määritetään lähes reaaliajassa vertaamalla sen sijaintia satelliitteihin ja tukiasemaan, jonka sijainti on ennalta tiedossa. RTK on nopea ja suhteellisen tarkka menetelmä satelliittipaikannukseen, mutta sen heikkoutena on alttius mahdollisille yhteysongelmille, eli mikäli yhteys tukiaseman ja vastaanottimen välillä katkeaa, tarkkuus heikkenee.



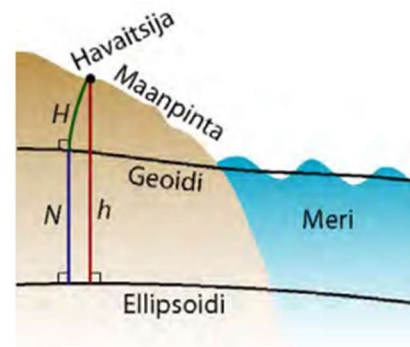
Kuvio 6. RTK-, ja PPK-mittausten periaatteet (ScoutAerial, 2023)

PPK eli Post Processed Kinematic on mittausmenetelmä, jossa vastaanottimen keräämä data prosessoidaan jälkikäteen erilaisten lokitietojen perusteella, ja määritellään sitä kautta, missä vastaanotin on kunkin kuvan ottohetkellä ollut. Tämä ottaa enemmän aikaa kuin RTK-menetelmä, mutta vähentää häiriöherkkyttä, kun tukiasemaan ei tarvita reaaliaikaista yhteyttä. Lisäksi voidaan pystyä operoimaan laajemmalla alueella tai vapaammin, kun etäisyyttä tukiasemaan ei tarvitse huomioida.

Dronen suorittamissa mittauksissa koordinaattijärjestelmänä käytetään globaalia WGS 84-tasokoordinaatistoa, korkeuslukemat ovat GPS-korkeuksia, jotka ovat vielä kaukana maanmittauksessa käytettävästä N2000-järjestelmästä. Suomessa yleisesti käytettävät ETRS89-järjestelmän mukaiset kaistat, kuten hankkeella käytettävä ETRS-Gk26-järjestelmä ovat valittavissa, mutta korkeutta ei pysty suoraan muuntamaan FIN2005N00-geoidimalliin.



Kuva 2-1. Kolmiulotteiset koodinaatit (X,Y,Z) ja maantieteelliset koodinaatit (φ,λ,h) .



Kuva 2-2. Eri korkeuksia: korkeus ellipsoidista, h , vaaittu korkeus, H , ja geoidikorkeus, N .

Kuvio 7. Geoidimallin havainnollistaminen (Geodeettinen laitos, 2009)

Geoidilla tarkoitetaan sitä muotoa, johon vapaa valtameren pinta asettuu lepotilassa. Geoidin tarkkaa muotoa ja pintaa kolmiulotteisessa avaruudessa on vaikea kuvata matemaattisesti koska geoidi on fyysikaalinen maan massojen ja tiheysvaihteluiden määräämä pinta. Yleensä geoidi kuvataan korkeuksina vertausellipsoidiin nähden. Silloin puhutaan geoidimallista. Geoidimallissa annetaan siis geoidin korkeus ellipsoidista, eli geoidikorkeus. (Geodeettinen laitos, 2009)

FIN2005N00-geoidimallin pohjana käytettiin pohjoismaista NKG2004, jonka pohjana puolestaan GRACE-satelliittien havainnoista laskettua globaalia painovoimamallia yhdistettynä EGM96-mallin kanssa (Geodeettinen laitos, 2009). Todennäköisesti lähimmäksi Pix4Dmapperin korkeusjärjestelmävaihtoehdoista päästään EGM96-mallin avulla, se on U.S. Defence Mapping Agency:n ja NASA:n Goddard Space Flight Centerin sekä Ohion valtionyliopiston kehittämä, vuonna 1996 julkaistu malli, jonka tarkkuus Suomessa on Geodeettisen Laitoksen julkaisun mukaan noin 15 cm.

2.3 Toteumatiedoista

Rakennushankkeen vaiheet todennetaan suorittamalla toteumamittauksia jokaisessa työvaiheessa mittaus- ja laadunvarmistussuunnitelmassa sovitulla tavalla. Mittaukset suoritetaan yleensä takymetrillä tai GNSS-mittalaitteella, riippuen kohteen tarkkuusvaatimuksista ja tilaajan kanssa sovitusta menettelytavoista, nykyisin merkittävä osa maanrakennustöiden mittauksista suoritetaan mallipohjaisilla hankkeilla työkoneohjauksen avulla, eli kuljettajat tallentavat toteumapisteitä esimerkiksi kauhan tai puskulevyn avulla, kun rakenne on valmis. Hartola-Oravakivensalmi-hankkeella valtaosa mittauksista suoritetaan satelliittipaikannuksen avulla, takymetriä käytetään enimmäkseen asfalttipäällysteiden ja niiden pohjien mittaamiseen.

Työkoneohjauksella toteutetuista rakenteista tehdään työn aikana toteumamittauksia, joita käytetään työnaikaiseen rakenteiden mittatarkkuuden laadunvalvontaan ja työn etenemisen seurantaan. Työkoneohjauksella tehtävällä toteumamittauksella tarkoitetaan toteutetun rakenteen, varusteen, järjestelmän tai taitorakenteen paikkatiedon tai laatutekijän mittausta. Toteumamittauksella osoitetaan tehdyn työn kelpoisuus suhteessa suunnitelmiin ja laatuvaatimukseen. (Yleiset Inframallivaatimukset YIV 2021)

RTK-GNSS-mittalaitteilla tai takymetrillä suoritetaan toteumamittauksia työkoneohjauksella toteutetuista rakenteista. Mittalaitteilla suoritettavat toteumamittaukset täydentävät työkoneilla suoritettuja toteumamittauksia, mutta ovat myös osa työkoneautomaatiolla toteutettavan työn laadunvarmistusta (YIV 2021).

Muita mallipohjaiseen toteutukseen ja laadunvarmistuksessa käytettäviä mittausmenetelmiä ovat:

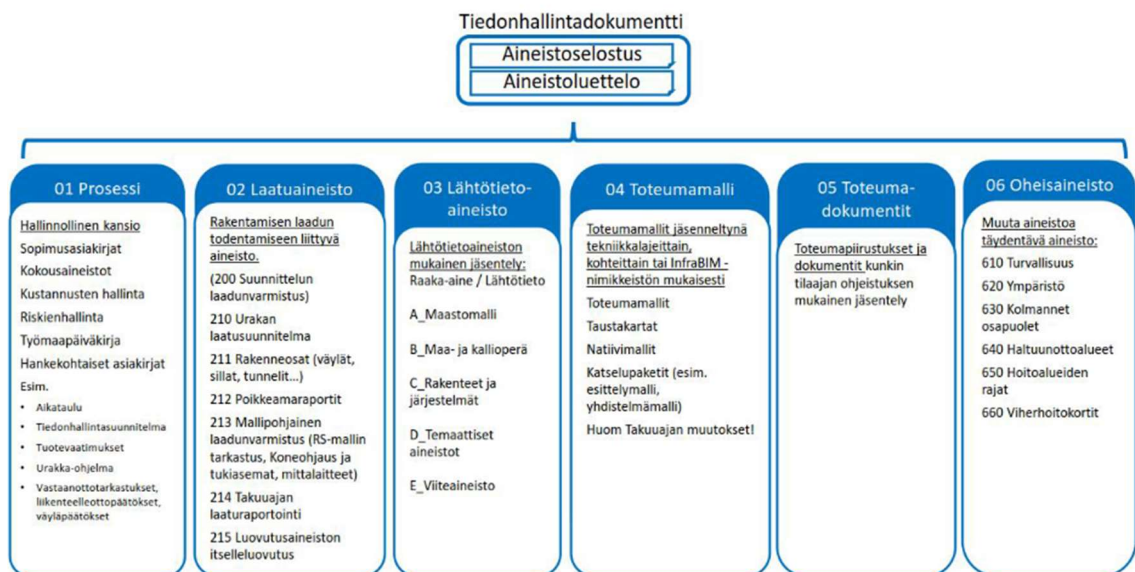
- tiiveyden ja kantavuuden mittaukset pistemäisinä mittauksina tai jyrän 3D-ohjausjärjestelmällä
- valokuvaus, videointi ja laserkeilaus manuaalisesti, dronella tai ajoneuvolla

Näiden menetelmien hyödyntämisestä päätetään projektiakohtaisesti. (YIV 2021)

Toteuman tarkastuksella tarkoitetaan työkonoiden ja mittaushenkilöstön toteumamittausten tarkastamista ja hyväksyntää tiedonhallintajärjestelmän käyttöliittymässä. Toteumapisteiden sijaintia ja poikkeamia toteutusmalleihin voidaan tarkastaa sekä kartta- että poikkileikkausesityksenä tai taulukkomuodossa (YIV 2021).

Digitaalisella luovutusaineistolla kuvataan valmiin työn luovutus. Luovutusaineisto muodostuu toteumamallista ja -piirustuksista, laadunvarmistusaineistosta sekä niihin liittyvästä dokumentaatiosta. Aineistolla todennetaan rakentamisen laatu ja se toimii kokonaisuudessaan lähtötietona kunnossapitovaiheelle. Digitaalinen luovutusaineisto parantaa hankkeen elinkaaren tiedonhallintaa (YIV 2021).

Tiedon jäsentely – Toteutuksen luovutusvaihe



Kuvio 8. Tiedon jäsentely toteutuksen luovutusvaiheessa (YIV 2021)

Toteumamallilla tarkoitetaan inframallia, joka kuvaa infrarakenteen tai järjestelmän sellaisena kuin se on kohdekohtaisesti laatuvaatimukset huomioiden toteutettu. Toteumamalli on tapa koota hankkeen rakentamisen mittaamisessa ja työkoneohjauksessa käytetty ja kohteesta kerätty tietosisältö. Toteumamalli voidaan tehdä täydentämällä ja päivittämällä rakennussuunnitelma- tai toteutusmallia rakenteen lopullisen toteuman mukaisesti (YIV 2021).

Kun toteumamalli perustuu kartoitettuun tietoon, se mitataan niin, että maaston vallitsevat taitteet tulevat esille ja mittaus on riittävän tarkka määrälaskennan tarpeisiin (YIV 2021).

2.4 Kohteena oleva hanke

Hartola-Oravakivensalmi-hankkeessa parannetaan Valtatie 4:n liikenteen sujuvuutta ja turvallisuutta Hartolan taajaman ja Joutsan ABC:n välillä leventämällä valtatieä, oikomalla mutkia, muuttamalla liittymäjärjestelyitä ja toteuttamalla pohjavedensuojausta noin 9 kilometrin matkalle ulottuvalle pohjavesialueelle. Lisäksi tehdään oikaisuosuus uuteen maastokäytävään, jonka yhteyteen toteutetaan keskikaiteellinen ohituskaistapari, valaistus rakennetaan koko matkalle. Hankealue on pituudeltaan noin 12 kilometriä ja toteutetaan STk-urakkana.

Samassa yhteydessä toteutetaan myös erillisenä urakkana Hartolan liittymien parantaminen, jossa neljä liittymäaluetta ja näistä kahden liittymäalueen välistä aluetta parannetaan. Tämän opinnäytetyön prosessikuvaus on rajattu käsittelemään noiden liittymäalueiden mallinnusta.



Kuvio 9. Hankealue, kuvassa näkyvät kolme erillisistä liittymäalueista ympäröity punaisella (Väylävirasto, 2023)

Hankkeessa on toteutettu suuria massansiirtoja ja kuvassa 6 näkyvän hankealueen keskivaiheilta on ”leikattu auki” paikalla sijainnut harju. Pohjavedensuojaukset vaativat vallien tekemisen sellaisiinkin paikkoihin, mihin niitä ei muuten tarvittaisi. Hankkeen luonteesta johtuen siinä muodostuu suuria alueita meluvällejä, luiskia ja pintaa, jonka mittaaminen piste kerrallaan läpi kävelemällä yhden henkilön toimesta ei olisi ajallisesti ja vaivannäön osalta tehokasta, ja voisi pahimmillaan aiheuttaa myös mahdollisia turvallisuushaasteita mittaajan työlle.

3 HARTOLAN LIITTYMIEN MALLINNUS

3.1 Valmisteluja

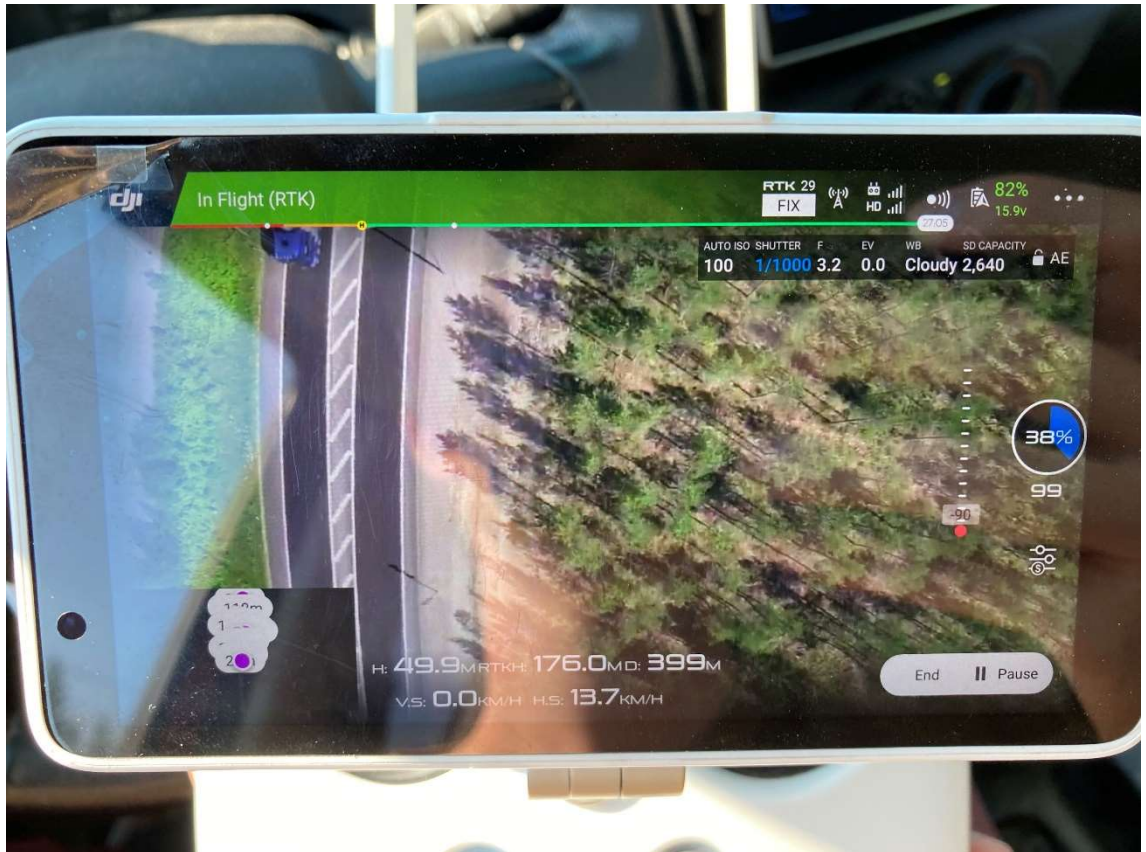
Ennen ilmakehän kuvausta tulee suunnitella toteuttamisen työkuulu sen mukaan, millaisia tuloksia lennolta halutaan ja millainen kalusto on käytettävissä. Lentoajan kohdan suunnitteluun vaikuttavat säätila, lentoalueen mahdolliset rajoitukset UAV-laitteen käytölle tiettyinä ajankohtina sekä vuorokaudenaika. Tulosten tarkkuuteen vaikuttavat muun muassa lentokorkeus, valotusaika, lentonopeus ja kameran parametrit. Lisäksi kalustosta riippuen lentoaikaan vaikuttaa myös akun kesto. Näiden analysoiminen kovin suurella tarkkuudella jokaisen lentotapahtuman kohdalla ei ole kuitenkaan välttämättä tarpeen, vaan on olemassa riittävän hyväksi todettuja toimintatapoja, ja monet lentosovellukset tarjoavat automaattisesti asetuksia, joita on helppo muokata tarvittavaan suuntaan.

Dronetoiminnan yleistyttyä on alettu luomaan lainsäädäntöä, jotta toiminta pysyisi jotenkin hallinnassa, ja olisi mahdollisimman turvallista niin toimintaa harjoittaville, kuin siihen osallistumattomille sivullisille. Säädökset ovat kuitenkin päivittyneet ja tulevat todennäköisesti päivittymään edelleen, joten niitä ei juurikaan käsitellä tässä opinnäytetyössä. Säädöksistä ja mahdollisista vaatimuksista kauko-ohjaajan suorittamille kokeille ja koulutuksille tulee olla tietoinen ennen kuin lähtee suorittamaan toimintaa. Monilla alueilla, kuten tiheästi asutulla alueella tai lentokenttien läheisyydessä toimintaa on rajoitettu tai kielletty kokonaan. Myös näistä rajoituksista tulee olla tietoinen, kun suunnittelee lentotapahtumaa ja sen ajankohtaa, verkosta löytyy tietoa rajoituksista ja alueista, joita ne koskevat.



Kuvio 10. DJI Phantom 4 RTK-drone Hartolassa

Tässä tapauksessa käytettiin DJI Phantom 4 RTK-kameradronea, jonka 1 tuuman ja 20 megapixelin kameralle luvataan 100 metrin lentokorkeudella GSD-luvuksi 2.74 cm aurinkoisella säällä. Laite hyödyntää mittauksessa aiemmin kuvattua RTK-tekniikkaa, mikä tarkoittaa sitä, että parhaan tarkkuuden saavuttamiseksi tulee lentoalueella olla käytettävissä tukiasema, johon laitteen voi yhdistää. Dronen lisäksi kalustoon kuuluu kauko-ohjauslaite, jonka avulla kaikki asetusten valinta ja ohjaaminen tapahtuu. Ohjauslaite ja drone ovat yhteydessä toisiinsa radiosignaalin avulla, ja laite on niin käytännön syistä kuin määräyksistä johtuen pidettävä lennon aikana näköyhteyden päässä.



Kuvio 11. Kameranäkymä lennon aikana

Lennon edistymistä ja dronen sijaintia pystytään seuraamaan joko karttanäkymässä tai kameranäkymässä, samalla pystytään havaitsemaan miltä maasto kuvaushetkellä kameran kautta näyttää, eli arvioimaan alustavasti tulevatko kuvat olemaan käyttökelpoisia, ja esimerkiksi onko laitteella koko ajan käytettävissä RTK-ratkaisu, jotta kuvien sijainnin tarkkuus ei heikkene.

Kun halutaan fotogrammetriassa hyödynnettävää materiaalia, lennot toteutetaan yleensä automaattisella lento-ohjelmalla, jotta kuvat otetaan tasaisissa jonoissa, lentokorkeus pysyy koko ajan mahdollisimman tarkasti samana, ja kuvien ottaminen tapahtuu tasalaatuisesti. Tämä mahdollistaa myös kauko-ohjaajan keskittymisen enemmän dronen liikkeen tarkkailuun.

3.2 Prosessin aloitus

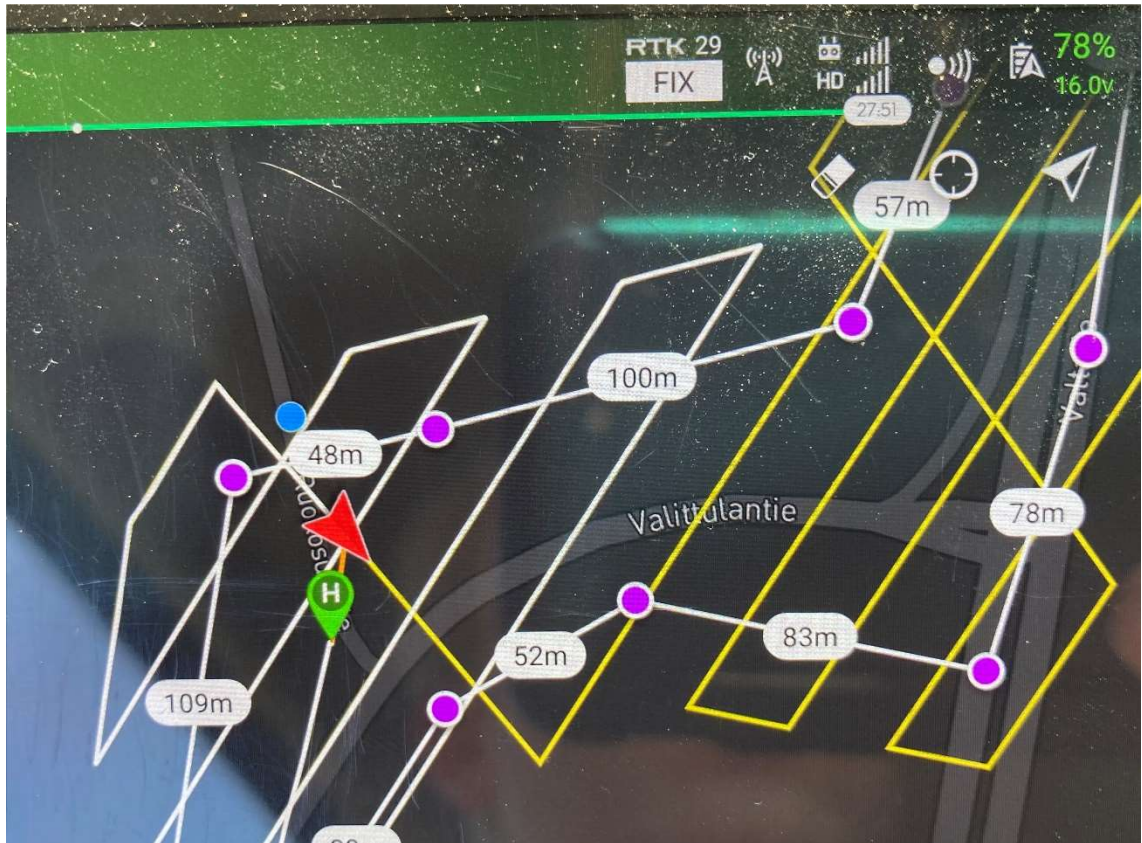
Kuvauslentoja lähdettiin suorittamaan kesällä, mikä ei ole välttämättä paras vuodenaika johtuen runsaasta kasvillisuudesta. Kuvauskohteena oli kuitenkin valta-

tie ja sen ympärillä tiealueen sisäpuolella sijaitsevat kaivinkoneella muotoillut luis-
kat ja muut pinnat, joka on ojan pohjalle muodostunutta rikkaruohokasvustoa lu-
kuun ottamatta melko avointa aluetta, kasvuston ei siis pitäisi aiheuttaa merkittä-
vää haittaa. Liikenne sen sijaan tulisi aiheuttamaan kohinaa tien pintoihin, mutta
asfalttipintoja ei oteta mukaan mallinnukseen, sillä ne on tarkkuusvaatimusten
vuoksi mitattava takymetrillä.

Kaikkia liittymäalueita ei lennetty samana päivänä, vaan niistä kaksi, jotka olivat
jo mallinnettavien kohteiden osalta valmiina, kuvattiin samana päivänä. Kaksi
muuta liittymäaluetta ja niiden välinen tieosuus kuvattiin joidenkin viikkojen kulut-
tua. Sää oli kuvauspäivinä suotuisa ja valoa oli riittävästi saatavilla.

Automaattista lento-ohjelmaa käytettäessä voidaan määritellä lennettävä alue
joko juuri ennen lennon aloittamista piirtämällä alue sovelluksessa näkyvään
taustakarttaan, tai tekemällä tietokoneella valmiiksi aluerajaus, joka viedään
KML-tiedostomuodossa ohjauslaitteeseen. Tässä tapauksessa käytettiin jälkim-
mäistä tapaa, mikä helpottaa riittävän kokoisen alueen määrittämistä, ja sovellus
tarjoaa automaattisesti pitkittäisen muotoisille alueille pääasiallista lentosuuntaa
pituussuunnassa. Kuvattaessa esimerkiksi tiealuetta lentosuunnan olisi hyvä olla
mahdollisimman hyvin tien suuntainen, tällöin yksittäisistä kuvasarjoista tulee
mahdollisimman pitkiä, mikä helpottaa kuvien prosessointia.

Aluerajauksen viemisen lisäksi maastossa käytettävää aikaa voidaan vähentää
asettamalla lento-ohjelman asetukset valmiiksi jo ennen kuvauspaikalle lähte-
mistä. Valotusaikana käytettiin 1/1000 sekuntia, lentokorkeutena 50 metriä, mikä
riittää hyvin puuston yläpuolella pysymiseen, mutta saavutetaan kuviin tarkkuutta
ja kuvien määrä lisääntyy, kun alueen peittämiseksi tarvitaan enemmän kuvia ja
kuvat otetaan lähempää maata, kuin esimerkiksi 80 metristä, mitä on yleensä
käytetty pelkkää ortokuvausta tehtäessä. Kuvien laadun merkitys korostuu, kun
halutaan tuottaa pistepilvi tai digitoida kuvista kohteita.



Kuvio 12. Karttanäkyvä Valittulantie

Kuvassa 9 lennon aikainen karttanäkyvä Valittulantien liittymäalueelta, kuvassa näkyvän lento-ohjelman mukaiset lentoreitit, joita pitkin drone lentää ja suorittaa kuvausta, sekä dronen sijainti reitillä. Lentoreittien suunnassa on yritetty optimoida valtatie ja siihen liittyvän Valittulantien kuvauksen pituussuuntaisuus.

Lentoaluetta määriteltäessä on usein tarpeen ottaa huomioon, kuinka pitkään lennon suorittaminen kestää, ja kuinka pitkään käytössä olevalla dronella pystyy kuvausta suorittamaan, tähän vaikuttavat akun kesto, dronen koko ja paino, kuinka kaukana lennon aloituspaikka ja lopetuspaikka lähtöpisteestä sijaitsevat, sekä tuulenopeus. Kovin suurilla tuulenopeuksilla ei ole suositeltavaa lentää, sillä se vaikuttaa myös dronen vakauteen lennon aikana, ja voi aiheuttaa riskitilanteita. DJI ei suosittele Phantomin lennättämistä, kun tuulenopeus on yli 10 m/s. Lisäksi on hyvä huomioida yleisen tuulenopeuden lisäksi mahdollinen puuskittaisuusnopeus.

3.3 Toiminta maastossa

Fotogrammetriin sovelluksiin käytettävässä ilmakuvauksessa GCP-pisteiden mittaaminen on suositeltavaa joko kuvien georeferoimiseksi, eli haluttuun koordinaatistoon sitomiseksi, tai sen tarkastamiseksi, että kuvien ja niistä tuotetun aineiston sijainti ovat riittävällä tarkkuudella. GCP-pisteet voidaan mitata GNSS-mittalaitteella tai takymetrillä ja ne mitataan ennen lennon aloitusta ja merkitään maastoon riittävän näkyvästi. Tässä tapauksessa mitattiin GCP-pisteitä Trimblen R10-GNSS-vastaanottimella asfaltille. Pisteet ovat väliaikaisia, ja niihin riittää yleensä maalattu tai muusta materiaalista tehty ristin muotoinen kohde.



Kuvio 13. GCP-piste asfalttipäällysteellä

GCP-pisteiden mittauksen jälkeen voidaan aloittaa lentoon valmistautuminen varmistamalla, että kaikki on alueella kuten pitääkin, eli ei ole havaittavissa poikkeavuuksia, joita ei ole pystytty suunnittelussa havaitsemaan ja toiminnasta ei pitäisi aiheutua sivullisille haittaa. Lentoonlähtöpaikaksi valitaan turvallinen ja tasainen alusta riittävän etäällä, ja valmistellaan drone lentoon lähtöä varten.

Kuvauslento suoritetaan automaattista lento-ohjelmaa käyttäen, seuraten jatkuvasti dronen käyttäytymistä ja lennon edistymistä. Mikäli jokin näyttäisi menevän

pieleen, lento voidaan keskeyttää ja ottaa drone manuaaliseen ohjaukseen, tai pakottaa palaamaan takaisin lähtöpisteeseen. Radioyhteyden syystä tai toisesta katketessa hetkeksi drone jatkaa lento-ohjelmaa itsenäisesti, kunnes yhteys palautuu. Phantom 4 RTK:n akunkesto on noin 15–20 riippuen aiemmin kuvatuista muista tekijöistä. Akun varaustila voisi riittää pidemmäksikin aikaa, mutta drone lähtee automaattisesti palaamaan lähtöpisteeseen, kun akun varaustila on jossakin 15 ja 20 prosentin välillä ja drone arvioi akun riittävän enää palaamiseen. Samaa lento-ohjelmaa voidaan akun vaihtamisen jälkeen jatkaa ja suorittaa loppuun.

Automaattisen lento-ohjelman päätteeksi drone palaa lähtöpisteeseensä ja laskeutuu automaattisesti, lähtöpaikan tulee olla riittävän avoin ja tasainen turvallisen laskeutumisen mahdollistamiseksi, eikä ihmisten tai objektien ole suositeltavaa olla kovin lähellä laskeutumiskohtaa. Laite tallentaa niin sanotun Home Pointin satelliittipaikannuksen avulla, jota se käyttää lähtö- ja paluupisteinä. Paluu onnistuu yleensä hyvällä tarkkuudella juuri samaan kohtaan, mutta joskus enemmän sivuun, pitäisi kuitenkin pysyä metrin sisällä.

Tiedonsiirto dronen ja tietokoneen välillä tapahtuu SD-kortilla, johon myös lennon aikana otetut kuvat tallentuvat, ja jota käytetään myös esimerkiksi rajaustiedostojen siirtämiseen ohjauslaitteeseen. Kuvia kertyy lennoilla helposti useita satoja, joten datamäärä on niin suuri, että toistaiseksi tiedonsiirto jollakin muulla keinolla olisi hitaampaa.

RTK-menetelmän käyttö tulee aloittaa ennen lentoa yhdistämällä laite tukiasemaan, joka voi olla kiinteä, tilapäinen tai virtuaalinen (esimerkiksi Trimnet VRS). Työmaalla oli käytössä oma tukiasema, joka sijaitsi työmaan tukikohdassa, noin puolivälissä tieosuutta. Laite saattaa menettää RTK-yhteyden kesken lennon, jolloin kuvien tarkkuus heikkenee. Yleensä yhteys palautuu, mutta se voi vaikuttaa yhteyskatkoksen aikana otettujen kuvien sijainnin tarkkuuteen paljonkin.



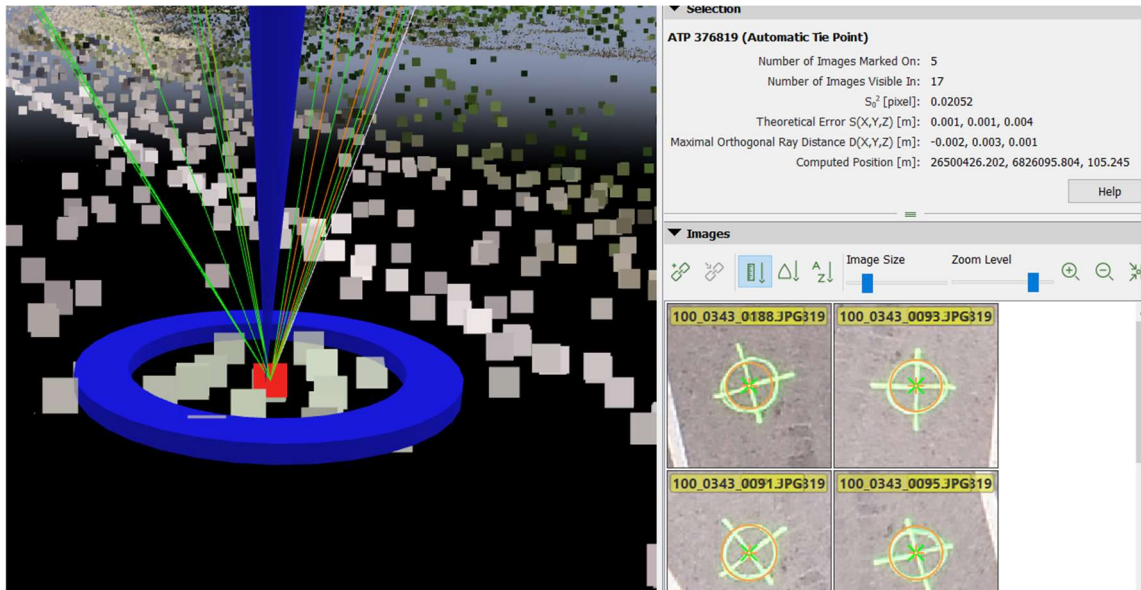
Kuvio 14. Viistokuva Koitintien liittymäalueelta

Pääosa kuvauksesta tapahtuu ortokuvausta tehtäessä suoraan ylhäältä alaspäin, mutta kuvauksessa, jota halutaan käyttää myös kolmiulotteisten kohteiden määrittämiseen, suositellaan käytettäväksi sarjaa viistokuvia prosessoinnin helpottamiseksi. Tämä tarkoittaa sitä, että tietyllä asetuksella (Altitude Optimization) lento-ohjelmassa saadaan drone ottamaan muun lennon päätteeksi vielä sarjan kuvan 11 kaltaisia viistokuvia ohjelmassa ennalta määritellyn reitin mukaisesti.

3.4 Kuvien prosessointi

Lennon aikana otetut kuvat siirretään tietokoneelle, ja varsinainen fotogrammetrian hyödyntäminen alkaa, kun kuvista tuotetaan dataa prosessoimalla niitä jollakin tähän tarkoitukseen tarkoitettulla ohjelmistolla. Ohjelmistoja on useita erilaisia ja jotkut niistä käyttävät hieman erilaisia menetelmiä, tällä projektilla käytössä oli Pix4Dmapper-ohjelmisto, jolla prosessointi ainakin oman kokemukseni mukaan on melko sujuvaa ja helppokäyttöistä.

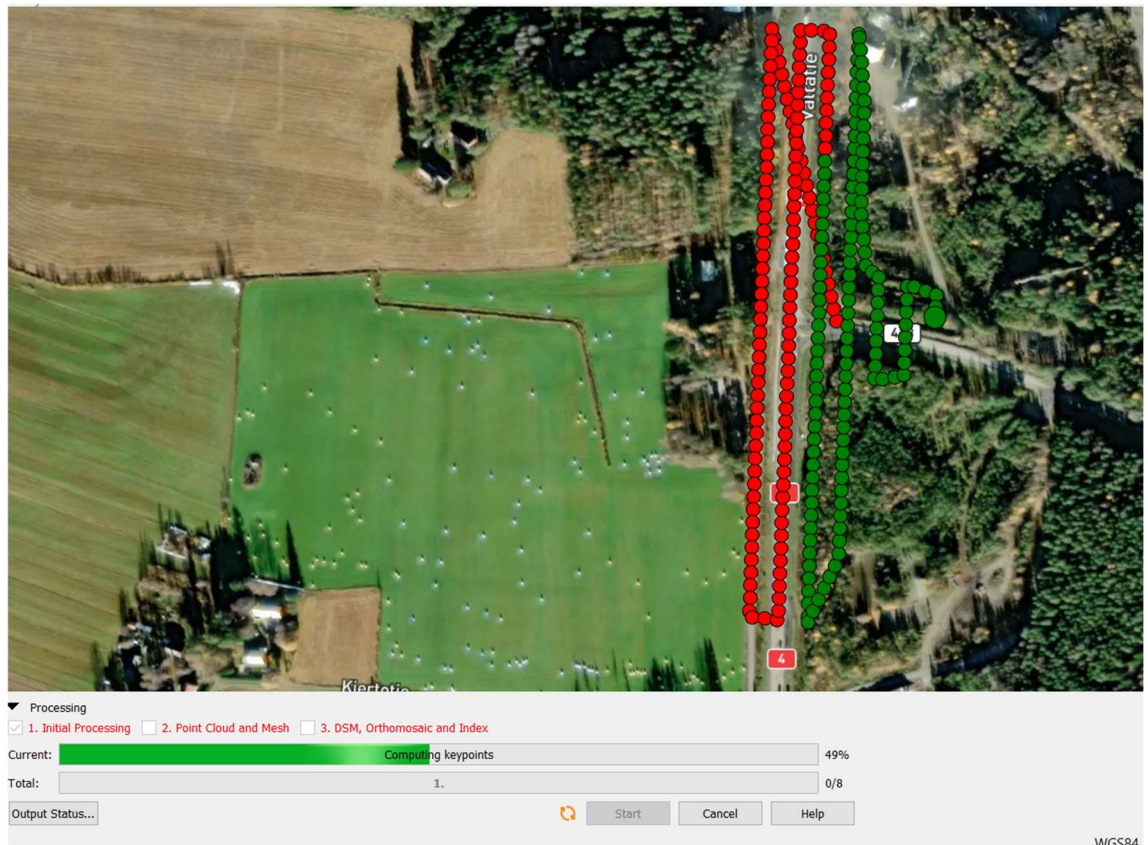
Aluksi ohjelmassa luodaan projekti, joka muodostaa yhden prosessoitavan kokonaisuuden, toisistaan erillään olevia alueita ei ole suositeltavaa yrittää prosessoida samalla kertaa, vaan tulisi pyrkiä mahdollisimman yhtenäisiin kokonaisuuksiin. Esimerkiksi yksi lento kerrallaan on yleensä sopiva projektikoko prosessoitavaksi. Kuvien valinnan jälkeen ohjelma tekee nopean tarkistuksen kuville, jonka jälkeen siirrytään valitsemaan koordinaattijärjestelmää projektille.



Kuvio 15. GCP-piste Koitintien liittymäalueella

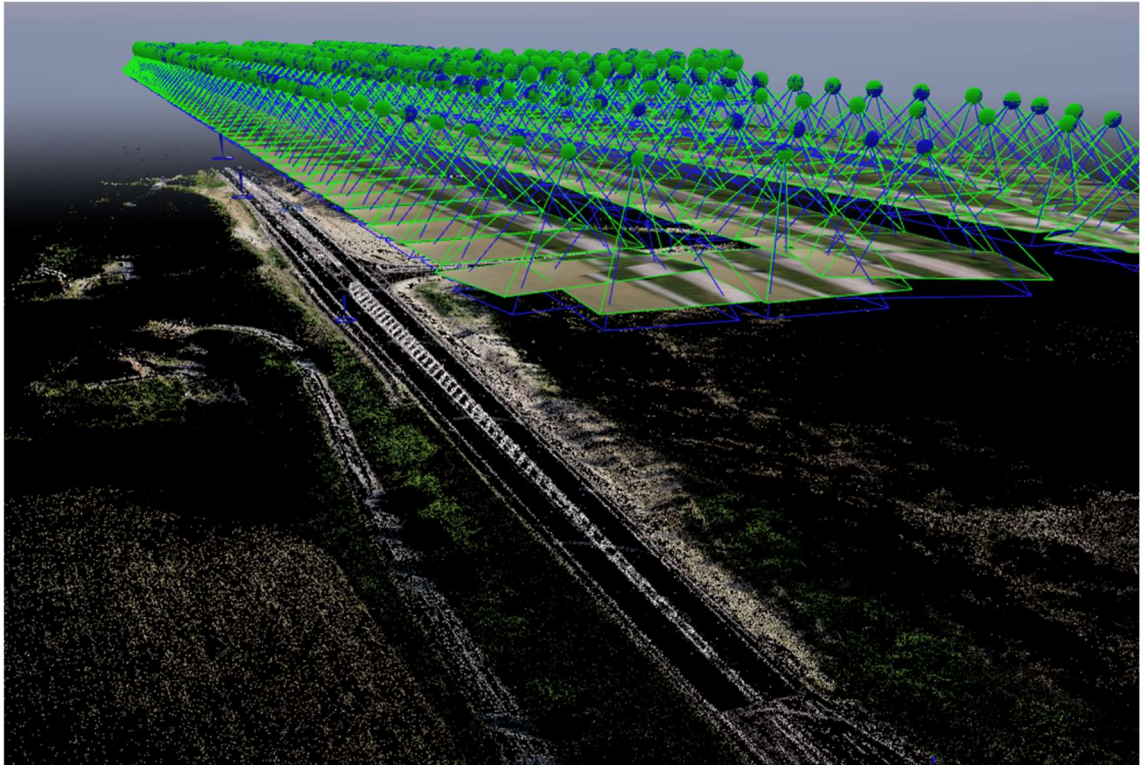
GCP-pisteillä tarkkuutta saadaan tarvittaessa parannettua, ja verrattaessa kuvista tuotetun raycloudin, eli eräänlaisen kuvista lasketun pistepilven esiasteen pisteitä GCP-pisteisiin, päästiin noin 5 cm eroihin. Koitintien liittymäalueella erot olivat tätäkin pienempiä. Koordinaattijärjestelmää pystyy myös muuttamaan Pix4D:ssä prosessoinnin jälkeen, jolloin ohjelma laskee muunnoksen koko projektille.

Seuraavaksi valitaan prosessointitapa, joka vaikuttaa siihen, kuinka yksityiskohtaisesti ohjelma yrittää mallintaa ympäristöä kuvista, ja sen valintaan vaikuttavat myös kohteet, joita halutaan mallintaa. Maastoa mallinnettaessa ei ole yleensä tarpeen valita pitkäkestoisimpia ja yksityiskohtaisempia menetelmiä, varsinkin jos on kyse suurista alueista.



Kuvio 16. Prosessoinnin alku, Koitintien liittymäalue

Itse prosessointi tapahtuu automaattisesti. Kuvassa näkyvän Processing-otsikon alla olevat kohdat "Initial Processing", "Point Cloud and Mesh" ja "DSM, Orthomosaic and Index" kuvaavat prosessoinnin eri tuotantovaiheita. Initial Processing on yleinen aloitusvaihe, joka suoritetaan aina, mutta mikäli esimerkiksi halutaan tuottaa vain ortokuvamosaiikki, voidaan prosessointiajassa säästää jättämällä pois Point Cloud and Mesh. Tuotettavia aineistoja ja niiden tiedostoformaatteja voidaan säätää asetuksista tarkemmin.



Kuvio 17. Ilmakolmiointi ja raycloud

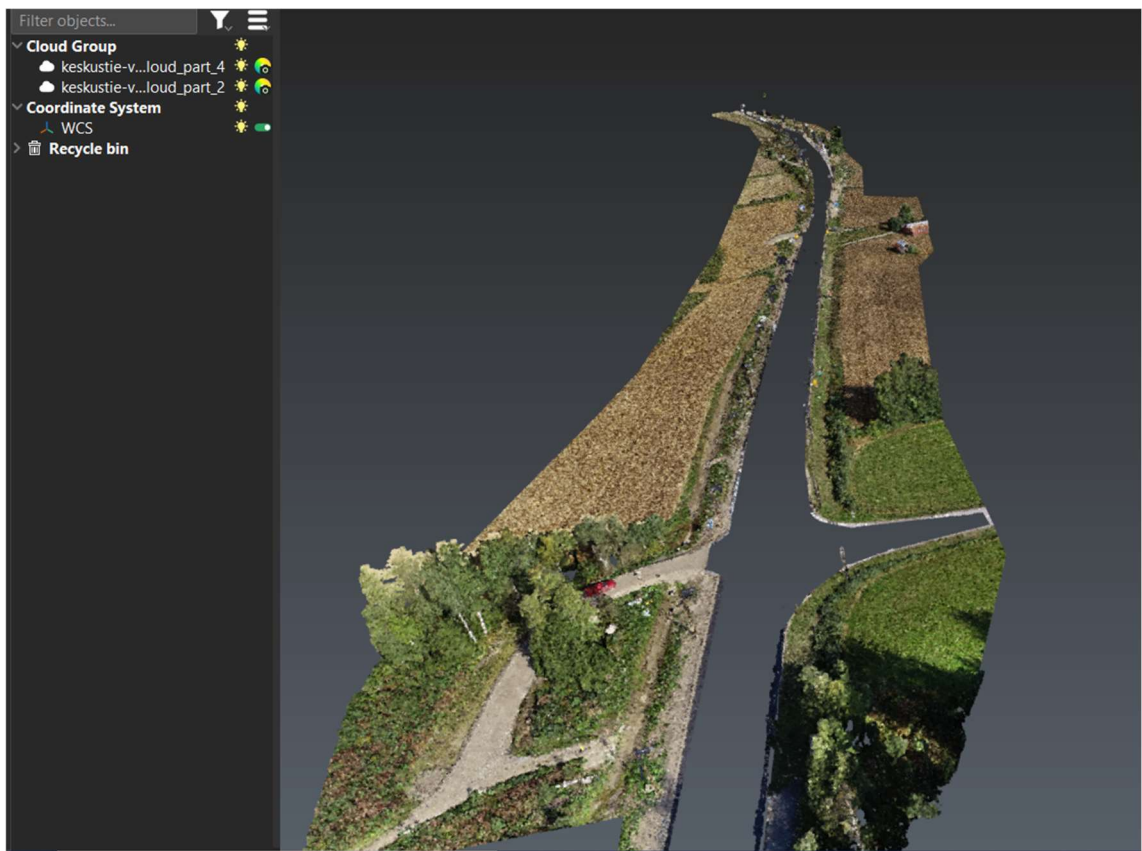
Prosessoinnissa kuvat asettuvat taustakartalla automaattisesti oikeaan sijaintiin, mikäli sijaintitiedoissa ei ole suuria virheitä, ohjelma alkaa tämän jälkeen yhdistelemään kuvia etsimällä niistä samoja kohteita ja toteuttaa niin sanotun ilmakolmiointin (Aerial Triangulation). Tässä työssä olennaisin, pistepilven tuottaminen tapahtuu ensimmäisessä vaiheessa tuotettua karkeaa pistepilveä tihentämällä. Ohjelmalla pystyy myös tuottamaan suoraan pintamalleja, joilla voidaan esimerkiksi laskea varastokasojen tai monttujen tilavuuksia.

3.5 Pistepilven käsittely

Pistepilvellä tarkoitetaan suuren määrän pisteitä sisältävää kokoelmaa kolmiulotteisia pisteitä, joilla jokaisella on vähintään tasokoordinaatit ja korkeuskoordinaatti, mutta mahdollisesti myös muita ominaisuuksia, kuten värejä. Pistepilvestä pystytään tuottamaan kolmiulotteisia malleja yhdistämällä pisteiden välit yhteiseksi pinnaksi. Tätä voidaan hyödyntää esimerkiksi suunnittelussa tai visualisoinnissa. Tiheä pistepilvi saattaa jo itsessään näyttää yhtenäiselle kauempaa katsottuna.

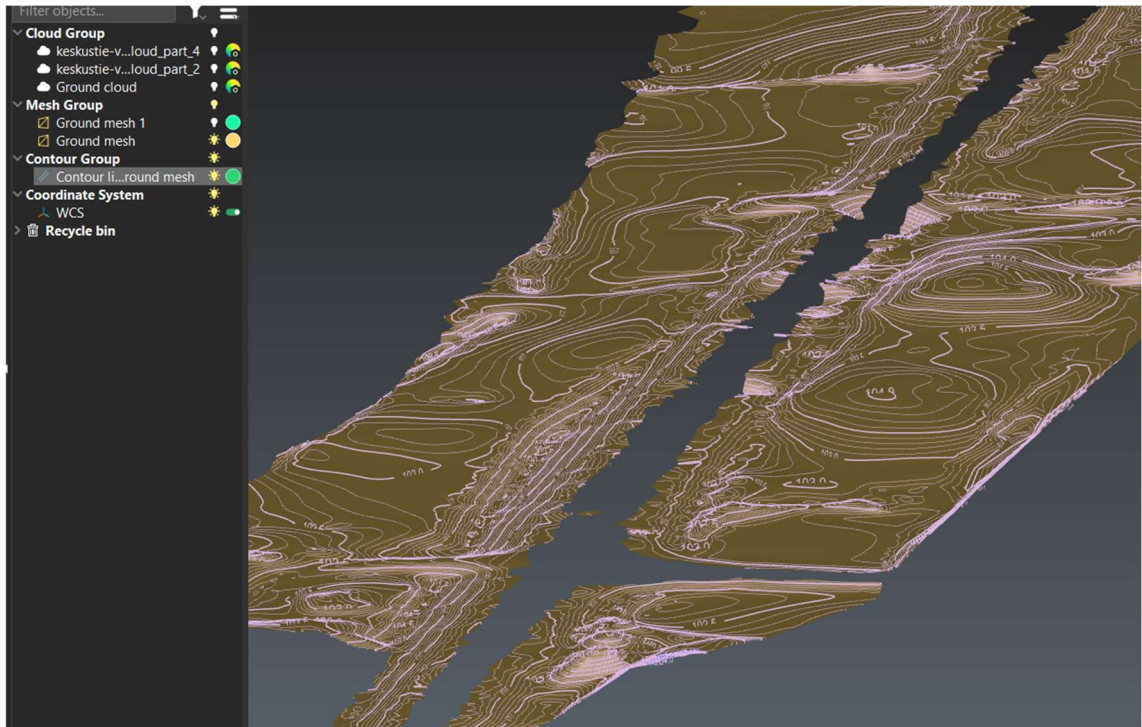
Pistepilvelle on erilaisia mahdollisia tiedostoformaatteja, joiden luettavuus riippuu ohjelmistosta. LAS (LASer) on yleinen pistepilvien tiedostoformaatti, joka avautuu niin 3D-Winissä, kuin useimmissa muissakin ohjelmissa. Cyclone 3Dr on Leica Geosystems:n pistepilvien käsittelyyn tarkoitettu tietokoneohjelma, joka sisältää hyödyllisiä toimintoja ja ”pyörittää” pistepilviaineistoa huomattavasti kevyemmin kuin esimerkiksi 3D-Win.

PixDmapperilla tuotettu pistepilvi käsittää koko kuvatun alueen pisteet, eli ulottuu reilusti tiealueen ulkopuolelle ja sisältää esimerkiksi puuston, valaisinpylväät ja kaiteet. Cyclonea käytetään tässä tapauksessa aluksi aineiston karkeaan siivoamiseen, liika pistepilvi alueen ympäriltä ja selvästi maanpinnan yläpuolelta leikataan pois, samoin tien asfalttiosuus, sillä se on mitattu erikseen takymetrillä, eikä asfalttia voisi pistepilvestä riittävällä tarkkuudella todentaa. Asfalttiosuuden poistolla saadaan myös vähennettyä varsinkin tien pinnassa esiintyvistä kohinaista johtuvia virheitä pistepilvessä.



Kuvio 18. Osittain siivottu pistepilvi, Keskustie-Vuorenkyläntie

Pistepilven siivoamisen jälkeen sitä pehmennetään, ja siitä tuotetaan DTM (Digital Terrain Model), joka on pistepilvestä ohjelman automaatiolla laskettu kolmiulotteinen pinta. DTM:stä näkee jo selkeämmin, millainen pinta pisteiden perusteella muodostuu, ja miten ohjelma arvioi esimerkiksi hajapisteitä pois jättämällä millainen maanpinta alueella on. Siitä nähdään myös selkeämmin luiskien taitteet, kuten ojien pohjat.



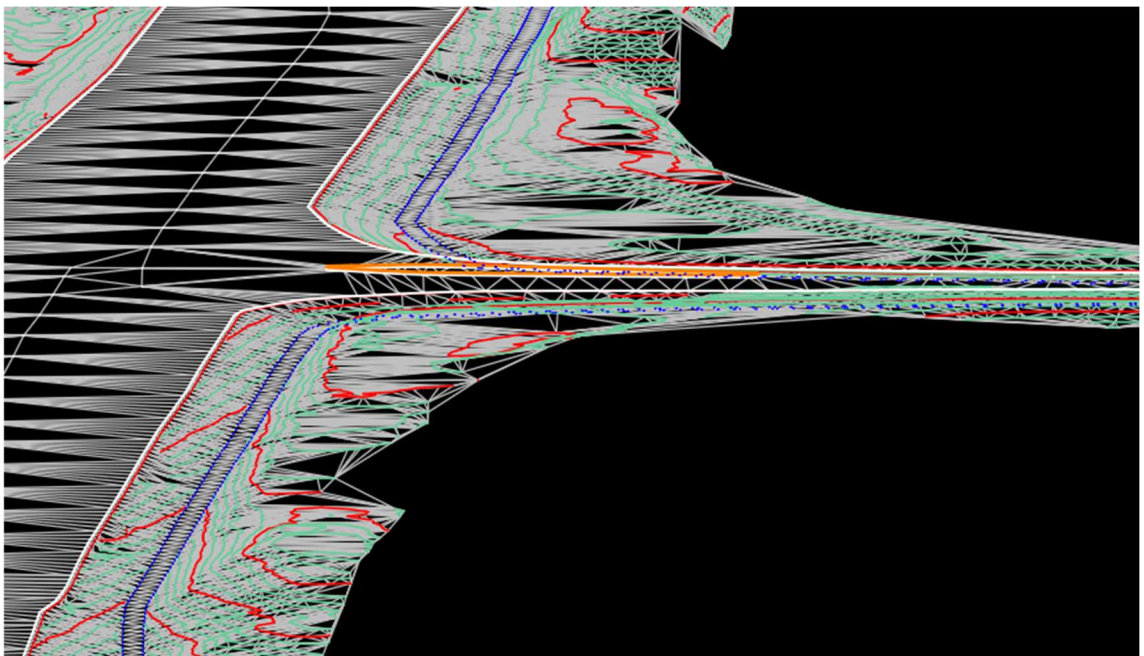
Kuvio 19. DTM, josta on tuotettu korkeuskäyrät

DTM:stä tuotetaan ohjelmalla korkeuskäyrät, jotka ovat pistepilveä kevyempi tapa mallintaa luiskia, niille voidaan valita väliksi esimerkiksi 20 cm. Korkeuskäyrien lisäksi, kun tiedetään missä ojat kulkevat, ne voidaan digitoida piirtämällä viivaa DTM:n päälle, jolloin saadaan sijainti ja korkeus mallista viivoihin mukaan. Nämä viivat ja korkeuskäyrät kirjoitetaan ulos ohjelmasta erilliseen tiedostoon, jotta niitä voidaan hyödyntää toteumapisteistä yhdisteltävien viivojen tavoin. Lisäksi tässä vaiheessa voidaan vielä poistaa mahdollisesti asfalttialueen poistamisen jälkeen tien reunoihin jäänyttä kohinaa.

3.6 Viimeistely 3D-Winissä

3D-Win on alalla yleisesti käytetty maastomittausohjelmisto, jolla voidaan muun muassa tuottaa tietomalleja, muokata ja yhdistellä mittausaineistoja, tehdä määrälaskentaa tai toteumatietojen vertailuja sekä tehdä tiedostoformaattien muunnoksia vaikkapa tietomallin yhteensopivuutta varten eri koneohjausjärjestelmiin tai mittalaitteisiin.

Toteumamalliin kootaan kaikki toteuma-aineistoon kuuluvat rakenneosat, tämän työn tapauksessa YYP-malliin, eli ylimmän yhdistelmäpinnan malliin kootaan asfalttipäällysteiden kartoitus, sen reunaan tulevien murskekaistaleiden eli pientareiden reunat, reunakivet, ojien pohjat sekä pistepilvestä tuotetut korkeuskäyrät. Nämä muodostavat taiteviivat toteumamallin YYP-mallin osalta. Mallintaminen 3D-Winissä edellyttää, että taiteviivat eivät ole ristiriidassa keskenään, eli esimerkiksi leikkaa toisiaan tai ole korkeusasemaltaan toimimattomia tai nollokorkeuksia. Taiteviivoille suoritetaan ohjelmalla kolmiointi, missä muodostuvat taiteviivojen ulkopuoliset kolmiot siivotaan pois.



Kuvio 20. Taiteviivoista kolmioitu malli 3D-Winissä, Koitintien liittymäalue

4 POHDINTA

Yksinkertaistettuna toteumamallin tarkoitus on todentaa tehty työn jälki sellaisena kuin se on toteutunut ja toimia mahdollisten tulevien suunnitelmien ja kunnossapidon tarpeisiin. Fotogrammetriassa on runsaasti huomioon otettavia asioita, mutta niistä on onneksi saatavilla tietoa verkossa ehkä jopa paremmin kuin vaikkapa takymetrimittauksesta. Soveltamiskohteet kuivilta mittaamisessa ovat laajat.

Tarkoituksena oli tuottaa toteumamalliin liitettävä osa ilmakuvausprosessin avulla siten, että se olisi mahdollisimman helppo yhdistää muun mittausaineiston kanssa. Menetelmällä mallinnetaan suuria alueita, joten sen ei pitäisi vaatia liikaa aikaa tai vaivaa toimivan lopputuloksen saavuttamiseksi. Oleellisimpia osia työn onnistumisessa ovat säätila, riittävän hyvä kamera ja sijaintitietojen tarkkuus, sään vaikutus on suuri suhteessa useimpiin muihin mittausmenetelmiin, mikä toisaalta rajoittaa hieman menetelmän käyttöaikaa ja tekee siitä jossain määrin haavoittuvamman.

Olen itse työskennellyt alalla noin viiden vuoden ajan erilaisten inframittausten parissa, mutta tässä opinnäytetyössä kuvattua menetelmää ei ole tietääkseni sovellettu yleisesti. Tämä ei ole kuitenkaan ensimmäinen kerta, vaan vastaavia on tehty myös aiemmin, menetelmät ovat yleisemmin käytössä lähtötietoaineistojen tuottamisessa. Mahdollisesti tämä johtuu siitä, että vaatimukset toteumatiedon luonteelle ovat vaihdelleet hankekohtaisesti paljonkin, eikä monissa hankkeissa ole ollut tarvetta hyödyntää vastaavanlaista menetelmää. Tässä hankkeessa hyödyn tuottaa mielestäni hankkeen suuri koko, jos hanke olisi pienempi, ei tällaista välttämättä kannattaisi tehdä, vaan mittaukset voisi hoitaa muilla menetelmillä nopeammin. Silti varmasti pienemmilläkin hankkeilla hyödynnettävää on, sillä ilmakuvista voidaan saada samalla kertaa monenlaista tietoa.

Kuten aiemmin todettu, tarkkuuteen vaikuttavat monet tekijät, vaikka kohteesta saisi hyvät kuvat ja prosessointi onnistuisi hyvin, on editoinnissa syytä kiinnittää huomiota esimerkiksi kohinan aiheuttamiin häiriöihin pistepilvessä, ja tarkastaa millaisen pinnan tietokoneohjelma laskee pistepilven avulla erityisesti sellaisissa

kohdissa, joissa esiintyy runsaasti kasvillisuutta. Automaatio on kätevä apuväline, mutta se ei aina takaa onnistunutta lopputulosta, vaan vaaditaan joskus manuaalisia korjauksia. Niin kävi myös tätä työtä tehtäessä. Lisäksi tärkeä tarkkuuteen vaikuttava tekijä on prosessoinnin yhteydessä valittavat koordinaattimuunnokset, erityisesti korkeuden saaminen oikein vaatii huomioimista, joskin aineistoa pystyy siirtämään jälkikäteenkin, suurta kokonaisuutta on kuitenkin vaikea korjata luotettavasti kiinteillä tietyn mitan suuruisilla siirroilla.

Työn toteuttamista ajatellen kuvaussäät olivat hyviä ja toimenpiteet sujuivat suureksi osaksi suunnitellusti, erään lennon aikana RTK-yhteys hävisi osaksi aikaa, eli menetelmän riski tavallaan realisoitui kuvien sijaintitiedon heikkenemisenä, ja vuodenaika ei kasvillisuuden puolesta ollut paras ilmakuvausten suorittamiseen. Aineiston jalostamisen osalta Pix4Dmapper oli jo melko tuttu ohjelma, mutta Cyclone 3Dr:n käyttö vaati lisää tutustumista, mikä aiheutti myös sen, että aineistoa käsiteltiin useampaan kertaan uudelleen, kun saatiin jokin idea siitä, miten sen voisi toteuttaa paremmin.

Esimerkiksi Koitintien liittymäalueelta tuotetun aineiston pisteet eroavat GCP-pisteillä tehdyn vertailun mukaan suunnitelmasta noin 5 cm, mitä voidaan pitää kohtalaisena tarkkuutena aineiston hyödynnettävyyden kannalta, kun puhutaan asfaltin ulkopuolisista pinnoista. Jokaisen liittymäalueen osalta vertailtiin asfaltille kuvista laskettujen pisteiden eroa takymetrillä mitattuihin pintoihin. Vertailuun otettiin kultakin alueelta noin miljoona pistettä ja erojen keskiarvoksi saatiin noin 5–7 cm, mitä huonontaa hieman asfaltilla esiintyvä kohina.

Mielestäni menetelmälle voi olla jatkokäyttöä myös toteumamittausten puolella, mutta se tuskin tulee jatkossakaan soveltumaan sellaisten pintojen todentamiseen, joilta vaaditaan parempaa tarkkuutta kuin 5 cm. Mobiilikartoitus voisi olla yksi mielenkiintoinen vaihtoehto tälle menetelmälle, varsinkin tiheämmin rakennetuilla alueilla, joilla dronekuvaus on säänneltympää.

LÄHTEET

AVplus 2022. Opas: Valotus valokuvauksessa osa 1/3 – Suljinaika. Viitattu 4.1.2023 <https://avplus.fi/opas-valotus-valokuvauksessa-osa-1-3-suljinaika/>

BuildingSmart Finland. Yleiset inframallivaatimukset YIV 2021. Viitattu 4.1. 2023 <https://drive.buildingsmart.fi/s/AAELrj83NbrHae2>

Geodeettinen laitos 2009. Suomen geoidimallit ja niiden käyttäminen korkeuden muunnoksissa. Viitattu 16.1.2023 <https://www.maanmittauslaitos.fi/sites/maanmittauslaitos.fi/files/fgi/GLtiedote29.pdf>

iGETT Remote Sensing Education 2015. Concept Module Photogrammetry and Aerial Imagery. Viitattu 3.1.2023 <https://www.youtube.com/watch?v=vrH6XSkMI8s>

Karl Taylor Education. Photography Course, Shutter Speeds. Viitattu 3.1.2023 <https://karltayloreducation.com/photography-course/shutter-speeds/>

Lönnerberg, K. 2022. GRK Suomi Oy, mallinnuspäällikkö. Useita sähköpostikeskusteluita ja puhelinkeskusteluita 2022.

Pix4D 2019. Ground Sampling Distance (GSD) in photogrammetry. Viitattu 23.1.2023 <https://support.pix4d.com/hc/en-us/articles/202559809-Ground-sampling-distance-GSD-in-photogrammetry>

ScoutAerial. RTK and PPK Drone Surveys. Viitattu 4.1.2023 <https://www.scoutaerial.com.au/rtk-and-ppk-drone-surveys/>

Seos Project. Relief Displacement: Calculating Height. Viitattu 4.1.2023 <https://seos-project.eu/3d-models/3d-models-c02-p02-s01.html>

Suna, J. 2022. MittausGroup Oy, aluejohtaja. Sähköpostikeskustelu ja puhelinkeskustelu 9.2.2022.

Sääskilähti, T. 2023. Mittarimato Oy, toimitusjohtaja. Sähköpostikeskustelu 2.1.2023.

Väylävirasto 2023. Vt 4 Hartola-Oravakivensalmi. Viitattu 4.1.2023 <https://vayla.fi/vt-4-hartola-oravakivensalmi>