Ari-Pekka Joensuu

Trimble V10:n käyttömahdollisuudet ja tarkkuus

Metropolia Ammattikorkeakoulu
Insinööri (AMK)
Maanmittaustekniikka
Insinöörityö
15.5.2015

Metropolia

Tekijä Otsikko Sivumäärä Aika	Ari-Pekka Joensuu Trimble V10 käyttösovellukset ja tarkkuus 36 sivua + 1 liitettä 15.5.2015
Tutkinto	insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma	maanmittaustekniikka
Ohjaajat	yliopettaja Vesa Rope

Tämän insinöörityön tarkoituksena on perehdyttää lukija uuteen Trimble V10 -laitteeseen, sen tekniikkaan, käyttömahdollisuuksiin ja tarkkuuteen. Insinöörityö tarkastelee laitetta, joka yhdistää uutta tekniikkaa yhdistää panoraamakuvat niiden sijaintitiedon avulla.

Työssä tarkastellaan paljon fotogrammetrian eli kolmiulotteisen kuvalta mittauksen hyödyntämistä erilaisissa mittauskohteissa. Fotogrammetrian avulla voidaan toteuttaa joitain asioita helpommin kuin tavallisilla mittauskeinoilla.

Trimble V10 -laite on yksinkertaisesti ilmaistuna panoraamakamera, jolle saadaan sijaintitiedot GPS-vastaanottimen tai takymetrin avulla. Mittaus tapahtuu Trimble Business Center -ohjelmassa yhdistämällä useat panoraamat koordinaatistoon ja mittaamalla kuvilta pisteitä.

Avainsanat	Trimble, V10, Vision, fotogrammetria, panoraamakuva

Author Title Number of Pages Date	Ari-Pekka Joensuu Accuracy and use of Trimble V10 36 pages + 1 appendices 15 May 2015
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Land Surveying
Instructors	Vesa Rope, Principal Lecturer

The purpose and goal of the final year project was to study Trimble V10, a new device with new technology that combines photogrammetry and positioning data. The device captures 360 degree panoramic images with coordinates which are then used in photogrammetry calculation. The goal of the project was on one hand to establish good measuring styles for the device and on the other hand explore the accuracy of it and, thus, define how well it performs in real use.

The project was done by using the device for measurements in different places and situations. The project also included accuracy surveys in the test range. The measurements were done at an electrical substation, construction zone, a railway station and a building site.

The Trimble V10 performed well in many situations but it required advance measurement planning. The project established that the accuracy is sufficient for simple 3D modelling. The device can be programmed to do tasks similar to those done with a laser scanner. It will be a lot quicker although less accurate.

Keywords	Trimble , V10 , photogrammetry, panorama

Sisällys

1 Johdanto 1

2 Trimble yrityksestä 1

3 Trimble V10 -mittalaite 1

3.1 Tekniset tiedot 3
3.2 V10:n sijainnin määrittäminen 4
3.3 Työprosessi 6

4 Fotogrammetria 8

4.1 Kuvakulma 8
4.2 Horisontaalinen kuvakulma 8
4.3 Vertikaalinen kuvakulma 9
4.4 Matkan vaikutus tarkkuuteen 10
4.5 Kohteen kulman vaikutus kuvan tarkkuuteen 12
4.6 Laajemmat kohteet 13
4.7 Panoraaman sisäinen tarkkuus 14
4.8 Asemapisteiden välisen etäisyyden vaikutus tarkkuuteen 16
4.9 Leikkauskulma 17
4.10 Erityishuomioita parhaimman tarkkuuden saavuttamiseksi 18

5 Sovellukset/käyttöympäristöt 20

5.1 Rakennustyömaat 20
5.2 Kaupunkiympäristö 20
5.3 Infratyömaat 21
5.4 Raidealueet 21
5.5 Metsä 21

6 Esimerkkimittaukset 22

6.1 Sähkönjakelukeskus 22
6.2 Katutyömaa 25
6.3 Juna-asema 26
6.4 Hallityömaan mittaus 27

7 Tarkkuus 29

7.1 Virhelähteet 29

7.1.1 GNSS-tarkkuus 29
7.1.2 Fotogrammetrian tarkkuus 30
7.1.3 Valaistusolosuhteet/sää/pöly 30
7.2 Mittarata 31

8 Yhteenveto 34

Lähteet 36

Liitteet
Liite 1. Maaston joukkotasoitusraportti

Lyhenteet

GNSS	Global Navigation Satellite System, tarkkaa paikannusta tarjoava järjestelmä, johon mm. GPS kuuluu
GPS	Global Positioning System, maailmanlaajuinen Yhdysvaltain puolustusministeriön kehittämä paikkannusjärjestelmä

1 Johdanto

Insinöörityössä tarkastellaan laitevalmistaja Trimblen V10 Imaging Rover -laitetta. Trimble V10 Imaging Rover on uutta teknologiaa hyödyntävä laite. Mittaukset tapahtuvat tietokoneella Trimble Business Center -ohjelmistolla maastossa otetuilta kuvilta. Laite hyödyntää fotogrammetriaa eli kuvaltamittausta. Insinöörityössä tutkitaan laitteen fotogrammetrian tarkkuutta ja käyttömahdollisuuksia eri aloilla.

2 Trimble yrityksestä

Trimble Inc. on yksi maailman johtavista mittalaitteiden valmistajista. Trimble on perustettu vuonna 1978 Yhdysvalloissa Californiassa. Nykyään Trimble työllistää yli 3 000 työntekijää eri puolilla maailmaa yhteensä 35 eri maassa. Trimble valmistaa GPS-, laser- ja optisia laitteita maanmittausalalle. (1.)

3 Trimble V10 -mittalaite

Trimble V10 on uuden sukupolven mittalaite, joka on varustettu Trimble ON™ -teknologialla. Trimble VISION -teknologia on fotogrammetriaa hyödyntävää teknologiaa. Trimble V10 yhdistää tunnettuja GNSS- ja takymetrimittauksia sekä uudempaa fotogrammetrista mittaustekniikkaa. Trimble V10:ssa on integroitu kuvausyksikkö (Imaging Rover), jolla saadaan 360 asteen digitaaliset panoraamakuvat. Trimble V10 Imaging Rover on uudenlainen menetelmä, jolla voidaan kerätä monenlaista dataa, kuten sijaintitiedot sisältävää ominaisuusdataa kuvien muodossa. Trimble V10 voidaan synkronoida Trimblen GNSS -vastaanottimen tai takymetrin kanssa. Tällöin saadaan sijaintitiedot 360 asteen panoraamakuviin ja saadaan erittäin tarkkoja paikkatietoaineistoja. (2; 3.)

Kuva 1. Trimble V10 Imaging Rover (3)

Trimble V10 -laitteella voidaan tallentaa 60 megapikselin panoraamakuva yksinkertaisesti lähes normaalin automaattisen digikameran tavoin yhdellä napin painalluksella. Trimble V10 käsittää yhteensä 12 kalibroitua kameraa. Kameroista seitsemän on panoraamakameraa ja viisi kameraa ovat alaspäin suunnattuja lähialueen ja maanpinnan tallentavaa kameraa. Kameran automaattinen kuvan valotus ja HDR-tekniikka takaavat oikean valotuksen kuville. (2, s. 1.)

Laitteen 12 kameraa tallentavat kohteen laajasti ja monipuolisesti. Tällä tavoin kerätty aineisto mahdollistaa panoraamakuvalta suoritettavat fotogrammetriset mittaukset. Tämä kuvamittaukseen perustuva toiminnallisuus on erinomainen, jos on kerättävä paljon ominaisuustietoa tai kohteet ovat monimutkaisia tai vaikeasti saavutettavissa.

Trimble V10 on suojausluokituksen mukaisesti IP54-suojattu. Tämä tarkoittaa, että laitteen kotelo on suojattu pölyltä ja vesiroiskeilta. V10 on muiden Trimblen laitteiden tavoin tehty kestämään kovaa käyttöä, roiskeita, likaa, pölyä ja kolhuja. Integroidut sensorit on kalibroitu suoriutumaan vaativissa ympäristöissä.

Laitteella kerätään data yhdellä kertaa ja mitataan myöhemmin kuvalta kiinnostavat kohteet, joten silloin ei tarvitse käydä työkohteella uudelleen mittaamassa. Trimble V10 Imaging Rover -järjestelmällä voidaan maastossa visuaalisesti havainnoida ja tallentaa kerralla koko työalue ja käsitellä aineistoa myöhemmin toimistolla. (2, s. 1.)

3.1 Tekniset tiedot

V10-mittalaite sisältää 12 yksittäistä kameraa (kuva 2), jotka jokainen on varustettu 5 megapikselin kameralla. Yhdessä kamerat muodostavat 60 megapikselin panoraaman. Kamerat tallentavat kuvat JPEG-muodossa. Laite on 12,4 cm korkea ja 11,3 cm leveä. V10 painaa 900 gramma, mutta kokonaispaino Trimble Tabletin ja R10 kanssa nousee yli 6 kilogrammaan. Virtaa V10 saa sauvassa olevista akuista. Kuvassa 2 on Trimble V10 -mittalaitteen täydelliset tekniset tiedot.

PANORAAMA-MÄÄRITYKSET

Panoraaman kokonaisresoluutio	60 MP
Valotustilat	Automaattinen
Valkotasapainotilat	Automaattinen
Live-kuvan kehysnopeus, normaali valaistus	15 Fps
Live-kuvan kehysnopeus, vähäinen valaistus	7,5 Fps
Kunkin kameran resoluutio	5 MP
Kuvien tiedostomuoto	Jpeg
Yhden panoraamakuvan tiedostokoko	10 MB–20 MB
Panoraamakameroiden näkökenttä	360° x 43°
Alaspäin suunnattujen kameroiden näkökenttä	210° x 57,5°
Pystytason näkökenttä	93,1°

PAIKANNUKSEN SUORITUSKYKY

Paikannustarkkuus (RMSE)[1, 2]	
Vaaka	10 mm RMS
Korkeus	7 mm RMS

LAITE

Fyysiset tiedot

V10, kuoren halkaisija	113 mm
V10, kuoren korkeus	124 mm
Paino	
V10	900 g
Akku	182 g
Sauva, akkulokerolla	1,15 kg
Trimble Tablet-sovitin	300 g
Trimble Tablet isommilla akuilla	1,60 kg
Statiivi	1,61 kg
R10 GNSS ilman akkua	910 g

Ympäristö

Lämpötila	
Käyttö	–20 °C ... +50 °C
Varastointi	–40 °C ... +70 °C
Kosteus	100% kondensoiva
Pöly- ja vesisuojaus	IP54
Isku:	
Pudotustesti, kun laite ei käytössä	Suunniteltu kestämään 2 m pudotus sauvasta betonille.
Pystysuora pudotus sauvan kärjen päälle	100 000 toistoa@5 cm (15G) 100 toistoa@ 30 cm (100G)
Tärinä	MIL-STD-810F, FIG.514.5C-1

Virta

Akku	
Jännite, nimellinen	7,4 V
Teho	3,7 Ah
Älyakku varustettuna tehon näytöllä	Kyllä
Kameran käyttöaika	
yhdellä akulla normaalissa käyttötilassa[3]	4 h
Panoraamakuvien määrä yhdellä akulla	350
Liitännät	USB Mini B, USB A

Sisäiset sensorit

2-suuntaisen kaltevuussensorin toiminta-alue	15°
Kaltevuussensorin tarkkuus statiivia käytettäessä	0,03°
Magneettinen sensoritarkkuus häiriöttömissä ympäristöissä	1°

KAMERAT

Panoraamakamera	
Suunta	Maisema
Kameroiden määrä	7
Näkökenttä	57,5° (vaaka) x 43° (korkeus)
Alaspäin suunnatut kamerat	
Suunta	Pysty
Kameroiden määrä	5
Näkökenttä	43° (vaaka) x 57,5° (korkeus)
Linssityyppi	f-theta
Lämpötilakompensointi	Kyllä
Infrapuna estosuodatin	Kyllä
Kulma/ pikseli	0,39 mrad/pikseli (1,33 kaarimin./pikseli)
Polttovälin pituus	3,63 mm
Näkökentän syvyys	0,1 ... ∞ m
Kalibrointi	
Kamera parempi kuin	1 Pikseli
Optinen vääristymä, sisä- ja ulkosuunta	Kyllä
Kalibroinnin vakaus	2 pikseliä
Sensorien kalibrointi kamerat huomioiden	Kyllä

VIRTA

Lennosta vaihdettavat kaksoisälyakut	Kyllä
Kärjen iskunvaimennus. Isku käyttäjään ja kameraan alentavana tekijänä	4 x
Vaihdettava kärki	Kyllä
Yhteensopiva 5/8 jatko-osan kanssa	Kyllä

LISÄVARUSTEET

- Pikavapauttimella varustettu 360° prisma
- Tarkkuuspaketti, jossa virtakiinnike, prisma-alusta ja kaksi tähystä

1 Sijaintitarkkuus ilmaistuna keskineliöjuuren keskivirheenä (RMSE) on saavutettavissa seuraavissa asetustiloissa: kolme panoraamakuvaa otettiin kolmesta kuva-asemasta tunnetuilla sijainneilla kontrollipistelaatuisina. Näillä sijainneilla oli kolmion muotoinen geometria: sivujen pituudet 15 m, pohja 24 m ja kulma 100°. Etäisyys kohteisiin oli 25 m tuottaen leikkauskulmat kohteissa, jotka olivat lähellä 90 astetta. Kohteiden sijainnit määritettiin TBC-fotogrammetriaohjelmistossa käyttäen manuaalisia liitospisteitä ja täyttä orientointioptiota, ja sen jälkeen niitä verrattiin nimellisten kohteiden sijaintiehin. Shakkilautatähyksiä käytettiin kohteina. Kojeen käyttö ei ole rajoitettu 25 metrin etäisyyksille, mutta virhe kasvaa suuremmilla etäisyyksillä, pienemmillä pohjan pituuksilla tai kun kuva-asemasijainneilla on heikompi geometria.

2 Kontrollipisteiden näkyminen panoraamakuvissa ja niiden käyttö kuvapisteiden mittauksissa parantaa toisiinsa suhteessa olevien kuva-asemien orientointia niin vaaka- kuin korkeussuunnassa, vakauttaa kokonaisuutta ja tuottaa paremman vaaka- ja korkeustarkkuuden.

3 Normaali käyttötila on vakio kestoaika panoraamakuvien otossa tarvittaessa, ei jatkuvasti.

Kuva 2. Trimble V10:n tekniset tiedot (2, s. 2)

3.2 V10:n sijainnin määrittäminen

V10:n sijainnin määrittäminen onnistuu Trimblen GNSS-vastaanottimilla R4, R6, R8, R10 kytkemällä GNSS-vastaanotin pikakiinnityksellä V10:n päälle (kuva 3). V10 toimii kyseisten vastaanottimien kanssa ongelmitta yhteen. Siten vastaanottimien käyttäminen on sujuvaa V10:n kanssa.

Kuva 3. Trimble V10 ja Trimble R10 kiinnitettynä yhteen (5, s. 83)

V10:n päälle voidaan kiinnittää prisma (kuva 4), jolloin sijaintiedot saadaan takymetrin avulla. Tällaisella mittauksilla saadaan tarkempia sijaintitietoja kuin GPS-mittauksilla, sekä voidaan toimia satelliittien signaalien saavuttamattomissa paikoissa.

Kuva 4. Trimble V10 ja 360 asteen prisma takymetrimittauksia varten (5, s. 84)

Kun ei ole mahdollista saada sijaintitietoa GPS-vastaanottimen tai takymetrin avulla, on mahdollista mitata V10:llä erillisessä koordinaatistossa. Mittaus tapahtuu suuntien ja

etäisyyksien avulla suorakulmaisessa koordinaatistossa. Esimerkiksi syöttämällä asemapisteen 1 koordinaateiksi 1000,1000 ja seuraavan asemapisteen 2 koordinaateiksi 1000,1010.

3.3 Työprosessi

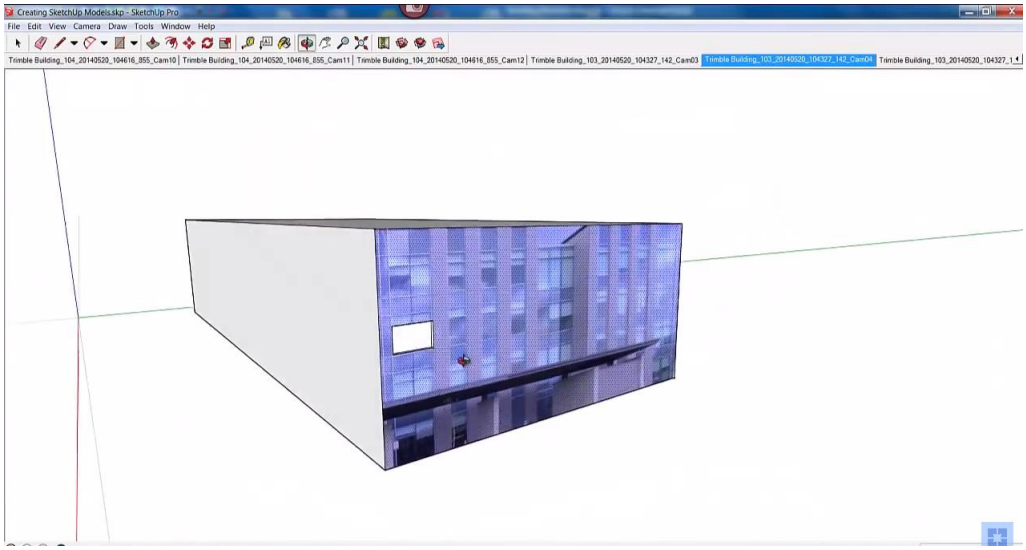
Fotogrammetrian mittausprosessi perustuu maastossa mitattuihin pisteisiin ja panoraamakuviin, joista tietokoneohjelmassa luodaan lisää pisteitä halutuista kohteista. Mittausprosessi perustuu kolmeen osaan: maastomittaukseen, tietokonemittaukseen ja tietojen jatkokäsittelyyn. Jokainen mittausprosessin osa koostuu eri vaiheista, jotka riippuvat mittauskohteesta. (6, s. 6.)

Maastomittaus on prosessi, jossa tulee ottaa huomioon mittauspisteiden geometria, kuten mittauspisteiden keskinäinen etäisyys ja kulmat, jotka vaikuttavat selkeästi mittauksien tarkkuuteen ja tietokonelaskennan onnistumiseen. Maastomittauksen prosessin määrittää se, millä tavalla panoraamat sidotaan koordinaatistoon, eli käytetäänkö GPS- vai takymetrimittauksia. Itse panoraamamittaus on helppo prosessi, joka tapahtuu samalla kun mitataan pisteitä normaalisti. Panoraamamittauksessa täytyy kartoitusmittaustilassa valita panoraamamittaus valinta, ja tällöin näyttöön tulee näkyviin reaaliaikainen kameran muodostama kuva kohteesta. Kartoitusmittauksen yhteydessä tulee odottaa pisteen tallennuksen jälkeen muutama sekunti panoraaman kuvaamista varten. Laite ilmoittaa, kun panoraama on kuvattu ja on lupa siirtyä seuraavalle asemapisteelle. Mitatessa panoraamoja voidaan mitata GPS:llä kontrollipisteitä maasta selkeästi havaittavista kohteista. Näiden kontrollipisteiden avulla saadaan lisää luotettavuutta fotogrammetriseen kojeasemien tasoitukseen.

Fotogrammetriamittauksessa eli kuvamittauksessa käytetään Trimble Business Centerin fotogrammetria-osioita. Alussa luodaan uusi projekti ja tuodaan mitatut pisteet ohjelmaan. Tämän jälkeen vuorossa on vastinpisteiden osoittaminen eri panoraamoilta. Tällöin siis osoitetaan eri panoraamoilta samoja pisteitä, jotta saadaan laskettua kuvien suunnat ja mittakaava, tätä prosessia kutsutaan kuva-asemien tasoitukseksi. Tasoituksen voi tehdä automaattisesti, jolloin ohjelma hakee automaattisesti kuvilta samoja pisteitä ja pitää niitä tasoituksen perustana. Manuaalisessa tasoituksessa ohjelma ilmoittaa hyvin yksinkertaisesti, onko vastinpisteitä poimittu käytettävällä kojeasemalla tarpeeksi. Vähimmäispistemäärä panoraamojen orientoitiin on 6–8 pistettä, jotka löyty-

vät jokaiselta panoraamalta. Laskenta vaatii tietokoneelta tehoa kohtuullisen paljon, ja laskenta voi viedä aikaa jopa usean tunnin, koneen tehosta riippuen. Tasoituslaskennan jälkeen ohjelma antaa arvion kojeasemien geometriasta, havaintotarkkuudesta, tukipistejakaumasta, tukipistegeometriasta ja tukipisteredundanssista. Ohjelma antaa myös kuva-asemien tasoituksesta tarkemman raportin, jossa on eritelty paljon tasoitukseen liittyvää tietoa, kuten vastinpisteiden kokonaismäärä, yhteiset vastinpisteet kuva-asemoittain ja sekä keskivirheet ja tarkkuusarvio (liite 1). Kun kuvat on saatu orientoitua, on sen jälkeen mahdollista mitata kohteita kuvalta pisteitä, joista on mahdollisuus muodostaa pintoja. Ohjelmassa saadaan esimerkiksi seinätaso muodostettua mittaamalla ensiksi kaksi pistettä seinältä ja sen jälkeen rajaamalla seinän nurkat, jolloin saadaan “mallinnettua” rakennus kuvalta.

Fotogrammetristen mittausten jälkeen on mahdollista kerätä tarvittavat pisteet ja tallentaa ne yleisimmissä suunnitteluohjelmistojen formaateissa, jotta niitä voidaan käyttää muissa ohjelmissa jatkojalostusta varten. Jälkikäsittelyssä pisteistä voidaan mallintaa kohteita. Trimble Business Centeristä on yksinkertaista viedä pisteet SketchUp-mallinnusohjelmaan, jossa voidaan luoda halutun näköistä 3D-mallia (kuva 5). (7.)



Kuva 5. Esimerkki SketchUp-ohjelmassa kerrostalon mallinnuksesta (7)

4 Fotogrammetria

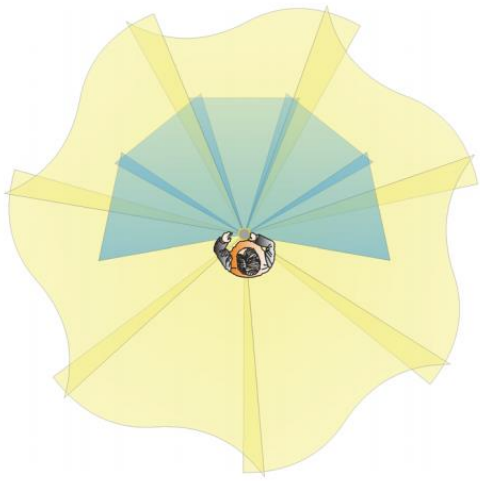
4.1 Kuvakulma

Kuvakulma on kameran kuvan muodostama ala, eli kuvakulmalla tarkoitetaan kameran muodostaman kuva-alueen laajuutta. Joissakin yhteyksissä kuvakulmalla tarkoitetaan linssin vastaanottaman valon kulmaa. Tässä työssä kuvakulmalla tarkoitetaan nimenomaan kuva-alaa. Kuvakulmaa voidaan tarkastella pysty- tai vaakatasossa ja silloin käytetään käsitteitä horisontaalinen ja vertikaalinen kuvakulma.

Kuvakulma ratkaisee, kuinka paljon kohteita ympäristöstä kamera voi havaita. Kuvakulmalla on vaikutus kuvien sisältämän datan määrään. Kuvakulma määrittää, kuinka monta panoraamaa on kuvattava, jotta saadaan kaikki oleellinen data kohteesta kerättyä. (7, s. 71.)

4.2 Horisontaalinen kuvakulma

Ylemmän rivin kameroissa horisontaalinen kuvakulma on 360 astetta. Jokainen ylemmän rivin seitsemästä kamerasta kattaa 57,5 astetta horisontaalisesti. Kameroiden kuvat menevät 6 astetta päällekkäin. Alemman rivin viisi kameraa on suunnattu alaspäin lähietäisyydelle kuvaamaan kohteita asemapisteen välittömästä läheisyydestä. Jokainen alemman rivin kameroista kattaa 40 astetta horisontaalisesti, jolloin nämä viisi lähialueen kameraa kattavat yhteensä 200 astetta vaakatasossa(kuva 6). Täyden 360 asteen lähialueen panoraaman saamiseksi tulee laitetta kääntää 180 astetta kahden mittauksen välillä ja siten välttää kuvaamasta laitteen käyttäjää. (7, s. 71–72.)



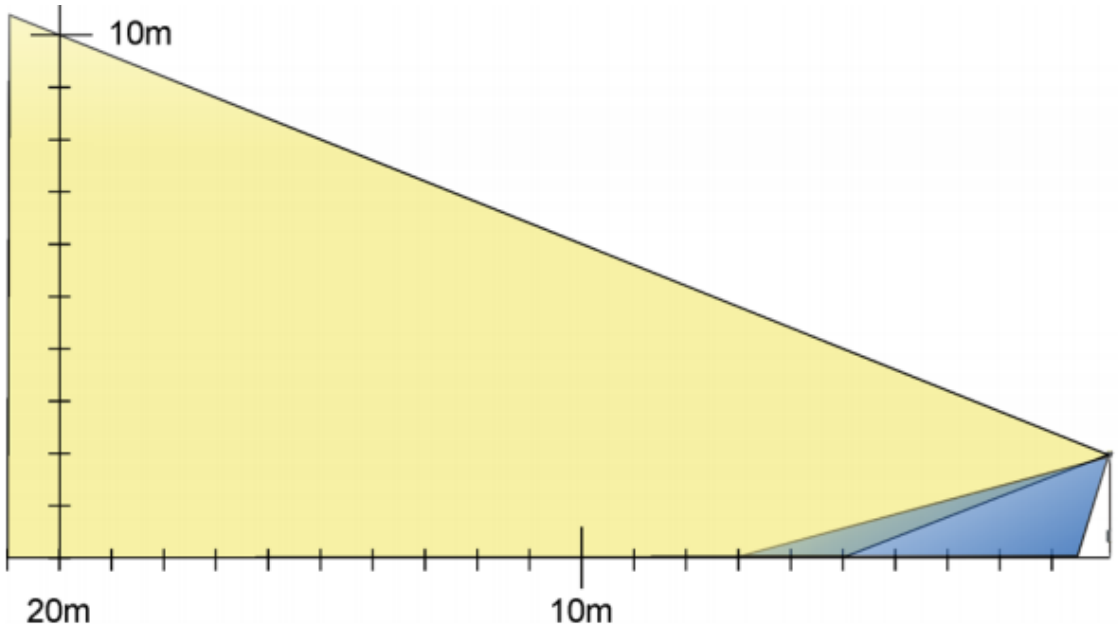
Kuva 6. Panoraaman ja lähialueen panoraaman kuvien kattama alue (7, s. 71)

4.3 Vertikaalinen kuvakulma

Vertikaalinen eli pystysuuntainen kuvakulma on riippuvainen kohteen etäisyydestä. Matkan kasvaessa kohteeseen kuvakulma tulee suuremmaksi ja samalla maastopikselin koko laskee. Tämän myötä kuvan tarkkuus laskee. Pystysuuntainen kuvakulma määrittää suurelta osin kuinka kapeisiin paikkoihin voidaan mennä mittauksia tekemään, jotta saadaan kaikki kohteet tarpeeksi ylhäältä mitattua.

Ylemmän rivin kamerat kattavat 43 asteen kulman. Esimerkiksi ylemmän rivin seitsemän kameraa kattavat alueen 20 m:n päähän 10 metrin korkeudelle (kuva 7). Ylemmän rivin kamerat ovat käännettynä 2 astetta alaspäin vaakatasosta.

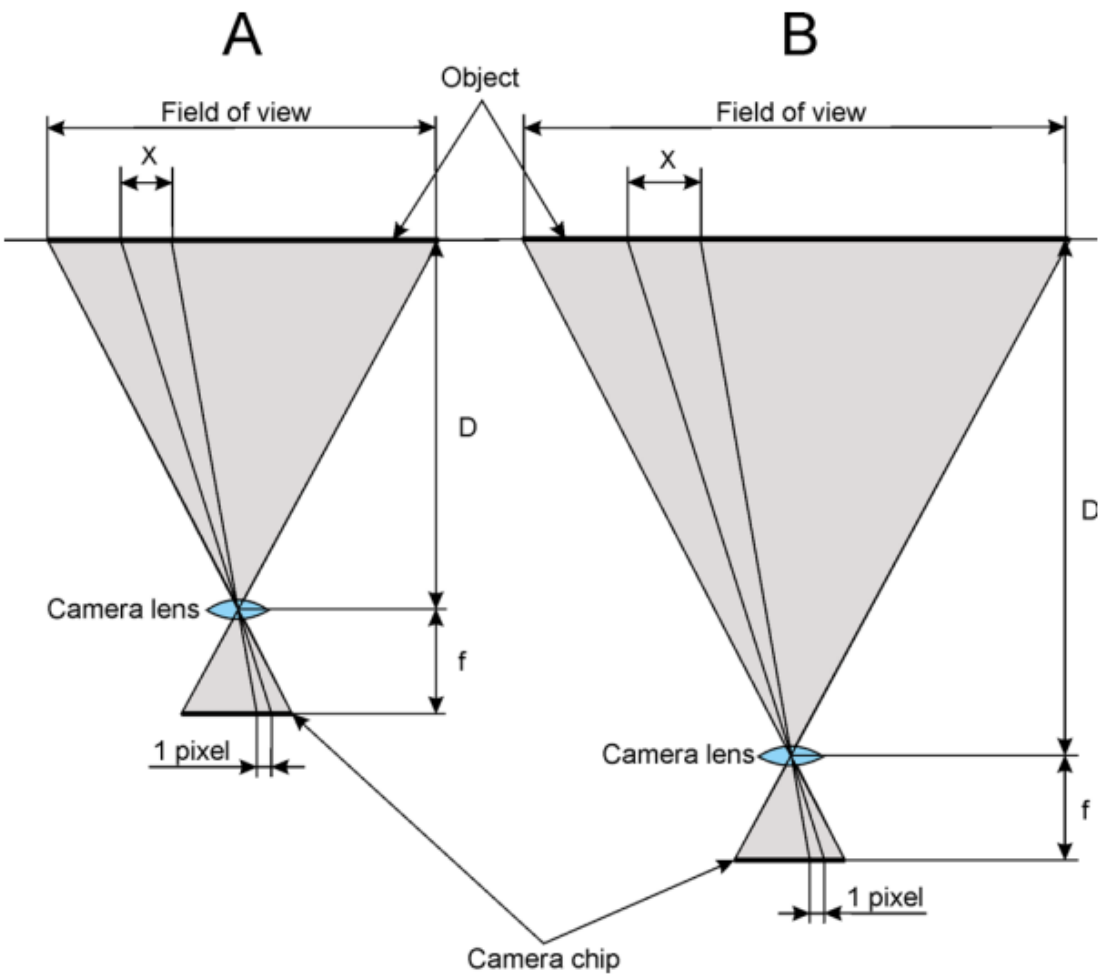
Alemman rivin viisi kameraa kattavat 200 astetta 0,6 metristä 6 metriin asti. Pystysuuntainen kuvakulma on 57,5 astetta, ja kamerat ovat kallistettu 45 astetta alaspäin vaakatasosta. (7, s. 72.)



Kuva 7. Pystysuuntainen kuvakulma. Ylemmän kameran alue kuvattuna keltaisella ja alemman kameran alue sinisellä värillä. (7, s. 72)

4.4 Matkan vaikutus tarkkuuteen

Matka kojeelta kohteeseen vaikuttaa mittausten tarkkuuteen. Kameroissa on kiinteä polttoväli. Matkaa kohteeseen muuttamalla saadaan kameran erotuskykyä muutettua. Kuvassa 8 osiot A ja B havainnollistavat kameran yhden pikselin erotuskykyä eri etäisyyksillä kohteesta. Kuvassa 8 osiossa B matka kohteeseen on pidempi ja siksi X:n koko on suurempi.



Kuva 8. Pikselin erotuskyvyn havainnointi matkan kasvaessa (7, s. 73)

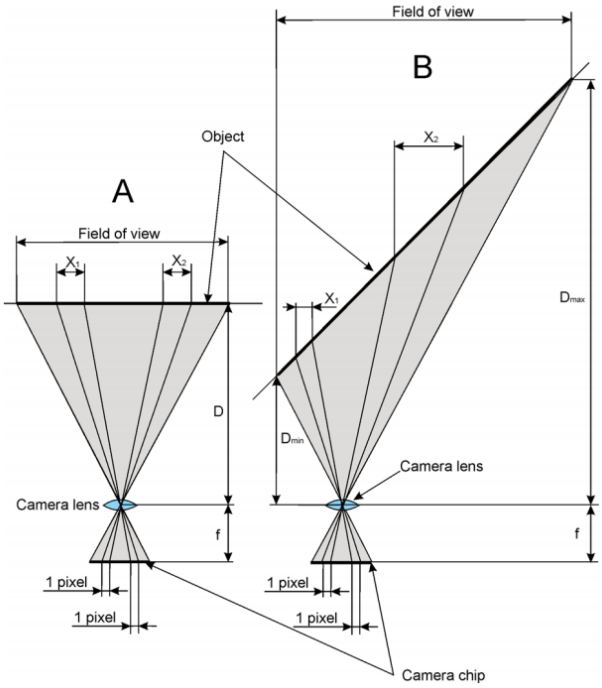
Taulukko 1. Taulukossa on esitetty kohteen etäisyyden ja maastopikselin(X) välistä yhteyttä.

Matka kohteeseen metreinä	Maastopikselin(X) koko millimetreinä
2	0,8
10	4
100	40

Taulukosta 1 selviää, että kojeen ja kohteen välinen matka on pidettävä mahdollisimman lyhyenä, jotta saadaan tehtyä tarkkoja fotogrammetrisia mittauksia. Kun matka on lyhyt, on myös kuva-ala pieni. Jotta saadaan kuvattua koko kohde, tarvitaan useita panoraamoja. (7, s. 74.)

4.5 Kohteen kulman vaikutus kuvan tarkkuuteen

Jos matka kohteeseen ei ole vakio, voi maastopikselin tarkkuus kuvan sisällä vaihdella (kuva 9). Jos kuva on otettu kohteesta, joka on vinossa kuvatasoon nähden, ei tarkkuus koko kuvan alueella ole sama.



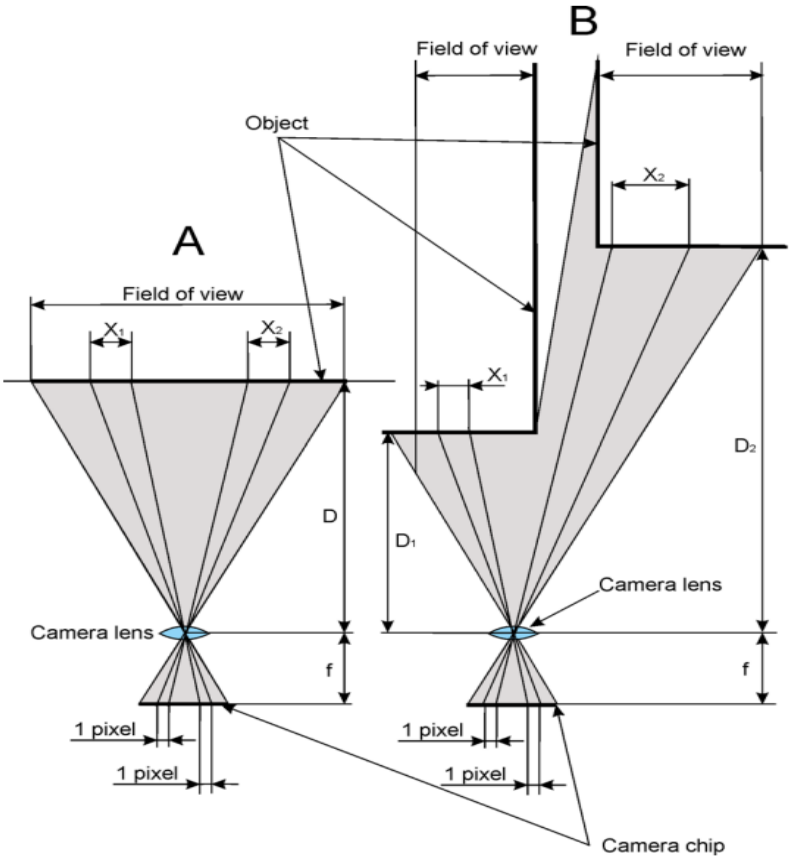
Kuva 9. Kohteen kulman vaikutus maastopikselin tarkkuuteen (7, s. 75)

Kohteen ollessa samalla etäisyydellä kauttaaltaan on maastopikseleiden X_1 ja X_2 koko on sama ja kohteen tarkkuus on kauttaaltaan tasalaatuinen (kuva 9)

Kohteen ja kameran kennon välisen matkan (D_{min} ja D_{max}) vaihdellessa (kuva 9) vaihtelee myös maastopikselin koko samalla tavalla kuin taulukossa 1 havainnollistettu. Fotogrammetrinen erotuskyky on siis erilainen kuvan eri osissa, kun kohde ei ole kohtisuorassa kameraan nähden. (7, s. 74.)

4.6 Laajemmat kohteet

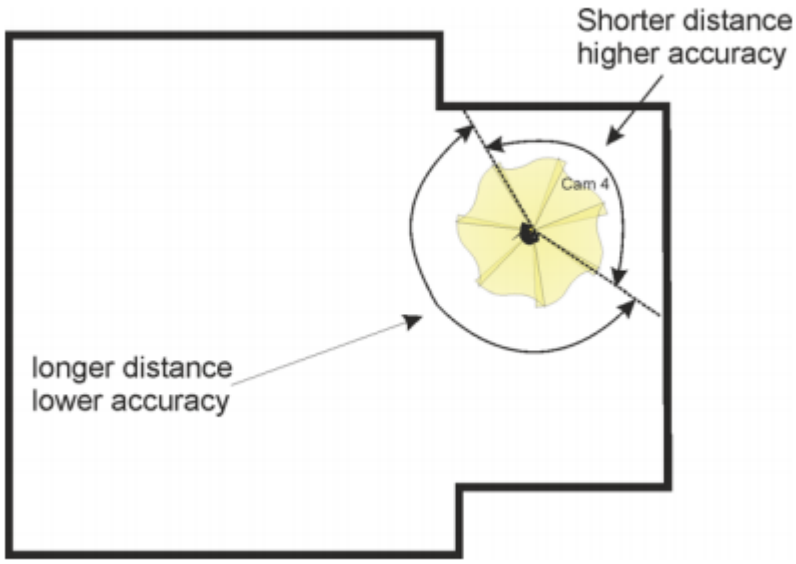
Kuvattaessa laajempia kohteita ei etäisyys jokaiseen kohteeseen yhdeltä asemapisteeltä ole sama. Tällöin on huomioitava, että tarkkuus kuvan sisällä vaihtelee. Kuvassa 10. osa A esittää tilannetta, jossa kohde on samalla etäisyydellä kauttaaltaan ja kohteita ei ole useita. Kuvassa 10 osassa A ovat X_1 ja X_2 yhtä isoja. Kuvassa 10 osa B esittää tilannetta, jossa kohteita on useita ja ne ovat eri etäisyydellä. Silloin kuvan maastopikselit ovat erikokoisia kuvan eri alueilla ja siten kuvan tarkkuus ei ole tasalaatuinen. Osan B X_1 ja X_2 ovat erikokoisia, ja se johtaa kuvan erottelukyvyn heikkenemiseen tietyillä alueilla. (7, s. 76)



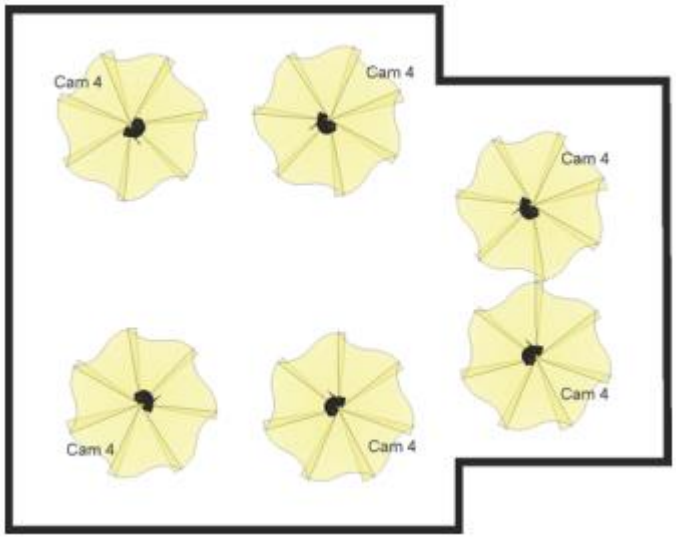
Kuva 10. Useiden kohteiden vaikutus tarkkuuteen (7, s. 77)

4.7 Panoraaman sisäinen tarkkuus

Jokainen panoraaman kuva on tarkkuudeltaan sama, mutta maastopikseleiden tarkkuus on eri panoraaman eri kuvilla. Jokainen panoraamakameroista tuottavaa siis eri tarkkuutta toisiinsa verrattuna. Kuvassa 11 kameran ja kohteen etäisyys on lyhyempi kolmella lähempänä seinää olevalla kameralla kuin neljällä muulla ulompana seinästä olevilla kameralla. Silloin lähemmät kolme kameraa tuottavat suhteessa tarkempia kuvia kuin muut neljä. Laajemman kohteen kuvaamiseen tasalaatuisella tarkkuudella on mitattava useita kojeasemia samalta etäisyydeltä kohteesta (kuvat 11 ja 12). (7, s. 78; 6, s. 22.)



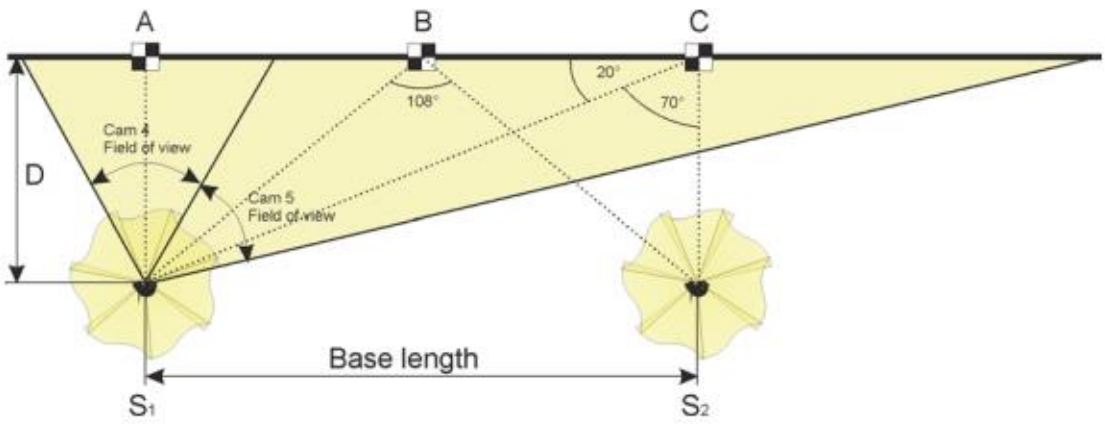
Kuva 11. Osalla kameroista matka kohteeseen on pidempi ja tarkkuus huonompi (7, s. 78).



Kuva 12. Laajojen kohteiden kuvaamiseen tulee käyttää useita koje-asemia (7, s. 78).

4.8 Asemapisteiden välisen etäisyyden vaikutus tarkkuuteen

Panoraaman ja kohteen välinen kulma ei saa olla vähemmän kuin 20 astetta (kuva 13). Mittauksia suunnitellessa on pyrittävä pitämään kahden kojeaseman välinen matka riittävän lyhyenä. (7, s. 79)



Kuva 13. Asema-pisteiden etäisyys ja tähtäyskulmat (7, s. 79)

Perussääntö asemapisteiden väliselle maksimietäisyydelle on 2,75 kertaa asemapisteen ja kohteen välinen etäisyys (D). Tätä sääntöä on havainnollistettu taulukossa 2.

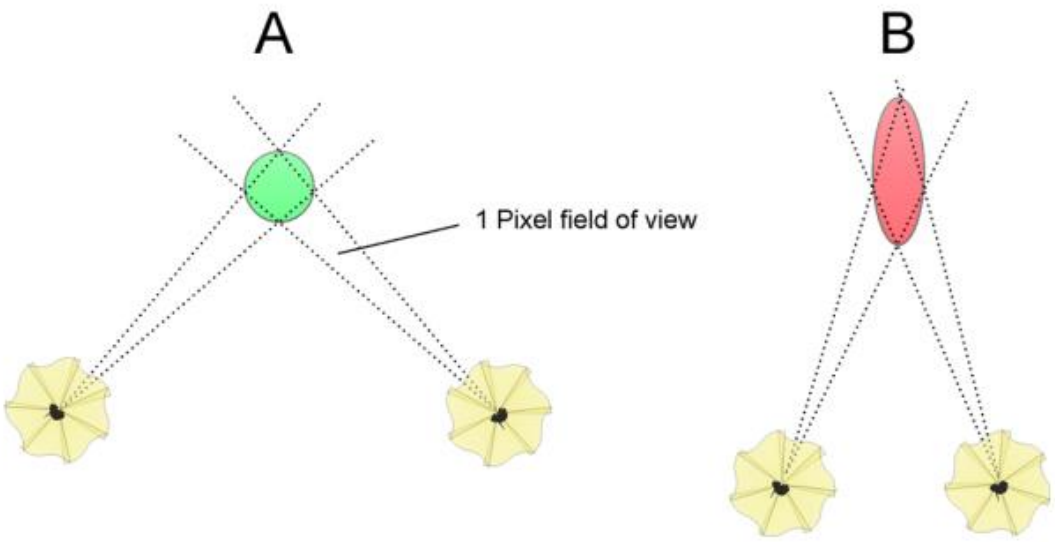
Taulukko 2. Havainnollistus matkan vaikutuksesta suositeltuun asemapisteiden maksimietäisyyteen

Etäisyys kohteeseen (m)	Asemapisteiden maksimietäisyys (m)
5	13,75
10	27,5
20	55

4.9 Leikkauskulma

Kahden asemapisteen mittauksien leikkauskulma on erityisen tärkeä fotogrammetristen mittausten tarkkuuden kannalta. Paras tarkkuus saavutetaan kahden mittauspaikan tähtäyksien muodostaman kulman ollessa 90 astetta. Mitattaessa on huomioitava, että pienet ja suuret tähtäyskulmat ovat epäedullisia tarkkuuden kannalta, siksi niitä tulisi välttää.

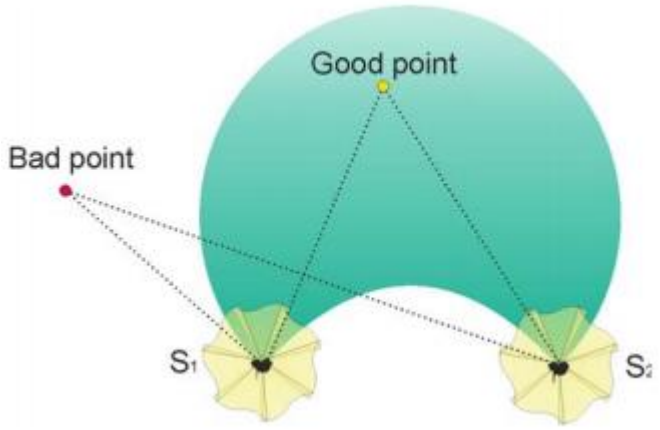
Alle 30 asteen leikkauskulmat ovat huonoja geometrian kannalta, joten niitä tulisi välttää. Kuvassa 14 osassa A havainnollistetaan optimaalista leikkauskulmaa, jolla saavutetaan tarkimmat fotogrammetriset mittaukset. Kuvassa 14 osassa B leikkauskulma on huomattavasti pienempi ja mitatun pisteen tarkkuus heikentyy. (7, s. 80.)



Kuva 14. Leikkauskulmat (7, s. 80)

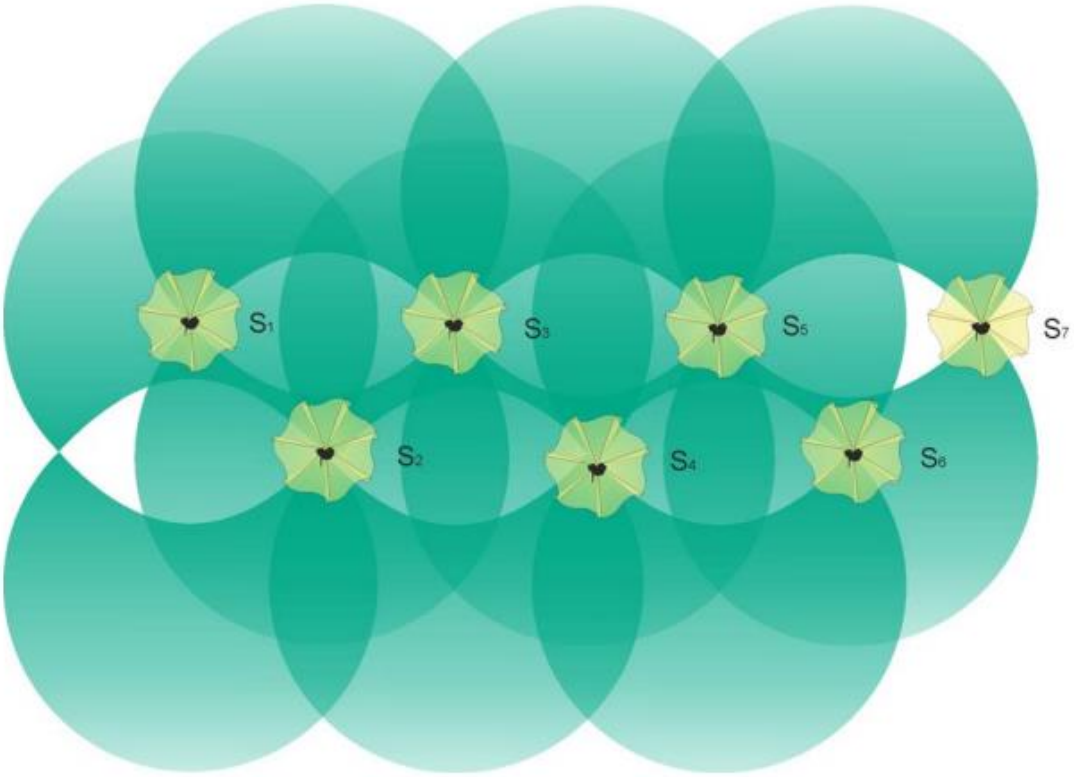
4.10 Erityishuomioita parhaimman tarkkuuden saavuttamiseksi

Kahden panoraamamittauksen asemapisteiden etäisyyden ja kohteen sijainnin suhteen on olemassa yhteys. Parhaimmat mittaukset saadaan ottamalla huomioon kohteen sijainnin mahdollisimman keskellä kahden asemapisteen väliä (kuva 15).



Kuva 15. Optimaalisen kuvapisteet sijainti panoraamoihin nähden (7, s. 80)

Kun otetaan useita panoraamoja, niiden ei tulisi koskaan sijaita yhdellä viivalla, vaan ristikuviolla, jotta saataisiin paras tarkkuus (kuva 16). Tällöin panoraamojen pisteet on sidottu näennäisen mittalinjan molemmille puolille. (7, s. 81–82.)



Kuva 16. Kojeasemien optimaalinen sijainti (7, s. 82)

5 Sovellukset/käyttöympäristöt

5.1 Rakennustyömaat

Rakennustyömailla työtahti on nopea ja rakentaminen etenee lyhyessä ajassa. Ympäristö luo haasteet mitata tehokkaasti, nopeasti ja tarkasti. Suunnitelmat muuttuvat rakentamisen aikana moneen kertaan, ja alihankkijoita on useita.

Mittaajalla voi olla haasteita pysyä ajan tasalla rakentamisen eri vaiheista suurella työmaalla. Tällaiseen haasteeseen voisi V10 tuoda parannusta mittaajalle monipuolisemman dokumentoinnin ansiosta. Tietojen kerääminen ja tiedon tallentaminen kuvan muodossa voi auttaa jatkossa, kun esimerkiksi johdot on jo peitetty tai raudoitukset ovat betonin peitossa. Tällaisessa tilanteessa voidaan fotogrammetrian avulla jälkeenpäin tarkastella, onko tapahtunut rakennusvirheitä. Mittaaminen V10-laitteella tuo rakennuttajalle turvaa ja vanhalta kuvalta pystytään todistamaan tarkasti esimerkiksi virheellisen raudoituksen aiheuttama rakennusvirhe. V10 toimii rakennustyömailla tehokkaan monipuolisen dokumentoinnin apuna, mutta merkintöihin ja asentamiseen V10:stä ei ole apua.

5.2 Kaupunkiympäristö

Kaupungeissa on paikkoja, joihin ei voi mennä niiden vaarallisuuden tai saavuttamattomuuden takia. Kaikkiin paikkoihin ei voi mennä mittaamaan prismasauvan kanssa, kuten vilkkaan tien keskelle ruuhka-aikaan. V10:llä voidaan mitata kohteita vilkkaiden teiden varrelta nopeasti. V10 toimii tarkoituksenmukaisesti silloin, kun halutaan dokumentoida nopeasti tiettyjä asioita, mutta ei haluta tehdä laserkeilauksen suuren pistemäärän aiheuttamaa työtä.

Kaupunkiympäristössä havainnollistavien 3D-kaupunkimallien tekeminen onnistuu V10:llä erinomaisesti. Kiertämällä rakennuksen ympäri ja samalla asemapisteiden mittaaminen onnistuu nopeasti. Esimerkiksi markkinointiin käytettävien havainnekuvien tekeminen V10:llä on mahdollista, kun käyttää jotain mallinnusohjelmaa Trimble Business Centerin kanssa.

5.3 Infratyömaat

Inframittauksissa tulee tilanteita, jolloin kaivuu on peitetty ja pitäisi saada mittauksia rakennetusta kohteesta. Jos johtoja, putkia tai muita kohteita ei ole kartoitettu, silloin ei pystytä olemaan täysin varmoja, siitä missä kohteet sijaitsevat. Normaalien mittauksien ohella kun pidetään prismasauvassa V10:ä, tulee tehtyä automaattisesti parempi dokumentointi työmaasta. Mahdollisesti kuvalle on jokin tärkeä kohde tallentunut, joka saadaan mitattua fotogrammetrian avulla. Ongelma V10:llä mittauksessa syntyy siinä, että kohteet tulee näkyä monella kuvalla, jotta saadaan koordinaatit laskettua fotogrammetrisesti. Tämä ei aina välttämättä toteudu, sillä se vaatisi muutaman kuvan ottamista kaivannon reunalta. Aina ei välttämättä ole kuin yksi kartoitettava piste kaivannosta, tai sitten pisteet (V10 asemapisteet) ovat liian lähekkäin, jolloin kojeasemien geometria ei riitä fotogrammetrisien mittauksien tarvittavan tarkkuuden saamiseksi.

Tielinjojen ja muiden kohteiden merkintään ei V10:stä ole apua, vaan tietyömailla tai muilla infratyömailla V10 voi toimia lähinnä varmistuksena tilanteita varten, jolloin tarvitaan tietoa, jota ei ole mitattu muulla tavalla.

5.4 Raidealueet

Raidealueilla mittaustarkkuudet ovat todella tiukat, ja raiteiden mittaamiseen ei V10:stä ole hyötyä. Asema-alueiden kartoitukseen V10 voisi sopia, sillä asema-alueilla menee paljon johtoja, joten kerättävää informaatiota on paljon.

5.5 Metsä

Metsässä ongelmaksi tulee GPS:n toimivuus ja tarkkuuden asettamat rajoitteet. Toisaalta metsän mittaamiseen ei suurtakaan hyötyä saa V10:llä mitatessa, verrattuna laserkeilaukseen. Metsän mittauksessa puiden paksuuksien ja pituuden mittaamiseen V10 voisi olla hyvä keino, mutta V10 Imaging Roverin rajallinen kuvakulma aiheuttaa tiettyjä haasteita pitkien puiden mittaamisessa.

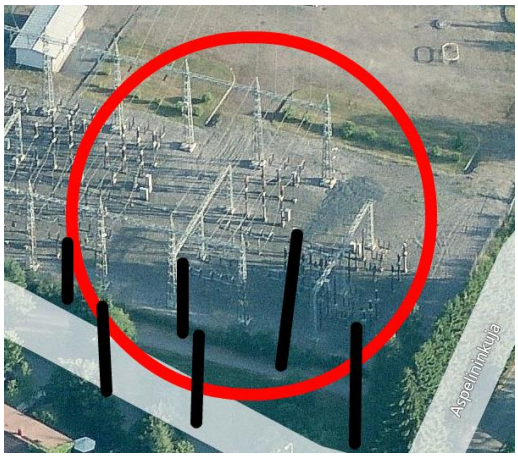
6 Esimerkkimittaukset

Tarkoituksena oli mitata useita erilaisia kohteita, joiden avulla saadaan havainnollistettua Trimble V10-laitteen käyttömahdollisuuksia ja työnkulkua. Testissä tutkittiin laitteen käytettävyyttä eri kohteissa sekä laitteen etuja suhteessa muihin mittaustapoihin. Mittauksilla pyrittiin löytämään hyvää mittaustapaa ja mittausjärjestelyä kyseiselle laitteelle. Mittauksissa tutkittiin, kuinka saadaan laitteesta täydet hyödyt irti sekä mihin laite pystyy. Mittauksien tarkoitus oli muodostaa käytäntö siitä, mitä pitää ottaa huomioon laitteen käytössä, jotta kuvilta mittaus onnistuu halutulla tarkkuudella.

Mittaukset tehtiin Trimble V10-laitteella ja sijainti määritettiin R10 GNSS-laitteen avulla. Mittauksissa käytettiin 3–10 kojeasemaa. Työ oli kaksivaiheinen, tiedonkeruu maastossa panoraamoja kuvaten ja sen jälkeen kuvalta mittaus Trimble Business Center -ohjelmistolla. Trimble Business Center -ohjelmistossa tehtiin aluksi kuva-asemien tasoitus automaattista ja manuaalista tasoitusta yhdistäen.

6.1 Sähkönjakelukeskus

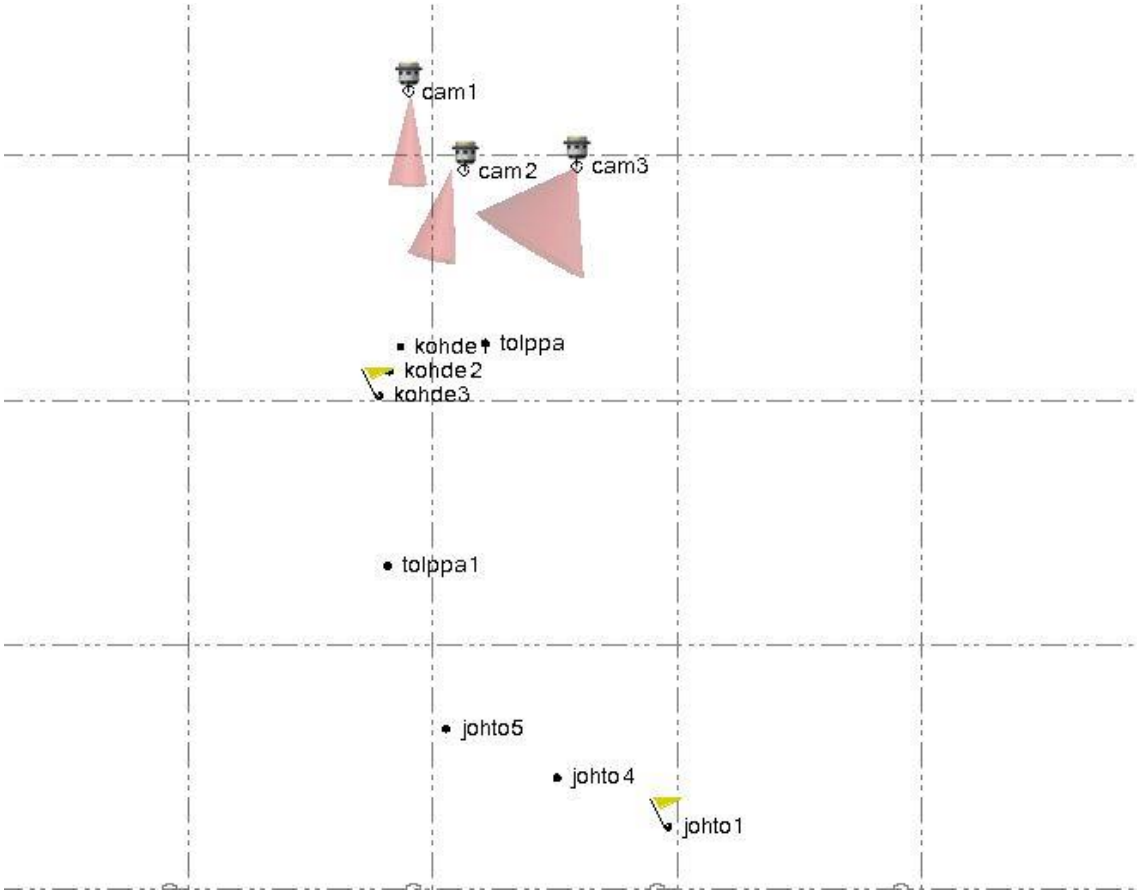
Esimerkkimittauksen sähköjakelukeskus sijaitsee Espoossa Nuijalassa. Sähkönjakelukeskukseen tulee suurjännitejohtoja eri puolilta pääkaupunkiseutua. Sähkönjakelukeskus on sellainen, johon ei voida mennä mittaamaan aitojen sisäpuolelle turvallisesti. Suurijännitejohtojen jännite ja magneettikenttä on niin suuri, että vaara sähkön kulkeutumiseen mittalaitteita pitkin kehoon on suuri.



Kuva 17. Kuvassa merkitty punaisella ympyrällä Nuijalan sähkönjakelukeskus ja mustalla suurpiirteiset kojeasemien paikat

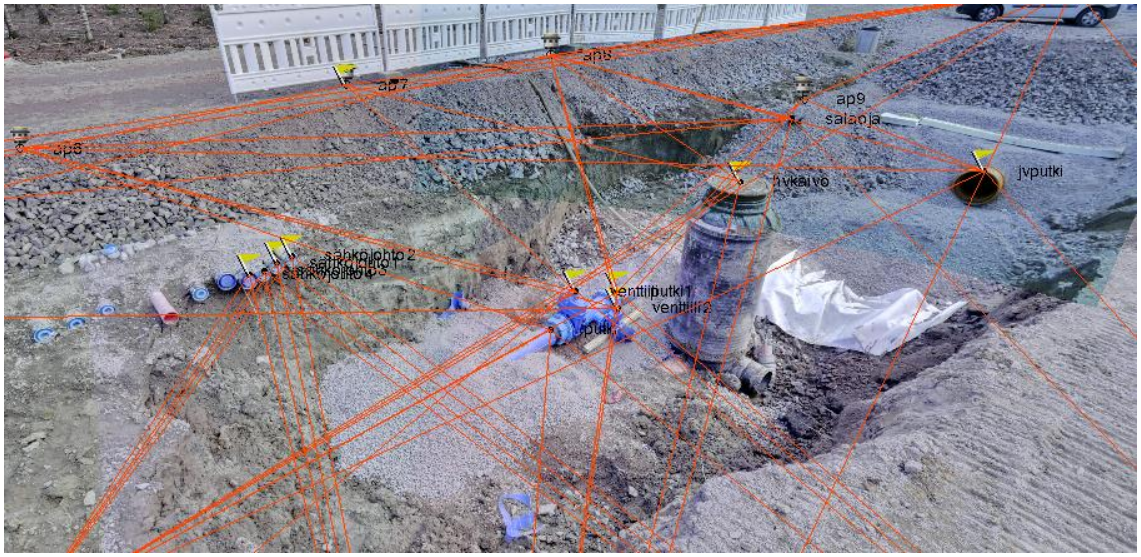
Kuvassa 17 on merkitty kuvaan haluttu mittausalue punaisella ympyrällä ja mustalla pylväillä 6 kappaletta asemapisteitä aidan ulkopuolelle hyvän geometrian mukaisesti. Mittauksen ympäristöön sijoitettiin tähyksiä neljä kappaletta, joilla saatiin suoritettua manuaalista tasoitusta alkuun, minkä jälkeen automaattinen asemapisteiden tasoitus suoritti lopun tasoituksen. Tähyksinä käytettiin kuvassa 26 näkyviä tulostettuja musta-valkoisia tähyksiä. Tasoituksen tulokset eivät olleet kovin hyvät, sillä asemapisteiden geometria ei ollut täydellinen. Geometriaan vaikutti mittauspaikan pieni alue. Kuvapisteitä mitattiin useita tärkeitä kohteita, esimerkiksi suurjännitejohtojen korkein kohta (kuva 18). Mitatut pisteet näkyvät Trimble Business Centerin tasonäkymässä koordinaatistossa kuvassa 19.

Kuva 18. Mitattuja pisteitä näkyy kuvassa oranssilla Trimble Business Center -ohjelmassa



Kuva 19. Trimble Business Centerin tasonäkymä ja mitatut pisteet

6.2 Katutyömaa



Kuva 20. Elmontien vesijohdon ja sade- sekä jätevesilinjan rakentaminen. Vasemmalla kuvassa näkyy mitattuja puhelin- ja sähkösuojaputkia. Kuvassa näkyy oranssilla viivalla fotogrammetrisia mittaushavaintoja eri asema-pisteiltä.

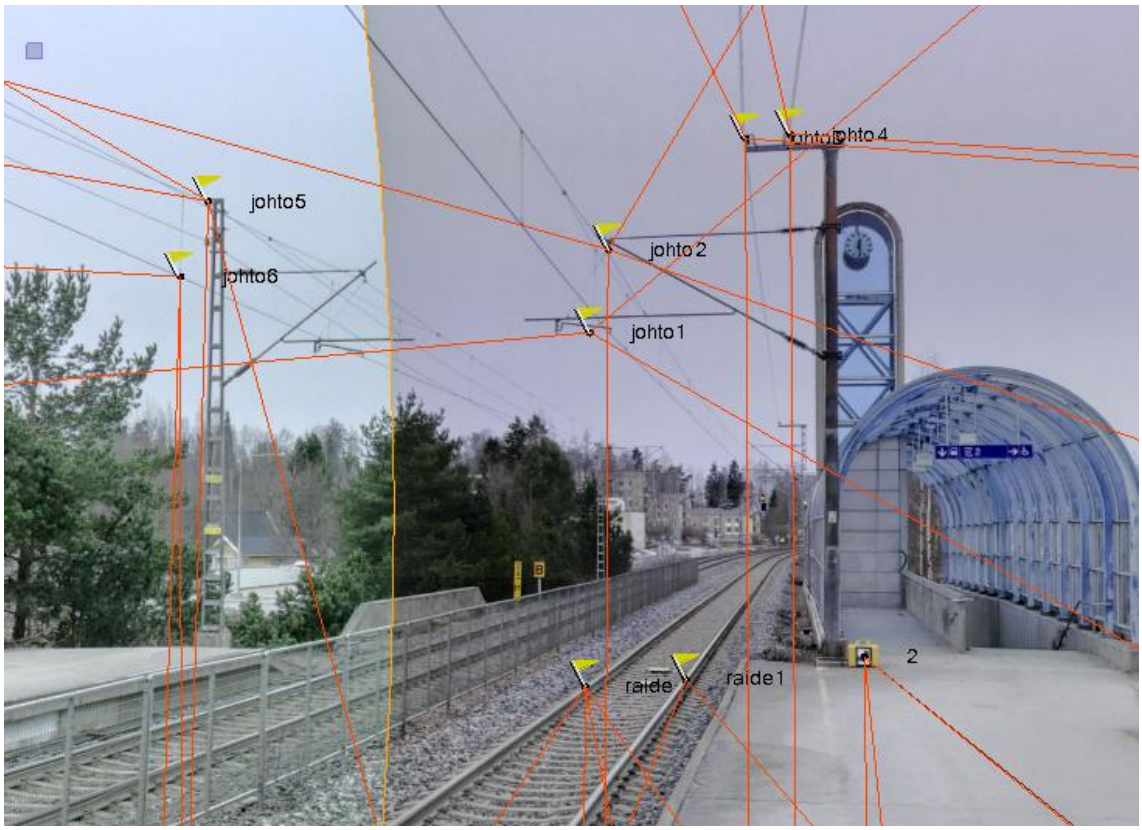
Katutyömaa sijaitsee Vantaalla Koivukylässä, jossa Vantaan kaupunki rakentaa Elmontietä. Kohteessa rakennettiin vesijohto- ja jätevesilinjaa. Kuvat otettiin auki olevan kaivannon ympäriltä (kuva 20). Tarkoitus oli tutkia mittaustilannetta, jossa mittaaja kulkee työmaalla ja kartoittaa ja merkitsee pisteitä normaalilla tavalla, mutta V10 on sijoitettu lisänä tallentamaan ympäristöä monipuolisemmin. Tilanne on siis sellainen, jossa mittaaja ei kiinnitä kovasti huomiota V10:n käyttöön. Tämän takia kuvien geometriaa eikä muutakaan tarkkuuteen liittyvää otettu huomioon työmaalla mittauksia tehdessä. Panoraamat saatiin tasoitettua ja laskettua niiden suunnat, mutta tulokset eivät olleet tarkkuuden osalta optimaalisia. Asemapisteiden geometria oli kyseisellä mittaustavalla yllättävän hyvä, mutta tukipisteredundanssi oli huono. Mittaukset olivat kuitenkin riittävän hyviä kuvapisteiden mittaamiseen.

6.3 Juna-asema

Juna-aseman mittauspaikka sijaitsee Espoon Kilossa (kuva 21). Tarkoituksena oli tutkia, onnistuuko mittaus rautatieaseman alueella järkevästi ja saako tarvittavaa dataa kerättyä ja hyödynnettyä. Haasteena kohteessa oli johtojen ja muiden rakennelmien sijainti liian korkealla.

Kuva 21. Kilon juna-asema. Kuvassa mustalla viivalla likimääräiset kuva-asemien sijainnit ja punaisella ympyrällä joitain mittauskohteista.

Mittaukset onnistuivat hyvin ja kaikki tarvittava dokumentaatio saatiin tehtyä nopeassa ajassa. Aikaa kohteessa kului 10 minuuttia. Panoraamoja otettiin 8 kpl, joista vain neljä otettiin tarkasteluun mukaan. Tämä johtui siitä, että osa kuvista oli syystä tai toisesta tärähtäneitä. Kuvien tasoitus onnistui nopeasti manuaalista ja automaattista tasoitusta hyväksikäyttäen. Kuvilta mitattiin useita pisteitä (kuva 22).



Kuva 22. Juna-aseman panoraamakuvilta mitatut pisteet

Kuvilta mitattujen pisteiden perusteella tietokoneella mitattiin koordinaateista pisteiden etäisyyksiä. Näistä etäisyyksistä saatiin raiteen ja alimman ajolangan väliseksi korkeudeksi 3,940 m.

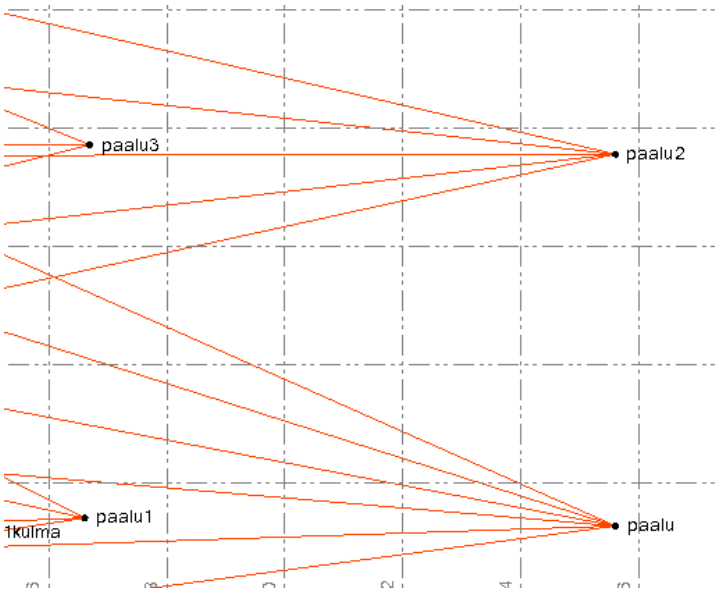
6.4 Hallityömaan mittaus

Hallityömaan mittaus suoritettiin kiireellä tutkien sitä, kuinka nopeasti pystyy mittaamaan suuren hallin yhden sivun. Mittauksiin meni kokonaisuudessaan noin 7 min, eli kun lasketaan 1 minuuttia nopeasti laitteen käyttökuntoon laittamiseen ja 6 minuuttia mittauksiin. Kyseisessä mittauksessa käytettiin kuutta kojeasemaa. Hallin mittaus suoritettiin riittävän kaukaa, jotta halli kokonaisuudessaan näkyisi kuvilla. Kuva-asemien tasoitus tehtiin alkuun manuaalisesti ja sitten automaattisesti jatkamalla. Kuvilta mitattiin fotogrammetrisesti hallin päädystä neljä tukipilaria (kuva 23) ja verrattiin ohjelman laskemilta koordinaateilta niiden keskinäisiä etäisyyksiä perustuen olettamukseen, että tukipilarit on rakennettu suoraan (taulukko 3). Pilarien välisillä etäisyyksillä oli eroa 8,7 cm. Matka kohteeseen oli 70 m (kuva 24). Tästä voidaan tulkita, että ei aivan päästy

Trimblen ilmoittamaan laskennalliseen tarkkuuteen 1 cm / 10 m. Mittauksen soveltuvuutta tarkkoihin suunnitelmien tekemiseen kyseisessä hallin rakennusprojektissa ei voida suositella, mutta karkeaan mallinnukseen tässä tapauksessa mittaus soveltuu hyvin.

Taulukko 3. Rakennustyömaalla sijainneiden pylväiden etäisyydet

Väli	Etäisyys(m)
paalu1-paalu	8,989
Paalu3-paalu2	8,902



Kuva 23. Trimble Business Centerin tasonäkymä ja fotogrammetriamittauksella lasketut koordinaatit paaluille.

Kuva 24. Tietokoneella fotogrammetrisesti mitatut pilarit kuvassa oikealla.

7 Tarkkuus

7.1 Virhelähteet

7.1.1 GNSS-tarkkuus

Mitattaessa V10-laitteella GNSS-vastaanottimen kanssa on huomioitava satelliittimittauksista aiheutuvat virheet panoraamojen sijainnissa. Satelliittimittauksissa on otettava huomioon eri virhelähteet ja arvioitava niiden vaikutusta mittauksien tarkkuuteen. Mitatessa laite kertoo jonkinlaisen karkean arvion vaaka- ja pystytarkkuudesta.

Satelliittimittauksien suurimpia virhelähteitä ovat rata- ja kellovirheet, ilmakehästä aiheutuvat virheet, monitieheijastuminen, satelliittigeometriasta aiheutuvat virheet, laitteistosta aiheutuvat virheet, käyttäjästä johtuvat mittausvirheet ja virheelliset koordinaatisto-, korkeus-, geoidiasetukset. Edellä mainittujen virhelähteiden tiedostaminen ja niiden poistaminen tapahtuu huolellisen suunnittelun avulla. (8.)

7.1.2 Fotogrammetrian tarkkuus

Kameran kuvasensorin koko ja linssien laatu vaikuttavat fotogrammetrisiin mittauksiin eniten. Fotogrammetrian tarkkuus riippuu kuva-asemien keskinäisestä sijainnista sekä etäisyydestä kohteeseen. Kuvan laatuun voidaan kiinnittää huomiota käyttämällä jotakin tukea mittauksien aikana, jolloin minimoidaan kameran heilahduksesta aiheutuva epätarkkuus kuvalla. Erilaiset linsseistä ja heijastuksista johtuvat virheet vaikuttavat myös tarkkuuteen ja kuvien käyttökelpoisuuteen.

7.1.3 Valaistusolosuhteet/sää/pöly

V10 Imaging Rover mittaa vain näkyvää valoa, eli 350–700 nanometrin aallonpituuksia sähkömagneettiselta spektriltä. Mittaukseen vaikuttaa paljon valaistusolosuhteet, sillä kuvaaminen perustuu valon sähkömagneettiseen säteilyyn. V10 Imaging Roverilla mitatessa täytyy olla valoa. Liian heikot valaistusolosuhteet aiheuttavat kuvien tarkkuuden heikentymistä. Kontrastierot tasoittuvat ja myös valon vähentyessä kamera automaattisesti nostaa kameran kennon herkkyyttä, silloin myös kuvan rakeisuus kasvaa ja pikselien erotuskyky heikkenee. Parhain valaistusolosuhde mittauksiin V10:llä on hieman pilvinen keli, sillä täysin selkeä kova auringon paiste aiheuttaa suuret varjot ja osa kuvasta saattaa jäädä varjoihin ja osa ylivalottua, jolloin koko kuvan käytettävyys kärsii. Suora auringonpaiste aiheuttaa myös epätarkkuutta fotogrammetrisiin mittauksiin ja vie mittauspisteitä varjon puolelle. (9.)

Suomen syksy ja talvi tuovat omat haasteensa v10:llä mittaamiseen, sillä aivan pohjoisessa on noin 50 päivää kaamosta, jolloin aurinko ei nouse horisontin yläpuolelle. Käytännössä syksyllä ja talvella ei V10:llä mittaaminen onnistu. Kesällä Suomessa V10:llä mittaamiseen riittää valoa lähes ympäri vuorokauden.

Säätila vaikuttaa jonkin verran mittaamiseen V10:llä, mutta ei läheskään yhtä paljon kuin valoisuus. Kovalla sateella kameran linssit kastuvat ja syntyy nk. sokeapisteitä pisaroista kameran linsseistä.

Pölyiset paikat aiheuttavat haasteen V10:llä mittaamiseen. Silloin tulee välttää pölyn kulkeutumista kameran linsseihin. V10 on suojattu pölyltä, joten kameran sisälle ei pöly pääse, mutta linssien likaisuus johtaa tarkkuuden heikkenemiseen.

7.2 Mittarata

Mittaradalla on tarkoitus mitata V10:n fotogrammetrian tarkkuutta. Mittarata on mittausjärjestely, jossa on paikallaan olevia kohteita eri etäisyydellä (kuva 25). V10:n sijainti määritetään takymetrin avulla, jolloin saadaan tutkittua V10:n fotogrammetrian tarkkuutta paremmin. Tällöin ei tutkita GPS:n tarkkuutta. Mittaradalla mitataan Imaging Roverin tarkkuutta etäisyyden lisääntyessä sekä erilaisilla asemapisteiden geometrialla. Mittaukset tehtiin kahdella eri mittaradalla, koska ensimmäisellä kerralla tuuli oli niin kova, että se vaikeutti mittauksia, kun kohteet eivät pysyneet pystyssä ja kuviin tuli V10:n liikkeestä pientä epätarkkuutta.

Mittaukset tehtiin erillisessä koordinaatistossa. Kohteiden koordinaatit mitattiin takymetrillä. Takymetrimittauksia pidettiin vertailuarvoina ja ”oikeina arvoina”. Mittaukset tehtiin Trimble S6 -takymetrin robottiseurantatilassa, Multitrackprisma V10:n päällä (kuva 26).

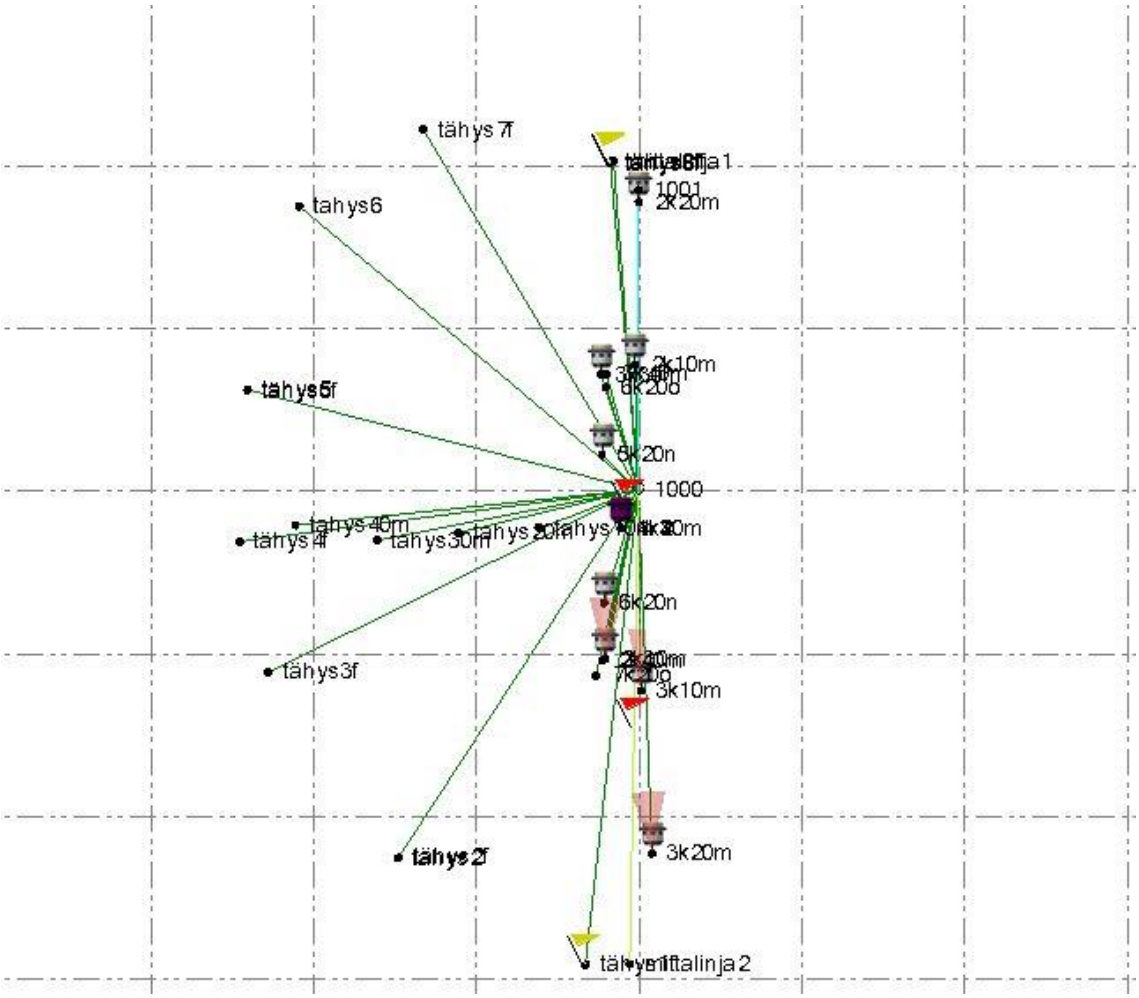
Kuva 25. Mittaradan mittausjärjestely. Kohteet 10–50 m:n päässä mittauspaikasta.

Kuva 26. Mittaradan mittauksiin käytettiin kuvassa oikealla näkyvää Trimble S6 -takymetriä ja V10:n päällä Trimble Multitrackprisma

Mittaukset (taulukko 4) eivät aivan noudattaneet laitevalmistaja Trimblen antamaa tarkkuutta 1 cm / 10 m, koska geometria ei ollut aivan optimaalinen jokaiselle kohteelle (kuva 27). Mittauksien panoraamojen tasoitus suoritettiin automaattisella tasoituksella, joka antoi paremman tuloksen kuin manuaalinen tasoitus.

Taulukko 4. Taulukko kuvaa mittaradalla suoritetun mittauksen tuloksia. Taulukossa verrataan kohteen etäisyyden kasvaessa takymetri- ja fotogrammetria mittauksien tarkkuuden eroja.

Kohteen etäisyys asemapisteestä (m)	Mittauksien ero (cm)
10	2,5
20	3,1
30	6
40	7
50	9



Kuva 27. Mittaradan mittausjärjestely

8 Yhteenveto

V10-mittaamisen suurin hyöty on ajan säästäminen mittaustyössä. Joidenkin arvioiden mukaan saavutetaan 60 prosentin hyöty ajassa verrattuna normaaleihin mittaustapoihin verrattuna. Vastaavasti toimistossa tehtävä työmäärä kasvaa, vaikka mittaustyö maastossa vähenee. Mitattaessa V10:llä uusintakäynnit mittauskohteessa vähenevät, siten säästyy henkilöstö- ja polttoainekuluja. (10)

Suurien kohteiden monipuoliseen dokumentoitiin ja analysointiin V10 on hyvä mittalaite, sillä on esimerkiksi kohteita, joissa on suuri määrä pisteitä, joita pitää mahdollisesti kartoittaa lausuntoa tai arvioita varten. V10:llä mitattaessa vältytään tällä mittaustavalla kartoittamasta pisteitä, joita ei välttämättä tarvita, mutta kartoitetaan lisäksi kohteet, joita ei tiedetä tarvittavan. V10:n hyötyinä ovat lisääntynyt monipuolinen tietomäärä,

jota voidaan toimistotyössä tarvittaessa käyttää. V10:llä mitatessa saadaan varmistettua mittauksia, ja se toimii tarvittaessa varmistuksena, jolta voidaan todentaa haluttuja asioita normaalien mittausten lisäksi.

Haasteena mittaamisessa on V10-mittauksien geometrian ja sitä kautta tarkkuuden saaminen tyydyttävälle tasolle. Tämä vaatii mittauksen huolellista suunnittelua ja mittauspaikan olosuhteiden tietämistä edeltä. V10-mittaaminen vaatii hieman kokemusta, ja yrityksen ja erehdyksen kautta oppii tuntemaan mittaamisen tarkkuuteen liittyvät seikat.

Mittauksissa tuli esille V10:n kameran laadun heikkous. Kunkin yksittäisen kameran sensorin resoluutio on vain 5 megapikseliä, joka on todella alhainen lukema. Ehkä huonon laadun selityksen syynä on suuri datamäärä, joka kuvista syntyy. Suuri datamäärä olisi vielä vaikeammin hallittavissa, jos kameroiden kennot olisivat tarkempia ja tuottaisivat suurempia kuvia. Muistit kehittyvät kovalla vauhdilla, joten suurempi datamäärä ei ole ongelma tulevaisuudessa. V10:n ja R10:n yhdistelmä painaa yllättävän paljon, mikä vaikuttaa laitteen käyttömukavuuteen.

Oletetaan tekniikan kehittyvän 10 vuoden sisällä, jotta älypuhelimilla voidaan hoitaa sama työ jatkossa. Tämä vaatii vain GPS–vastaanottimien mikropiirien kehittymisen senttitarkalle tasolle. Älypuhelimilla saadaan nykyään laadukkaita 360 panoraamoja, joten panoraamat ja tarkemman sijaintitiedon yhdistävän ohjelman koodaaminen ei tule olemaan ongelma.

Lähteet

1 Trimble Inc verkkosivut. 2014. Verkkodokumentti. Trimble Inc. <http://www.trimble.com/Corporate/About_Trimble.aspx> . Luettu 11.12.2014

2 Trimble V10 Imaging Rover tekniset tiedot. 2013. Verkkodokumentti. Trimble Inc. <http://trl.trimble.com/docushare/dsweb/Get/Document-691064/022516-003A-FIN_TrimbleV10_DS_1213_LR.pdf> Luettu 11.12.2014

3 Trimble V10 Imaging Rover käyttösovelluksia. 2013-2014. Verkkodokumentti. Trimble Inc. <http://trl.trimble.com/docushare/dsweb/Get/Document-691078/022516-012A-FIN_TrimbleV10_BRO_0114_LR.pdf> Luettu 11.12.2014

4 IP-luokitus. 2014. Verkkodokumentti. Taloon.com. <http://www.taloon.com/info/tietoa_rakentajalle/ip-arvot> Luettu 20.3.2015

5 Trimble V10 Imaging Rover User Guide. 2014. Verkkodokumentti. Trimble Inc. <http://trl.trimble.com/docushare/dsweb/Get/Document-731469/Trimble%20V10%20Imaging%20Rover%20User%20Guide%20RevD.pdf> Ladattu 3.12.2014

6 V10 re-cap of technology. 2014. PDF-dokumentti (sisäinen). Trimble Inc.

7 Trimble Vision Export and Modelling in SkecthUp. 2015. Video. TBC Survey. <https://youtu.be/5Yc0KmDVZpY?list=PLH2mOWyHLx7wh2vMbqblzEm-KJZKLQRFx>

8 Kråknäs, Pasi. 2014. Satelliittimittauksen kurssi. Luentokalvot.

9 Keskustelut. Mäenpää Sakari ja Simonen Juho syksy 2014 / talvi 2015

10 Picture Perfect. S. 10-11. 3/2014. Verkkodokumentti. Technology&more

Maaston joukkotasoitusraportti

Projektitiedoston tiedot		Koordinaattijärjestelmä	
Nimi:	C:\Users\Ari-Pekka\Documents\Trimble Business Center\koulutesti1manuaalinen.vce	Nimi:	Finland ETRS
		Datumi:	ETRF89
		Alue:	Oletus
Koko:	523 KB	Geoidi:	FIN2005N00
Muutettu:	21.3.2015 7:43:32 (UTC:2)	Korkeusdatumi:	
Aikavyöhyke:	Suomen normaaliaika		
Viitenumero:			
Kuvaus:			

Koordinaattijärjestelmän lisätiedot

Paikalliset työmaa-asetukset			
Projektin leveysaste:	?	Maaston mittakaavakerroin:	1
Projektin pituusaste:	?	Valepohjoisen siirtymä:	0,000
Projektin korkeus:	100,000	Valeidän siirtymä:	0,000

Maaston joukkotasoitusraportti

Yhteenveto

Tasoituspäiväys:	21.3.2015 8:01:40	**Tukipisteden lukumäärä:**	465
Asemien lukumäärä:	5	**Asemien tyyppi**	Vapaa kojeasema

Hyväksytyt asemat: 5					
cam1 (Q1)	cam2 (Q2)	cam3 (Q3)	cam4 (Q4)	cam5 (Q5)	

Tulos

Asemien geometria: (8,2 / 10)

Havainnon tarkkuus: (9,5 / 10)

Tukipisteden toimitus: (10,0 / 10)

Tukipisteiden geometria: (3,8 / 10)

Tukipisteiden päällekkäisyys: (3,3 / 10)

Yleistä

Yhtälöiden lukumäärä:	2512	**Viitekerroin:**	0,72
Tuntematto-mien luku-määrä:	1425		
Ylimääritys:	1087	**Iteraatioiden lukumää-rä:**	4

Viitekerroin, tunnetaan myös yksikköpainon vakiovirheenä, on a posteriori -jäännösvirheiden ja a priori -virhearvioiden välinen suhde. Alueen 0,95 - 1,05 välinen arvo on toivottava. Yleinen viitekerroin on annettu yllä olevassa osiossa Yleistä, mutta hyödyllisempi viitekerroin on annettu osiossa Ryhmän tilastot. Jos fotogrammetrian viitekerroin on esimerkiksi yli 1, se viittaa taakseprojektion jäännösvirheiden olevan suurempia kuin ennakoitu arvo, joka on määritelty kohdassa Projektiasetukset > Oletusvakiovirheet > Fotogrammetria > Pikselinpoimintavirhe. Optimaalinen painotus saavutetaan, kun viitekertoimet ovat ryhmätilastoissa suurempia kuin 1, joka esimerkissä tarkoittaa pikselinpoimintavirheasetuksen suurentamista.

Ryhmän tilastot

Ryhmä	Viitekerroin	A priori skalaari	Ylimääritys
Fotogrammetria	0,73	1,00	1064,16
Sijainti	0,91	1,00	9,86
Kallistus	0,12	1,00	12,98

Asemien yhdistämiset

Tukipisteitä yhteensä	Asema	Yhteiset tukipisteet @ Yhteiset asemat
173	cam1 (Q1)	12 @ cam5 (Q5), 90 @ cam4 (Q4), 104 @ cam2 (Q2), 108 @ cam3 (Q3)
210	cam5 (Q5)	12 @ cam1 (Q1), 118 @ cam2 (Q2), 127 @ cam3 (Q3), 139 @ cam4 (Q4)
287	cam4 (Q4)	90 @ cam1 (Q1), 139 @ cam5 (Q5), 151 @ cam2 (Q2), 160 @ cam3 (Q3)
290	cam2 (Q2)	104 @ cam1 (Q1), 118 @ cam5 (Q5), 151 @ cam4 (Q4), 166 @ cam3 (Q3)
291	cam3 (Q3)	108 @ cam1 (Q1), 127 @ cam5 (Q5), 160 @ cam4 (Q4), 166 @ cam2 (Q2)

Asemien kesimääräinen sijaintivirhe

Itäkoordinaatti	Pohjoiskoordinaatti	Korkeus(ortom)
0,000 m	0,000 m	0,000 m

Asemien sijaintivirhe

Asema	Itäkoordinaatti	Pohjoiskoordinaatti	Korkeus(ortom)	Sijainti
cam1 (Q1)	-0,016 m	0,002 m	-0,019 m	Sallittu
cam2 (Q2)	0,015 m	0,006 m	-0,002 m	Sallittu
cam3 (Q3)	0,005 m	-0,012 m	0,000 m	Sallittu
cam4 (Q4)	0,000 m	0,008 m	0,008 m	Sallittu
cam5 (Q5)	-0,004 m	-0,004 m	0,011 m	Sallittu

Aseman suhteellinen tarkkuusarvio (95 %)

Asema	Itäkoordinaatti	Pohjoiskoordinaatti	Korkeus(ortom)	Leikkauksen geometria
cam1 (Q1)	0,001 m	0,001 m	0,001 m	0,01
cam2 (Q2)	0,001 m	0,001 m	0,001 m	0,17
cam3 (Q3)	0,001 m	0,001 m	0,001 m	0,49
cam4 (Q4)	0,001 m	0,001 m	0,001 m	0,03
cam5 (Q5)	0,001 m	0,001 m	0,001 m	0,00

Asemien tilastot

Asema	Geometrian tulos	Jakauman tulos	Ylimääritys
cam1 (Q1)	5,35 / 10	10,00 / 10	147,6
cam2 (Q2)	8,83 / 10	10,00 / 10	238,0
cam3 (Q3)	9,87 / 10	10,00 / 10	267,3
cam4 (Q4)	9,87 / 10	10,00 / 10	249,9
cam5 (Q5)	7,47 / 10	10,00 / 10	184,3

Aseman tila

Asema	Aseman tyyppi	Tasoitus	Sijainti	Orientointi
cam1 (Q1)	Vapaa kojeasema	Hyväksytty	Sallittu	Sallittu
cam2 (Q2)	Vapaa kojeasema	Hyväksytty	Sallittu	Sallittu
cam3 (Q3)	Vapaa kojeasema	Hyväksytty	Sallittu	Sallittu
cam4 (Q4)	Vapaa kojeasema	Hyväksytty	Sallittu	Sallittu
cam5 (Q5)	Vapaa kojeasema	Hyväksytty	Sallittu	Sallittu

Tukipisteiden tilastot

Havaintoja per piste	2,67	**Estetyt manuaaliset havainnot:**	0

Tukipisteiden taakseprojisoinnit

Jäännösvirhe (tasoitustyyppi)	Pikselit	Etäisyys @ 10 metriä
Keskivirhe (vapaa)	0,42	
Keskivirhe (pakotettu)	0,43	0,002 m
Maksimvirhe (pakotettu)	2,89	0,010 m