



Terrester fotogrammetri med Trimble V10 Imaging Rover - Mätosäkerhet och leveransformat

Test av Trimble V10 Imaging Rover och Trimble Business Center

Terrestrial photogrammetry with Trimble V10 Imaging Rover - measurement
uncertainty and file formats

Test of Trimble V10 Imaging Rover and Trimble Business Center

Samuel Laurell

Fakulteten för hälsa, natur- och teknikvetenskap

Högskoleingenjörsprogrammet i lantmäteriteknik och geografisk IT

Examensarbete 22,5 högskolepoäng

Handledare: Jan Haas

Examinator: Jan-Olov Andersson

Datum: 2017-06-01

Löpnummer: 2017:2

FÖRORD

Detta examensarbete på 22,5 högskolepoäng är en avslutande del i min utbildning, högskoleingenjörsprogrammet i lantmäteriteknik och geografisk IT på Karlstads universitet. Jag vill tacka Metria AB som kom med förslaget och bistått med utrustning. Vill speciellt tacka mina två handledare, Daniel Andersson på Metria AB Karlstad och Jan Haas på Karlstads universitet för alla tips och idéer. Stort tack även till alla andra som bidragit.

Karlstad, juni 2017

Samuel Laurell

SAMANFATTNING

De vanligaste metoderna för insamling av geografisk information är idag genom GNSS och totalstation eller via traditionell fotogrammetri och laserskanning. Trimble V10 Imaging Rover är ett instrument som består av 12 kalibrerade kameror med skanningsfunktion. Detta instrument fungerar som ett komplement till de traditionella mätmetoderna GNSS och totalstation. Resultatet från insamling med Trimble V10 är mätbara panoramabilder i 360-grader. Utifrån dessa panoramabilder kan mätningar utföras fotogrammetriskt i programvaran Trimble Business Center (TBC). Även punktmoln kan genereras i TBC utifrån dessa panoramabilder.

Studien består av två delar. I den första delen testas mätosäkerheter och begränsningar för inmätning med Trimble V10. Detta utfördes under ett insamlingstillfälle vid Mariebergsskogens parkering i Karlstad. Den andra delen består av undersökningar kring leveransformat och filformat i TBC, för data insamlat med Trimble V10.

I denna studie testas hur mätosäkerheten för Trimble V10 påverkas vid olika avstånd från mätpunkt. Detta för att se vilka begränsningar instrumentet har och vilken mätosäkerhet som kan uppnås vid olika mätavstånd. Resultatet visar att avstånd inom 25 m ger ett medelfel under 2 cm i plan. Medelfelet ökar därefter med cirka 2 cm per 25 m. Avstånd över 100 m ger medelfel på decimeternivå. I höjd är medelfelet lägre och påverkas mindre av mätavståndet. Medelfelet i höjd är mellan 8 mm för kortaste mätavståndet på 10 m och 2 cm för längsta mätavståndet 120 m.

Positionsetablering av Trimble V10 kan göras med GNSS eller med totalstation. I denna studien utförs test för vilken av etableringsmetoderna som ger lägst mätosäkerhet. Resultatet visade att skillanden mellan etableringsmetoderna var jämbördiga i plan, i höjd gav totalstation en lägre mätosäkerhet än GNSS.

För att kunna utföra beräkningar fotogrammetriskt så behövs bilder tagna från minst två positioner. Ett mindre test utförs i denna studie för att bedöma om antalet bilder som används för fotogrammetrisk beräkning påverkar resultatet. Det vill säga om fler använda fotostationer ger en lägre mätosäkerhet. Enligt denna studie är så inte fallet då fler felkällor uppstår.

Eftersom TBC används för att bearbeta och beräkna data inmätt från Trimble V10 så undersöks leveransvägar av 3D- och 2D-modeller, punktmoln och panoramabilder. Detta görs för att se vilka filformat som lämpar sig bäst för leverering av data till kunder som inte har tillgång till TBC. De filformat som testas i denna studie är CAD formaten DWG och DXF samt XML formatet LandXML. För punktmoln testas filformaten LAS och XYZ. Panoramabilder testas genom export till formaten JPEG, HTML och KMZ. Resultaten visar på att DWG och DXF klarar hantera 3D-modeller exporterade från TBC med viss brist. LandXML klarar endast av att hantera punkter i 2D. Punktmolnsfilerna LAS och XYZ klarar lagra samma data men LAS kan läsas av fler programvaror och är ett smidigare format för att generera punktmoln i TBC med. Någon jämförelse mellan leveransvägar av panoramabilder kunde inte utföras då HTML och KMZ exporteringen misslyckades.

ABSTRACT

The most common methods for collecting geographical information are currently through GNSS and total station or via traditional photogrammetry and laser scanning. The Trimble V10 Imaging Rover is an instrument that consists of 12 calibrated cameras with scanning function. This instrument serves as a compliment to traditional measurement methods such as GNSS and total station. The result of data collection with the Trimble V10 are measurable 360 degree panoramas. Based on these panoramic images, measurements can be performed photogrammetrically in the Trimble Business Center (TBC) software. Point clouds can also be generated in TBC based on these panoramic images.

In this study, measurement uncertainty for the Trimble V10 is tested at different distances from the measurement point. This to show what constraints the instrument has and which measurement uncertainty can be achieved at different measuring distances. The result shows that distances within 25 m provide a mean error in plane of less than 2 cm. The average error then increases by about 2 cm per 25 m. A distance of more than 100 m gives an average error above 1 dm. In height measurement, the average error is lower and is less affected by the measurement distance. The average error in height is between 8 mm for the shortest measurement distance of 10 m and 2 cm for the longest measurement distance of 120 m.

The positioning of the Trimble V10 can be done with GNSS or with total station. In this study, tests are performed for which method of positioning establishment that provide the lowest measurement uncertainty. The results show that the differences between the establishment methods are equal in plane measurement. In height the total station establishment has a lower measurement uncertainty than GNSS.

In order to be able to perform photogrammetrically calculations, images taken from at least two positions are required. A smaller test was performed in this study to assess whether the number of images used for photogrammetric calculation affects the result. That is, if a higher number of photo stations used results in lower measurement uncertainty. According to the result in this study, this is not the case.

Because TBC was used to calculate data received from the Trimble V10, deliverables were investigated for 3D and 2D models, point clouds and panoramas. This was done to see which fileformat is best suited for data delivery to customers who do not have access to TBC. The fileformats tested in this study were the CAD formats DWG and DXF as well as the XML-format LandXML. For point clouds, the fileformats LAS and XYZ were tested. Panoramic images are tested by export to JPEG, HTML, and KMZ formats. The results show that DWG and DXF manage to handle 3D models exported from TBC with some shortage. LandXML only succeeds in managing points in 2D. The LAS and XYZ point cloud-files manage to store the same data, but LAS can be read by more software and is a smoother format for generating point clouds in TBC with. No comparison of panorama delivery routes could be performed when HTML and KMZ export failed.

1 INNEHÅLLSFÖRTECKNING

2	Inledning.....	6
1.1	Bakgrund.....	6
1.2	Syfte.....	7
1.3	Frågeställningar.....	7
1.4	Avgränsningar.....	7
2	Material.....	8
2.1	Programvaror.....	8
2.2	Mätutrustning.....	8
3	Teori.....	9
3.1	Terrester Fotogrammetri.....	9
3.2	Panoramabilder.....	9
3.3	Punktmoln.....	9
3.4	Mätosäkerhet.....	10
3.4.1	Trimble S6 Totalstation.....	10
3.4.2	Trimble R8 GNSS.....	10
3.4.3	Trimble V10 Imaging Rover.....	10
3.5	Filformat.....	10
4	Metod.....	12
4.1	Mätosäkerhetstest.....	12
4.1.1	Etablering av bruksnät.....	12
4.1.2	Inmätning av referenspunkter.....	12
4.1.3	Mätning med Trimble V10.....	13
4.1.4	Avståndspåverkan.....	13
4.1.5	Jämförelse av etableringsmetod.....	15
4.1.6	Test av antal fotostationer.....	15
4.2	Leveransformat.....	16
4.2.1	Exportering till CAD.....	16
4.2.2	Exportering av punktmoln.....	16
4.2.3	Exportering av panoramabilder.....	17
5	Resultat.....	18
5.1	Mätosäkerhetstest.....	18
5.1.1	Etablering av bruksnät.....	19
5.1.2	Inmätning av referenspunkter.....	19
5.1.3	Avståndspåverkan.....	19
5.1.4	Jämförelse av etableringsmetod.....	20

5.1.5	Test av antal fotostationer.....	22
5.2	Leveransformat	22
5.2.1	Exportering till CAD	22
5.2.2	Exportering av punktmoln.....	23
5.2.3	Exportering av panoramabilder.....	25
6	Diskussion	27
6.1	Mätosäkerhetstest	27
6.2	Leveransformat	28
7	Slutsats	29
8	Referenser.....	30
	BilagA	31

2 INLEDNING

1.1 BAKGRUND

Utvecklingen av nya metoder att samla in geografiska data pågår ständigt. Strävan finns att kunna samla in så mycket information som möjligt på kortast möjliga tid utan att påverka kvaliteten på inmätt data negativt. De vanligaste sätten att samla in geografiska data är idag geodetiska, det vill säga med hjälp av Global Navigation Satellite Systems (GNSS) eller totalstation, men också genom traditionell fotogrammetri eller med hjälp av laserskanning, antingen från luften eller marken.

Metria AB har för att effektivisera insamlingen av geografiska data köpt in ett nytt instrument, Trimble V10 Imaging Rover, se figur 1. Den ska fungera användas som ett komplement till de traditionella mätmetoderna såsom GNSS och totalstation. Instrumentet består av 12 kalibrerade kameror med skanningsfunktion som kan ta 360-graders panoramabilder. Resultat av panoramabilder tillsammans med geodetisk mätning ger möjlighet att skapa fotogrammetriskt mätbara bilder. Från dessa mätbara bilder går det sedan att skapa 3D-modeller och punktmoln. Den stora fördelen är att tiden för fältarbete minskar med detta instrument då punkter inte behöver mätas in enskilt.



Figur 1. Trimble V10 Imaging Rover.

Instrumentet kan enligt Pfeiffle (2012) liknas med en laserskanner på så sätt att punktmoln samlas in vid mätning. En skillnad är att punktmoln genererat med fotogrammetriska metoder beräknas fram efter mätning genom att bildernas pixlar beräknas om till punkter. En punkt skapas mitt i varje pixel och därmed så spelar bildernas upplösning roll för vilken punkttäthet som punktmolnet får. Denna metod ger idag inte samma noggrannhet som

en laserskanner vilket gör att metoden inte kan ersätta laserskanning helt. Fotogrammetri är dock en billigare metod än laserskanning vilket gör att tekniken används ofta.

Nackdelen med Trimble V10 är att inmätt data bara går att bearbeta i programvaran Trimble Business Center (TBC) och är därmed olämplig att leverera till kund som inte har tillgång till Trimbles programvaror.

Joon Kyu et al. (2015) har undersökt tidsåtgången att bearbeta och skapa en 3D-modell med TBC och Trimble SketchUp med data insamlad med Trimble V10, jämfört med att skapa en 3D-modell genom terrester laserskanning. Det visade sig att data från Trimble V10 endast tar en tredjedel av den tid det tar att skapa 3D-modell med laserdata. De beskriver också att kompatibiliteten mellan TBC och SketchUp fungerar väl och att 3D-modeller från SketchUp kan länkas till Google Earth.

1.2 SYFTE

Syftet med detta examensarbete är att undersöka mätosäkerheten för fotogrammetrisk mätning med Trimble V10, detta är något som ofta efterfrågas av beställare. Etablering med GPS jämförs med etablering med totalstation och slutsatser dras om hur detta påverkar mätresultatet. Mätavstånd testas för att skapa en uppfattning inom vilka avstånd som Trimble V10 kan användas med låg mätosäkerhet samt vara till stöd vid planering av en inmätning.

Vetskap om mätosäkerhet och begränsningar kan ge svar på i vilka inmätningssituationer som Trimble V10 kan tillämpas och vad mätare bör ha i åtanke vid en inmätning med detta instrument.

Syftet är även att undersöka möjligheterna att konvertera inmätt data från Trimble V10 till ett filformat som kunder kan hantera och därmed skapa ett större användningsområde för inmätningssituationen.

Målet är att ge svar på vilka filformat som kan användas för att beställare ska få så stor användning av inmätt data från Trimble V10 som möjligt. Inmätt data innefattar utöver punkter, linjer och ytor även 3D-modeller, punktmoln och panoramafoton.

1.3 FRÅGESTÄLLNINGAR

De frågor som detta examensarbete ska svara på är följande:

- Vilken noggrannhet uppnås med Trimble V10 etablerad med GPS jämfört med totalstation?
- Hur skiljer sig mätresultaten för mätningar på avstånden 10, 25, 50, 75 och 100 m?
- Har antalet fotostationer som används vid beräkning av punkter i TBC stor betydelse för resultatet?
- Vilken metod är den bästa för att leverera 3D-modeller i CAD från TBC, sett till parametrarna: fullständighet, redigerbarhet och filstorlek?
- Vilket filformat för punktmoln är lämpligast att använda vid leverans av punktmoln genererade i TBC, sett till parametrarna: fullständighet, punktinformation, filstorlek och läsbarhet?
- Hur skiljer sig leveransvägarna för panoramafoton tagna med Trimble V10, med parametrarna: upplösning, filstorlek, möjlighet till delning och kombination med övriga mätdata?

1.4 AVGRÄNSNINGAR

Studien fokuseras på användningsområden för Trimble V10. Eftersom det finns få tidigare studier kring insamlingsmetoden så består denna studie av enklare test av mätosäkerhet i ett verklighetstroget mätscenario. Detta för att skapa en uppfattning om vilka resultat som kan förväntas vid mätning med denna metod och detta instrument. Något djupare och noggrannare mätosäkerhetstest utförs inte på grund av tidsbegränsningen och syftet med studien.

Vad gäller leveransformat av insamlade data så fokuseras studien på de av projekterare vanligast använda filformaten. För att avgränsa undersökningen begränsas antalet filformat till 4–6 olika filformat och enklare utvärderingar görs. Kompatibiliteten mellan TBC och Trimble SketchUp testas inte eftersom denna leveransväg har testats tidigare av Joon Kyu et al. (2015).

2 MATERIAL

2.1 PROGRAMVAROR

De programvaror som användes i studien är följande:

- Trimble Business Center (TBC), Photogrammetry Module, version 3.8
- ESRI ArcGIS, version 10.3
- CloudCompare, version 2.8.1
- Axtollo Topocad 16, version 16.2.1
- Autodesk AutoCAD Map 3D 2013 version 16.0.210
- Microsoft Excel 2013
- Helios TextPad 8
- Google Earth, version 7.1.8

2.2 MÄTUTRUSTNING

Mätutrustning som användes för insamling av data vid framförallt mätosäkerhetstest är följande:

- Trimble V10 Imaging Rover
- Trimble S6 Total station
- Trimble R8 GNSS
- Trimble TSC3 Controller

Utöver listade mätinstrument så användes direktreflexer, måltavlor, 360° prisma, stativ och mätstång till mätosäkerhetstest.

3 TEORI

3.1 TERRESTER FOTOGRAMMETRI

Fotogrammetri innebär enligt Stojakovic (2008) att foton används för att mäta längder och vinklar i bild utifrån objekts geometriska egenskaper. Med enkelbild så kan man endast få ut avstånd i två dimensioner (2D). För att beräkna fram avstånd i tre dimensioner (3D) utifrån foton behövs minst två foton på samma objekt tagna i olika vinklar från olika positioner.

Med två foton på samma objekt från olika position och vinkel ges möjlighet till så kallad stereobetraktning. Förutsättningen är stereoseende då de något olika bilder som projiceras på näthinnan i ögonen omtolkas till en 3D-bild i hjärnans syncentrum och som gör att vi kan bedöma avstånd.

Två fotogrammetriska metoder används. Terrester fotogrammetri och flygfotogrammetri. Vilken metod som tillämpas beror på vad som ska karteras. I terrester fotogrammetri används bilder tagna nära marknivå. Detta lämpar sig bättre då mindre objekt och terrängområden ska mätas in och karteras, framförallt i 3D. I flygfotogrammetri används bilder tagna från luften, antingen från flygfarkoster eller från satelliter. Denna metod kan täcka större områden och används för bland annat skapande av terrängmodeller.

För att fotogrammetrisk modellering ska vara användbar för mätning i ett tredimensionellt referenssystem så måste kamerapositionen för varje foto georefereras. Detta innebär att koordinater och fotograferingsriktning måste vara kända. Detta kan göras direkt när bilden tas med GNSS eller totalstation men också efteråt genom att koordinatbestämma samma punkter i flera bilder (Stojakovic, 2008).

3.2 PANORAMABILDER

En panoramabild är flera bilder sammanlänkade för att skapa en cylindrisk enhetlig bild. Genom att flera bilder är tagna från samma perspektivcentrum med överlappning och jämnt vinkelavstånd kan bilderna matchas ihop till en 360-gradersbild. Det krävs också att fokallängden är den samma. Ju större överlappningen av bilderna är desto jämnare blir sammanlänkningen.

För att skapa panoramabilder vid mätning så gäller samma grundprinciper som för fotogrammetri. Det krävs minst två kamerapositioner. Det krävs också att kamerapositioner och fotoriktningar är kända. Med koordinater från kamerapositionerna kan en baslinjelängd beräknas. Utifrån baslinjens längd och vinkel för båda fotoriktningarna mot sökt punkt kan avstånd från kamerastationer beräknas till den sökta punkten. Med avstånd och vinkel från koordinatsatta kamerastationer till sökt punkt kan även punktens koordinater beräknas (Luhmann & Tecklenburg, 2004).

3.3 PUNKTMOLN

Ett punktmoln är ett moln av punkter. Pfeiffle (2012) beskriver att termen punktmoln syftar på punkter med x-, y-, z-värden som tillsammans avspeglar objekt eller miljö digitalt. Ju tätare punkter desto noggrannare avspeglar punktmolnet verkligheten. Antalet punkter påverkar filstorleken vilket gör att hög punkttäthet medför större filstorlekar som därmed blir tyngre att arbeta med.

Det finns olika sätt att samla in data för punktmoln. Det vanliga är med hjälp av laserskanner. En laserskanner skickar iväg laserpulser som studsar mot objekt som de träffar. Den tid det tar för laserpulsen att färdas från och tillbaka till laserskannern mäts och används sedan för att beräkna avstånd.

Ett annat sätt att skapa punktmoln är med fotogrammetri. Flera foton av ett objekt från olika vinklar ger möjlighet att skapa punktmoln på samma vis som mätning med hjälp av fotogrammetri fungerar, skillnaden är att det krävs fler punkter för att skapa ett punktmoln. Högre pixelupplösning ger noggrannare resultat och tätare punktmoln.

Nackdelen med att fotogrammetriskt skapa punktmoln är att insamlingsmetoden kräver en extern ljuskälla såsom dagsljus, vilket inte insamling genom laserskanning gör. Mörka områden i bilder är svåra att mäta vilket ger sämre resultat. En annan nackdel är att vegetation medför större problem att få markpunkter vid skapande av punktmoln

fotogrammetriskt. Med laserskanning går det att i efterhand filtrera bort vegetation såsom löv och högt gräs för att få markpunkter eftersom en laserpuls kan reflekteras tillbaka i flera nivåer. Den lägsta reflekterade punkten från en laserpuls motsvarar då markytan. Laserskanning är den noggrannaste metoden men är också mer kostsam (Pfeiffle, 2012).

3.4 MÄTOSÄKERHET

Nedan beskrivs mätosäkerheter hos de instrument som ska användas i mättestet.

3.4.1 TRIMBLE S6 TOTALSTATION

Trimble Navigation Limited (2015a) försäkrar att Trimble S6 Totalstation har ett *root mean square error* (RMSE) dvs. maximalt medelfel mot prisma på 2 mm + 2 *parts per million* (ppm) för standard och 4 mm + 2 ppm för användning av tracking-funktion. Samma maximala medelfel gäller för mätning mot direktreflex.

3.4.2 TRIMBLE R8 GNSS

För bättre GNSS-mätningar i realtid används nätverks-RTK. Detta innebär att relativ bärvägsmätning utförs med uppkoppling mot en driftcentral. Driftcentralen tar emot information från ett nätverk av referensstationer, om felkällor som uppkommer från signalstörningar i atmosfären samt information kring satelliters ban- och klockfel. Från driftcentralen skickas korrigeringar för detta till GNSS-mottagaren. Referensstationerna har ett täthetsavstånd i Sverige på 60–70 km. Nätverks-RTK använder GNSS-systemen GPS och GLONASS och har en mätosäkerhet på 1–2 cm i plan och 2–3 cm i höjd beräknat på genomsnittligt avstånd till referensstationer på 35 km (Lantmäteriet, u.d.).

Trimble Navigation Limited (2015b) försäkrar att Trimble R8 GNSS har ett RMSE på 8 mm + 0,5 ppm i plan och 15 mm + 0,5 ppm i höjd. Ppm utgår från närmaste referensstation.

3.4.3 TRIMBLE V10 IMAGING ROVER

Trimble Navigation Limited (2015c) beskriver att Trimble V10 Imaging Rover har ett RMSE på 10 mm horisontellt och 7 mm vertikalt. Detta är beräknat med panoramabilder från tre fotostationer på känd position. Fotostationerna placerade i triangelformation med en baslinje på 24 m och sida på 15 m och vinkel på 100°. Längsta avstånd till mätobjekt var som mest 25 m. Detta gav skärningsvinkel för mätobjekt på nära 90 grader. Mätobjektens positioner fastställdes sedan i TBC. Kortare baslinje, sämre geometri och längre än 25 m till mätobjekt försämrar resultatet.

Trimble V10 kan positionsetableras både genom GNSS och totalstation. Vid positions-etablering med GNSS så monteras GNSS-mottagaren ovanpå V10 på mätstången. För totalstation så monteras istället ett prisma ovanpå V10.

3.5 FILFORMAT

Håkansson (2008) beskriver att de vanligaste 3D-filformaten för arkitektkontor är U3D, DWG, DXF och 3DS. U3D är ett universalt format som är skapat för att de flesta CAD-programmen ska kunna läsa 3D-modeller. Autodesk som är ledande inom CAD och deras program AutoCAD har två egna filformat DWG och DXF. DWG står för drawing och är ett binärt-filformat vilket betyder att det är uppbyggt på 1 och 0. DWG är det format som AutoCAD i huvudsak använder i sina egna program. DXF står för drawing exchange format och är uppbyggt som text-filformat innehållande ASCII (American Standard Code for Information Interchange). Därmed är DXF ett utbytesformat som ska vara enklare för andra CAD-programvaror att läsa. 3DS är ett filformat för att exportera och importera 3D-modeller med t.ex. Autodesk programmen 3D-Studio MAX och VIZ för att öppna och visualisera i en mängd andra program.

Extensible Markup Language (XML) är ett format för dokument innehållande textkoder. Detta är ett universalt format som är designat för att kunna spara och utbyta data mellan olika programvaror. XML är oberoende av mjuk- och hårdvara då detta format endast består av information draperat med taggar. Hur XML-formatet visas i en programvara beror på hur denna är designad att visa XML (w3schools, u.d.).

LAS (LiDAR Aerial Survey) filer är standardformatet för utbyte av punktmoln i tre dimensioner. Filformatet är binärt till skillnad från många andra utbytesformat som i huvudsak är text-baserade vilka är enklare för olika system att läsa. Det kräver mer från utvecklare för att ett system ska kunna läsa binära filformat. Anledningen till att LAS-formatet är binärt uppbyggt, är för att minska filstorleken då text-baserade punktmolnsfiler kan bli väldigt stora och därmed långsamma att arbeta med. En annan anledning är att LAS-formatet är utvecklat för att kunna hantera laserskannad data. Information som är specifik för laserskannad data kan gå förlorad vid lagring i text-baserade format så som XYZ/ASCII (Samberg, 2007).

4 METOD

Studien är indelad i två delar, den första delen handlar om mätosäkerhet för Trimble V10 och den andra om leveransformat från programvaran TBC. I detta kapitel beskrivs metoderna för mätosäkerhetstest och leveransformat.

4.1 MÄTOSÄKERHETSTEST

Metoden för mätosäkerhetstestet består av sex delar. Den första delen beskriver hur bruksnätet som användes för etablering av totalstation etableras. Det andra beskriver vilken typ av referenspunkter som användes och hur dessa mäts in. Tredje delen beskriver hur fältinmätning med Trimble V10 går till. Därefter beskrivs testen för avståndspåverkan, skillnad i etableringsmetod och antal använda fotostationer.

4.1.1 ETABLERING AV BRUKSNÄT

Mätosäkerhetstestet utfördes med tillgängliga stompunkter för etablering av totalstation. Det område som valdes är parkeringen till Mariebergsskogen Karlstad (figur 2) där det finns goda möjligheter till avståndsmätning då parkeringen är ca 200x50 meter. Tre kringliggande polygonpunkter finns tillgängliga. Dessa kontrollerades med GNSS/nätverks-RTK med medeltalsbildning av 30 observationer under 30 sekunder, ominitialisering av fixlösning utfördes mellan varje mätning. Detta gjordes totalt nio gånger för varje punkt med minst en timme emellan var tredje mätning för att satellitgeometrin ska hinna ändras. Medelvärde beräknades sedan utifrån dessa mätningar. Dubbelavvägning mellan höjdfix (dubb i berg): FIX2000 och FIX2321 utfördes för att få höjder till polygonpunkterna. Bruksnätet kvalitetssäkrades enligt SIS-TS 2114 bruksnät. Koordinatsystem SWEREF99 13 30 och höjdsystem RH2000 användes. Framräknade koordinater användes till fri stationsetablering av totalstation.



Figur 2. Mätområde med kringliggande höjdfixar och polygonpunkter, Mariebergsskogens parkering.

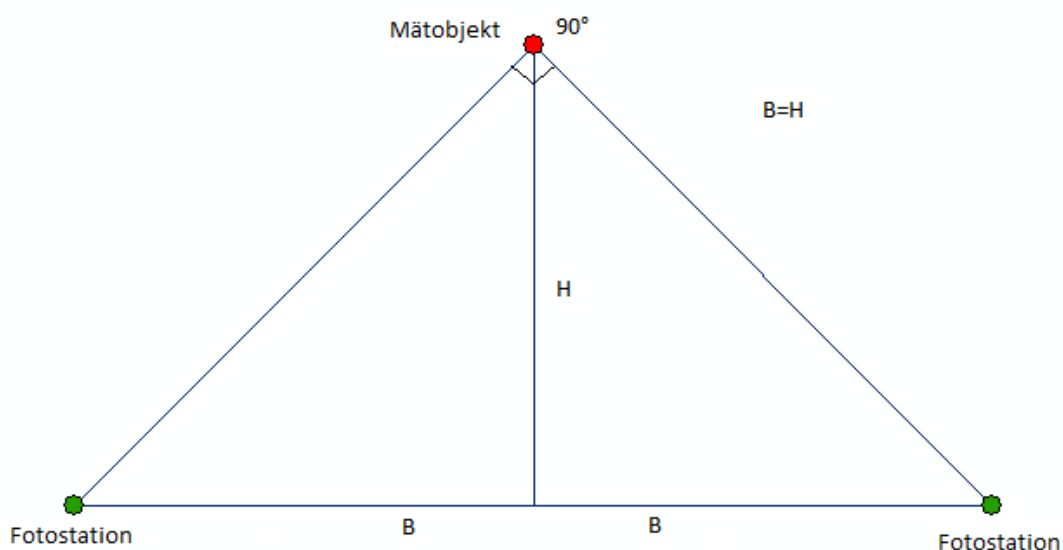
4.1.2 INMÄTNING AV REFERENSPUNKTER

Mätningarna gjordes med avstånden 10, 25, 50, 75 och 100 meter för att undersöka hur avstånd från fotostationer påverkar mätosäkerheten. Referenspunkter för de olika avstånden markerades med direktreflex för 10 och 25 meter och svartvit måltavla för 50, 75 och 100 meter. Två referenspunkter för varje avstånd placerades på lämpliga objekt och mäts in med totalstation. Exempel på lämpliga objekt är lyktstolpar och väggar. Inmätningen utförs två gånger med ny fri stationsetablering och medeltalsbildades sedan. Reflexerna tilläts vara utsprida eftersom bilder togs i 360 grader. Totalstationen placerades i mitten av parkeringen (figur 2), så att avståndsmätningar utgår från denna punkt.

4.1.3 MÄTNING MED TRIMBLE V10

Trimble V10 etableras med GNSS/nätverks-RTK och totalstation för att undersöka hur mätosäkerheterna skiljer sig mellan dessa etableringar. Totalstationens tracking-funktion används vid etablering av Trimble V10 för att inte behöva rikta totalstationen manuellt.

Eftersom mätningarna utfördes fotogrammetriskt så behövdes bilder tagna från minst två positioner för att mäta in alla fem reflexer men för att göra det mer verklighetstroget används tre fotostationer. Enligt teoridelen för mätosäkerhet (3.4.3 Trimble V10 Imaging Rover) så ska skärningsvinkeln vid mätobjekt vara 90 grader för att ge bästa mätgeometri (figur 3). Detta betyder att halva baslinjen (B) ska vara lika lång som avståndet (H) till mätobjekt. Detta var dock svårt att tillämpa då ett avstånd på t.ex. 50 meter innebär en optimal baslinje på 100 meter. Istället anpassades geometrin för att ge en bra skärningsvinkel mot reflexen på avståndet 25 meter. Fotostationer placerades upp till hela parkeringens bredd, motsvarande cirka 25 meter ifrån totalstationen och upp till 10 meter framför/bakom totalstationen. 20 utspridda fotostationer placerades ut för båda etableringsmetoderna.

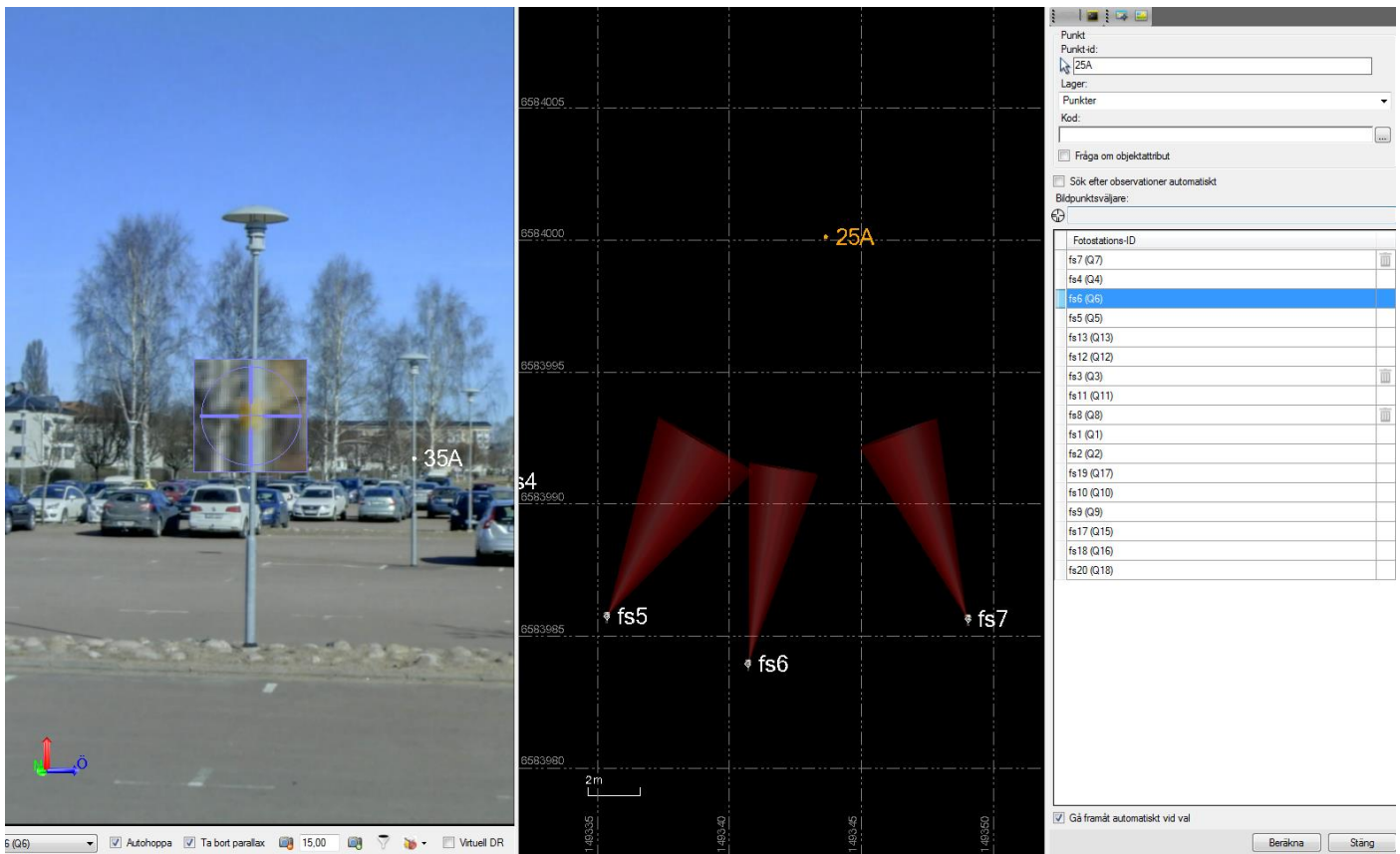


Figur 3. Mätgeometri för mätning med Trimble V10.

För att koppla ihop panoramabilderna från fotostationerna i TBC så användes så kallade kopplingspunkter. Dessa punkter är tydliga pixlar/punkter som kan identifieras i alla panoramabilder. TBC hittar automatiskt kopplingspunkter och justerar panoramabilderna i förhållande till varandra. För GNSS-inmätta fotostationer så tillåts både position och riktning att justeras för att panoramabilderna ska stämma överens. För totalstationsinmätta fotostationer tillåts endast justering av riktning då positionen från totalstation anses vara tillräckligt noggrann. Detta efter rekommendation i programvaran TBC.

4.1.4 AVSTÅNDSPÅVERKAN

Referenspunkternas positioner fastställdes i programvaran TBC. Reflexerna markerades i panoramabilderna och koordinater beräknas utifrån tre panoramabilder, exempel från TBC syns i figur 4. Fotostationer som ingick i mätning för avståndstestet valdes ut och delades in i par om tre med avseende på avstånd från fotostation, geometri och sikt till reflex/måltavla. Två mätningar per avstånd och etableringsmetod utförs, totalt 20 stycken.



Figur 4. Fotogrammetrisk punktberäkning i TBC.

RMSE beräknades enligt Lantmäteriet (2015) med formlerna (1)-(4). Med formel (1) och (2) så beräknades skillnaden mellan inmätt punkt och referenspunkt i x- och y-led. Maximala medelfelet i plan beräknades med formel (3). Med formel (4) beräknades maximala medelfelet i höjd.

$$RMSE_x = \sqrt{\frac{\Sigma(X - \text{Referenspunkt}_x)^2}{n}} \quad (1)$$

X = inmätt punkt i X-led, Referenspunkt_x = referenspunkt i X-led, n = antal mätningar

$$RMSE_y = \sqrt{\frac{\Sigma(Y - \text{Referenspunkt}_y)^2}{n}} \quad (2)$$

Y = inmätt punkt i Y-led, Referenspunkt_y = referenspunkt i Y-led, n = antal mätningar

$$RMSE_{plan} = \sqrt{\frac{RMSE_x^2 + RMSE_y^2}{2}} \quad (3)$$

RMSE_x = maximalt medelfel i X-led, RMSE_y = maximalt medelfel i Y-led

$$RMSE_{höjd} = \sqrt{\frac{\Sigma(Z - \text{Referenspunkt}_z)^2}{n}} \quad (4)$$

Z = inmätt punkt i Z-led, Referenspunkt_z = referenspunkt i Z-led, n = antal mätningar

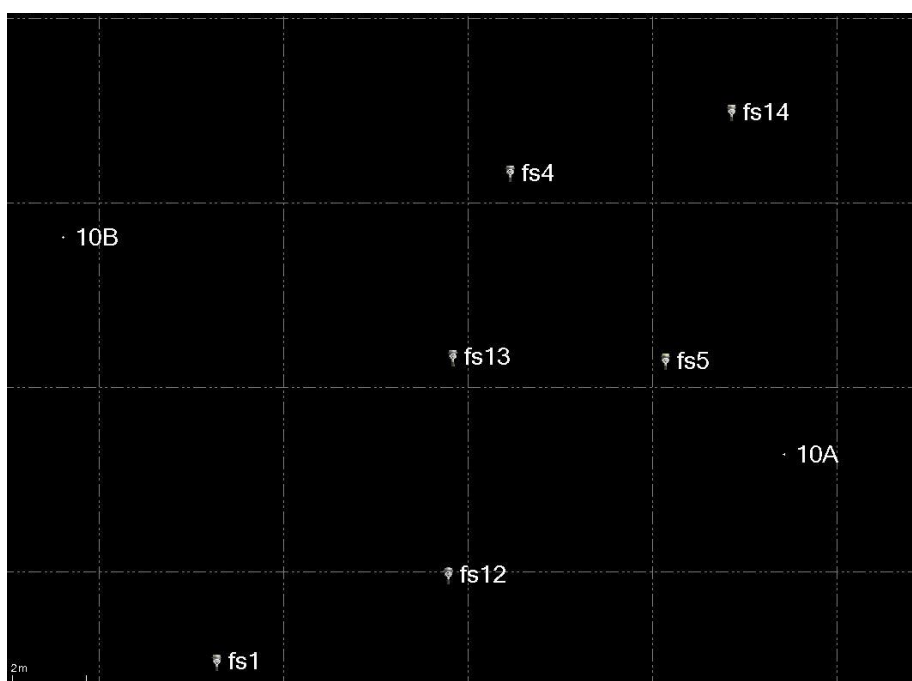
4.1.5 JÄMFÖRELSE AV ETABLERINGSMETOD

För att bedöma skillnaden mellan de två etableringsmetoderna GNSS och totalstation så markerades 12 av de punkter där fotostationer placeras med märkspray. Detta för att de båda etableringsmetoderna skulle utföras från samma fotopositioner och därmed ska ge samma mätgeometri.

Jämförelse mellan etableringsmetoderna utfördes genom att fotostationer på samma position vid båda etableringsmetoderna användes till mätning mot referenspunkt inom 10–30 meters avstånd. 14 mätningar per etableringsmetod utfördes i TBC. Dessa mätningar jämfördes sedan med avseende på standardavvikelse, minimiavvikelse, maxavvikelse och medelavvikelse i förhållande till referenspunkt.

4.1.6 TEST AV ANTAL FOTOSTATIONER

För att undersöka om fler använda fotostationer/skärningsvinklar vid beräkning av positioner i TBC förbättrar resultatet utfördes beräkning utifrån två, tre, fyra och fem fotostationer. Beräkningarna gjordes mot två referenspunkter 10A och 10B. De fotostationer och referenspunkter som ingår i testet är placerade enligt figur 4. Fotostationerna befinner sig inom 20 meter från referenspunkterna vilket är inom ett rekommenderat mätavstånd enligt Trimble Navigation Limited (2015c).



Figur 5. Fotostationer och referenspunkter. Fs= fotostation.

Beräkningar för punkt 10A utfördes med fotostationer (figur 5) enligt följande:

- Två stationer: fs5, fs12
- Tre stationer: fs5, fs12, fs13
- Fyra stationer: fs5, fs12, fs13, fs4
- Fem stationer: fs5, fs12, fs13, fs4, fs14

Beräkningar för punkt 10B utfördes med fotostationer (figur 5) enligt följande:

- Två stationer: fs4, fs12
- Tre stationer: fs4, fs12, fs13
- Fyra stationer: fs4, fs12, fs13, fs5
- Fem stationer: fs4, fs12, fs13, fs5, fs1

Resultatet från mätningarna jämfördes på hur mycket koordinaterna avviker mot referenspunkterna i plan och höjd.

4.2 LEVERANSFORMAT

Leveransvägar för data insamlad med Trimble V10 undersöktes. Filformat som testas är sådana som stöds av programvaror för:

- CAD (t.ex. AutoCAD)
- Punktmoln (t.ex. ArcGIS)
- Panoramafoton (t.ex. Google Earth)

4.2.1 EXPORTERING TILL CAD

De filformat som testades är CAD-formaten DWG och DXF och det universella filformatet LandXML då dessa är vanligast förekommande vid projektering enligt Andersson¹ (projektör på ÅF konsult) och Håkansson (2008). Även filformaten U3D och 3DS beskrivs av Håkansson (2008) som vanligt förekommande filformat vid projektering. TBC stödjer inte exportering till dessa format och därför utesluts dem.

Testdata för CAD består av en 3D-modell uppbyggd på vektordata innehållande punkter, linjer och ytor beräknade utifrån mätdata från Trimble V10. Exporterade filformat öppnas med programvaran AutoCAD map 3D.

Testdata i filformatet LandXML exporterades till AutoCAD map 3D och sedan tillbaka till TBC för att undersöka hur utbytet påverkar data i XML-filen.

Resultaten av exporterade filformat bedöms efter följande kriterier:

- Följer alla objekt med (punkter, punktnamn, linjer, ytor)?
- Är data i det exporterade formatet redigerbar?
- Följer koordinater och referenssystem med?
- Hur stora blir filerna?

4.2.2 EXPORTERING AV PUNKTMOLN

Ett punktmoln genererades i TBC utifrån panoramabilderna fotograferade med Trimble V10. För att generera ett bra punktmoln så krävs att insamling av panoramabilder utförs på ett korrekt sätt. Avståndet mellan fotostationer ska vara högst en fjärdedel av avståndet från mätobjektet för att få en bra överlappning av bilder (70%). Punktmolnsnoggrannheten är 1 mm per meter mellan mätobjekt och fotostation (Trimble Inc, 2016). Det punktmoln som genererades i denna studie är insamlat med åtta stycken fotostationer placerade 10 meter från mätobjektet vilket resulterar i en punktmolnsnoggrannhet på 1 cm.

Punktmoln i TBC kan skapas antingen som LAS-fil (binär) eller som XYZ-fil (ASCII). Punktmoln för båda filformaten genereras i TBC och jämförs med avseende på följande:

- Fullständighet (antal punkter)
- Punktinformation (koordinater och färg)
- Filstorlek
- [Läsning](#) i TBC, AutoCAD map 3D, ArcGIS och CloudCompare

¹ Lars G. Andersson, Projektör ÅF-Konsult Karlstad, intervju den 21 april 2017.

4.2.3 EXPORTERING AV PANORAMABILDER

Tre alternativ till export av panoramabilder finns i TBC. Dessa är följande:

- JPEG: Bildfil
- HTML: Öppnas i webbläsare
- Google Earth: Panoramabild med geografiskplacering

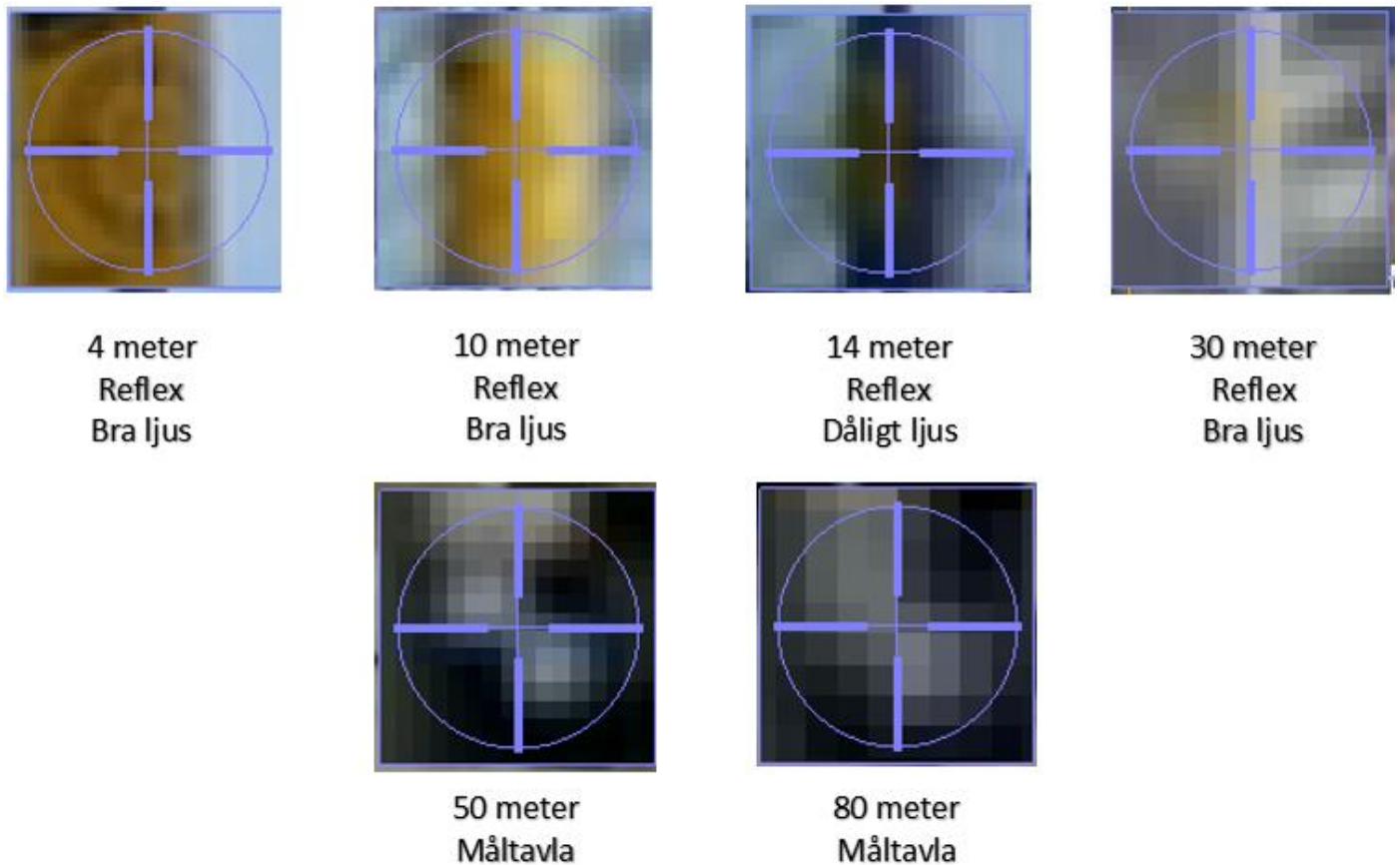
Exportering till dessa tre format utfördes i TBC och jämförs med parametrarna: upplösning, filstorlek och möjlighet till delning samt om det går att kombinera panoramabilderna med annat mätdata såsom punkter.

5 RESULTAT

5.1 MÄTOSÄKERHETSTEST

Resultatet av mätosäkerhetstestet beskrivs i detta kapitel. Etablering av bruksnät beskriver resultatet från inmätning av polygonpunkter med GNSS/RTK och dubbelavvägning. Inmätning av referenspunkter visar medelfelet vid utförda stationsetableringar som använts till inmätning av referenspunkter. Resultatet från testerna beskrivs i delarna avståndspåverkan, jämförelse av etableringsmetod och test av antal fotostationer.

Felkällor som finns i resultaten är noggrannheten vid etablering av bruksnät, stationsetablering och inmätning av referenspunkter. Totalstation och GNSS-mottagarens mätosäkerheter beskrivs i teoridelen. En annan felkälla är mätning mot reflex och måltavla i TBC. Vid längre avstånd från fotostationer blir det svårare att urskilja i panoramabilderna var mätpunkten finns, även ljus kan påverka detta. Några exempel på detta visas i figur 6.



Figur 6. Mät punkt i TBC vid olika avstånd.

5.1.1 ETABLERING AV BRUKSNÄT

Ett medelvärde för polygonpunkterna som används vid etablering av totalstation är beräknade utifrån nio mätvärden från RTK-mätning. Spridning mellan mätningarna för medeltalsbildning redovisas i tabell 1.

Tabell 1. Resultat av medelvärdesbildning XY-plan för polygonpunkter.

Punkt	Spridning X (m)	Spridning Y (m)	Radiell diff (m)
POL1392	-0,027	-0,019	0,033
POL1408	-0,022	-0,031	0,038
POL1409	-0,032	-0,017	0,036

Dubbelavvägning till de tre polygonpunkterna mellan FIX2000 och FIX2321 resulterade i ett slutningsfel mellan kända punkter med 1 mm på en 954 m lång sträcka. Gränsvärde enligt SIS-TS 2114 bruksnät är 6 mm. Nätutjämnning utfördes i Topocad vilket resulterade i 1 mm förbättring som mest i höjd. Alla mätningar inom sigmanivå 0–1.

5.1.2 INMÄTNING AV REFERENSPUNKTER

För inmätning av referenspunkter så utfördes två mätningar med fri stationsetablering. Enhet i meter (m)

Medelfel vid fri stationsetablering 1:

- Medelfel N: 0,008 m
- Medelfel E: 0,006 m
- Medelfel Z: 0,001 m

Medelfel vid fri stationsetablering 2:

- Medelfel N: 0,002 m
- Medelfel E: 0,002 m
- Medelfel Z: 0,001 m

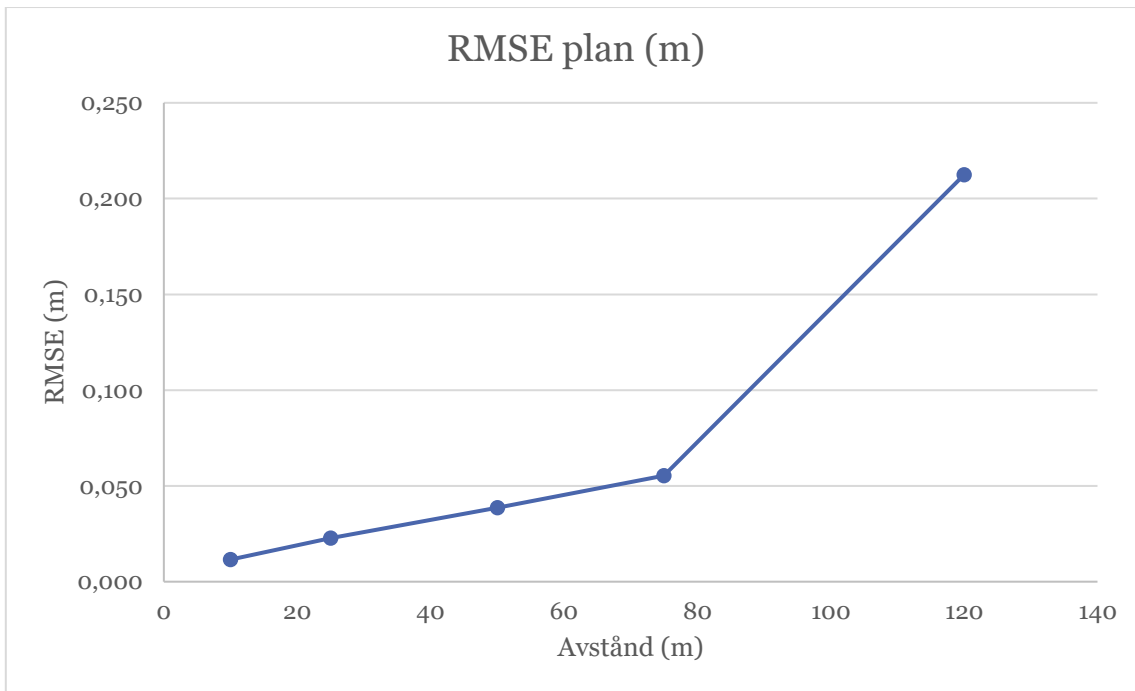
Referenspunkter är medeltalsbildade från dessa två mätningar. Fri stationsetablering 2 användes även till etablering av Trimble V10.

5.1.3 AVSTÅNDSPÅVERKAN

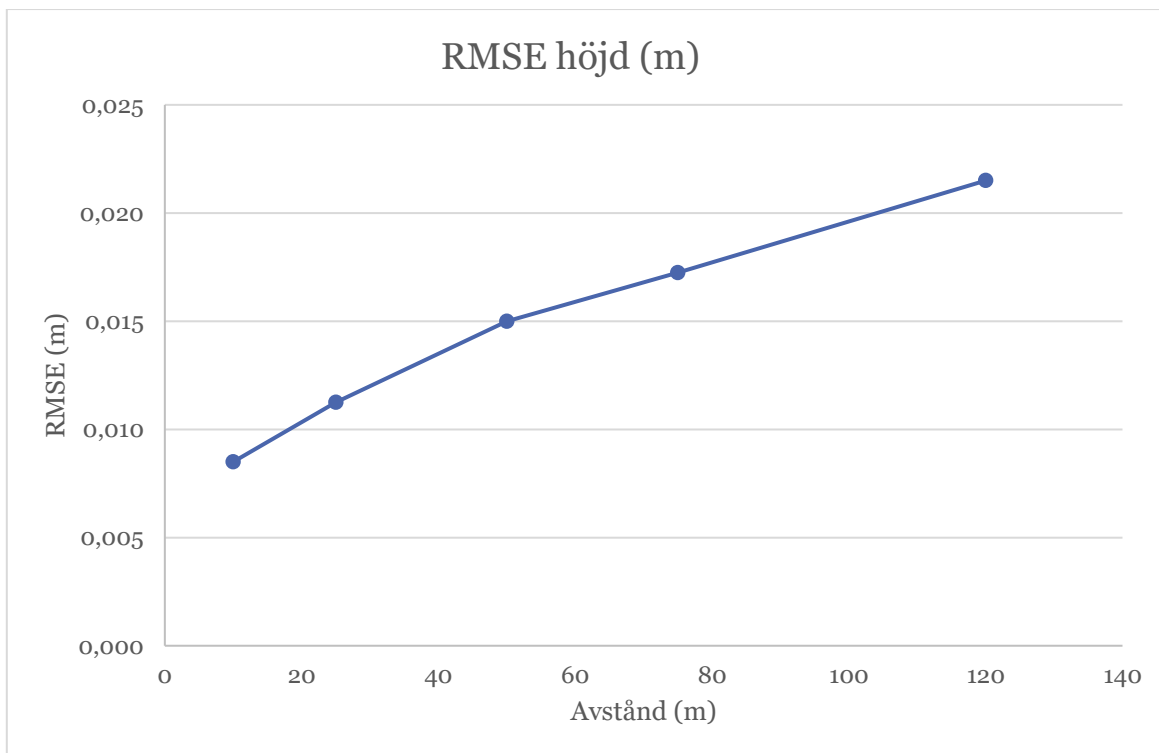
Resultatet för hur RMSE i plan och höjd påverkas av avståndet från fotostationerna redovisas i tabell 2 samt i figur 7 och 8. Avståndet på 100 meter från fotostationer har ändrats till 120 meter då inget lämpligt föremål att placera måltavla på hittades vid 100 meter, istället användes ett hushörn som referenspunkt. RMSE för avstånden 10, 25, 50, 75 och 120 meter är beräknade utifrån fyra mätningar. Avvikelser mot referenspunkt i plan och höjd för dessa mätningar redovisas i tabellform ihop med längsta avstånd mellan fotostationer (baslängd) och etableringsmetod i bilaga 1. Baslängden var aldrig optimal då detta var svårt att tillämpa vid mätning på grund av sikt till mät punkt.

Tabell 2. RMSE förhållande till mätavstånd.

Avstånd (m)	RMSE plan (m)	RMSE höjd (m)
10 (10–12)	0,012	0,008
25 (18–25)	0,023	0,011
50 (47–55)	0,039	0,015
75 (70–85)	0,055	0,017
120 (120–122)	0,212	0,021



Figur 7. RMSE i plan, förhållande till mätavstånd.

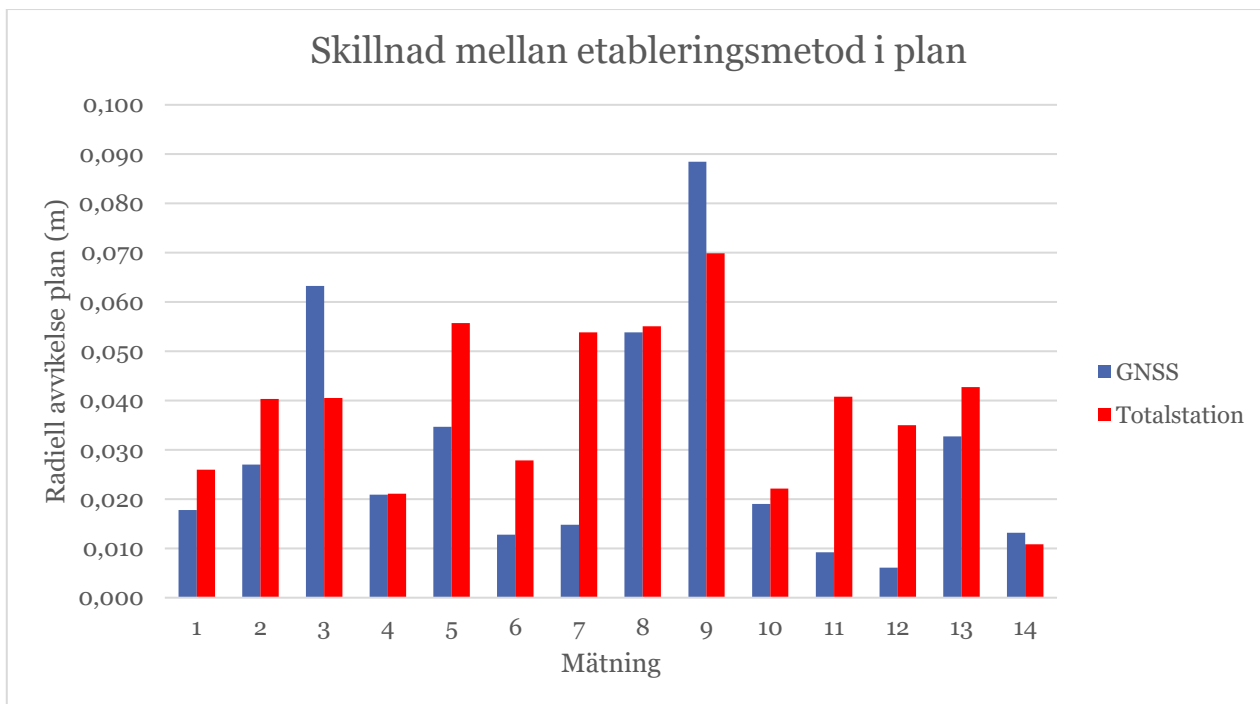


Figur 8. RMSE i höjd, förhållande till mätavstånd.

Resultatet visar att mätosäkerheten ökar med avståndet från fotostationerna. Med det att avståndet stiger så försämras även geometrin mellan fotostationerna vilket även påverkar förutsättningarna för en noggrann inmätning. Mätosäkerheten visar sig vara bättre i höjd än i plan. Tydligt är att avståndet på 120 meter ger en mycket större mätosäkerhet i plan än i höjd. I övrigt så stiger mätosäkerheten i jämn linje med avståndet.

5.1.4 JÄMFÖRELSE AV ETABLERINGSMETOD

Jämförelser mellan etableringsmetoderna GNSS och totalstation redovisas nedan. 14 mätningar har gjorts för båda etableringsmetoderna med fotostationer på samma positioner. Avvikelsen mot referenspunkter för dessa redovisas i plan och höjd i figur 9 och 10. Standard-, min-, max- och medelavvikelse för dessa mätningar visas i tabell 3 och 4.

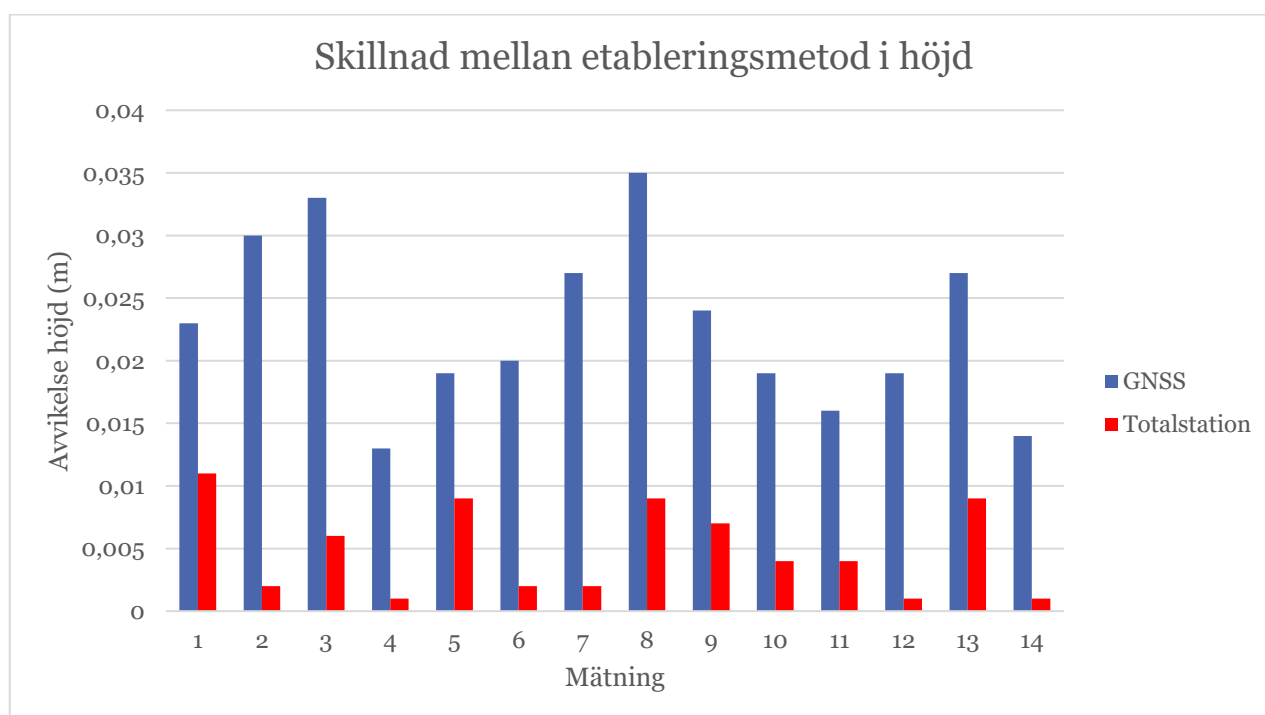


Figur 9. Radiella avvikelser mot referenspunkter i plan för etableringsmetod.

Tabell 3. Radiella avvikelser mot referenspunkter i plan för etableringsmetod.

PLAN	GNSS (m)	Totalstation (m)
std.avv.	0,024	0,016
min	0,006	0,011
max	0,088	0,070
medel	0,030	0,039

Den radiella avvikelsen i plan mot referenspunkter visar sig ha en högre standardavvikelse för etablering med GNSS än med totalstation. GNSS har en mindre minsta avvikelse men även en större högsta avvikelse. Medelavvikelse för båda etableringsmetoderna skiljer sig med 9 mm, GNSS har den lägre.



Figur 10. Avvikelser mot referenspunkter i höjd för etableringsmetod.

Tabell 4. Avvikelser mot referenspunkter i höjd för etableringsmetod.

HÖJD	GNSS (m)	Totalstation (m)
std.avv	0,007	0,004
min	0,013	0,001
max	0,035	0,011
medel	0,023	0,005

Avvikelsen i höjd mot referenspunkterna visar att etablering med totalstation ger som högst 1 cm avvikelse medan GNSS har avvikelser upp till 3,5 cm. GNSS lägsta avvikelse är 2 mm större än totalstationens högsta avvikelse. Det visas tydligt i figur 9 att totalstationsetableringen ger bättre resultat i höjd.

5.1.5 TEST AV ANTAL FOTOSTATIONER

Resultatet från beräkning av punkter utifrån två, tre, fyra och fem fotostationer/skärningsvinklar redovisas i tabell 5. Resultatet visar hur mycket antalet använda fotostationer påverkar avvikelsen mot referenspunkterna 10A och 10B i plan och höjd.

Tabell 5. Avvikelser mot referenspunkt i förhållande till antal använda fotostationer.

Avvikelse mot Referenspunkt 10A (meter)				
Antal fotostationer	Avvikelse X	Avvikelse Y	Radiell avvikelse plan (X,Y)	Avvikelse höjd (Z)
2	0,003	0,004	0,005	0,017
3	0,002	0,006	0,006	0,016
4	0,002	0,007	0,007	0,015
5	0,003	0,004	0,005	0,014
Avvikelse mot Referenspunkt 10B (meter)				
Antal fotostationer	Avvikelse X	Avvikelse Y	Radiell avvikelse plan (X,Y)	Avvikelse höjd (Z)
2	0,001	-0,011	0,011	0,009
3	-0,003	0,000	0,003	0,010
4	0,002	0,001	0,002	0,011
5	0,001	0,002	0,002	0,011

Resultatet visar att antalet fotostationer inte har stor påverkan på resultatet då det endast skiljer sig på millimeternivå (tabell 5). I teorin borde fler skärningsvinklar skapa ett noggrannare resultat men detta innebär också fler pixelmarkeringar i TBC. Risken att användaren gör felaktig pixelmarkering i panoramabilden ökar vilket efter beräkning ger sämre resultat.

5.2 LEVERANSFORMAT

I denna del beskrivs resultat från test av leveransformat. De typer av leveransformat som testats är CAD så som 3D-modeller och vektordata samt leveransformat för punktmoln och panoramabilder.

5.2.1 EXPORTERING TILL CAD

Resultatet av exportering till filformaten DWG, DXF och LandXML bedömdes enligt följande:

Följer alla punkter, punktnamn, linjer och ytor med?

- DWG: punkter med punktnamn och linjer följer med, inte ytor
- DXF: punkter med punktnamn och linjer följer med, inte ytor
- LandXML: endast punkter med punktnamn följer med

Är data i det exporterade formatet redigerbar?

- DWG: ja
- DXF: ja
- LandXML: ja

Följer koordinater och referenssystem med?

- DWG: koordinater följer med, inte referenssystem
- DXF: koordinater följer med, inte referenssystem
- LandXML: koordinater följer med, inte referenssystem

Hur stora blir filerna (enhet kilobyte)?

- DWG: 31 kb
- DXF: 78 kb
- LandXML: 4 kb

DWG och DXF visade sig vara likvärdiga och skiljer sig endast på filstorleken där DWG-filen var betydligt mindre än DXF-filen. Koordinatsystem måste ställas in manuellt i AutoCAD då denna information inte följde med. I övrigt så stämde koordinaterna i höjd och plan, alla decimaler följde med i exporteringen. DWG och DXF kunde visas i AutoCADs 3D-vy. Punktnamn syns inte i AutoCAD men syns när filerna öppnas i TBC.

LandXML klarade endast av att hantera punkter. Linjer och ytor följde inte med i exporteringen. Med det att endast punkter följde med vid exporteringen så blev också filen betydligt mindre. Koordinater stämde i höjd och plan, alla decimaler följde med i exporteringen. Punkterna från LandXML-filen kunde bara visas i AutoCADs 2D-vy. Exporteringen av LandXML tillbaka till TBC från AutoCAD gav ingen förändring förutom att punkterna kunde visas i TBCs 3D-vy.

5.2.2 EXPORTERING AV PUNKTMOLN

Ett fotogrammetriskt genererat punktmoln skapades i TBC utifrån åtta stycken fotostationer. Punktmolnen skapades som LAS-fil och som XYZ-fil.

De programvaror som testades var: TBC, AutoCAD map 3D, ArcMap/ArcScene och CloudCompare.

LAS-filen kunde läsas av alla de testade programvarorna utan anmärkning och sanna färger för punkterna följde med. Exempel på LAS-punktmolnet i TBC visas i figur 11. Tydligt är att det genererade punktmolnet saknar punkter, detta troligen på grund av att programvaran har svårt att matcha pixlar i mörka områden vilket beskrivs i teoridelen (3.3 Punktmoln) som en svaghet för fotogrammetriskt genererade punktmoln. LAS-punktmolnet består av ca 2,2 miljoner punkter och en filstorlek på 58 MB (megabyte).



Figur 11. LAS-punktmoln i TBC.

Ingen av programvarorna kunde från början läsa XYZ-filen. För att XYZ-filen skulle vara läsbar så behövdes justeringar utföras. TBC skapar XYZ-filen med kommatecken som decimaltecken och kommatecken plus mellanslag som avskiljare. För att filen ska vara läsbar så krävs att decimaltecken och avskiljare är olika tecken. Först testades punkt som decimaltecken och tabb som avskiljare. Detta justerades i Excel som använder tabb som avskiljare vid exportering till text-fil. Resultatet blev att XYZ-filen nu var läsbar av programvarorna TBC, AutoCAD map 3D och CloudCompare. Dock ritades inte punktmolnet upp korrekt då punkter saknades i form av ett rutnät, exempel på detta syns i figur 12.



Figur 12. Ofullständigt XYZ-punktmoln i TBC. Orsakat av tabb som avskiljare.

XYZ-filen öppnades med programvaran Textpad för att justera avskiljaren till mellanslag istället för tabb. Resultatet blev ett fullständigt punktmoln som det i figur 11. LAS-punktmolnet och XYZ-punktmolnet skiljde sig endast åt i filstorlek där LAS var 58 MB och XYZ var 140 MB för båda ca 2,2 miljoner punkter. Exempel på fungerande XYZ-format visas i figur 13 där x, y, z står för koordinaterna och r, g, b står för färgerna röd, grön, blå (RGB).

```

Skapat format från TBC:
x, y, z, r, g, b
150485,925368557, 6584338,13273585, 55,8146134105507, 125, 158, 183
150485,958686854, 6584338,13015139, 55,817002236996, 117, 152, 183
150485,96794645, 6584338,12682846, 55,8169514934632, 118, 152, 187
150486,078620799, 6584338,16425435, 55,837510298273, 127, 160, 196

Läsbart format:
x y z r g b
150485.925368557 6584338.13273585 55.8146134105507 125 158 183
150485.958686854 6584338.13015139 55.817002236996 117 152 183
150485.96794645 6584338.12682846 55.8169514934632 118 152 187
150486.78620799 6584338.16425435 55.837510298273 127 160 196

```

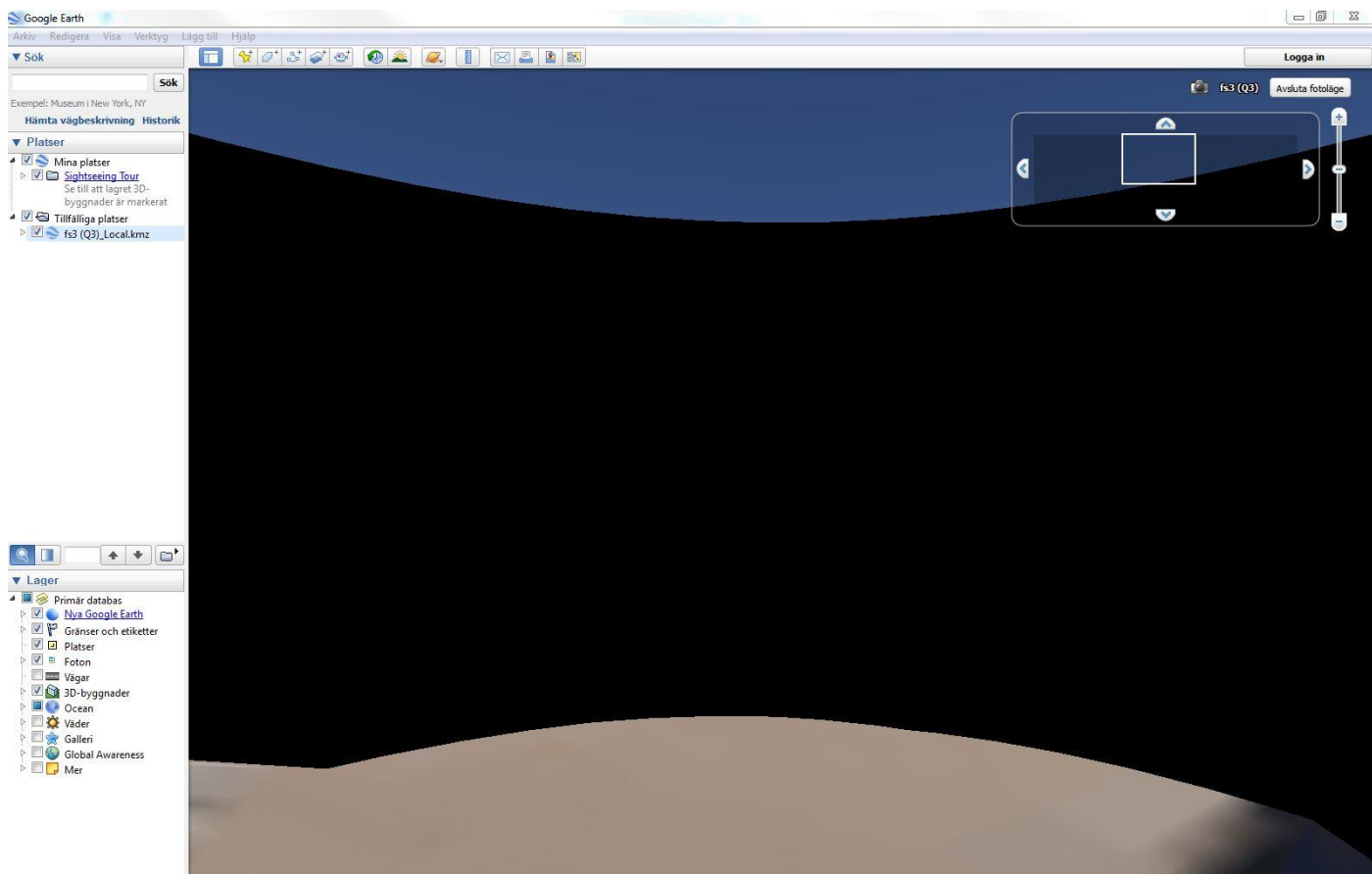
Figur 13. XYZ-format. Skapat i TBC och justerat format.

Den bearbetade XYZ-filen kunde läsas med samma färger av TBC och CloudCompare. AutoCAD map 3D kunde läsa den bearbetade XYZ-filen men inte färgerna. ArcMap/ArcScene stödjer endast punktmoln i LAS-format.

5.2.3 EXPORTERING AV PANORAMABILDER

Exportering av panoramabilder gjordes i TBC till formaten JPEG, HTML och KMZ (Google Earth). KMZ och HTML filerna misslyckades vilket gjorde att någon jämförelse mellan bilderna inte kunde göras. När KMZ filen öppnades i Google Earth så visades inte panoramabilden utan endast fotopositionen och svart panoramabild enligt

figur 14. HTML filen öppnades i webbläsarna Internet Explorer och Google Chrome och resultatet var endast en svart sida.



Figur 14. Misslyckad visning av panoramabild i Google Earth.

JPEG filen fungerade att öppna, se figur 15. Upplösningen är något låg jämfört med visningen av panoramabilder i TBC. Filstorleken är ca 400 kB. Eftersom filen är en ren bildfil är den inte möjlig att direkt kombinera med mätobjekt så som punkter.



Figur 15. Panoramabild JPEG.

6 DISKUSSION

6.1 MÄTOSÄKERHETSTEST

Resultaten från mätosäkerhetstesten visar som väntat att mätosäkerheten blir sämre desto längre ifrån fotostationerna en punkt mäts in. Det visade sig även att Trimble V10 hade en lägre osäkerhet i höjd än i plan. Som nämns i teoridelen (3.4.3 mätosäkerhet för Trimble V10 Imaging Rover), så beskriver Trimble att mätosäkerheten är något bättre i höjd jämfört med plan. Detta kan bero på att för plan spelar både fotostationens riktning och horisontering roll jämfört med i höjd där fotostationens riktning inte spelar roll utan endast horisonteringen vilket eliminerar en felkälla i höjdmätning.

Test för hur geometrin mellan fotostationer påverkar mätresultatet har inte gjorts, vilket borde testas då resultaten i denna studie inte når samma låga mätosäkerhet som Trimble fått i sitt test (kapitel 3.4.3 Trimble V10 Imaging Rover). Andra faktorer som kan spela in är att Trimbles test är utfört med fotostationer placerade på kända punkter. I detta test spelar även totalstationens och GNSS-mottagarens mätosäkerheter roll för hur noggranna mätningarna blir. Då totalstationen och GNSS-mottagaren inte ger exakta koordinater.

Referenspunkterna är inmätta två gånger med fri stationsetablering. Den andra inmätningen av referenspunkter gjordes med samma fri stationsetablering som senare användes för att etablera fotostationerna. Detta gör till viss del att noggrannheten för polygonpunkterna inte påverkar jämförelsen mellan fotostation etablerad med totalstation och referenspunkt inmätt med totalstation.

Som beskrivs i resultatdelen för mätosäkerhetstestet så påverkas även mätningarna av hur bra referenspunkten som ska mätas in syns i panoramabilderna. Reflexer syntes dåligt i bilderna och gjorde därmed att det blev svårt att markera rätt punkt i TBC. Måltavlor hade varit ett bättre alternativ även vid kortare avstånd och rekommenderas i framtida mätningar. Vid avstånd större än 75 meter från fotostation så var även måltavlorna svåra att se. Måltavlor och reflexer blir även svårare att se i mörkare områden, vid mättillfället var det bra solljus men i vissa områden förekom det visst mörker från skuggor. Detta är svårt att undvika helt.

Fotostationer etablerade med totalstation ger lägre avvikelse mot referenspunkter i höjd än vad GNSS etablerad fotostation ger. Detta beror troligtvis på att GNSS är en osäkrare metod för höjdmätning vilket ger en större osäkerhet vid etablering av fotostation. Det märkvärda med resultatet är att GNSS etablerad fotostation gav aningen lägre avvikelse mot referenspunkt i plan. Detta kan bero på att koppling mellan panoramabilder i TBC med hjälp av kopplingspunkter till viss del tillåter justering av GNSS etablerade fotostationers position. Detta leder till att förhållandet mellan fotostationerna optimeras för fotogrammetrisk mätning.

I testet av avståndspåverkan beräknades punkter utifrån tre fotostationer/panoramabilder i TBC. En lägre mätosäkerhet skulle kunna förväntas vid beräkning utifrån fler fotostationer. Detta visade sig dock inte tydligt i testet för antalet använda fotostationer där resultatet visade en marginell skillnad. Valet att använda sig av tre fotostationer för beräkning av punkter visade sig därför vara ett bra val då testerna ska bygga på verkliga mätscenarion.

6.2 LEVERANSFORMAT

Resultatet från undersökningen av leveransformaten gav inga större upptäckter. CAD-formaten DWG och DXF visade sig bara skiljas åt i filstorlek där DWG var mer än hälften så stor. Eftersom DWG är standardformat för AutoCAD så borde detta format användas vid export av punkter och linjer till beställare som använder AutoCAD. Ytor följde inte med i exporteringen till DWG och DXF, detta har troligen inte så stor betydelse då ytan var skapad i TBC och linjerna av ytans ram följde med i exporten. Beställare kan då enkelt skapa en yta utifrån dessa linjer. I denna studie fanns endast tillgång till ett CAD-program vilket var AutoCAD map 3D. Det hade kunnat ge ett mer omfattande resultat ifall fler programvaror testades.

LandXML filen kunde endast hantera punkter vilket gör att nyttan med detta format inte är så stor då punkter även kan lagras i text- eller Excel-dokument.

Resultatet från jämförelsen mellan punktmolnsformaten visade att LAS var det lämpligaste filformatet. LAS-filen kunde läsas direkt och utan anmärkningar av alla de testade programvarorna. LAS är som beskrivs i teoridelen (7.2 Filformat), det filformat som är det vanligaste utbytesformatet för punktmoln. Filstorleken för ett binärt filformat är enligt teorin mindre än ett ASCII format innehållande samma data vilket även resultatet visade. XYZ-filen var nära dubbelt så stor som LAS-filen vilket kan göra stor skillnad vid större punktmoln då dessa blir tungarbetade. Den stora nackdelen med XYZ-formatet var att TBC skapade ett format som TBC själv inte kunde läsa innan justering. Att behöva ändra decimaltecken och avskiljaren i XYZ-filen är tidskrävande och risken för att data ändras av misstag är stor. Resultatet visade att det är viktigt hur ASCII-filer är skrivna. Kommatecken gjorde att XYZ-punktmolnet inte var läsbart och tabb som avskiljare skapade ett rutnät av saknade punkter i punktmolnet. Med djupare kunskap om inställningar i TBC hade kanske problemet med XYZ-filen gått att undvika.

Det genererade punktmolnet hade brister då det saknades punkter i vissa områden. Detta är en brist med fotogrammetriskt genererade punktmoln då punkter skapas utifrån matchande pixlar. Insamlingstillfället för punktmolnet gjordes en molnig dag, ett bättre resultat kan förväntas vid inmätning vid ett ljusare tillfälle. Insamlingen utfördes enligt riktlinjer från Trimble vilket borde ge ett bra resultat. Kvalitén på punktmolnet låg inte i fokus i denna undersökning och därför tilläts resultatet som testdata för filformat. Det som skulle kunna testas är en jämförelse mellan punktmoln genererat med Trimble V10 och punktmoln skapat med laserskanner. Detta test uteblev då tillgång till laserskanner inte fanns.

Exportering av panoramabilder till HTML och KMZ misslyckades vilket gjorde att testet inte kunde slutföras. Felen har försökts att åtgärdas, utan resultat. Efter personlig mailkontakt med Gjertz², så framgick att problemet är allmänt känt och arbete pågår med att åtgärda detta. Troligen är det problem med plugin eller sökväg till bildfilerna. Detta hade varit ett bra test då en av de stora fördelarna med Trimble V10 är att bilder från inmätningssområdet kan visas upp för intressenter och beslutsfattare.

Ett leveransformat som inte har testats i denna studie är från TBC till SketchUp. Detta på grund av att Joon Kyu et al. (2015) redan har testat kompatibiliteten och beskriver att det fungerar bra. En fördel med denna leveransväg är att panoramabilder ihop med mätpunkter exporteras och används som stöd för skapande av 3D-modell. En idé var att jämföra en 3D-modell i SketchUp med en 3D-modell skapad med CAD-verktyget i TBC. Då det senare framgick att SketchUp mer fungerar som ett tillägg till TBC för att enkelt kunna skapa 3D-modeller utifrån inmätta data med Trimble V10, togs beslutet att inte göra någon jämförelse. Syftet med ett CAD-verktyg är annat än syftet med SketchUp. CAD-verktyget är mer inriktat mot att skapa måttriktiga ritningar och SketchUp är ett program för att enkelt visualisera och skapa 3D-modeller.

² Mikael Gjertz, Support Ansvarig Trimtec AB, intervju den 1 mars 2017.

7 SLUTSATS

Slutsatsen av denna studie är att Trimble V10 etablerad med totalstation ger bättre resultat i höjd jämfört med GNSS. I plan är de båda etableringsmetoderna jämbördiga. Vilken etableringsmetod som är bäst beror på mätsenariot. GNSS är den smidigare metoden och kan nå en mätosäkerhet på centimeternivå i både höjd och plan. Om satellitmottagning inte finns för GNSS eller om låg mätosäkerhet i höjd efterfrågas är lämpar sig etablering med totalstation bättre.

För mätavstånden 10–25 meter från fotostation visade sig Trimble V10 ha ett medelfel på 1–2 cm i plan vilket var förväntat. Mellan 25–75 meter ökar medelfelet i plan med ca 2 cm per 25 meter. Över 100 meter ligger medelfelet i plan på decimeternivå. I höjd påverkas inte medelfelet lika mycket då kortaste avståndet på 10 meter gav ett medelfel på 8 mm och längsta avståndet på 120 meter gav ett medelfel på 2 cm.

Antalet fotostationer som används för att beräkna en punkt visade sig inte påverka resultatet något större. Slutsatsen är att bra sikt till mätpunkt och att rätt pixel/punkt i panoramabilderna markeras är viktigare för att mätresultatet ska bli bra.

För att leverera inmätt data som 3D eller 2D-modeller är CAD-formaten DWG och DXF jämbördiga. DWG kräver mindre lagringsutrymme vilket är av fördel vid en större mängd data. Ingen av filerna klarade av att hantera export av ytor. I övrigt följde all data med vid exporten. Vilket av filformaten som lämpar sig bäst är beroende av vad beställare efterfrågar. Med LandXML kunde endast punkter i 2D levereras från TBC, all punktinformation följde med. Export från AutoCAD tillbaka till TBC visade sig inte påverka LandXML-filen.

LAS-filformatet är det klart bättre formatet för att generera punktmoln i TBC. Alla de testade programvarorna kunde läsa LAS-punktmolnet utan anmärkningar. LAS-filen kräver också hälften av det lagringsutrymme som XYZ-filen kräver. TBC skapar en XYZ-fil som måste bearbetas i till exempel Excel eller Textpad för att göra filen läsbar. Detta kräver mycket tid, speciellt vid större punktmoln.

Panoramabilderna kunde bara exporteras som JPEG-filer då exporteringen av KMZ- och HTML-filerna misslyckades. Slutsats om vilken leveransväg som är bäst kan därför inte fattas. Detta fel måste åtgärdas av Trimble.

8 REFERENSER

Håkansson, F. (2008). *3D PDF*. Jönköping: Tekniska Högskolan. s.5

Joon Kyu, P., Lee, J. S. & Hee Cheon, Y. (2015). *Efficient Construction of 3D Modeling Data using Panoramic Scene*. u.o.: Advanced Science and Technology Letters. Vol.89 (Architecture and Civil Engineering 2015). s.156-159.

Lantmäteriet (u.d.). *Nätverks-RTK*. [Elektronisk].

Tillgänglig: <https://www.lantmateriet.se/sv/Kartor-och-geografisk-information/GPS-och-geodetisk-matning/GPS-och-satellitpositionering/Metoder-for-GNSS-matning/Natverks-RTK/>
[2017-03-27].

Lantmäteriet (2015). *HMK – handbok i mät- och kartfrågor- Geodatakvalitet*. Gävle: Lantmäteriet. s.31.

Luhmann, T. & Tecklenburg, W. (2004). *3-D object reconstruction from multiple-station panorama imagery*. Oldenburg, Tyskland: University of Applied Sciences, Institute for Applied Photogrammetry and Geoinformatics. s.1-2.

Pfeiffle, S. (2012). *WHAT IS 3D DATA CAPTURE?*. [Elektronisk]

Tillgänglig: <http://www.ucl.ac.uk/slade/know/admin/wp-content/uploads/What-is-3D-Data-Capture1.pdf>
[2017-03-25].

Samberg, A. (2007). *An implementation of the aspars LAS standard*. Helsingfors, Finland: ISPRS Workshop on Laser Scanning and SilviLaser. Vol. XXXVI, Part 3 / W52. s.365-366.

Stojakovic, V. (2008). *Terrestrial photogrammetry and application to medeling architectural objekts*. Novi sad, Serbien: University of Novi Sad Faculty of Technical Sciences. Architecture and Civil Engineering Vol. 6, No 1. s.113-119

Trimble Inc. (2016). *Hjälp om Trimble Business Center- Guidelines for Data Collection Using a Trimble Imaging Rover*. Sunnyvale, Californien (USA): Trimble Inc, Engineering and Construction Division.

Trimble Navigation Limited (2015a). *Trimble S6 Total station- Product Resources- Datasheet*. [Elektronisk]

Tillgänglig: http://trl.trimble.com/docushare/dsweb/Get/Document-213187/022543-098L-SWE_TrimbleS6_DS_0613_LR.pdf
[2017-03-09].

Trimble Navigation Limited (2015b). *Trimble R8 GNSS Systems - Product Resources- Datasheet*. [Elektronisk]

Tillgänglig: http://trl.trimble.com/docushare/dsweb/Get/Document-752107/022516-130-SWE_TrimbleR8s%20system_DS_A4_0415_LR.pdf
[2017-03-07].

Trimble Navigation Limited (2015c). *Trimble V10 Imaging Rover- Product Resources- Datasheet*. [Elektronisk]

Tillgänglig: http://trl.trimble.com/docushare/dsweb/Get/Document-702322/022516-003D-SWE_TrimbleV10_DS_A4_0415_LR.pdf
[2017-03-04].

w3schools (u.d.). *w3schools- Introduction to XML*. [Elektronisk]

Tillgänglig: https://www.w3schools.com/xml/xml_what.asp
[2017-04-18].

BILAGA

Avvikelse mot referenspunkter i plan och höjd. Avstånd (Längsta avstånd från fotostation), Bas (längsta avstånd mellan fotostationer). Alla värden i enheten meter.

Avstånd	Avvikelse mot ref. plan	Avvikelse mot ref. höjd	Baslängd	Etableringsmetod
10	0,005	0,016	14	GNSS
10	0,031	0,009	14	Totalstation
12	0,004	0,009	15	GNSS
12	0,005	0,000	15	Totalstation
18	0,020	0,001	13	Totalstation
20	0,011	0,014	20	GNSS
24	0,031	0,007	31	Totalstation
25	0,029	0,023	31	GNSS
47	0,081	0,008	26	Totalstation
48	0,010	0,033	34	GNSS
50	0,044	0,004	30	GNSS
55	0,019	0,015	35	Totalstation
70	0,016	0,018	70	GNSS
72	0,029	0,021	27	Totalstation
80	0,120	0,008	55	GNSS
85	0,056	0,022	47	Totalstation
120	0,395	0,024	44	GNSS
120	0,128	0,020	44	Totalstation
122	0,322	0,013	48	GNSS
122	0,160	0,029	48	Totalstation