



AKADEMIN FÖR TEKNIK OCH MILJÖ  
Avdelningen för industriell utveckling, IT och samhällsbyggnad

---

# Utvärdering av digitala terrängmodeller framtagna med flygburen laserskanning och UAS-fotogrammetri

Johan Lundmark och Lukas Grönlund Häggström

År 2018

Examensarbete, Grundnivå (kandidatexamen), 15 hp  
Lantmäteriteknik  
Lantmätarprogrammet, teknisk inriktning

Handledare: Yuriy Reshetyuk  
Examinator: Faramarz Nilfouroushan  
Bitr. examinator: Mohammad Bagherbandi

---



## Förord

Efter tre lärorika år på lantmätarprogrammet, teknisk inriktning, avslutar vi utbildningen med detta examensarbete. Vi vill ta chansen att rikta några tack till personer som varit till hjälp under arbetets och utbildningens gång.

Först vill vi rikta ett stort tack till Pär Ljungdahl och Scior Geomanagement som möjliggjort detta arbete men även varit till stor hjälp vid problem. Vi vill även passa på att tacka Anders Hägglund på Trimtec för all support du gett oss under arbetets gång, det har underlättat enormt. Vidare vill vi rikta ett tack till vår handledare Yuriy Reshetyuk som bidragit med sin kunskap under arbetets och utbildningens gång, det har varit väldigt lärorikt och inspirerande. Avslutningsvis vill vi tacka samtliga lärare och klasskamrater som varit en del av dessa tre minnesvärda år, stort tack!

Gävle, juni 2018

Johan Lundmark och Lukas Grönlund Häggström



## Sammanfattning

De senaste åren har tekniken för Unmanned Aircraft System (UAS) utvecklats snabbt och idag finns flera system på marknaden. Ett resultat av den snabba utvecklingen är att de olika systemen skiljer sig åt, dels i pris men även i kapacitet. Syftet med studien var att undersöka hur olika UAS-system skiljer sig åt i mätosäkerhet vid framställning av digitala terrängmodeller, men även hur olika UAS-system står sig mot det regelverk som finns för framställning av digitala terrängmodeller vid detaljprojektering enligt SIS-TS 21144:2016 Tabell 6 klass 1-3. Ytterligare ett syfte med studien var att undersöka hur olika programvaror skiljer sig åt vid framställning av punktmoln från bilddata.

I studien kontrollerades och jämfördes tre digitala terrängmodeller genererade över samma område med två olika UAS-system samt laserskanning från ett flygplan. Terrängmodellerna jämfördes mot kontrollprofiler framställda med RUFRIIS-metoden. De olika UAS-systemen var en dyrare variant, Smartplanes S1C (fastvingar), och en billigare variant, Dji Phantom 4 PRO (roterande vingar). De tillämpade flyghöjderna för flygningarna var 174 m för Smartplanes och 80 m för Dji Phantom.

Resultatet från studien visar att laserskanning från flygplanet uppnådde lägst mätosäkerhet och klarade samtliga krav för varje separat marktyp för detaljprojektering enligt SIS-TS 201144:2016 Tabell 6 klass 1-3. Marktyper som undersöktes var: asfalt, naturmark, gräs och grus. Vidare klarade terrängmodellen producerad med Dji Phantom endast kravet för asfaltsytor, där medelavvikelsen fastställdes till 0,001 m. Terrängmodellen producerad med Smartplanes klarade endast kraven för marktyperna asfalt och grus där medelavvikelsen fastställdes till -0,007 m respektive 0,017 m.

Som en del i studien jämfördes programvarorna PhotoScan och UASMaster för framställning av punktmoln för bilder insamlade med Smartplanes S1C. Resultatet visar att PhotoScan uppnådde lägst mätosäkerhet för asfalt, gräs och grus medan UASMaster uppnådde lägst mätosäkerhet för naturmark.

Studien visar att flygburen laserskanning borde vara en fortsatt föredragen metod för insamling av topografisk data då metoden resulterade i lägst mätosäkerheter i denna studie. Vidare visar studien att det är möjligt att framställa digitala terrängmodeller med UAS för detaljprojektering enligt SIS-TS 21144:2016 för asfalt- och grusytor. Dessutom konstateras att olika bearbetningsprogram skiljer sig vid framställning av punktmoln.

**Nyckelord:** Digital terrängmodell (DTM) / Flygburen laserskanning (FLS)/ Unmanned Aircraft System (UAS) / Unmanned Aircraft Vehicle (UAV)



## Abstract

Over the last years there has been a rapid development in the UAS-technology (Unmanned Aircraft Systems) and today there are several UAS systems on the market. The fast development has led to differences in both price and capability of taking high-quality images between the systems. The purpose of this study was firstly to investigate how two UAS systems differ in the uncertainty of measurement while making digital terrain models, secondly, to investigate how different UAS systems cope with the laws and requirements that exist for producing digital terrain models for detail projection, SIS-TS 21144:2016 Table 6 level 1-3. A comparative study on two software's creation of point clouds from picture data was also conducted.

In this study, three digital models were made from one specific area. They were created with two different UAS-systems and laser scanning from an airplane. The models were compared and analysed using the RUFRIIS method. The UAS-systems used were a fixed wings Smartplanes S1C and a rotary wings Dji Phantom 4 PRO. The Smartplanes flew 174 m above the ground and the Dji Phantom 4 flew 80 m above the ground.

The results from the study show that laser scanning from the airplane created the model with the lowest measurement uncertainty and met all the requirements for each separate type (asphalt, natural soil, grass and gravel) for detail projection according to SIS.TS 201144:2016 table 6 level 1-3. Additionally, the results show that the terrain model produced by the Dji Phantom 4 only met the requirements for asphalt where the mean deviation was 0,001 m. The results produced with "Smartplanes" met the requirements for asphalt and gravel where the mean deviations were -0,007 m and 0,017 m.

The softwares PhotoScan and UASMaster were compared while creating point clouds from pictures taken by the Smartplanes. The results show that PhotoScan had the lowest uncertainty for asphalt, grass and gravel surfaces while UASMaster produced lower uncertainty for natural soil.

The results indicate that airborne laser scanning should be the preferred method for collection of topographic data since it created lower measurement uncertainties than the other methods in this study. It is also possible to create digital terrain models with UAS for detail projection for asphalt and gravel surface in accordance with 21144:2016. Finally, it was concluded that the used software programs are showing differences in creating point clouds.

**Keywords:** Airborne Laser Scanning (ALS) / Digital Terrain Model (DTM) / Unmanned Aircraft System (UAS) / Unmanned Aircraft Vehicle (UAV)





# Innehållsförteckning

1	Introduktion	1
1.1	Bakgrund	1
1.2	Syfte och frågeställningar	3
1.3	Avgränsningar	3
2	Tidigare studier	5
3	Material och metod	8
3.1	Studieområde	8
3.2	Datainsamling och kontrollmätning	9
3.2.1	Flygning med Smartplanes S1C och framtagande av terrängmodell	10
3.2.2	Flygning med Dji Phantom 4 PRO och framställning av terrängmodell	12
3.2.3	Laserskanning från flygplan och framställning av terrängmodell	13
3.2.4	Utförande av kontrollprofiler	14
3.3	Kontroll av terrängmodeller	15
3.4	Framtagande och jämförelse av punktmoln	17
3.4.1	Framtagande av punktmoln i Agisoft PhotoScan	17
3.4.2	Framtagande av punktmoln i Trimble UASMaster	19
3.4.3	Jämförelse av punktmoln i TerraScan	21
3.5	Etiska aspekter	21
4	Resultat	22
4.1	Resultat av osäkerheter för RUFRIIS-metoden	22
4.2	Kontroll och jämförelse av terrängmodeller	23
4.2.1	Resultat av terrängmodell producerat med Smartplanes S1C	23
4.2.2	Resultat av terrängmodell producerat med Dji Phantom 4 PRO	25
4.2.3	Resultat av terrängmodell producerat med laserskanning	27
4.2.4	Resultat av terrängmodellerna från samtliga insamlingsmetoder	29
4.3	Resultat av punktmoln producerat med PhotoScan och UASMaster	30
4.3.1	Resultat av punktmoln producerat i PhotoScan	30
4.3.2	Resultat av punktmoln producerat i UASMaster	32
4.3.3	Resultat av punktmoln producerat med PhotoScan och UASMaster	34
5	Diskussion	35
5.1	Framtida studier	37
5.2	Hållbarhet	38
	Slutsats	39
	Referenslista	40
	Bilaga A: Tabell 6 från SIS-TS 21144:2016	A1
	Bilaga B: Kontrollprofilernas lokalisering	B1
	Bilaga C: Stationsetablering med RUFRIIS	C1
	Bilaga D: Koordinater för kontrollprofiler	D1



# 1 Introduktion

Detta kapitel avser att ge en klarhet i studiens bakgrund men även dess syfte. Dessutom presenteras nödvändiga avgränsningar som tillämpats.

## 1.1 Bakgrund

För representation av terräng finns flertalet begrepp och varianter att tillämpa: digital höjdmodell (DEM), digital ytmodell (DSM) och digital terrängmodell (DTM). En digital höjdmodell är ett samlingsbegrepp för en matematisk eller digital beskrivning av topografin, en digital ytmodell är en beskrivning av markytan som även inkluderar objekt ovan marken som vegetation och byggnader, medan en digital terrängmodell endast representerar själva markytan. Objekt ovan marken inkluderas inte in i digitala terrängmodeller (INSPIRE Thematic Working Group *Elevation*, 2013). Samtliga modeller produceras i regel med liknande metoder men representerar terrängen och marken olika. Därför är det viktigt att kunna urskilja de olika modellerna från varandra.

Eftersom användningsområdet för digitala terrängmodeller är brett är det viktigt att de framställs med låg mätosäkerhet. Terrängmodeller används ofta inom projektering eller för volymberäkning och en inkorrekt DTM kan ha stor ekonomisk påverkan. Den tekniska specifikation som reglerar hur och med vilken mätosäkerhet digitala terrängmodeller ska framställas är SIS-TS 21144:2016. För att säkerställa en terrängmodells riktighet ska kontroll utföras över det aktuella området enligt denna tekniska specifikation. Genom att upprätta kontrollprofiler kan systematiska fel upptäckas och modellens riktighet fastställas.

Klassificering av digitala terrängmodeller behandlas i SIS-TS 21144:2016. Där framgår det hur olika projekteringskeden, marktyper samt modellens användningsområde påverkar den tillåtna medelavvikelsen i höjd för de olika klassificeringarna. Generellt kan terrängmodeller kategoriseras i klasserna 1-10 enligt Tabell 6, där den maximala medelavvikelsen i höjd är den avgörande faktorn för vilken klassificering terrängmodellen tilldelas. Klass 1, 2 och 3 tillämpas vid detaljprojektering och medelavvikelsen för dessa klasser tillåts maximalt vara 0,02 m för klass 1 medan klassifikation 2 och 3 tillåts vara 0,05 m respektive 0,10 m. Vidare klassificeras varje separat markslag in efter dess medelavvikelse. Olika markslag och ytor har olika toleranser i medelavvikelse. Till exempel har hårdgjorda ytor, som asfalt, en acceptans på 0,02 m för detaljprojektering (klass 1).

Idag kan digitala terrängmodeller produceras med olika inmätningmetoder. Vid insamling av topografisk data av större områden har flygburen laserskanning blivit den föredragna metoden (Tyagur & Hollaus, 2016). Genom full vågformsregistrering möjliggörs skanning av tuffa miljöer så som skogsterräng, då reflektionen tillbaka till

sensorn skiljer sig beroende på vilket objekt som skannats. Genom att granska intensiteten på den registrerade retursignalerna kan den faktiska marknivån fastställas (Nordkvist & Olsson, 2013). Även tekniker som Unmanned Aircraft Systems (UAS) blir allt mer tillämpbara vid produktion av digitala terrängmodeller eftersom utvecklingen gått snabbt de senaste åren (Mårtensson & Reshetyuk, 2015). Dessa två metoder är fördelaktiga när större områden ska mätas eftersom de är tidseffektiva. I jämförelse med terrester inmätning med totalstation har UAS och flygburen laserskanning dock betydligt högre mätosäkerhet (Reshetyuk & Martensson, 2016).

Den snabba teknikutvecklingen har resulterat i att utbudet av UAS-system ökat och idag finns flertalet varianter som modellflygplan försedda med fasta vingar eller modellhelikoptrar utrustade med roterande vingar (Mårtensson & Reshetyuk, 2015). Vidare kategoriseras flygplansmodellen in enligt transportstyrelsens författningssamling TSFS 2017:110 om obemannade luftfartyg, i kategorierna 1-5. Startvikten och om de flygs inom synhåll för piloten är avgörande för vilken kategorisering som tilldelas. Denna författningssamling ska tillämpas vid verksamheter som omfattar obemannade flygfarkoster inom Sverige, med undantag för militär- och polisiärt arbete.

UAS-tekniken bidrar till en tidseffektiv insamling av topografiska data (Mårtensson och Reshetyuk, 2015) men har även ett stort tillämpningsområde vid insamling av data vid högriskområden. Istället för att utsätta människor för fara möjliggör UAS-tekniken att data kan förvärfas på ett säkert sätt. Det finns dock nackdelar och begränsningar med UAS-tekniken. Som tidigare nämnts finns många UAS-system på marknaden men flera har brister, speciellt de som är avsedda för konsumentbruk eftersom de ofta är försedda med sämre kamerasystem men även sämre motorer, vilket medför att farkosten blir mer instabil och begränsade i flyghöjd (Eisenbeiss, 2009).

Trafikverket, som är en stor infrastrukturförvaltare i Sverige, anger sina krav för framtagande av digitala terrängmodeller enligt SIS-TS 201144:2016, om inte specifika krav ställs för projektet. Ett sådant tilläggskrav kan vara att projekteringsunderlag inte får framställas av UAS-fotogrammetri då metodens mätosäkerhet inte är helt fastställd.

Att producera en DTM med hjälp av UAS-fotogrammetri som uppnår relativt låg mätosäkerhet är numera tekniskt möjligt (Haala, Cramer, & Rothermel, 2013; Martensson & Reshetyuk, 2017). Trots det finns idag vissa oklarheter kring vilken mätosäkerhet metoden kan uppnå då tekniken utvecklas kontinuerligt och utbudet av UAS-system ökat kraftigt. Det är därför nödvändigt att undersöka om mätosäkerheten förbättrats, och dessutom klargöra hur olika UAS-system skiljer sig i

mätosäkerhet. Det är även nödvändigt att undersöka hur olika bearbetningsprogram skiljer sig vid framställning av punktmoln från bilddata.

## 1.2 Syfte och frågeställningar

Syftet med studien är att klargöra vilken mätosäkerhet UAS kan uppnå vid framställning av digitala terrängmodeller för detaljprojektering på olika marktyper samt hur metoden står sig i förhållande till det regelverk som finns idag, SIS-TS 21144:2016 Tabell 6. Tabell 6 redovisas i Bilaga A. Studien ska även undersöka hur mätosäkerheten skiljer sig från olika typer av UAS-system och flygburen laserskanning från ett flygplan, men även undersöka om olika bearbetningsprogram påverkar bildbehandlingen vid framställning av punktmoln.

Frågeställningarna presenteras nedan i punktform.

- Med vilken mätosäkerhet är det möjligt att framställa en DTM med UAS och hur står det sig mot det regelverk som finns idag för detaljprojektering enligt SIS-TS 21144:2016 Tabell 6?
- För vilka marktyper är det tillämpligt att använda UAS vid framtagande av DTM?
- Vad är avvikelsen mellan olika typer av UAS och flygburen laserskanning vid framtagande av DTM?
- Hur skiljer noggrannheten för olika bearbetningsprogram vid framställning av punktmoln från bilddata?

## 1.3 Avgränsningar

Studien omfattar jämförelse mellan tre olika terrängmodeller över samma område. Terrängmodellerna producerades av externa konsulter med expertis inom området med hjälp av Dji Phantom 4 PRO, Smartplanes S1C och laserskanning från ett flygplan som insamlingsmetoder.

Enligt SIS-TS 21144:2016 ska kontroll av markmodell avse hela modellen, i undantagsfall kan del av modell prövas. I denna studie avsågs kontroll av del av modell eftersom studien genomfördes under en period på 10 veckor, vilket medförde att kontroll av hela modellerna inte var tidsmässigt genomförbart. Kontrolllytorna var därför utvalda så att de representerar terrängen i området på bästa vis. En mer utförlig redovisning över de prövade områdena ges i Bilaga B.

Kontrollprofil som representerar markslaget grus kontrolleras i denna studie mot klass 2 enligt SIS-TS 21144:2016 Tabell 6 för detaljprojektering eftersom majoriteten av grusytan ej ansågs vara av jämna och hårdgjorda ytor. Både marktyperna grus och gräs har därför valts att granskas mot klass 2 enligt SIS-TS 21144:2016 Tabell 6 för

detaljprojektering. Vidare utfördes endast en kontrollprofil för markslaget grus med anledning att tunga fordon deformerat majoriteten av grusvägarna under våren. Vidare kunde inte kontrollprofilen för markslaget grus granskas för data insamlad med Dji Phantom eftersom en komplett terrängmodell saknades för denna yta.

Jämförelse av punktmoln producerat med två olika bildbehandlingsprogram begränsades till data insamlad med Smartplanes. Programvarorna som användes var Agisoft PhotoScan och Trimble UASMaster. Framtagande av punktmoln genomfördes av författarna. Utifrån programmen genererades punktmoln och jämfördes mot aktuella specifikationer enligt SIS-TS 21144:2016. Marktyperna som jämfördes var asfalt, grus, gräs och naturmark.

## 2 Tidigare studier

Lidar-teknik är baserat på laserpulser som reflekteras och representerar den skannade ytan i form av ett punktmoln. Tekniken föredras vid insamling av topografisk data, särskilt vid insamling av större områden då metoden kan tillämpas från bemannade flygfarkoster. Då de returnerade laserstrålarna har olika intensitet är det möjligt att registrera den del av strålen som returnerade mot markytan (fullvågsregistrering) och på så vis avbilda marken, trots tät vegetation (Hugenholtz et al., 2013). I en studie gjord av Gonçalves, Rito och Pereira (2012) undersöktes vilken kvalitet fullvågsregistrering från flygburen laserskanning kan uppnå vid framtagande av DTM då de menar att det inte är helt fastställt, särskilt inte under svåra terrängförhållanden. En flygning över ett 900 kvm stort område utfördes, vilket till stora delar var täckt av skog. Kontrollpunkter mättes sedan in med hjälp av Global Navigation Satellite Systems (GNSS) och totalstation. Genom att jämföra kontrollpunkter med data från flygningen kunde de se mätosäkerheten från fullvågsregistreringen, vilket uppnådde cirka 0,03 m i medelavvikelse i höjd.

Då flygburen laserskanning från bemannade flygfarkoster är en mycket kostsam metod och inte tillämpbar inom vissa projekt är fotogrammetri ett alternativ som blir allt mer kostnadseffektiv i och med att tekniken utvecklas (Hugenholtz et al., 2013). Historiskt har UAS används från första världskriget inom den militära verksamheten (Watts, Ambrosia & Hinkley, 2012) men har på senare tid sett en snabb utveckling och ett brett tillämpningsområde inom bland annat fotogrammetri och vid framställning av digitala höjdmodeller. Det finns dock oklarheter vilken kvalitet metoden kan uppnå. SIS-TS 21144:2016 är idag det regelverk i Sverige som styr huruvida kontroll och framställning av digitala höjdmodeller ska genomföras samt vilken noggrannhet de ska uppnå för de olika klassificeringarna. Tziavou, Pytharouli och Souter (2018) diskuterar i sin studie olika parametrar som påverkar resultatet för bilder tagna med Unmanned Aircraft Vehicle (UAV) samt olika flygfarkoster och dess tillämpningar. I undersökningen utfördes två flygningar över ett kustområde med två olika farkoster, en med roterande vingar och en med fasta vingar. Författarna menar att farkosten med roterande vingar resulterar i en bättre upplösning då den klarar av lägre höjder. Däremot påpekar författarna att den endast är tids- och kostnadseffektiv för mindre områden. Themistocleous, Ioannides, Agapiou och Hadjimitsis (2015) presenterar ett antal fördelar med farkoster försedd med roterande vingar, och menar att farkostens smidighet möjliggör fotografering med hög detaljrikedom till skillnad från farkoster med fasta vingar. Vidare menar Tziavou et al. (2018) att det finns flertalet parametrar att ta hänsyn till innan en flygning med UAS kan ske för att uppnå bra resultat. Flyghöjd, önskad upplösning och överlappning är några av de viktiga parametrar de nämner men de diskuterar även de meteorologiska förhållanden, som vindriktning och ljusförhållanden.

För att klargöra om det är möjligt att framställa en DTM med en höjdosäkerhet lägre än 0,02 m för olika marktyper med UAS genomförde Mårtensson och Reshetyuk (2017) en studie. Genom att utföra två flygningar med olika kameror på en flyghöjd runt 100 m över ett område med varierande terräng kunde de se att olika programvaror skiljer sig i resultat. De kunde även fastställa att det är möjligt att producera en DTM med en medelavvikelse under 0,02 m för asfaltsytor och under 0,04 m för grus och gräsytor. Resultatet visade även skillnader mellan de olika kamerorna och väderförhållandena.

Idag finns flertalet olika flyg och kamerasystem på marknaden. Objektivet och kamerans egenskaper är en viktig del eftersom det har en betydande roll för bildernas slutliga resultat. Dessutom resulterar en bättre bild i att efterbearbetningen blir enklare (Tziavou et al., 2018). För att se hur olika kamerasystem påverkar resultatet vid framställning av DTM genomförde Haala, Cramer och Rothermel (2013) en studie. De jämförde två olika kameror vid framtagande av en digital ytmodell; en billigare kompaktkamera och en dyrare med utbytbar lins, så kallad systemkamera. Vid flygningarna tillämpades 80 % överlappning i flygriktningen och 70 % sidoöverlappning. De författarna kunde konstatera utifrån de framtagna modellerna var att standardavvikelsen i höjd skilde mellan kamerorna. I toppen av en backe var avvikelsen 0,030 m för kompaktkameran och 0,020 m för systemkameran medan avvikelsen längst ner på backen fastställdes till 0,042 m för kompaktkameran och 0,022 m systemkameran. Trots detta resultat menar författarna att ingen betydande skillnad för resultatet uppkommer så länge en stor överlappning mellan bilderna sker.

Som Tziavou et al. (2018) nämner är flyghöjden en viktig parameter för att uppnå bra bildkvalité. Reshetyuk och Mårtensson (2016) kontrollerade huruvida det är möjligt att producera en DEM över en grusgrop med en mätosäkerhet lägre än 0,020 m med UAV. Två flygningar genomfördes över området med flyghöjder på 80 m respektive 160 m där den insamlade bilddatan behandlades i olika programvaror (PhotoScan och RapidTerrain), för att sedan jämföras mot kontrollprofiler som upprättats med terrester laserskanning. De undersökte även hur antalet och storleken på flygsignalerna påverkade mätosäkerheten från de olika höjderna. De konstaterade att PhotoScan uppnådde ett bättre resultat på plant underlag men däremot resulterade RapidTerrain i ett bättre resultat över kuperad terräng. De fastställde även att det är möjligt att producera en DTM med en medelavvikelse lägre än 0,020 m på plant underlag från flyghöjder runt 80 m och 160 m. Vidare menade författarna att antalet flygsignaler inte påverkade resultatet avsevärt såvida god överlappning mellan bilderna uppnås och anpassas efter områdets storlek. Persson och Gunnarsson (2013) har dock i ett examensarbete kunnat konstatera att osäkerheten minskade då fler flygsignaler med god geometri tillämpas. Reshetyuk och Mårtensson (2016) menar däremot att flygsignalernas storlek måste anpassas utifrån flyghöjden, då de fastställt att det har inverkan på resultatet.



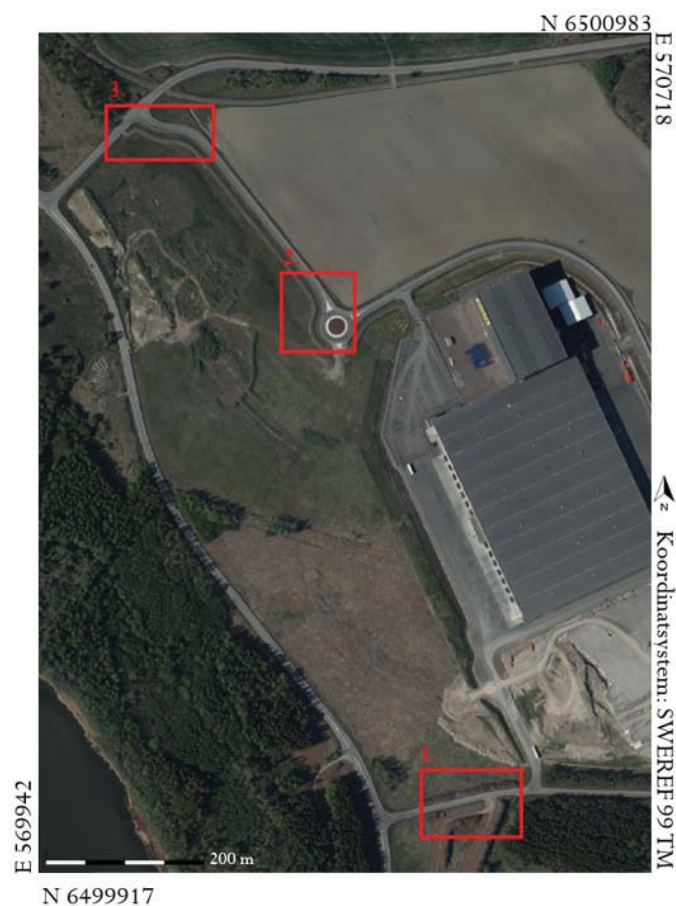
Som Tziavou et al. (2018) också påpekar i sin studie är de metrologiska förhållandena av stor vikt innan en flygning med UAS kan genomföras eftersom de kan ha inverkan på farkosten och kameran. I en studie gjord av Wierzbicki, Kedzierski och Fryskowska (2015) kontrollerades punktmoln producerade med bilder tagna med UAS under olika väderförhållanden. Väderförhållandena var molnigt med inslag av dis och soligt väder med klarblå himmel. De båda flygningarna utfördes över samma område med samma UAS-system, och med samma antal och placering av flygsignaler. Författarna menar att de olika väderförhållandena har en inverkan på resultatet, dock inte så stor. Författarna menar att de olika väderförhållandena påverkar kamerans lätthet att avbilda marken och dess underlag men även att sämre väder försvårar bildmatchningen för att producera punktmoln då det kan resultera i brus i bilderna. Författarna har kunnat konstatera att sämre väderförhållanden leder till ett sämre resultat vid bildmatchningen. Resultatet från studien visar även att vid kontroll av stödpunkter syns en halvering av noggrannheten av RMS-värden från de olika väderförhållandena. Avslutningsvis menar författarna att väderleken är något som måste finnas i åtanke vid framtagande av punktmoln med UAS.

### 3 Material och metod

I detta kapitel presenteras en geografisk beskrivning över det aktuella studieområdet samt vilka programvaror och utrustning som användes i studien. Ingående redovisningar presenteras för de metoder som användes vid insamling av bild- och kontrolldata. Slutligen redovisas metoden för framtagande och jämförelse av punktmoln producerat med Agisoft PhotoScan och Trimble UASMaster.

#### 3.1 Studieområde

Det aktuella området är beläget norr om Norrköping och är en del av det aktiva projekt för den nya snabbtågsbanan Ostlänken där en egen geoidmodell producerats, SWEN08\_OSTL. Det totala arbetsområdet är 2500 x 500 m men har i denna studie begränsats. De tre röda markeringarna i Figur 1 illustrerar de områden som granskats vilket uppnår en total yta på ungefär 4,8 ha. I de markerade områdena har kontrollprofiler producerats eftersom samtliga terrängmodeller överlappar varandra över dessa ytor. De utvalda studieområdena innehåller marktyperna asfalt, grus, gräs och naturmark.



Figur 1. De aktuella studieområdena markerade med röda markeringar. Bilden hämtad från © Lantmäteriet 2018-06-05.

### 3.2 Datainsamling och kontrollmätning

UAS-flygningarna genomfördes av erfarna piloter på Scior Geomanagement och Rover Alcisa under hösten år 2017. Sciors obemannade flygplan, Smartplanes SIC, var av typen fasta vingar medan Rover Alcisas var Dji Phantom 4 PRO, med roterande vingar. Båda systemen illustreras i Figur 2. Smartplanes var försedd med tröghetssystem (INS) och GPS-mottagare för ökad rikttningsnoggrannhet och positioneringsmöjligheter medan Dji Phantom endast var försedd med GPS-och GLONASS-mottagare. Flygsignaler placerades väl utspritt över området och mättes sedan in med GNSS före båda flygningarna. Det är viktigt att uppnå god spridning på flygsignalerna då Smith och Vericat (2015) menar att väl utspridda flygsignaler som täcker hela studieområdet minskar osäkerheten vid georefereringen.



Figur 2. De olika UAS-systemen, Smartplanes SIC till vänster och Dji Phantom 4 Pro till höger.

Vänstra bilden tagen av författarna och högra bilden hämtad från DJI.COM

För kontroll av en terrängmodellens riktighet presenteras en utförlig beskrivning i SIS-TS 21144:2016 kapitel 10 med avseende på hur kontrollprofilerna ska utföras och dess omfattning. Kontrollens omfattning varierar beroende på områdets areal, antal marktyper samt vilket provningsutförande som tillämpas. Det som generellt gäller för kontrollprofiler är att profilens längd minst ska uppnå 20 m och representera markens variation på bästa möjliga sätt. Dessutom ska en enskild kontrollprofil bestå av minst 20 punkter (SIS-TS 21144:2016).

Flygningarna planerades noggrant innan de genomfördes då det finns flertalet tekniska parametrar att ta hänsyn till. Som Tziavou et al (2018) nämner är parametrar som flyghöjd, överlappningens storlek, kamerans och linsens egenskaper av stor vikt för att uppnå högupplösta bilder.

### 3.2.1 Flygning med Smartplanes S1C och framtagande av terrängmodell

Insamling av bilddata från Smartplanes S1C genomfördes under hösten 2017 över ett ungefär 160 ha stort område av Scior Geomanagement. Eftersom intresseområdet för studien endast var omkring 4,8 ha så begränsades data där av enligt Figur 1. Farkosten var försedd med kameran Ricoh GR, vilket är standardsystemet för Smartplanes. Kamerans fokallängd var 18,3 mm, pixelstorlek 4,78 x 4,78  $\mu\text{m}$  och sensorstorlek (24 x 16) mm. Smartplanes (u.å.) menar att flertalet fördelar finns med kameran. Dels att linsen och sensorn tillsammans med pixelstorleken resulterar i bra upplösning, men även att den klarar av att tillhandahålla bra foton vid dåliga väderförhållanden. Farkosten var dessutom utrustad med ett tröghetsnavigeringssystem samt GPS-mottagare. Tröghetsnavigeringssystemet var uppbyggt av ett treaxligt gyro samt en treaxlig accelerometer. (Mårtensson & Reshetyuk, 2015) som använt samma system i deras studie menar att GPS-mottagaren tillsammans med tröghetsnavigeringssystemet möjliggör beräkning av roll- och toppvinklar.

Den förprogrammerade sidoövertäckningen för varje stråk var 75 % medan övertäckningen längs med stråken programmerades till 80 %. Den tillämpade flyghöjden var 174 m. De metrologiska förhållandena under flygningen var växlande molnighet med stundvis mycket sol och en vindstyrka omkring 15 m/s. På grund av vindarna tappade farkosten orienteringen för den sydöstra delen av området och detta resulterade i att det saknas kamerastationer för dessa bilder, se Figur 4. Ytterligare en påföljd av de starka vindarna var att den förprogrammerade övertäckningen inte uppnåddes över hela området.

Innan flygningen genomfördes placerades 67 flygsignaler ut över området och mättes sedan in med nätverks-RTK genom medeltalsmätning på 30 sekunder med GNSS Leica GS15 i referenssystemet SWEREF 99 TM och höjdsystemet RH2000\_OSTL. Flygsignalernas storlek var 20 x 20 cm och markerades med vit sprayfärg, se Figur 3.



Figur 3. Flygsignal markerat med vitsprayfärg i storlek 20 x 20 cm.

Insamlad bilddata importerades till programvaran PhotoScan för framställning av terrängmodell och slutligen transformerades till SWEREF 99 16 30 i plan och RH2000\_OSTL i höjd. Inga kompletterade mätningar utfördes till UAS-flygningen för framställning av terrängmodellen.



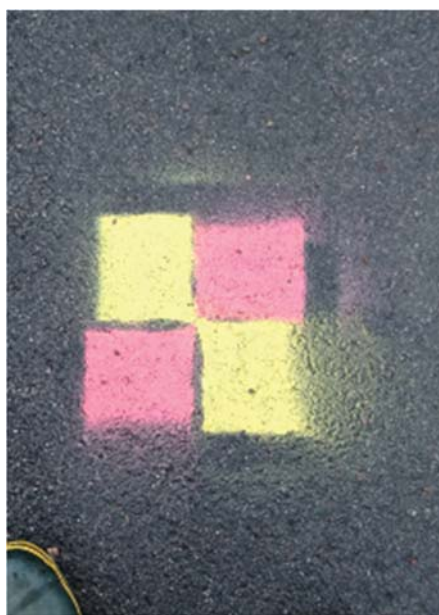
Figur 4. Ovan illustreras kamerastationerna och flygsignalerna från hela flygningen över studieområdet med Smartplanes SIC. De röda markeringarna symboliserar kamerastationerna för varje bild som togs. I den sydöstra delen saknas kamerastationerna och endast flygsignalerna (markerade som svarta cirklar) syns. Bild hämtad från GOOGLE-EARTH 2018 06 09.

### 3.2.2 Flygning med **Dji Phantom 4 PRO** och framställning av terrängmodell

Bildinsamling från flygfarkosten **Dji Phantom 4 PRO** utfördes under hösten 2017. Det insamlade området uppmättes till 187,7 ha men begränsades till 4,8 ha i studien (Figur 1). Kameran systemet farkosten var försedd med var av modellen CMOS 1” 20 Mpix RGB-kamera. Kamerans fokallängd var 4 mm, bländaröppningen F/2,8 och den maximala respektive minsta slutartiden var 8 sekunder och 1/8000 sekund. Farkosten var även utrustad med GPS- och GLONASS-mottagare.

Den tillämpade sidoövertäckningen och övertäckningen längst med varje stråk var båda 75 %. Den tillämpade flyghöjden var 80 m. Väderförhållandena under flygningen var växlande molnighet men med övervägande moln.

Innan flygningen utfördes placerades flygsignaler ut runt området med ett intervall omkring 100 meter. Totalt antal flygsignaler för hela området var 140 stycken och mättes in med **Leica GS08 GNSS** i referenssystemet **SWEREF 99 16 30** och höjdsystemet **RH 2000**. Flygsignalerna mättes in manuellt med nätverks-RTK på ett intervall med ett minimum på 6 sekunder vardera och storleken var 30 x 30 cm och markerades med röd och gul sprayfärg, Figur 5.



*Figur 5. Flygsignalerna markerades med gul- och röd sprayfärg i storleken 30 x 30 cm*

Generering av terrängmodell från den insamlade bilddatan genomfördes i programvaran **PIX4Dmapper** och transformerades till **SWEREF 99 16 30** i plan och **RH2000\_OSTL** i höjd. Inga kompletterande mätningar utfördes till UAS-flygningen för framställning av terrängmodellen. Den framtagna modellen filtrerades även av **Rover Alcia**.

### 3.2.3 Laserskanning från flygplan och framställning av terrängmodell

TerraTec Sweden AB genomförde den 2017-11-17 och 2017-11-19 en omfattande flygning med ett bemannat flygplan för att laserskanna området runt Norrköping och Nyköping. Syftet med skanningen var datainsamling för en markmodell för projektet Ostlänken enligt SIS-TS 21144:2016 Tabell 6 klass 1-3. Insamling av data delades upp i 9 olika delområden men har i studien begränsats till endast ett område som är ungefär 4,8 ha. Laserskannern som flygplanet var försedd med var av märket Riegl 1560i och all data mättes in i referenssystemet SWEREF 99 16 30 och i höjdsystemet RH2000\_OSTL. Den tillämpade flyghöjden var 530 m. För inpassning av det genererade punktmolnet mättes stödpunkter in runt området.

Den insamlade laserdatan importerades till TerraScan för klassificering, filtrering samt uttunning av punktmoln. Den framtagna markmodellen var en triangelmodell bestående av punkter och brytlinjer. Samtliga asfalsvägar generaliserades i efterbearbetningen och i den slutliga modellen representeras asfalsvägar endast av brytlinjer. Dessutom togs trianglar över vattenområden bort. Utöver detta gjordes inga kompletterande mätningar eller ytterligare generaliseringar.

### 3.2.4 Utförande av kontrollprofiler

För att fastställa de producerade terrängmodellernas riktighet utfördes inmätning av kontrollprofiler över det aktuella området i SWEREF 99 16 30 och RH 2000\_OSTL i plan och höjd. Instrumenten som användes var Leica TS16 med programvaran GeoPad, GNSS Leica GS15, prisma MPR122 360° och prismastång. Prismastången var försedd med plan fot enligt SIS-TS 21144:2016, se Figur 6, vilket minimerar risken för felaktigt inmätt höjdvärde av kontrollprofilerna. Kontrollprofilerna utfördes över fyra marktyper: asfalt, grus, gräs och naturmark. För att få en övergripande representation av området utfördes tre stationsetableringar där tre kontrollprofiler från vardera etablering mättes in. Kontrollprofilerna producerades enligt SIS-TS 21144:2016 med punktavstånd på högst 3 m och med en total längd för varje enskild kontrollprofil på minst 20 m. Varje enskild kontrollprofil mättes så att de var representativa för terrängen i området. Se Bilaga B för en detaljerad lokalisering för samtliga kontrollprofiler.

Eftersom inget befintligt stornät fanns i anslutning till området krävdes Realtidsuppdaterad FRI Station uppställning (RUFRI), vilket är en godkänd metod vid projektering för Trafikverket om inget närliggande stornät finns. Trafikverket (2012) har framställt en metodbeskrivning för etablering med RUFRI. För att uppnå godkända etableringar enligt dessa krav utfördes minst 15 stycken mätningar mot olika bakåttobjekt med god spridning horisontellt och i längd för varje enskild uppställning.

Kontroll av GNSS-utrustningen utfördes mot stompunkt i höjd (GPS-dag: 094) efter avslutad mätning där en medeltalsmätning utfördes på 30 sekunder.



Figur 6. Prismastång försedd med plan fot.



### 3.3 Kontroll av terrängmodeller

Beräkningen och analysen av de tre terrängmodellerna utfördes med programvaran SBG Geo 2016. Samtliga terrängmodeller importerades till programvaran där varje enskild kontrollprofil jämfördes mot de genererade terrängmodellerna. Enligt Reshetyuk och Martensson (2016) är SBG Geo 2016 ett väl användbart verktyg för sådana jämförelser då programvaran kan hantera stora punktmoln. Utifrån jämförelsen kunde differenser mellan kontrollprofilerna och höjdvärdena för varje enskild terrängmodell beräknas i programmet. När samtliga höjdskillnader mellan terrängmodellerna och kontrollprofilerna beräknats importerades värdena till Excel för beräkning av medel- och standardavvikelsen. Medelavvikelsen (Ekvation 1) och standardavvikelsen (Ekvation 2) beräknades för varje enskild profil enligt SIS-TS 21144:2016. Även den maximala- och minsta avvikelsen fastställdes och utifrån dessa kunde variationsvidden beräknas.

$$Ah_m = \frac{\sum_{i=1}^n Ah_i}{n} \quad (1)$$

där:

$Ah_m$  = medelavvikelsen i profilen

$Ah_i$  = avvikelsevärden som summeras med sitt tecken

$n$  = antalet mätpunkter i profilen

$$S_p = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Ah_i - Ah_m)^2}{n-1}} \quad (2)$$

där:

$S_p$  = Standardavvikelsen för höjdavvikelsen i en enskild profil (m)

$Ah_i$  = Enskild höjdavvikelse i profilen i meter (m)

$Ah_m$  = Medelavvikelsen i den enskilda profilen (m)

$n$  = är antalet bestämda höjdavvikelser i en enskild profil

Det kvadratiska medelvärdet (RMS) beräknades även för varje enskild profil i det här projektet enligt Mårtensson och Reshetyuk (2015) Ekvation (3). RMS används eftersom de menar att endast medelavvikelsen inte är tillräckligt tillförlitligt för att fastställa terrängmodellens höjdosäkerhet.

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Ah_i^2} \quad (3)$$

där:

$$Ah = Th - Kh \quad (4)$$

där:

$Th$  = markmodellens höjd (m)

$Kh$  = kontrollpunktens höjd (m)

Vidare utfördes en sammanläggning av kontrollprofiler som representerar lika marktyper. Höjdskillnaderna mellan terrängmodellerna och de sammanlagda kontrollprofilerna fastställdes i SBG Geo 2016. Utifrån dessa höjdskillnader beräknades medelavvikelsen (Ekvation 5) och standardavvikelsen (Ekvation 6) för varje separat marktyp i Excel enligt SIS-TS 21144:2016. Vidare fastställdes maximala och minsta avvikelsen och slutligen beräknades RMS enligt (Ekvation 3).

$$Map_t = \frac{\sum_{i=1}^n Ah_i}{n} \quad (5)$$

Där:

$Map_t$  = medelavvikelsen i höjd för marktypens profiler (m)

$Ah_i$  = avvikelsen i kontrollpunkt i uttryckt i (m)

$n$  = antalet kontrollpunkter inom marktypen

$$S_{pt} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Ah_i - Map_t)^2}{n-1}} \quad (6)$$

Där:

$S_{pt}$  = standardavvikelsen för kontrollpunkternas höjdavvikelser (m)

$Ah_i$  = avvikelsen i kontrollpunkt i uttryckt i (m)

$Map_t$  = medelavvikelsen i höjd för marktypen (m)

$n$  = antalet kontrollpunkter inom marktypen

### **3.4 Framtagande och jämförelse av punktmoln**

Detta avsnitt presenterar framtagande av punktmoln producerat med Agisoft PhotoScan och Trimble UASMaster. Båda programvarorna behandlar bilddata insamlat med Smartplanes S1C samt flygsignaler från flygningen. Vidare jämfördes de framtagna punktmolnen mot de inmätta kontrollprofilerna i programvaran TerraScan för att uppskatta punktmolnens riktighet

#### **3.4.1 Framtagande av punktmoln i Agisoft PhotoScan**

Programvaran som användes i den här delen av studien var Agisoft PhotoScan version 1.3.3 från 2017.

Arbetsprocessen i PhotoScan är uppdelad i olika steg beroende på vad som ska utföras med programvaran (Agisoft LLC, 2017). Nedan presenteras vilka steg som behövdes för att skapa ett tätt punktmoln.

1. Bilderna importeras och programvaran utför en blockutjämnning, bilderna matchar och orienterar sig mot varandra utifrån liknande pixelvärden i angränsande bilder. Vid det här steget skapas även ett tunnare punktmoln utifrån de tillgivna inställningarna som användaren ger till programvaran.
2. Efter att det tunnare punktmolnet skapats georefereras punktmolnet mot de inmätta flygsignalerna runt området.
3. Ett tätare punktmoln produceras för att skapa en modell utifrån de matchade punkterna där användaren väljer vilken kvalitetsnivå programmet ska tillämpa samt hur mycket som ska filtreras vid det genererade punktmolnet.
4. Klassificering av markpunkter för att filtrera bort punkter som avviker mer än angivet tröskelvärde, felberäknade punkter tas bort.

Samtliga 1096 bilder tagna med Smartplanes importerades till ett nytt projekt med de tillhörande bild-koordinaterna samt andra parametrar; roll, pitch och yaw som uppskattades under flygningen. Dessa parametrar beräknades med Smartplanes AerialMapper för att bestämma farkostens vridning, riktning och position i luften. Programvaran synkroniserade bilderna med farkostens koordinater vid exponeringstillfället. Smartplanes AerialMapper kunde dock inte genomföra en blockutjämnning för alla bilder eftersom de starka vindarna under flygningen påverkade planets vridning och därför saknas 458 kamerastationer. Genom att utföra ytterligare en blockutjämnning med hjälp av bildmatchning i programvaran PhotoScan kunde 448 nya kamerastationer av de totalt 458 saknade fastställas. Slutligen användes totalt 1086 bilder med tillhörande kamerastationer i bearbetningsprocessen.

Vid blockutjämnningen i PhotoScan sattes bildmatchningen och justering till 40.000 nyckelpunkter och 20.000 gemensamma punkter, dessutom användes metoden ”hög noggrannhet” då PhotoScan LLC (2017) anger att dessa inställningar är lämpliga vid forskningsutföranden. I detta steg utfördes ett glesare punktmoln av gemensamma

punkter för att georeferera bilderna mer exakt. Programvaran använde egna algoritmer för att bestämma vilka pixlar i varje bild som matchar samma pixel i de närliggande bilderna. När detta slutförts korrigerades koordinaterna utifrån de 67 inmätta flygsignalerna som importerats för inpassning av punktmolnet. Detta gjordes med en manuell metod där varje flygsignal preciseras genom att markera var i bilden den var lokaliserad och sedan upprepa det för varje flygsignal. Flygsignalerna 4, 38 och 45 användes inte vid georefereringen utan endast för kontroll av blocktrianguleringen. Nummer 5 användes inte i studien då den lokaliserades utanför det fotograferade området. När det glesare punktmolnet uppnådde låga avvikelser mot flygsignalerna skapades ett tätare punktmoln utifrån de glesare punktmolnet tillsammans med alla bilder som tillhörde området. Programvaran gjorde även i detta steg en bildmatchning där pixlar med liknande pixelvärden från angränsande bilder skapade punkter med koordinater i plan och höjd. Från produktionen av det slutgiltiga punktmolnet gjordes även en klassificering för att endast ha kvar punkterna på marken och reducera bruset. Tröskelvärdet för markklassningen ställdes till 0,1 m. Utöver filtreringen gjordes även en brusreducering i 3DReshaper där punkter med ett lägre intensitetsvärde än 95 % relativt mellan punkterna togs bort. De resterande markpunkterna sparades till .LAS för att analyseras i TerraScan, alla punkter sparades i SWEREF 99 16 30 i plan och RH2000\_OSTL i höjd.

### 3.4.2 Framtagande av punktmoln i Trimble UASMaster

Programvaran som användes i den här delen av studien var UASMaster 9.0 vilket är Trimbles senaste version av UASMaster.

Arbetsprocessen för att skapa ett punktmoln i UASMaster är uppdelad i fyra steg. Denna metodbeskrivning förklarar metoden Area mapping enligt Trimble (2018). Metoden går till på följande sätt:

1. **Tie-Point Extraction:** Programvaran skapar ett glesare punktmoln med egna algoritmer och utför en lättare bildmatchning där pixlarna i en bild matchas mot närliggande bilder och på så vis skapas en lättare blockutjämnning. Användaren tillåts att välja mellan tre olika upplösningsnivåer beroende på kvaliteten av bilderna som används; medium, high eller highest.
2. **Georeferering:** Användaren mäter manuellt eller automatiskt in flygsignalerna. Vid automatisk georefereringen behöver användaren endast mäta in flygsignalen i en bild för att programmet själv ska hitta samma signal i resterande bilder. Alternativt mäter användaren in samma signal manuellt i samtliga bilder där flygsingalen syns. Det går även att mäta in samma signal i två olika bilder och sen låta programvaran leta reda på signalen i resterande bilder.
3. **Orientering:** Utförs av programvaran för att orientera bilderna utifrån de markerade flygsignalerna på marken och sedan justerar avvikelser för farkostens position, yaw, roll och pitch, för bästa möjliga precision och skapa en optimal blockutjämnning.
4. **Generering av yta:** När ett glesare punktmoln är producerat är det möjligt att skapa en yta utifrån bilderna. Det finns tre olika modelltyper att välja mellan: Terrain (LSM/FBM), Surface (CBM) och Surface (SGM) med tre framställningsnivåer: Low, Medium och High.

Följande tillvägagångssätt med tillhörande inställningar användes för att skapa ett punktmoln i UASMaster. De 1096 från flygningen med Smartplanes importerades till ett nytt projekt med 638 kamerastationer, Exif-data och 67 flygsignaler. På grund av den stora förlusten av kamerastationer behövdes resterande kamerastationer importeras från Agisoft PhotoScan då programvaran inte klarar av att bestämma nya kamerastationer vid en sådan stor förlust vid utförandet av Area Mapping. Vid användning av Area Mapping behöver programmet en grov positionering av bilderna (en noggrannhet på 10-20 m) för att använda dem i beräkningarna enligt Anders Hägglund, teknisk support UASMaster (personlig kommunikation 2018-05-18). Totalt kunde 1086 bilder behandlas med tillhörande kamerastationer efter importeringen.

I nästa steg utfördes en Tie-Point Extraction med inställningarna nivå High och uppskattning av kända GNSS/IMU -parametrar som Weak. Efter detta mättes sju stycken väl spridda flygsignaler in i hörnen och i mitten av blocket följt av en orientering på inrådan av Anders Hägglund (personlig kommunikation 2018-05-18). Detta gör att det blir enklare att passa in resterande flygsignaler samt att programmet utför en egen kamerakalibrering som förenklar processen. När steg 1-2 genomförts gjordes slutligen en avslutande orientering och en rapportfil producerades för att påvisa noggrannheter och avvikelser. Sedan gjordes ett tätare punktmoln i programmets funktion Surface and Ortho - Generation. Där valdes modelltypen Terrain (LSM/FBM) med framställningsnivå high. Feature Based Matching (FBM) är ett första steg som programmet utför för att få en uppfattning om hur bilderna befinner sig. Sedan övergår programmet till Least Squares Matching (LSM) som är en mycket mer exakt metod. Processen vid Terrain (LSM/FMB) skapar mallar utifrån en bild för att sedan jämföra det med närliggande bilder. När denna process utförts sparades två punktmoln, ett punktmoln med klassade punkter och ett med icke klassade punkter. De klassade punkterna sparades som .LAS för vidare analys i programvaran TerraScan, alla punkter sparades i SWEREF 99 16 30 i plan och RH2000\_OSTL i höjdled.

### **3.4.3 Jämförelse av punktmoln i TerraScan**

Vid jämförelsen mellan de två punktmolnen framtagna med PhotoScan och UASMaster användes programvaran TerraScan från TerraSolid. Detta program är speciellt lämpat för användning vid jämförelser mellan inmätta kontrollprofiler och punktmoln. I undersökningen användes samma kontrollprofiler som vid jämförelsen av de färdiga terrängmodellerna. TerraScan jämförde kontrollprofilernas punkter mot en interpolerad yta. Ytan baseras utifrån de tre närmsta punkterna i punktmolnet mot kontrollprofilens punkt. Detta möjliggör att punktmolnets motsvarande position mot kontrollprofilerna överensstämmer mot varandra (TerraSolid, 2016). Utifrån denna överensstämmelse genomfördes två separata jämförelser för de två punktmolnen mot kontrollprofilerna, där medelavvikelse, RMS och standardavvikelse för varje enskild profil beräknades.

### **3.5 Etiska aspekter**

Vid användning av UAS finns flertalet etiska aspekter att ta hänsyn till. För att främja integritet var det av stor vikt att det inte är möjligt att urskilja varken personer eller bilar ur de tagna bilderna. Dessutom placerades skyltar ut runt området för att varna allmänheten att fotografering med UAS pågick.

## 4 Resultat

I detta kapitel redovisas först osäkerheterna av RUFRIIS-etableringarna vid framställning av kontrollprofiler. Resultat redovisas även för jämförelsen av de olika terrängmodellerna med varje separat kontrollprofil men även utifrån varje separat marktyp. Slutligen presenteras resultatet från jämförelsen av punktmolnen producerat från Agisoft PhotoScan och Trimble UASMaster.

### 4.1 Resultat av osäkerheter för RUFRIIS-metoden

I Tabell 1 redovisas standardavvikelsen för riktningen, orienteringen och höjdbestämningen samt grundmedelfelet för varje enskild stationsetablering med RUFRIIS-metoden. Redovisning av samtliga bakåttobjekt och kontroll av stationsetableringarna redovisas i Bilaga C och samtliga koordinater för kontrollprofilerna i Bilaga D. Kontroll av GNSS-utrustningen mot känd stompunkt i höjd presenteras i Tabell 2.

Tabell 1. Standardosäkerheter och grundmedelfelet från varje stationsetablering.

Station	sR (gon)	sO (gon)	sZ (m)	Grundmedelfel
RUFRIIS1	0,002	0,002	0,002	0,45
RUFRIIS2	0,003	0,002	0,001	0,38
RUFRIIS3	0,003	0,002	0,001	0,54

Tabell 2. Kontroll av GNSS-utrustning mot närliggande Stompunkt i höjd.

Stompunkt	H
Känd höjd (m)	11,499
Inmätt höjd (m)	11,486
Differens (m)	-0,013



## 4.2 Kontroll och jämförelse av terrängmodeller

I detta avsnitt presenteras en redovisning för terrängmodellernas mätosäkerheter framtagna med de olika insamlingsmetoderna i avseende mot SIS-TS 21144:2016 Tabell 6 för detaljprojektering. En jämförelse av varje terrängmodells mätosäkerheter redovisas även.

### 4.2.1 Resultat av terrängmodell producerat med Smartplanes S1C

Den fastställda upplösningen (GSD) från flygbilderna var 0,05 m och utifrån den framtagna terrängmodellen som producerades i Agisoft PhotoScan fastställdes punkttätheten i modellen till 0,72 punkter per kvm.

I Tabell 3 presenteras en redovisning för varje separat kontrollprofil med avseende till terrängmodellen framtagen med Smartplanes S1C. Den sammanlagda medelavvikelsen i höjd fastställdes till 0,128 m. Enligt SIS-TS 21144:2016 Tabell 6, klass 1-3 för detaljprojektering, skulle samtliga asfaltsytor klara kraven på 0,02 m (klass 1) för hårdgjorda ytor medan endast en av tre gräs/grus-profiler skulle klara kraven för jämna marktytor på 0,05 m (klass 2). Dessutom skulle ingen av profilerna som representerar naturmark uppnå de ställda kraven för övriga ytor på 0,10 m (klass 3).

Tabell 3. Mätosäkerheter mot varje separat kontrollprofil med avseende till terrängmodellen producerad med Smartplanes S1C.

Profil	Antal	Profillängd	Min avv	Max avv	Variationsvidd	Std avv	Medelavv	RMS
Nr	Punkter	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)
1. Asfalt	64	60,9	-0,050	0,030	0,080	0,015	-0,002	0,015
2. Asfalt	50	65,9	-0,027	0,012	0,039	0,010	-0,006	0,011
3. Asfalt	47	62,2	-0,160	0,037	0,197	0,027	-0,015	0,031
1. Naturmark	42	50,5	0,205	0,522	0,317	0,069	0,328	0,339
2. Naturmark	48	62,8	0,209	0,470	0,261	0,074	0,322	0,333
3. Naturmark	49	63,1	0,220	0,542	0,322	0,087	0,361	0,373
1. Grus	41	45,8	-0,032	0,078	0,110	0,030	0,017	0,034
2. Gräs	50	69,3	0,013	0,187	0,174	0,042	0,106	0,117
3. Gräs	51	53,7	0,044	0,223	0,179	0,040	0,101	0,110
	<i>Total</i>	<i>Längd</i>	<i>Minvärde</i>	<i>Maxvärde</i>			<i>Medelvärde</i>	
	442	534,2	-0,160	0,542			0,128	

I Tabell 4 presenteras höjdosäkerheten för varje separat marktyp enligt SIS-TS 201144:2016 Tabell 6 för detaljprojektering. Enligt medelavvikelsen för de olika marktyperna klarade asfalt och grus kraven för detaljprojektering på 0,02 m (klass 1) respektive 0,05 m (klass 2). Medan gräs och naturmark inte uppnådde de ställda kraven på 0,05 m (klass 2) respektive 0,10 m (klass 3) för de olika marktyperna.

Tabell 4. Mätosäkerheter för varje separat markyta med avseende till terrängmodellen producerad med Smartplanes SIC.

	<b>Asfalt</b>	<b>Gräs</b>	<b>Grus</b>	<b>Naturmark</b>
<b>Antal punkter</b>	161	101	41	139
<b>Medelavvikelse (m)</b>	-0,007	0,104	0,017	0,338
<b>Standardavvikelse (m)</b>	0,019	0,042	0,030	0,079
<b>Rms (m)</b>	0,020	0,112	0,034	0,347
<b>Min (m)</b>	-0,160	0,013	-0,032	0,205
<b>Max (m)</b>	0,037	0,223	0,078	0,542
<b>Variationsvidd (m)</b>	0,197	0,210	0,110	0,337
<b>Maximalt tillåtna medelavvikelsen i höjd enligt SIS-TS 21144:2016 Tabell 6 (m)</b>	0,02	0,05	0,05	0,10

#### 4.2.2 Resultat av terrängmodell producerat med Dji Phantom 4 PRO

Den fastställda upplösningen (GSD) från flygbilderna var 0,025 m och utifrån den framtagna terrängmodellen som producerats i PIX4Dmapper uppnåddes en punkttäthet på 2,85 per kvm.

Tabell 5 visar en redovisning av mätosäkerheten för varje separat kontrollprofil med avseende på terrängmodellen framtagna med Dji Phantom 4 PRO. Resultatet visar att den sammanlagda medelavvikelsen för terrängmodellen i höjd fastställdes till 0,098 m. Enligt SIS-TS 21144:2016 Tabell 6, klass 1-3 för detaljprojektering, skulle två av tre asfaltsprofiler klara de ställda kraven på 0,02 m (klass 1) för hårdgjorda ytor medan en av två gräsprofiler skulle uppnådde kraven för jämna markytor på 0,05 m (klass 2). Däremot skulle ingen av profilerna som representerar naturmark klara de ställda kraven på 0,10 m för övriga ytor (klass 3).

Tabell 5. Mätosäkerheter mot varje separat kontrollprofil med avseende till terrängmodellen producerad med Dji Phantom 4 PRO.

Profil	Antal	Profillängd	Max avv	Min avv	Variationsvidd	Std avv	Medelavv	RMS
Nr	Punkter	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)
1. Asfalt	45	60,9	0,123	-0,106	0,229	0,039	0,018	0,043
2. Asfalt	50	65,9	0,037	-0,105	0,142	0,024	0,005	0,024
3. Asfalt	47	62,2	0,092	-0,101	0,193	0,034	-0,023	0,041
1. Naturmark	29	50,5	0,406	0,180	0,226	0,063	0,287	0,294
2. Naturmark	48	62,8	0,334	0,046	0,288	0,071	0,195	0,208
3. Naturmark	49	63,1	0,353	-0,048	0,401	0,098	0,169	0,197
2. Gräs	50	69,3	0,126	-0,092	0,218	0,058	0,032	0,066
3. Gräs	51	53,7	0,199	0,014	0,185	0,036	0,100	0,106
	<i>Total</i>	<i>Längd</i>	<i>Maxvärde</i>	<i>Minvärde</i>			<i>Medelvärde</i>	
	369	488,4	0,406	-0,106			0,098	

I Tabell 6 presenteras höjdosäkerheten för varje separat marktyp enligt SIS-TS 201144:2016 Tabell 6 för detaljprojektering. Enligt medelavvikelsen för de olika marktyperna klarade endast asfalt de ställda kravet på 0,02 m (klass 1). Gräs och naturmark uppnådde inte de ställda kravet på 0,05 m (klass 2) respektive 0,10 m (klass 3)

Tabell 6. Mätosäkerheter för varje separat markyta med avseende till terrängmodellen producerad med Dji Phantom 4 PRO.

	<b>Asfalt</b>	<b>Gräs</b>	<b>Naturmark</b>
<b>Antal punkter</b>	142	101	127
<b>Medelavvikelse (m)</b>	0,001	0,066	0,206
<b>Standardavvikelse (m)</b>	0,037	0,059	0,093
<b>Rms (m)</b>	0,037	0,089	0,226
<b>Min (m)</b>	-0,106	-0,092	-0,048
<b>Max (m)</b>	0,123	0,199	0,406
<b>Variationsvidd (m)</b>	0,229	0,291	0,454
<b>Maximalt tillåtna medelavvikelsen i höjd enligt SIS-TS 21144:2016 Tabell 6 (m)</b>	0,02	0,05	0,10

### 4.2.3 Resultat av terrängmodell producerat med laserskanning

Den insamlade laserdatan klassificerades och filtrerades i programvaran TerraScan där även en uttunning av punkter gjordes. Den framtagna markmodellen är en TIN-modell med innehållande brytlinjer, där samtliga asfaltsvägar endast består av brytlinjer. Modellens punktätthet är 0,79 per kvm.

I Tabell 7 redovisas mätosäkerheten för varje separat kontrollprofil med avseende på terrängmodellen producerat med laserskanning. Terrängmodellens totala medelavvikelse i höjd fastställdes till 0,032 m. Enligt SIS-TS 21144:2016 Tabell 6, klass 1-3 för detaljprojektering, skulle två av tre asfaltsprofiler klara kraven för hårdgjorda ytor på 0,02 m (klass 1). Dessutom skulle samtliga gräs/grus och naturmarksprofiler klara kraven på 0,05 m (klass 2) respektive 0,10 m (klass 3).

Tabell 7. Mätosäkerheter mot varje separat kontrollprofil med avseende till terrängmodellen producerad med laserskanning från flygplan.

Profil	Antal	Profillängd	Min avv	Max avv	Variationsvidd	Std avv	Medelavv	RMS
Nr	Punkter	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)
1. Asfalt	64	60,9	0,020	0,031	0,011	0,003	0,027	0,027
2. Asfalt	50	65,9	-0,013	0,008	0,021	0,005	-0,001	0,005
3. Asfalt	47	62,2	-0,006	0,016	0,022	0,005	0,003	0,006
1. Naturmark	42	50,5	0,031	0,186	0,155	0,034	0,100	0,107
2. Naturmark	48	62,8	-0,024	0,099	0,123	0,028	0,039	0,048
3. Naturmark	49	63,1	0,005	0,173	0,168	0,029	0,062	0,069
1. Grus	41	45,8	-0,023	0,063	0,086	0,019	0,024	0,032
2. Gräs	50	69,3	-0,044	0,077	0,121	0,027	0,014	0,030
3. Gräs	51	53,7	-0,036	0,086	0,122	0,026	0,021	0,034
	<i>Total</i>	<i>Längd</i>	<i>Minvärde</i>	<i>Maxvärde</i>			<i>Medelvärde</i>	
	442	534,2	-0,044	0,186			0,032	

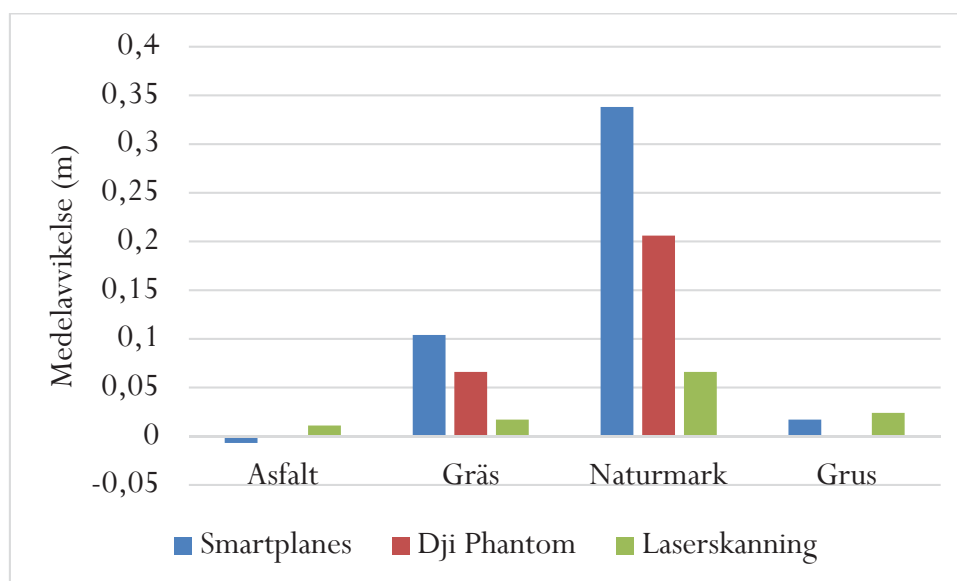
I Tabell 8 presenteras höjdosäkerheten för varje separat marktyp enligt SIS-TS 201144:2016 Tabell 6 för detaljprojektering. Enligt medelavvikelsen för de olika marktyperna klarade samtliga marktyper de ställda kraven.

Tabell 8. Mätosäkerheten för varje separat markyta med avseende till terrängmodellen producerad med laserskanning.

	<b>Asfalt</b>	<b>Gräs</b>	<b>Grus</b>	<b>Naturmark</b>
<b>Antal punkter</b>	161	101	41	139
<b>Medelavvikelse (m)</b>	0,011	0,017	0,024	0,066
<b>Standardavvikelse (m)</b>	0,013	0,027	0,019	0,039
<b>RMS (m)</b>	0,019	0,032	0,031	0,076
<b>Min (m)</b>	-0,013	-0,044	-0,023	-0,024
<b>Max (m)</b>	0,031	0,086	0,063	0,186
<b>Variationsvidd (m)</b>	0,044	0,130	0,086	0,210
<b>Maximalt tillåtna medelavvikelsen i höjd enligt SIS-TS 21144:2016 Tabell 6 (m)</b>	0,02	0,05	0,05	0,10

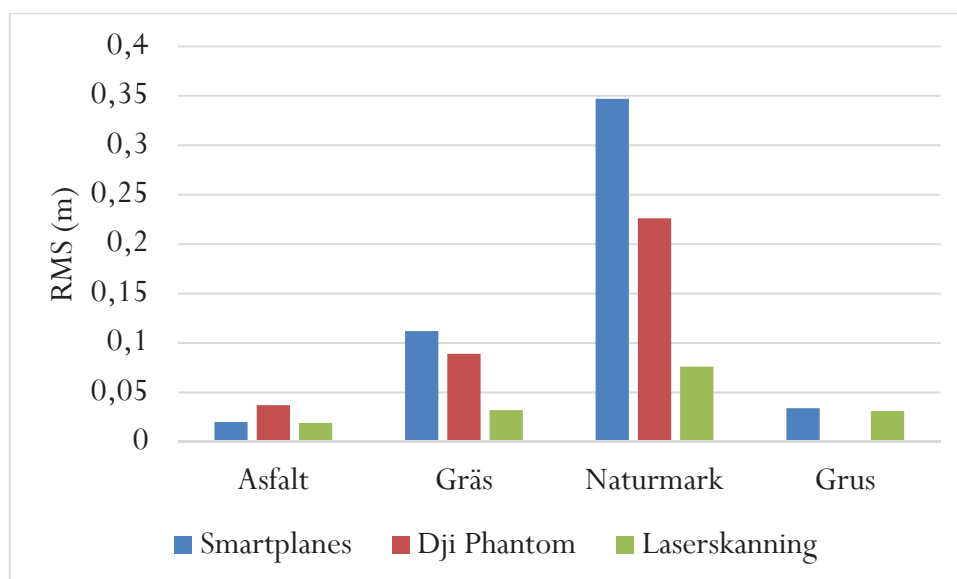
#### 4.2.4 Resultat av terrängmodellerna från samtliga insamlingsmetoder

I Figur 7 presenteras en jämförelse av medelavvikelsen för samtliga terrängmodeller utifrån varje separat marktyp, där kontrollprofiler som representerar lika marktyp adderats samman.



Figur 7. Medelavvikelsen för varje separat marktyp producerat från de tre olika insamlingsmetoderna.

I Figur 8 presenteras en jämförelse av RMS-värden från samtliga terrängmodeller utifrån varje separat marktyp, där kontrollprofiler som representerar lika marktyp adderats samman.



Figur 8. RMS-värden för varje separat marktyp producerat från de tre olika insamlingsmetoderna.

### 4.3 Resultat av punktmoln producerat med PhotoScan och UASMaster

I detta avsnitt presenteras resultatet från punktmolnen framtagna med PhotoScan och UASMaster i jämförelse mot de kontrollprofiler som producerats över området. En mer ingående jämförelse mellan punktmolnen ges även.

#### 4.3.1 Resultat av punktmoln producerat i PhotoScan

Punktmolnet producerat med PhotoScan och jämfördes med kontrollprofiler över området visar att den totala medelavvikelsen i höjd fastställdes till 0,135 m. Resultatet i Tabell 9 visar att den maximala medelavvikelsen för asfalt var -0,011 m och den minsta 0,001 m. För marktypen naturmark varierade medelavvikelsen mellan 0,318 till 0,364 m.

Tabell 9. Mätosäkerheter mot varje separat kontrollprofil med avseende till punktmolnet producerat med PhotoScan.

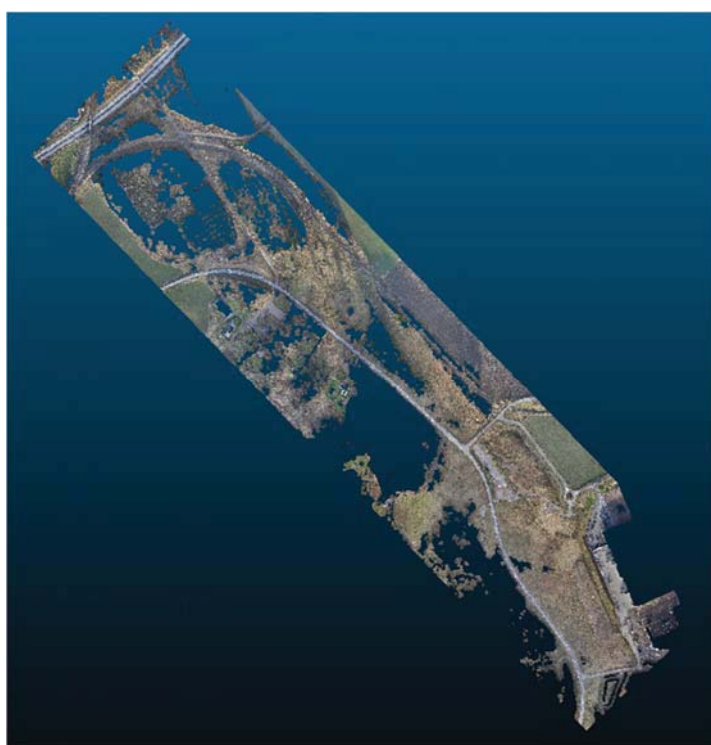
Profil	Antal	Profil längd	Min avv	Max avv	Variationsvidd	Std avv	Medelavv	RMS
Nr	Punkter	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)
1. Asfalt	64	60,9	-0,043	0,041	0,084	0,019	0,001	0,019
2. Asfalt	39	65,9	-0,055	0,033	0,088	0,02	0,008	0,021
3. Asfalt	44	61,4	-0,047	0,053	0,100	0,021	-0,011	0,023
1. Naturmark	42	50,5	0,168	0,516	0,348	0,078	0,318	0,327
2. Naturmark	48	64,9	0,176	0,503	0,327	0,084	0,318	0,329
3. Naturmark	49	64,2	0,214	0,552	0,338	0,098	0,364	0,376
1. Grus	39	45,8	-0,039	0,086	0,125	0,032	0,008	0,033
2. Gräs	50	69,3	0,005	0,203	0,198	0,043	0,118	0,125
3. Gräs	53	51,7	-0,061	0,269	0,330	0,057	0,096	0,111
	<i>Totalt</i>	<i>Längd</i>	<i>Minvärde</i>	<i>Maxvärde</i>			<i>Medelvärde</i>	
	428	534,6	-0,061	0,552			0,135	

Tabell 10 presenterar varje separat marktyp mätosäkerheter. Asfalt resulterade i lägst medelavvikelse, -0,005 m, följt av grus och gräs vars medelavvikelse fastställdes till 0,009 m och 0,106 m. Högst medelavvikelse fick naturmark med 0,334 m.



Tabell 10. Mätosäkerheter för varje separat markyta med avseende till punktmolnet producerad med PhotoScan.

	Asfalt	Grus	Gräs	Naturmark
<b>Antalpunkter</b>	147	39	103	138
<b>Medelavv (m)</b>	-0,005	0,009	0,106	0,334
<b>Std avv (m)</b>	0,020	0,032	0,052	0,089
<b>RMS (m)</b>	0,021	0,034	0,119	0,348
<b>Min avv (m)</b>	-0,055	-0,039	-0,061	0,168
<b>Max avv (m)</b>	0,053	0,086	0,269	0,552
<b>Variationsvidd (m)</b>	0,108	0,125	0,330	0,384



Figur 9. Det framtagna punktmolnet från PhotoScan över studieområdet enligt Figur 1.

### 4.3.2 Resultat av punktmoln producerat i UASMaster

Punktmolnet producerat med UASMaster och jämfördes med kontrollprofiler över området visar att den totala medelavvikelsen i höjd var till 0,110 m. Resultatet i Tabell 11 visar att den största medelavvikelsen för asfalt var -0,075 m och den minsta 0,016 m. För marktypen naturmark varierade medelavvikelsen mellan 0,182 m till 0,380 m.

Tabell 11. Mätosäkerheter mot varje separat kontrollprofil med avseende till punktmolnet producerat med UASMaster.

Profil	Antal	Profil längd	Min avv	Max avv	Variationsvidd	Std avv	Medelavv	RMS
Nr	Punkter	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)
1. Asfalt	64	60,9	-0,302	0,132	0,434	0,066	-0,075	0,100
2. Asfalt	39	65,9	-0,29	0,352	0,642	0,131	0,016	0,130
3. Asfalt	40	57,5	-0,243	0,243	0,486	0,119	0,033	0,122
1. Naturmark	42	50,5	-0,001	0,452	0,453	0,108	0,182	0,211
2. Naturmark	46	62,8	0,043	0,499	0,456	0,114	0,267	0,290
3. Naturmark	48	63,1	0,092	0,86	0,768	0,162	0,380	0,412
1. Grus	39	45,8	-0,419	0,247	0,666	0,146	-0,054	0,154
2. Gräs	50	69,3	-0,007	0,325	0,332	0,077	0,129	0,150
3. Gräs	53	51,7	-0,120	0,379	0,499	0,095	0,114	0,148
	<i>Totalt</i>	<i>Längd</i>	<i>Minvärde</i>	<i>Maxvärde</i>			<i>Medelvärde</i>	
	421	527,5	-0,419	0,86			0,110	

Tabell 12 presenterar varje separat marktyp mätosäkerheter.

Asfalt resulterade i lägst medelavvikelse, vilket uppnådde -0,020 m, följt av grus och gräs vars medelavvikelse fastställdes till -0,054 m och 0,121 m. Högst medelavvikelse fick naturmark med 0,280 m.

Tabell 12. Mätosäkerheter mot varje separat kontrollprofil i avseende till punktmolnet producerat med UASMaster.

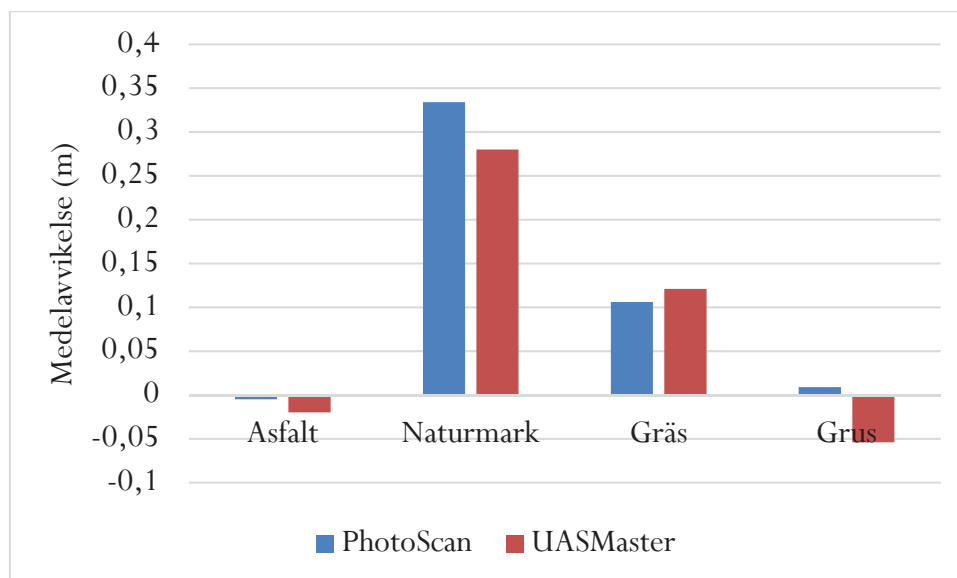
	Asfalt	Grus	Gräs	Naturmark
<b>Antalpunkter</b>	143	39	103	135
<b>Medelavv (m)</b>	-0,020	-0,054	0,121	0,280
<b>Std avv (m)</b>	0,113	0,1444	0,086	0,153
<b>RMS (m)</b>	0,115	0,1542	0,150	0,319
<b>Min avv (m)</b>	-0,302	-0,419	-0,120	-0,001
<b>Max avv (m)</b>	0,352	0,247	0,379	0,860
<b>Variationsvidd (m)</b>	0,654	0,666	0,499	0,861



Figur 10. Det framtagna punktmolnet från UASMaster över studieområdet enligt Figur 1.

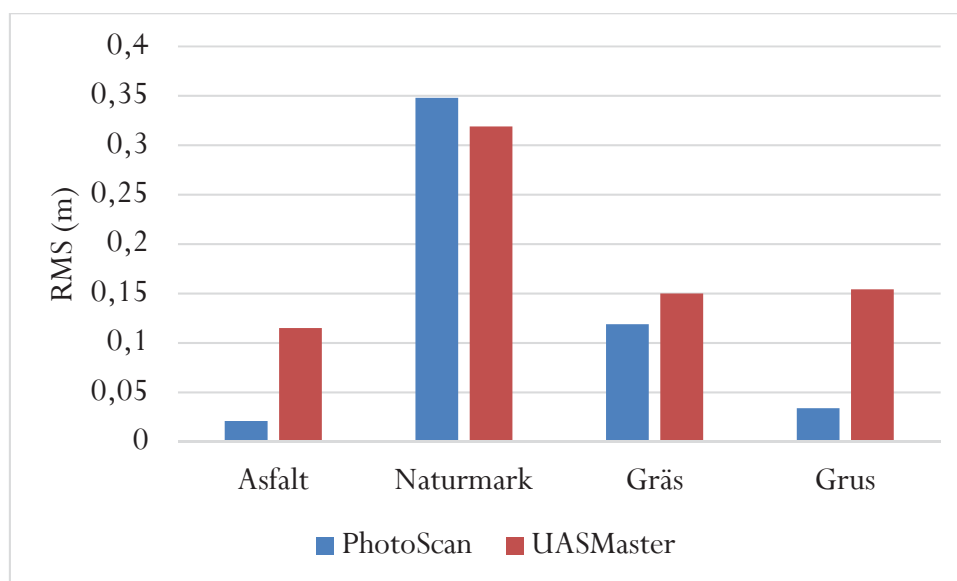
### 4.3.3 Resultat av punktmoln producerat med PhotoScan och UASMaster

I Figur 11 presenteras en jämförelse av medelavvikelsen för de båda punktmolnen producerat med PhotoScan (blå) och UASMaster (röd) utifrån kontrollprofiler som representerar de olika marktyperna.



Figur 11. Medelavvikelsen för varje separat marktyp producerat från de olika programvarorna PhotoScan och UASMaster.

I Figur 12 presenteras en jämförelse av RMS-värden från de olika punktmolnen utifrån varje separat marktyp, där kontrollprofiler som representerar lika marktyp adderats samman.



Figur 12. RMS-värden för varje separat marktyp producerat från de olika programvarorna PhotoScan och UASMaster.

## 5 Diskussion

Mätosäkerheten för terrängmodellerna producerat med Smartplanes S1C, Dji Phantom 4 PRO och laserskanning från flygplan visar en tydlig skillnad mellan de olika insamlingsmetoderna. Dels skiljer sig terrängmodellernas mätosäkerhet från de olika UAS-systemen åt men samtidigt visade studien att laserskanning från flygplan uppnådde lägst mätosäkerhet och klarade samtliga krav för varje enskild marktyp vid detaljprojektering enligt SIS-TS 201144:2016 Tabell 6. Vid jämförelse av de olika UAS-systemen visade resultatet att de båda terrängmodellerna klarade kraven för hårdgjord yta, asfalt, vid detaljprojektering för varje separat marktyp. Dessutom klarade terrängmodellen producerat med Smartplanes kravet för marktypen grus medan terrängmodellen från Dji Phantom inte kunde testas mot grusytan eftersom en komplett terrängmodell saknades för detta område. Resultatet från studien styrker Reshetyuk och Mårtensson (2016) konstaterande att det är möjligt att producera en terrängmodell på plana och hårdgjorda ytor med UAS som uppnår lägre höjdosäkerhet än 0,02 m. Däremot visade resultatet att ingen av terrängmodellerna producerad med UAS klarade kraven för naturmark, där medelavvikelsen i höjd fastställdes till 0,338 m för Smartplanes och 0,206 m för Dji Phantom. Trots att inget av systemen klarade kravet visar resultatet att Dji Phantom uppnådde en betydligt lägre mätosäkerhet för naturmark.

Resultatet visar att terrängmodellen producerat med Dji Phantom uppnår lägre mätosäkerheter än terrängmodellen framtagen med Smartplanes. Vad som är orsaken till detta har varit svårt att fastställa. Påverkande faktorer kan dels vara att flyghöjderna skiljer sig markant mellan flygningarna men även att flygsignalernas storlek inte anpassades till flyghöjderna. Som Reshetyuk och Mårtensson (2016) fastställt borde flygsignalerna anpassats till flyghöjden när de kunnat konstatera att det har en inverkan på mätosäkerheten, även om de menar att denna inverkan är liten. Flygsignalernas storlek var 20 x 20 cm för Smartplanes och 30 x 30 cm för Dji Phantom trots att flyghöjderna var 174 m (Smartplanes) respektive 80 m (Dji Phantom). Däremot anser vi att själva flyghöjderna har en större inverkan på mätosäkerheten än att flygsignalerna inte anpassades. Detta med anledning att en lägre flyghöjd resulterar i ökad detaljrikedomen i bilderna, vilket vi tror påverkar hela arbetsprocessen och slutresultatet likt Tziavou et al. (2018) studie. Något som även skilde mellan flygningarna var inmätningstiden av flygsignaler. För Smartplanes tillämpades inmätning med nätverks-RTK på 30 sekunder medan flygsignalerna för Dji Phantom mättes in med samma metod fast med ett minimum på 6 sekunder. Att inmätningstiden av flygsignalerna skilde är inget vi anser haft inverkan på resultatet då majoriteten av Dji Phantoms flygsignaler mättes in under en längre tid än 6 sekunder då denna tid är ett minimum.

Ytterligare parametrar som vi anser påverkat mätosäkerheten för terrängmodellen producerat med Smartplanes är de meteorologiska förhållanden. Under flygningen med Smartplanes var det varierande molnighet med stundvis mycket sol och starka vindar, vilket resulterade i att ljusskillnader och skuggningar uppstod i bilderna. Som Tziavou et al. (2018) nämner kan dåliga väderförhållanden resultera i sämre mätosäkerhet och dessutom leda till försvårad bildmatchning. Hur stor påverkan den växlande molnigheten hade på mätosäkerheten är även det svårt att avgöra. För att styrka Tziavou et al. (2018) har även Wierzbicki et al. (2015) bekräftat att konsekvenserna med sämre väderförhållanden är att motsäkerheterna påverkas negativt eftersom bildmatchningen försvåras då brus ökar i bilderna. Vilket i sin tur har inverkan på vilken mätosäkerhet georefereringen uppnår för punktmolnet och sedan terrängmodellens mätosäkerheter.

Genom att granska medel- och standardavvikelse samt RMS-värdena för de olika terrängmodellerna kan systematiska avvikelser upptäckas. För terrängmodellen producerad med Smartplanes för marktyperna naturmark och gräs kan systematiska avvikelser konstateras då medelavvikelsen är 2 gånger större än standardavvikelsen. Vad orsaken till dessa avvikelser är har varit svårt att konstatera men en hypotes är att data för terrängmodellerna insamlades under hösten år 2017 medan kontrollprofilerna producerades våren år 2018. Man kan anta en betydande skillnad i vegetationen mellan årstiderna, vilket inte är optimalt för studien. Klang (2016) beskriver även hur en systematisk avvikelse kan konstateras och beskriver det enligt följande: "I de fall beräknade värden för RMS och standardavvikelse skiljer sig väsentligt, är standardavvikelse alltid mindre än RMS, beror detta på systematiska avvikelser i mätningarna. En indikation på storleken av de systematiska avvikelserna finner man i dessa fall i medelvärdet" (s. 11).

Vid granskning av punktmolnen från PhotoScan och UASMaster visades en tydlig skillnad i arbetsprocessen. UASMaster klarar till skillnad från PhotoScan inte att skapa nya kamerastationer för bilder utan positioner vid användandet av Area Mapping Anders Hägglund, teknisk support UASMaster (personlig kommunikation, 2018-05-18). Något som skulle kunna motverka förlust av kamerastationer är ett UAS-system som är mer stabilt i luftrummet och inte påverkas av starka vindar. Att UASMaster inte klarade att producera nya kamerastationer är något som skapade problem. Problemet löstes genom att ta dessa stationer från PhotoScan och importera till UASMaster, vilket visar på en brist i programvaran. I övrigt kändes programvarorna likvärdiga i hantering för att få fram ett slutgiltigt resultat, där man stegvis utförde blockutjämnning till färdigt punktmoln i de båda programvarorna. Något vi är medveten om är att företagen önskade att jämförelse och redovisningen av punktmolnen skett med punktmoln som är editerade på bästa sätt. Det är däremot

något som är svårt att uppnå då det kräver väldigt mycket kunskap och tid att specialisera sig inom två programvaror.

Punktmolnet producerat i PhotoScan filtreras med markklassificering och brusreducering medan UASMaster jämfördes efter specificering av klasser som filtrering.

Resultatet visar att jämförelsen mellan punktmolnen mot kontrollprofilerna skiljer sig mellan programvarorna. PhotoScan resulterade i lägre medelavvikelse för asfalt, grus och gräs medan UASMaster hade lägre medelavvikelse för naturmark. Anledningen till att PhotoScan resulterade i bättre punktmoln tror vi dels beror på hur de olika molnen filtrerades. Något som är intressant från punktmolnet producerat med UASMaster är att de hårdgjorda ytorna har en tydlig trend, då både grus och asfalt har negativa medelavvikelser vid varje separat marktyp om ca  $-0,054$  m respektive  $-0,020$  m. Orsaken till detta har varit svårt att hitta men tros bero på filtreringen i programvaran. Det som bekymrar oss är att vid en av asfaltsyterna var medelavvikelsen  $-0,075$  m och när vi tittat närmare på rapporter och script som programvaran producerat under arbetets gång hittar vi inga stora avvikelser i georefereringen eller genereringen av punktmolnet.

Genom att granska medel- och standardavvikelsen för punktmolnet producerad med PhotoScan kan systematiska avvikelser även konstateras för marktyperna gräs och naturmark. Vilket vi inte anser är förvånande då terrängmodellen framställd från dessa bilder och samma programvara även visade på en systematisk avvikelse för dessa marktyper. Något som däremot förvånar är att punktmolnet producerat med UASMaster inte visar på en systematisk avvikelse för någon marktyp. Anledningen till detta tror vi beror på skillnader i programvarorna där en hypotes är att UASMasters algoritmer klarar av att fastställa marknivån bättre än PhotoScan.

## **5.1 Framtida studier**

För att uppnå en mer oberoende studie hade det varit intressant att undersöka skillnaden mellan två olika UAS-system där flygningarna tillämpas från samma flyghöjd och med samma flygsignaler, där flygsignalerna anpassats efter flyghöjden. Vidare vore det intressant om de meteorologiska förhållandena var de samma för flygningarna, för att undvika att parametrar som påverkar mätosäkerheten skiljer sig. Eftersom det visat sig att valet av programvara har inverkan på mätosäkerheten vore det intressant om samma programvara användes för framställning av terrängmodellerna.

## 5.2 Hållbarhet

En förhoppning med studien var att visa att UAS är en alternativ insamlingsmetod för topografisk data. Flertalet fördelar finns med UAS-tekniken då det kan effektivisera arbete men även leda till minskat utsläpp av föroreningar då det är en batteridriven metod. Dessutom orsakar UAS inte oljud och är tillämpligt i utsatta miljöer vilket gör det till en arbetsvänlig metod. Genom ett effektivt och miljösmart framtagande av bland annat projekteringsunderlag bidrar UAS-tekniken till en grönare värld samt möjlighet att återbygga och utveckla samhällen på ett produktivt sätt.



## Slutsats

Utifrån studien kan det konstateras att vid insamling av topografisk data för digitala terrängmodeller är flygburen laserskanning fortsatt den metod som resulterar i lägst mätosäkerhet. Terrängmodellen från laserskanningen klarade samtliga krav för detaljprojektering enligt SIS-TS 21144:2016. Det kan även konstateras att det är möjligt att producera en terrängmodell för vissa marktyper med UAS som klarar kraven för detaljprojektering, dessa marktyper är asfalt- och grusytor. Däremot visar studien att UAS inte är tillämpningsbart för framställning av terrängmodeller för detaljprojektering för marktyperna gräs- och naturmark då dessa ytor inte klarade de ställda kraven.

Studien visar även att olika UAS-system skiljer sig relativt mycket i mätosäkerhet för framtagande av underlag till digitala terrängmodeller. Vad det beror på har inte kunnat konstateras då flertalet parametrar diskuterats.

Vid jämförelse av olika punktmoln visar studien att mätosäkerheterna mellan programvarorna skiljer sig, allra helst för hårdgjorda ytor. Orsaken till det har inte kunnat konstateras men förmodligen är de olika filtreringarna som utförts av stor vikt för dessa skillnader.

I kort är studiens slutsatser följande:

- UAS är tillämpbart vid framställning av digitala terrängmodeller för detaljprojektering för marktyperna asfalt (klass 1) och grus (klass 2) enligt SIS-TS 21144:2016 Tabell 6 då kraven för dessa marktyperna uppnåddes.
- Skillnader i mätosäkerheter finns mellan olika UAS-system vid insamling av data för digitala terrängmodeller. Då det konstaterats att Dji Phantom 4 PRO uppnådde genomgående lägre mätosäkerheter än Smartplanes S1C för marktyperna asfalt, gräs och naturmark.
- Flygburen laserskanning är fortsatt den teknik som resulterar i lägst mätosäkerhet vid insamling av topografisk data för digitala terrängmodeller, då metoden klarade samtliga krav för detaljprojektering enligt SIS-TS 21144:2016 Tabell 6.
- Skillnader i mätosäkerheter finns mellan olika programvaror vid framställning av punktmoln från bilddata. Då det konstaterats att PhotoScan uppnådde lägre medelavvikelse för marktyperna asfalt, grus och gräs medan UASMaster uppnådde bättre resultat för marktypen naturmark.

## Referenslista

Agisoft LLC. (2017). *Agisoft Photoscan User Manual: Professional Edition, Version 1.3*. Russia: Agisoft LLC.

Eisenbeiss, H. (2009). *UAV photogrammetry*. ETH Zürich. Hämtad 3 april, 2018, från <https://doi.org/10.3929/ethz-a-005939264>

Haala, N., Cramer, M., & Rothermel, M. (2013). Quality of 3D point clouds from highly overlapping UAV imagery. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Vol XL-1-W2, Pp 183-188 (2013) VO - XL-1-W2*, 183. Från <https://doi.org/10.5194/isprsarchives-XL-1-W2-183-2013>

Hugenholtz, C. H., Whitehead, K., Brown, O. W., Barchyn, T. E., Moorman, B. J., LeClair, A. & Hamilton, T. (2013). Geomorphological mapping with a small unmanned aircraft system (sUAS): Feature detection and accuracy assessment of a photogrammetrically-derived digital terrain model. *Geomorphology*, 194, 16–24. Från <http://10.0.3.248/j.geomorph.2013.03.023>

INSPIRE Thematic Working Group *Elevation*. (2013). *D2.8.II.1 INSPIRE Data Specification on Elevation – Technical Guidelines*. Hämtad 5 maj, år 2018, från [http://inspire.ec.europa.eu/documents/Data\\_Specifications/INSPIRE\\_DataSpecification\\_EL\\_v3.0.pdf](http://inspire.ec.europa.eu/documents/Data_Specifications/INSPIRE_DataSpecification_EL_v3.0.pdf)

Klang, D. (2006). Geodesi och Geografiska informationssystem: *KRIS-GIS projekt i Eskilstuna Kvalitet i höjdm modeller*. (ISSN 0280-5731) Gävle: Lantmäteriverket. Hämtad 20 maj, 2018 ,från [https://www.lantmateriet.se/globalassets/kartor-och-geografisk-information/gps-och-matning/geodesi/rapporter\\_publicationer/rapporter/lmv-rapport\\_2006\\_4\\_krisgis\\_eskilstuna.pdf](https://www.lantmateriet.se/globalassets/kartor-och-geografisk-information/gps-och-matning/geodesi/rapporter_publicationer/rapporter/lmv-rapport_2006_4_krisgis_eskilstuna.pdf)

Mårtensson, S. G., & Reshetyuk, Y. (2017). Height uncertainty in digital terrain modelling with unmanned aircraft systems. *Survey Review*, 49(355), 312–318. <https://doi.org/10.1080/00396265.2016.1180754>

Mårtensson, S.-G., & Reshetyuk, Y. (2015). *Noggrann och kostnadseffektiv uppdatering av DTM med UAS för BIM. Rapport [Trafikverket] NV - 2015:030* (p. 50). Retrieved from <http://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:hig:diva-21409>

Nordkvist, K., & Olsson, H. (2013). *Laserskanning och digital fotogrammetri i skogsbruket*. (arbetsrapport 388) Umeå: Insituationen för skoglig resurshållning Sveriges lantbruksuniversitet

Persson, M., & Gunnarsson, T. (2013). *Stödpunkters inverkan på osäkerheten vid georeferering av bilder tagna med UAS*. Department of Industrial Development, IT and Land Management, Faculty of Engineering and Sustainable Development, University of Gävle. Från <http://hig.diva-portal.org/smash/get/diva2:628351/FULLTEXT01.pdf>

Reshetyuk, Y., & Martensson, S-G. (2016). Generation of Highly Accurate Digital Elevation Models with Unmanned Aerial Vehicles. *Photogrammetric Record VO - 31*, (154), 143. <https://doi.org/10.1111/phor.12143>

SIS-TS 21144:2016. Byggmätning – Specifikationer vid framställning och kontroll av digitala markmodeller. Stockholm: SIS Förlag AB

Smartplanes (u.å.) *Repeat aerial survey of a mining site in Kiruna, Sweden*. Hämtad 10 april, 2018, från Smartplanes, <http://smartplanes.com/wp-content/uploads/Kirunavaara-mining-site-survey.-1.pdf>

Smith, M. W., & Vericat, D. (2015). From experimental plots to experimental landscapes: Topography, erosion and deposition in sub-humid badlands from Structure-from-Motion photogrammetry. *Earth Surface Processes and Landforms*, 40(12), 1656–1671. <https://doi.org/10.1002/esp.3747>

Terrasolid. (2016). *TerraScan User's Guide: for the 32-bit version of TerraScan*. Hämtad 7 maj, år 2018, från <https://www.terrasolid.com/download/tscan.pdf>

Themistocleous, K., Agapiou, A., & Hadjimitsis, D. (2016). 3D documentation and BIM modeling of cultural heritage structures using UAVs: The case of the Foinikaria church. In *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences - ISPRS Archives* (Vol. 42, pp. 45–49). International Society for Photogrammetry and Remote Sensing. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-2-W2-45-2016>

Trafikverket. (2012). *Underlag till metodbeskrivning RUFRI* (Publikationsnummer 2012:210)

Trimble. (2018). *UAS Master 9.0:Reference Manual*. Germany: Trimble.

TSFS. (2017:110). *Transportstyrelsens föreskrifter om obemannade luftfartyg*. Norrköping: Transportstyrelsen

Tziavou, O., Pytharouli, S., & Souter, J. (2018). Unmanned Aerial Vehicle (UAV) based mapping in *engineering geological* surveys: Considerations for optimum results. *Engineering Geology*, 232, 12–21. <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2017.11.004>

Watts, A. C., Ambrosia, V. G. & Hinkley, E. A. (2012). Unmanned Aircraft Systems in Remote Sensing and Scientific Research: Classification and Considerations of Use. *Remote Sensing*. <https://doi.org/10.3390/rs4061671>

Wierzbicki, D., Kedzierski, M. & Fryskowska, A. (2015). Assessment of the influence of uav image quality on the orthophoto production. *ISPRS - International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XL-1/W4, 1–8. <https://doi.org/10.5194/isprsarchives-XL-1-W4-1-2015>

## Bilaga A: Tabell 6 från SIS-TS 21144:2016

Tabell 1. Nedan visas Tabell 6 från SIS-TS 21144:2016, där klass 1-3 är av intresse i studien eftersom dessa klasser redovisar kraven för detaljprojektering på olika marktytor.

<b>Klass</b>	<b>Maximal medelavvikelse i höjd meter</b>	<b>Användningsområde</b>
1	0,02	Detaljprojektering för bygghandling väg och järnväg samt mängdberäkning på noggrant inmätta hårdgjorda ytor
2	0,05	Detaljprojektering för bygghandling väg och järnväg med befintliga bangårdar och spår och övriga byggnadsverk samt mängdberäkning på jämna marktytor
3	0,10	Detaljprojektering för bygghandling väg, järnväg och övriga byggnadsverk samt mängdberäkning på övriga ytor och järnvägsbank. Underlag för relationshandling vid terrester komplettering av modell samt upprättande av bergmodell
4	0,15	Projekteringsunderlag för väg- och järnvägsplan (samrådshandling) och systemhandling järnväg i jämn terräng
5	0,20	Underlag för väg- och järnvägsplan (samrådshandling) och systemhandling järnväg i ojämn och kuperad terräng
6	0,30	Översiktlig projektering i jämn terräng. Väg- och järnvägsutredning i och i närheten av samhällen
7	0,50	Översiktlig projektering i ojämn och kuperad terräng. Väg- och järnvägsutredning i allmänhet
8	1,0	Förstudier i och i närheten av samhällen
9	2,0	Förstudier i allmänhet
10	3,0	Lokaliseringsöversikter

## Bilaga B: Kontrollprofilernas lokalisering

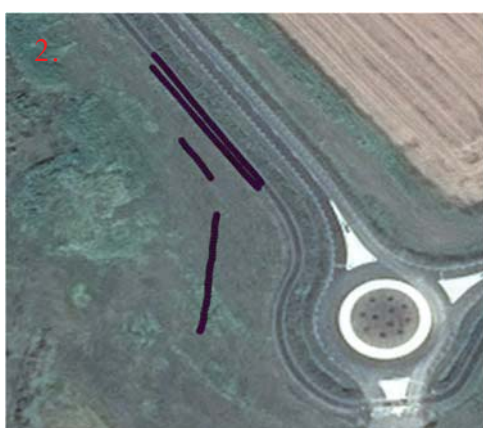
Nedan i Figur 1 presenteras en grafisk vy över studieområdet med samma lokalisering som Figur 1 från kapitel 3.1. I Figur 2, 3 och 4 nedan presenteras förstoringar över dessa områden från Figur 1 där varje kontrollprofil presenteras tydligare.



Figur 1. Det aktuella studieområdet med samtliga kontrollprofiler över områdena 1, 2 och 3.  
Bilden hämtad från GOOGLE-EARTH 2018 04 15.



Figur 2. Den första stationsuppställningen över område 1 där de tre första kontrollprofilerna producerades.  
Bilden hämtad från GOOGLE-EARTH 2018 04 15.



Figur 3. Den andra stationsuppställningen över område 2 där tre kontrollprofiler producerades.  
Bilden hämtad från GOOGLE-EARTH 2018 04 15.



Figur 4. Den tredje stationsuppställningen över område 3 där tre kontrollprofiler producerades.  
Bilden hämtad från GOOGLE-EARTH 2018 04 15.

## Bilaga C: Stationsetablering med RUFRIIS

Nedan presenteras bakåtobjekten för de fria stationsetableringarna med RUFRIIS-metoden. Det tillämpade referenssystemet var SWEREF 99 16 30 och höjdsystemet RH2000\_OSTL. Samtliga värden presenteras i enheten meter.

Kontroll av känt bakåtobjekt som mättes in före och efter mätningarna presenteras längst ner på varje sida.

Fri station med GNSS

Skapad: 2018-04-06

Station:	RF1	Koordinat	StdAvv
Sparad i fil:		X: 6 502 009,6348	sR: 0.002
Grundmedelfel:	0.45	Y: 133 428,7170	sO: 0.00155007
Atm. ppm	0.00	Z: 5.350	sZ: 0.002
Geom. ppm	0.00		

A priori standardavvikelse:

Längder: 3.000 + 3,0000 ppm

Riktningar: 0.00060000

Bakrikter

Punkt	Horisontell residual	Höjdresidual
GNSS1	0.003	0.014
GNSS2	0.002	-0.013
GNSS3	0.003	-0.003
GNSS4	0.005	0.009
GNSS5	0.003	0.006
GNSS6	0.005	0.010
GNSS7	0.003	-0.005
GNSS8	0.006	0.000
GNSS9	0.004	-0.003
GNSS10	0.008	-0.002
GNSS11	0.009	-0.009
GNSS12	0.002	-0.006
GNSS13	0.001	0.002
GNSS14	0.009	-0.006
GNSS15	0.004	0.007
GNSS16	0.004	-0.006
GNSS17	0.004	0.001
GNSS18	0.003	-0.001

Kontroll mot känt bakåtobjekt:

Kontrollpunkter

Skapad: 2018-04-06

Inmättningsfil: 180404\_1401.plm

Punkt	Station	X-Differens	Y-Differens	Z-Differens
CBS2	RF1	0.0001	-0.0001	0.000

Station:	RF2	Koordinat	StdAvv
Sparad i fil:		X: 6 502 640,9280	sR: 0.003
Grundmedelfel:	0.38	Y: 133 212,1777	sO: 0.00157841
Atm. ppm	0.00	Z: 12.317	sZ: 0.001
Geom. ppm	0.00		

A priori standardavvikelse:

Längder: 3.000 + 3,0000 ppm

Riktningar: 0.00060000

Bakrikter

Punkt	Horisontell residual	Höjdsresidual
GNSS1	0.006	-0.001
GNSS2	0.007	0.001
GNSS3	0.002	-0.006
GNSS4	0.004	-0.002
GNSS5	0.003	-0.001
GNSS6	0.003	-0.005
GNSS7	0.005	0.007
GNSS8	0.002	0.003
GNSS9	0.003	0.007
GNSS10	0.003	0.000
GNSS11	0.005	-0.003
GNSS12	0.003	0.004
GNSS13	0.002	-0.002
GNSS14	0.004	0.002
GNSS15	0.005	-0.007

Kontroll mot känt bakåttobjekt:

Kontrollpunkter

Skapad: 2018-04-06

Inmättningsfil: 180404\_1537.plm

Punkt	Station	X-Differens	Y-Differens	Z-Differens
CBS1	RF2	0.0001	0.0003	0.000



Station:	RF3	Koordinat	StdAvv
Sparad i fil:		X: 6 502 905,978	sR: 0.003
Grundmedelfel:	0.54	Y: 133 000,266	sO: 0.00156010
Atm. ppm	0.00	Z: 13.568	sZ: 0.001
Geom. ppm	0.00		

A priori standardavvikelse:

Längder: 3.000 + 3,000 ppm

Riktningar: 0.00060000

Bakrikter

Punkt	Horisontell residual	Höjdresidual
GNSS1	0.005	0.003
GNSS2	0.005	-0.002
GNSS3	0.010	-0.011
GNSS4	0.004	-0.001
GNSS5	0.001	0.006
GNSS6	0.005	-0.001
GNSS7	0.012	-0.007
GNSS8	0.006	0.002
GNSS9	0.002	0.001
GNSS10	0.007	0.001
GNSS11	0.009	0.002
GNSS12	0.007	0.009
GNSS13	0.002	0.007
GNSS14	0.001	-0.003
GNSS15	0.003	-0.007

Kontroll mot känt bakåttobjekt:

Kontrollpunkter

Skapad: 2018-04-06

Inmättningsfil: 180404\_1646.plm

Punkt	Station	X-Differens	Y-Differens	Z-Differens
CBS1	RF3	0.001	0.001	0.000

## Bilaga D: Koordinater för kontrollprofiler

Samtliga kontrollprofiler nedan är inmätta i koordinatsystemet SWEREF 99 16 30 samt i höjdsystemet RH 2000\_OSTL.

### Kontrollprofil 1 asfalt (i enheten meter):

Nr	N	E	H
1.01	6 502 001,958	133 355,189	4,207
1.02	6 502 002,160	133 356,275	4,202
1.03	6 502 002,377	133 357,397	4,200
1.04	6 502 002,666	133 358,458	4,193
1.05	6 502 002,954	133 359,456	4,187
1.06	6 502 003,192	133 360,436	4,179
1.07	6 502 003,293	133 361,566	4,173
1.08	6 502 003,516	133 362,577	4,161
1.09	6 502 003,814	133 363,617	4,148
1.10	6 502 003,969	133 364,619	4,137
1.11	6 502 004,134	133 365,654	4,126
1.12	6 502 004,335	133 366,618	4,118
1.13	6 502 004,520	133 367,528	4,112
1.14	6 502 004,748	133 368,552	4,103
1.15	6 502 004,955	133 369,501	4,099
1.16	6 502 005,151	133 370,434	4,090
1.17	6 502 005,313	133 371,260	4,087
1.18	6 502 005,497	133 372,144	4,084
1.19	6 502 005,692	133 373,015	4,080
1.20	6 502 005,867	133 373,855	4,076
1.21	6 502 005,984	133 374,701	4,078
1.22	6 502 006,244	133 375,629	4,071
1.23	6 502 006,486	133 376,480	4,065
1.24	6 502 006,684	133 377,506	4,062
1.25	6 502 006,911	133 378,399	4,056
1.26	6 502 007,090	133 379,237	4,056
1.27	6 502 007,306	133 380,285	4,051
1.28	6 502 007,562	133 381,246	4,049
1.29	6 502 007,754	133 382,110	4,046
1.30	6 502 007,973	133 382,880	4,043
1.31	6 502 008,190	133 383,842	4,041
1.32	6 502 008,357	133 384,769	4,039
1.33	6 502 008,556	133 385,607	4,037
1.34	6 502 008,765	133 386,470	4,039
1.35	6 502 009,007	133 387,429	4,033
1.36	6 502 009,189	133 388,338	4,034
1.37	6 502 009,348	133 389,199	4,032

Nr	N	E	H
1.38	6 502 009,578	133 390,189	4,030
1.39	6 502 009,720	133 391,200	4,031
1.40	6 502 009,934	133 392,157	4,033
1.41	6 502 010,085	133 393,028	4,034
1.42	6 502 010,321	133 393,957	4,034
1.43	6 502 010,538	133 395,038	4,034
1.44	6 502 010,768	133 395,924	4,033
1.45	6 502 010,994	133 396,868	4,033
1.46	6 502 011,144	133 397,675	4,034
1.47	6 502 011,261	133 398,537	4,032
1.48	6 502 011,439	133 399,461	4,033
1.49	6 502 011,592	133 400,378	4,030
1.50	6 502 011,689	133 401,315	4,026
1.51	6 502 011,874	133 402,171	4,025
1.52	6 502 012,027	133 403,109	4,021
1.53	6 502 012,208	133 404,015	4,015
1.54	6 502 012,830	133 404,741	4,017
1.55	6 502 013,005	133 405,820	4,013
1.56	6 502 013,184	133 406,956	4,006
1.57	6 502 013,388	133 407,947	4,002
1.58	6 502 013,609	133 408,834	3,998
1.59	6 502 013,766	133 409,773	3,992
1.60	6 502 013,853	133 410,829	3,985
1.61	6 502 013,924	133 411,801	3,976
1.62	6 502 014,153	133 412,873	3,971
1.63	6 502 014,361	133 413,853	3,966
1.64	6 502 014,507	133 414,663	3,962

**Kontrollprofil 2 asfalt (i enheten meter):**

Nr	N	E	H
1.01	6502662,918	133200,941	10,613
1.02	6502663,804	133200,102	10,611
1.03	6502664,758	133199,316	10,605
1.04	6502665,694	133198,463	10,602
1.05	6502666,643	133197,728	10,602
1.06	6502667,661	133196,948	10,602
1.07	6502668,563	133196,132	10,602
1.08	6502669,613	133195,386	10,596
1.09	6502670,564	133194,635	10,591
1.10	6502671,436	133194,029	10,584
1.11	6502672,400	133193,304	10,579
1.12	6502673,229	133192,669	10,574
1.13	6502674,282	133191,868	10,565
1.14	6502675,138	133191,200	10,565
1.15	6502676,051	133190,505	10,560
1.16	6502676,907	133189,784	10,560
1.17	6502677,783	133189,112	10,554
1.18	6502678,796	133188,378	10,548
1.19	6502679,730	133187,633	10,549
1.20	6502680,752	133186,825	10,542
1.21	6502681,675	133186,022	10,538
1.22	6502682,699	133185,255	10,533
1.23	6502683,950	133184,290	10,525
1.24	6502685,136	133183,402	10,520
1.25	6502686,345	133182,391	10,511
1.26	6502687,424	133181,659	10,503
1.27	6502688,474	133180,875	10,495
1.28	6502689,320	133180,241	10,493
1.29	6502690,188	133179,564	10,490
1.30	6502691,063	133178,847	10,482
1.31	6502691,993	133178,132	10,477
1.32	6502693,341	133177,199	10,465
1.33	6502694,599	133176,139	10,473
1.34	6502696,050	133175,107	10,467
1.35	6502697,491	133173,944	10,468
1.36	6502698,881	133172,889	10,460
1.37	6502700,486	133171,720	10,451
1.38	6502702,033	133170,628	10,441
1.39	6502702,966	133169,875	10,438
1.40	6502703,996	133169,064	10,437
1.41	6502705,369	133168,097	10,428
1.42	6502706,555	133167,061	10,424

Nr	N	E	H
1.43	6502707,801	133166,131	10,416
1.44	6502709,062	133165,177	10,407
1.45	6502710,042	133164,378	10,405
1.46	6502711,317	133163,423	10,396
1.47	6502712,223	133162,812	10,393
1.48	6502713,328	133161,983	10,387
1.49	6502714,222	133161,263	10,381
1.50	6502715,035	133160,678	10,377

**Kontrollprofil 3 asfalt (i enheten meter):**

Nr	N	E	H
1.01	6502836,730	133067,705	10,571
1.02	6502837,938	133066,780	10,587
1.03	6502839,063	133065,852	10,597
1.04	6502840,081	133065,054	10,608
1.05	6502841,138	133064,109	10,630
1.06	6502842,003	133063,272	10,659
1.07	6502842,849	133062,351	10,694
1.08	6502843,978	133061,050	10,739
1.09	6502845,056	133059,696	10,788
1.10	6502846,029	133058,344	10,835
1.11	6502847,043	133056,676	10,893
1.12	6502847,942	133055,055	10,948
1.13	6502848,407	133053,987	10,976
1.14	6502848,965	133052,785	11,013
1.15	6502849,556	133051,340	11,068
1.16	6502850,035	133050,030	11,119
1.17	6502850,484	133048,823	11,165
1.18	6502850,798	133047,387	11,223
1.19	6502851,105	133045,917	11,280
1.20	6502851,473	133044,520	11,332
1.21	6502851,695	133042,918	11,396
1.22	6502851,878	133041,693	11,440
1.23	6502851,978	133040,424	11,485
1.24	6502851,995	133039,193	11,525
1.25	6502852,150	133037,954	11,559
1.26	6502852,215	133036,490	11,605
1.27	6502852,254	133035,412	11,637
1.28	6502852,303	133034,105	11,678
1.29	6502852,467	133032,929	11,714
1.30	6502852,676	133031,589	11,749
1.31	6502852,807	133030,178	11,791
1.32	6502852,971	133028,911	11,830
1.33	6502853,155	133027,536	11,875
1.34	6502853,381	133026,103	11,919
1.35	6502853,725	133024,714	11,962
1.36	6502853,987	133023,457	11,997
1.37	6502854,220	133022,312	12,027
1.38	6502854,460	133021,297	12,055
1.39	6502854,887	133019,788	12,103
1.40	6502855,024	133018,089	12,154
1.41	6502855,504	133017,231	12,179
1.42	6502855,878	133016,359	12,206

Nr	N	E	H
1.43	6502856,269	133015,439	12,236
1.44	6502856,673	133014,375	12,277
1.45	6502857,127	133013,535	12,312
1.46	6502857,546	133012,564	12,355
1.47	6502858,071	133011,493	12,400

**Kontrollprofil 1 Grus (i enheten meter):**

Nr	N	E	H
1.01	6502006,683	133427,191	3,726
1.02	6502005,615	133426,873	3,733
1.03	6502004,373	133426,520	3,735
1.04	6502003,161	133426,168	3,729
1.05	6502002,088	133425,996	3,713
1.06	6502001,021	133425,859	3,699
1.07	6501999,979	133425,651	3,682
1.08	6501998,876	133425,391	3,673
1.09	6501997,778	133425,212	3,676
1.10	6501996,721	133425,128	3,683
1.11	6501995,722	133424,975	3,676
1.12	6501994,631	133424,659	3,649
1.13	6501993,516	133424,223	3,621
1.14	6501992,464	133423,830	3,589
1.15	6501991,304	133423,438	3,586
1.16	6501990,318	133423,172	3,584
1.17	6501989,203	133422,745	3,577
1.18	6501988,104	133422,290	3,560
1.19	6501986,975	133421,862	3,550
1.20	6501985,763	133421,340	3,534
1.21	6501984,611	133420,822	3,511
1.22	6501983,407	133420,415	3,492
1.23	6501982,288	133420,052	3,453
1.24	6501981,283	133419,703	3,406
1.25	6501980,346	133419,293	3,414
1.26	6501979,385	133418,845	3,391
1.27	6501978,324	133418,445	3,360
1.28	6501977,277	133417,862	3,318
1.29	6501976,195	133417,377	3,314
1.30	6501975,123	133417,073	3,267
1.31	6501974,109	133416,656	3,221
1.32	6501973,149	133416,159	3,205
1.33	6501972,084	133415,774	3,169
1.34	6501970,980	133415,483	3,155
1.35	6501969,845	133414,975	3,106
1.36	6501968,747	133414,657	3,084
1.37	6501967,633	133414,153	3,069
1.38	6501966,520	133413,654	3,052
1.39	6501965,492	133413,256	3,038
1.40	6501964,444	133412,818	3,014
1.41	6501963,510	133412,426	3,005

### Kontrollprofil 2 gräs (i enheten meter):

Nr	N	E	H
1.01	6502720,856	133160,687	9,839
1.02	6502719,583	133161,620	9,839
1.03	6502718,580	133162,473	9,833
1.04	6502717,460	133163,316	9,864
1.05	6502716,404	133164,089	9,896
1.06	6502715,236	133164,980	9,888
1.07	6502714,048	133165,866	9,856
1.08	6502713,017	133166,558	9,887
1.09	6502712,116	133167,207	9,927
1.10	6502711,152	133167,927	9,919
1.11	6502709,926	133168,848	9,908
1.12	6502708,597	133169,789	9,954
1.13	6502707,282	133170,641	10,020
1.14	6502706,167	133171,493	10,028
1.15	6502704,982	133172,302	10,060
1.16	6502703,762	133173,171	10,082
1.17	6502702,625	133173,939	10,084
1.18	6502701,485	133174,703	10,095
1.19	6502700,289	133175,574	10,141
1.20	6502699,081	133176,475	10,102
1.21	6502697,831	133177,363	10,155
1.22	6502696,537	133178,370	10,202
1.23	6502695,311	133179,301	10,168
1.24	6502694,196	133180,082	10,196
1.25	6502692,792	133181,082	10,182
1.26	6502691,498	133181,975	10,220
1.27	6502690,184	133183,015	10,208
1.28	6502689,007	133183,906	10,220
1.29	6502687,951	133184,669	10,247
1.30	6502686,675	133185,628	10,240
1.31	6502685,484	133186,609	10,244
1.32	6502684,176	133187,502	10,261
1.33	6502682,895	133188,426	10,281
1.34	6502681,397	133189,456	10,316
1.35	6502680,250	133190,329	10,299
1.36	6502679,107	133191,233	10,305
1.37	6502677,955	133192,220	10,307
1.38	6502676,691	133193,176	10,286
1.39	6502675,583	133193,946	10,284
1.40	6502674,326	133194,915	10,308
1.41	6502673,115	133195,797	10,327

Nr	N	E	H
1.42	6502673,118	133195,791	10,320
1.43	6502671,916	133196,766	10,360
1.44	6502671,020	133197,499	10,363
1.45	6502670,028	133198,225	10,361
1.46	6502669,029	133199,072	10,357
1.47	6502667,985	133199,806	10,370
1.48	6502666,882	133200,565	10,373
1.49	6502665,999	133201,157	10,382
1.50	6502664,969	133201,823	10,415

**Kontrollprofil 3 gräs (i enheten meter):**

Nr	N	E	H
1.01	6502865,762	132982,328	13,269
1.02	6502866,354	132983,399	13,090
1.03	6502866,983	132984,242	13,030
1.04	6502867,573	132984,989	12,956
1.05	6502868,207	132985,889	12,937
1.06	6502868,868	132986,666	12,822
1.07	6502869,414	132987,392	12,756
1.08	6502870,036	132988,339	12,669
1.09	6502870,539	132989,299	12,658
1.10	6502870,877	132990,093	12,600
1.11	6502871,009	132991,173	12,611
1.12	6502871,098	132992,258	12,636
1.13	6502871,027	132993,342	12,611
1.14	6502870,923	132994,300	12,629
1.15	6502870,659	132995,503	12,574
1.16	6502870,456	132996,373	12,540
1.17	6502870,258	132997,214	12,488
1.18	6502870,022	132998,019	12,418
1.19	6502869,537	132998,982	12,389
1.20	6502869,165	133000,019	12,331
1.21	6502868,633	133000,977	12,285
1.22	6502867,996	133001,928	12,258
1.23	6502867,422	133002,870	12,221
1.24	6502866,907	133003,648	12,211
1.25	6502866,331	133004,503	12,201
1.26	6502865,782	133005,374	12,154
1.27	6502865,157	133006,294	12,132
1.28	6502864,591	133007,201	12,140
1.29	6502864,015	133008,206	12,118
1.30	6502863,444	133009,374	12,039
1.31	6502863,013	133010,228	11,990
1.32	6502862,581	133011,128	11,946
1.33	6502862,048	133012,021	11,929
1.34	6502861,584	133012,878	11,913
1.35	6502861,171	133013,757	11,869
1.36	6502860,807	133014,529	11,862
1.37	6502860,415	133015,344	11,814
1.38	6502859,966	133016,575	11,770
1.39	6502859,613	133017,496	11,741
1.40	6502859,240	133018,529	11,720
1.41	6502858,807	133019,755	11,706
1.42	6502858,367	133021,226	11,657

Nr	N	E	H
1.43	6502858,053	133022,465	11,643
1.44	6502857,691	133023,599	11,626
1.45	6502857,386	133024,676	11,592
1.46	6502857,115	133025,722	11,571
1.47	6502856,847	133026,838	11,542
1.48	6502856,563	133027,897	11,491
1.49	6502856,284	133029,052	11,481
1.50	6502856,171	133030,135	11,434
1.51	6502855,997	133031,164	11,393

**Kontrollprofil 1 naturmark (i enheten meter):**

Nr	N	E	H
1.01	6502024,975	133359,862	3,941
1.02	6502025,219	133361,718	3,895
1.03	6502025,649	133363,179	3,898
1.04	6502025,990	133364,477	3,892
1.05	6502026,340	133365,781	3,873
1.06	6502026,510	133367,135	3,884
1.07	6502026,923	133368,484	3,908
1.08	6502027,185	133369,829	3,910
1.09	6502027,505	133371,085	3,899
1.10	6502027,893	133372,212	3,882
1.11	6502028,184	133373,301	3,902
1.12	6502028,508	133374,546	3,905
1.13	6502028,987	133375,803	3,914
1.14	6502029,400	133377,247	3,932
1.15	6502029,746	133378,413	3,910
1.16	6502030,184	133379,683	3,901
1.17	6502030,492	133380,883	3,905
1.18	6502030,747	133382,016	3,865
1.19	6502030,986	133383,200	3,845
1.20	6502031,236	133384,413	3,860
1.21	6502031,443	133385,638	3,864
1.22	6502031,724	133386,929	3,825
1.23	6502031,892	133388,211	3,819
1.24	6502032,022	133389,455	3,824
1.25	6502032,115	133390,658	3,837
1.26	6502032,119	133391,857	3,866
1.27	6502032,102	133392,595	3,840
1.28	6502032,130	133393,889	3,822
1.29	6502032,335	133394,950	3,818
1.30	6502032,488	133396,162	3,813
1.31	6502032,594	133397,261	3,794
1.32	6502032,701	133398,387	3,819
1.33	6502032,828	133399,601	3,771
1.34	6502032,986	133400,841	3,748
1.35	6502033,126	133401,898	3,721
1.36	6502033,385	133403,174	3,745
1.37	6502033,507	133404,221	3,707
1.38	6502033,710	133405,312	3,714
1.39	6502033,745	133406,467	3,707
1.40	6502033,788	133407,533	3,705
1.41	6502033,825	133408,426	3,667
1.42	6502033,885	133409,383	3,628



**Kontrollprofil 2 naturmark (i enheten meter):**

Nr	N	E	H
1.01	6502608,565	133186,663	10,728
1.02	6502609,973	133187,006	10,739
1.03	6502611,583	133187,272	10,777
1.04	6502613,012	133187,422	10,776
1.05	6502614,633	133187,336	10,831
1.06	6502616,460	133187,509	10,870
1.07	6502618,009	133187,740	10,887
1.08	6502619,448	133187,839	10,904
1.09	6502621,082	133187,913	10,906
1.10	6502622,865	133187,869	10,894
1.11	6502624,190	133187,775	10,854
1.12	6502625,450	133187,696	10,866
1.13	6502626,644	133187,753	10,867
1.14	6502628,152	133187,772	10,912
1.15	6502629,788	133187,673	10,930
1.16	6502631,023	133187,677	10,943
1.17	6502632,336	133187,762	10,914
1.18	6502633,672	133187,914	10,888
1.19	6502634,932	133188,139	10,871
1.20	6502636,256	133188,141	10,857
1.21	6502637,601	133188,062	10,842
1.22	6502638,876	133187,924	10,854
1.23	6502640,215	133187,931	10,863
1.24	6502641,586	133187,992	10,821
1.25	6502643,085	133188,092	10,809
1.26	6502644,391	133188,171	10,742
1.27	6502645,796	133188,009	10,748
1.28	6502647,041	133187,941	10,735
1.29	6502648,345	133187,945	10,746
1.30	6502649,572	133188,001	10,741
1.31	6502650,832	133188,155	10,701
1.32	6502652,026	133188,210	10,710
1.33	6502666,866	133185,032	10,528
1.34	6502667,968	133184,407	10,535
1.35	6502669,091	133183,620	10,546
1.36	6502670,337	133182,778	10,536
1.37	6502671,627	133182,018	10,540
1.38	6502672,571	133181,294	10,499
1.39	6502673,735	133180,510	10,498
1.40	6502674,809	133179,813	10,485
1.41	6502675,777	133179,006	10,480
1.42	6502676,817	133178,137	10,465

Nr	X	Y	Z
1.43	6502677,907	133177,236	10,467
1.44	6502678,618	133176,691	10,451
1.45	6502679,535	133175,905	10,442
1.46	6502680,495	133175,275	10,481
1.47	6502681,536	133174,580	10,468
1.48	6502682,490	133174,002	10,420

**Kontrollprofil 3 naturmark (i enheten meter):**

Nr	N	E	H
1.01	6502793,359	133092,359	10,320
1.02	6502794,078	133091,617	10,346
1.03	6502794,829	133090,896	10,352
1.04	6502795,692	133090,208	10,355
1.05	6502796,549	133089,486	10,435
1.06	6502797,608	133088,814	10,392
1.07	6502798,436	133088,281	10,405
1.08	6502799,465	133087,650	10,410
1.09	6502800,043	133086,994	10,340
1.10	6502800,837	133086,294	10,297
1.11	6502801,719	133085,613	10,274
1.12	6502802,657	133084,957	10,294
1.13	6502803,464	133084,410	10,286
1.14	6502804,314	133083,816	10,298
1.15	6502805,000	133083,210	10,296
1.16	6502805,649	133082,643	10,322
1.17	6502806,528	133082,055	10,320
1.18	6502807,378	133081,463	10,303
1.19	6502808,424	133080,772	10,292
1.20	6502809,255	133080,229	10,281
1.21	6502810,071	133079,572	10,277
1.22	6502810,892	133078,987	10,275
1.23	6502811,745	133078,384	10,281
1.24	6502812,521	133077,847	10,237
1.25	6502813,229	133077,246	10,246
1.26	6502813,998	133076,636	10,235
1.27	6502814,710	133075,728	10,217
1.28	6502815,320	133075,043	10,257
1.29	6502815,969	133074,308	10,276
1.30	6502816,746	133073,639	10,268
1.31	6502817,558	133073,045	10,222
1.32	6502818,388	133072,488	10,244
1.33	6502819,267	133071,861	10,269
1.34	6502820,064	133071,273	10,278
1.35	6502820,779	133070,687	10,201
1.36	6502821,476	133070,057	10,212
1.37	6502822,220	133069,429	10,208
1.38	6502822,964	133068,809	10,198
1.39	6502823,875	133068,114	10,261
1.40	6502824,768	133067,461	10,217
1.41	6502825,822	133066,732	10,255
1.42	6502826,835	133066,095	10,233

Nr	N	E	H
1.43	6502827,722	133065,447	10,241
1.44	6502828,490	133064,913	10,242
1.45	6502829,406	133064,249	10,225
1.46	6502830,419	133063,526	10,243
1.47	6502831,274	133062,932	10,251
1.48	6502832,118	133062,297	10,280
1.49	6502832,836	133061,702	10,268