



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

Utvärdering av möjligheten att använda UAS vid gränsmätning i skogsmiljö

Marianne Berg & Helene Berglund

2015

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

Handledare: Stig-Göran Mårtensson
Examinator: Yuriy Reshetyuk

Förord

Först vill vi tacka Stefan Jernberg, Lantmäteriet, som kom med idén till detta examensarbete, ett roligt och lärorikt projekt som avslutar våra studier på Lantmätarpogrammet, teknisk inriktning, vid Högskolan i Gävle. Vi vill även rikta ett tack till Fredrik Lundberg, Lantmäteriet, som gett oss vägledning inför examensarbetet.

Ett tack ger vi till Eddie Larsson, fastighetsägare, Norra Åbyggeby, för att vi fick utföra fältarbetet på hans fastighet.

Tack till Ola Jeppsson, Högskolan i Gävle, som på ett snabbt och smidigt sätt ställde upp och hjälpte till med förberedelser inför flygningen.

Ett tack vill vi rikta till Pär Ljungdahl, Metria, som utförde flygningarna med UAS, Luis Martinez, Metria, som framställde ortofotomosaikerna och Anders Huhta, Metria, som bidrog med information om UAS.

Efter dessa tre år vill vi även tacka Mattias Lindman, universitetsadjunkt, Mohammad Bagherbandi, universitetslektor, och vår examinator Yuriy Reshetyuk, universitetslektor, Högskolan i Gävle. Samtliga har på olika sätt bidragit till den kunskap inom mätningstekniken som vi har erhållit.

Sist av allt vill vi tacka vår handledare Stig-Göran Mårtensson, universitetslektor och teknisk doktor, Högskolan i Gävle, för sitt engagemang under dessa tre år och sina idéer som bidragit till genomförandet av detta examensarbete.

Gävle, 2015

Marianne Berg & Helene Berglund

Sammanfattning

Skogs- och jordbruksfastigheter i Dalarna består ofta av långsmala och därmed opraktiska skiften, därför genomförs omfattande omarronderingsförrättningar av Lantmäteriet. Förrättningarna går ut på att byta mark mellan fastighetsägarna, för att skapa ändamålsenliga skiften, med syftet att bl.a. främja investerings- och exploateringsmöjligheterna inom regionen. För att kunna upprätta ett kartunderlag inför värderingen av fastigheten, måste de hävdade gränserna mätas in. Arbetet sker med Network Real Time Kinematic (nätverks-RTK) alternativt totalstation, och den största tillåtna radiella avvikelser i plan är 0,50 m (basnivåkravet). Syftet med detta examensarbete har varit att undersöka om det finns en möjlighet att använda Unmanned Aircraft Systems (UAS) vid mätning av hävdade fastighetsgränser. UAS är ett system bestående av en obemannad luftfarkost, en digitalkamera, en mottagare för Global Positioning System (GPS), ett Inertial Navigation System (INS), en radiolänk och en styrdator.

I ett avgränsat område på ca 24 ha i Norra Åbyggeby, norr om Gävle, har svartvita och helvita flygsignaler av storleken 0,40x0,40 m placerats ut och mätts in som stöd- eller gränspunkter med nätverks-RTK. Medelkoordinater i plan har beräknats för de mätta punkterna, vilka har använts som referenskoordinater. Dessa har jämförts med mätta koordinater i en ortofotomosaik, framställd från flygningar med UAS på 100 och 180 m höjd. För att få ytterligare en jämförelse har flygsignaler markerats i respektive flygbild i programvaran PhotoScan från Agisoft, vilken har beräknat koordinater. Objektidentifieringen av flygsignaler, placerade i olika miljöförhållanden och från olika flyghöjder, har studerats.

Digitaliseringen i ortofotomosaiken resulterade i ett radiellt Root Mean Square error (RMS-värde) på 0,083 m från 100 m flyghöjd och 0,049 m från 180 m flyghöjd. Motsvarande radiella RMS-värden resulterade i 0,071 m från 100 m flyghöjd, och 0,077 m från 180 m flyghöjd vid beräkningen i PhotoScan. F-test har beräknats med de fyra RMS-värdena, resultatet av F-testet visade att koordinater erhållna i en ortofotomosaik i ArcMap, är likvärdiga med koordinater erhållna genom blocktriangulering i PhotoScan, och vid blocktriangulering är koordinaterna även likvärdiga från flyghöjderna 100 och 180 m. F-testet visade även att koordinaterna inte

är likvärdiga när de är erhållna i en ortofotomosaik från flyghöjderna 100 respektive 180 m. Om vi bortser från systematiken vid tre av punkterna i ortofotomosaiken från 100 m visade inte F-testet någon statistiskt säkerställd skillnad mellan de två flyghöjderna.

Samtliga radiella avvikelser i plan vid mätningen i ortofotomosaiken visade ett resultat som låg under basnivåkravet. Den största radiella avvikelsen i plan från 100 m flyghöjd blev 0,181 m och från 180 m flyghöjd blev den största radiella avvikelsen i plan 0,083 m. Motsvarande värden efter beräkningen i PhotoScan blev 0,155 m respektive 0,148 m. Det som har påverkat framställningen av ortofotomosaiken och därmed radiella avvikelser i plan, är bl.a. hur tät skogen var vid flygsignalens placering, samt solens inverkan vad gäller skuggbildning och ljusstyrka i bilderna. UAS kan användas vid mätning av hävdade fastighetsgränser men det finns ingen garanti för att samtliga signalerade gränspunkter kan digitaliseras direkt i ortofotomosaiken. En rekommendation är att använda en mindre noggrann metod för mätningen av stödpunkterna till georefereringen av punktmolnet/ortofotomosaiken än den som har använts i detta examensarbete. Den högre flyghöjden är att föredra med tanke på att tidsåtgången för flygningen blir kortare och ett mindre antal flygbilder behöver bearbetas. Välj den metod som användaren är van vid, manuell digitalisering i en ortofotomosaik eller automatisk beräkning i en blockutjämnning.

Abstract

Real properties in Dalarna often consist of small lots of forest or agriculture. These lots are often elongated and consequently impractical, therefore the Swedish mapping, cadastral and land registration authority performs comprising land consolidations. These are to swap land between the owners of the properties, in order to form appropriate lots, for purpose of, inter alia, promoting investment and development opportunities in the region. In order to establish a map, a decision basis, for the valuation of the lot, the claimed proprietary right has to be surveyed. The work is performed with NRTK (network-RTK) or total station, and the maximum allowed planar deviation is 0,50 m (base level requirement). The purpose of this study was to examine whether there is a possibility of using Unmanned Aircraft Systems (UAS) when claimed property boundaries are going to be surveyed. UAS is a system consisting of an unmanned aerial vehicle, a digital camera, a Global Positioning System (GPS) receiver, an Inertial Navigation System (INS) and a control station.

In a delimited area of about 24 ha in Norra Åbyggeby, north of Gävle, black and white and white markers, with the size of 0,40x0,40 m, were positioned in the terrain and then surveyed as ground control points or boundary points with network RTK. Mean planimetric coordinates have been calculated for the control points, which have been used as reference coordinates. These have been compared with the coordinates measured in an orthophotomosaic produced from flights with UAS at an altitude of 100 and 180 m. To get a further comparison, the coordinates were determined by a block adjustment in the software PhotoScan from Agisoft. The object identification of the markers, placed in different environments, and from different altitudes has been studied.

The digitalization in the orthophotomosaic resulted in a Root Mean Square error (RMS-value) of 0,083 m at an altitude of 100 m and a value of 0,049 m at an altitude of 180 m. Corresponding RMS values were 0,071 m at an altitude of 100 m and 0,077 m at an altitude of 180 m when computed in PhotoScan. F-test has been calculated using the four RMS values, the result of the F-test showed that coordinates obtained in an orthophotomosaic, in ArcMap, are equivalent to coordinates obtained by block adjustment, in PhotoScan. The F-test also showed that the coordinates are equivalent from altitudes 100 and 180 m by block adjustment, but they are not equivalent when

they are obtained in an orthophotomosaic from altitudes 100 and 180 m. If we disregard the systematic error at three of the points (orthophotomosaic 100 m) the F-test did not show any statistically significant difference between the two altitudes.

All deviations were below the base level requirement. The largest planar deviation was 0,181 m at an altitude of 100 m and 0,083 m at an altitude of 180 m. Corresponding values for PhotoScan were 0,155 m and 0,148 m. How dense the forest was where the marker was placed and the impact of the sun, in terms of shadows and brightness, have affected the composition of the mosaic, and consequently the deviations. UAS can be used for surveying of claimed property boundaries, but there is no guarantee that all signalized boundary points can be surveyed directly in the orthophotomosaic. One recommendation is to use a less accurate method for the measurement of the ground control points (needed for the georeferencing of the point cloud/orthophotomosaic) than the method used in this thesis. The higher altitude is preferable because the time requirement of the flight will be shorter, and a smaller number of aerial photos need to be processed. Choose the method that the user is used to, manual digitizing in an orthophotomosaic or automatic calculation in a block adjustment.

Innehållsförteckning

1 Inledning	1
1.1 Bakgrund - hävdemätning	1
1.2 Bakgrund - UAS	1
1.3 Syfte.....	3
1.4 Tidigare studier.....	3
2 Metod och material.....	5
2.1 Rekognosering av naturliga gränspunkter	5
2.2 Rekognosering av fiktiva gränspunkter	5
2.3 Rekognosering av områden för stödpunkter till georeferering.....	6
2.4 Utplacering av flygsignaler och mätning av signalerade stöd- och gränspunkter med nätverks-RTK	6
2.5 Flygning med UAS och bearbetning av flygbilder.....	16
2.6 Digitalisering i ArcMap.....	17
2.6.1 Ortofotomosaik framställd från flyghöjden 100 m.....	18
2.6.2 Ortofotomosaik framställd från flyghöjden 180 m.....	18
2.7 Blockutjämning i PhotoScan	19
2.8 Beräkning i Excel	19
2.9 Statistisk testning av resultat	21
3 Resultat	22
3.1 Koordinater – nätverks-RTK, ArcMap och PhotoScan.....	22
3.2 Avvikelser och RMS-värden i plan – ArcMap och PhotoScan.....	23
3.3 Genomförande av statistisk testning.....	28
4 Diskussion	29
5 Slutsatser	32
Referenser.....	33
Bilaga 1 - Jonosfärsstörningar	36
Bilaga 2 – Referenskoordinater	37
Bilaga 3 – Koordinater digitaliserade i ArcMap (100 m)	38
Bilaga 4 – Koordinater digitaliserade i ArcMap (180 m)	39
Bilaga 5 – Koordinater erhållna i PhotoScan (100 m, 180 m).....	40
Bilaga 6 – Digitalisering i ArcMap	41

1 Inledning

1.1 Bakgrund - hävdemätning

Skogs- och jordbruksfastigheter i Dalarna består ofta av långsmala och därmed opraktiska skiften vilka är ett resultat av historiska jordfördelningar. En fastighetsägare kan äga flera små skiften som är geografiskt utspridda och därmed praktiskt taget obrukbara. Som ett led i att skapa större skiften och på så sätt förbättra markanvändningen för dessa fastighetsägare genomför Lantmäteriet omfattande omarronderingsförrättningar vilka kommer att pågå under många år. Förrättningarna går ut på att byta mark mellan fastighetsägarna för att skapa ändamålsenliga skiften och med syftet att bl.a. främja investerings- och exploateringsmöjligheter inom regionen. Sådana bidrar till långsiktig hållbar utveckling (ekonomiskt, socialt och ekologiskt), något som staten har anledning att påskynda enligt en bedömning gjord i ett PM som Toresson och Bransell (2008), på uppdrag av Lantmäteriet i Leksand, har utarbetat.

De historiska gränserna är oftast inte inmätta och för att kunna upprätta ett kartunderlag, som i sin tur ligger till grund för värderingen av fastigheten, måste gränspunkter och hävdade gränser mätas in. Basnivåkravet för nya inmätta gränspunkter i jord- och skogsbruksfastigheter är 0,50 m och avser den relativa lägeskvaliteten dvs. inom förrättningsområdet (Lantmäteriet, 2015). En hävdad gräns kan utgöras av t.ex. en markerad rågång, ett dike eller en gärdesgård. Lagstöd som reglerar vad som definierar en fastighetsgräns finns i Jordabalken 1:3–4 §§ (SFS 1970:994) och Lag (SFS 1970:995) om införande av nya jordabalken 17–18 §§. I dag används Global Navigation Satellite Systems (GNSS) med Network Real Time Kinematic (nätverks-RTK) alternativt inmätning med totalstation vid mätning av gränspunkter och hävder. Dessa markbaserade mätningmetoder är tidskrävande, vilket leder till höga kostnader, de utförs ofta i besvärliga miljöer, vilket också kan vara fysiskt krävande för dem som genomför mätningarna.

1.2 Bakgrund - UAS

Unmanned Aircraft System (UAS) är ett obemannat flygfarkostsystem bestående av en luftfarkost, en digitalkamera, en Global Positioning System (GPS)-mottagare, ett tröghetsnavigeringssystem (Inertial Navigation System, INS), en radiolänk och en styrdator.

Navigationen sker antingen manuellt, halvautomatiskt eller helautomatiskt genom en radiolänk mellan handenheten och farkosten (Berteška & Ruzgienė, 2013). Dess orienteringar bestäms med hjälp av en Inertial Measurement Unit (IMU) (Haala, Cramer, Weimer & Trittler, 2011), IMU är huvudkomponenten i ett INS. En digitalkamera är placerad i farkostens undre del med objektivet riktat nedåt. GPS-enheten integreras med kameran så att geodetiska koordinater kan fastställas för varje exponeringstillfälle (ibid).

Ursprungligen användes UAS inom det militära, de kallas då ”drönare”, med syftet att övervaka och kartlägga fientliga områden (Remondino, Barazzetti, Nex, Scaioni & Sarazzi, 2011; Eisenbeiss, 2009). Första gången UAS användes för kartframställning inom det civila området var år 1979, vilket blev starten för ett utökat användande inom geomatikområdet (Remondino et al., 2011). Tack vare framstegen inom den civila sektorn under senare tid har utvecklingen av UAS gått framåt menar Eisenbeiss (2009).

I dagsläget används UAS bl.a. till framställning av digitala terrängmodeller (DTM) och till kartering av markområden (Hugenholtz et al., 2013). Andra exempel på områden som karteras är katastrofdrabbade områden (Li, Zhou, Yin & Xiao, 2014), geomorfologiskt intressanta områden (Hugenholtz et al., 2013), jordbruksområden (Gómez-Candón, De Castro & López-Granados, 2013) och arkeologiska områden (Fernández-Hernandez, González-Aguilera, Rodríguez-Gonzálvez & Mancera-Taboada, 2015). Metoden har även testats för kartering av fastighetsgränser (Manyoky, Theiler, Steudler & Eisenbeiss, 2011).

Fördelarna med UAS är enligt Hugenholtz et al. (2013) och Li et al. (2014) att det är en snabb, flexibel och kostnadseffektiv metod jämfört med konventionell flygfotografering. Andra fördelar är att UAS gör det möjligt att samla in data över områden som annars kan vara svåra att mäta in terrestert, vilket förenklar insamlingsprocessen och ger möjlighet att samla in en större mängd data (Kelm, 2014). En nackdel är att flygtiden för farkosten är begränsad, därför kan flera flygningar behöva utföras för att få full täckning om området är stort (van Hinsbergh, Rijdsdijk & Witteveen, 2013). Hugenholtz et al. (2013) uppskattar att den datamängd som samlades in i deras studie, för att ta fram en DTM med UAS under 4,5 h, skulle ta flera veckor att samla in med RTK GPS. Fördelarna med UAS, som t.ex. förenklad datainsamling och reducerade kostnader, talar för att metoden är här för att stanna (Rainer, 2014).

1.3 Syfte

Syftet med detta examensarbete är att undersöka om det finns möjligheter att använda UAS vid mätning av flygsignalerade hävder/gränsmarkeringar i skogsområden. Med benämningen gränspunkt i efterföljande text menas gränsmarkering (röse), hävdad gräns (dike) eller fiktiv gränsmarkering. Frågeställningarna som kommer att behandlas för att ge svar på frågan är:

- Vilka blir mätosäkerheterna i plan vid digitalisering av gränspunkter i en ortofotomosaik, när flygsignalen placeras i olika miljöförhållanden, vid flygfotografering med UAS?
- Hur stora blir mätosäkerheterna i plan erhållna efter blockutjämnningen, när flygsignalen placeras i olika miljöförhållanden, vid flygfotografering med UAS?
- Hur påverkas objektidentifieringen av flygsignaler i ortofotomosaiken vid flygfotografering med UAS från olika flyghöjder?

1.4 Tidigare studier

I en studie utförd av van Hinsbergh et al. (2013) undersöktes möjligheten att använda UAS vid kartläggning av fastighetsgränser i ett radhusområde med 20 nya fastigheter i Nederländerna. Enligt artikelförfattarna kan mätosäkerheter på 0,06 m uppnås med terrester mätning. För att uppnå den mätosäkerheten med konventionell flygmätning krävs stora investeringar, eftersom mätosäkerheten i dagsläget är för hög och bildupplösningen är för låg. Författarna anser att en ortofotomosaik kräver högupplösta bilder för att undgå deformationer, vilka påverkar resultatet.

Tidigare tester utförda med UAS som van Hinsbergh et al. (2013) studerat, visar att en mätosäkerhet på 0,06–0,10 m från 40 m flyghöjd kan uppnås. Utifrån det resultatet utförde artikelförfattarna egna tester med UAS för att se om det gick att mäta in fastighetsgränser vid en förrättning/försäljning, utan sakägarnas närvaro. Resultatet kunde istället visualiseras på kontoret för sakägarna och spara tid för samtliga berörda. Vid flygningen med UAS från 58 m höjd användes tio stödpunkter för georeferering av ortofotomosaiken. Stödpunkterna signalerades med cirkulära skivor med timglasmonster i färgerna svart och gult. En övertäckning på 80 % användes längs och tvärs strålkled vilket resulterade i 380 flygbilder. Mätning av fastighetsgränserna i ortofotomosaiken resulterade i en avvikelse som inte var

större än 0,03 m jämfört med koordinaterna mätta med GNSS. Därför anser artikelförfattarna att flygbilder från lägre höjder är användbara när fastighetsgränser ska identifieras.

Gómez-Candón et al. (2013) utförde en flygning med UAS över två vetefält med syftet att undersöka möjligheten att urskilja ogräs från vete. Flygning utfördes på tre höjder; 30 m, 60 m och 100 m och med en övertäckning på 60 % längs stråklod samt 30 % tvärs stråklod. Utifrån resultatet från studien konstaterade författarna att de kvadratiska medelvärdena för spridningen hos avvikelserna, Root Mean Square error (RMS), för stödpunkterna vid georefereringen av ortofotomosaikerna inte skiljde nämnvärt, oavsett om flyghöjden låg på 30 m eller 100 m. Georefereringens RMS-värde på 100 m flyghöjd påverkades inte heller särskilt mycket när antalet stödpunkter minskade från 45 (0,0017 m) till 11 (0,0025 m) på det ca 1 ha stora området. RMS-värdena för gränspunkterna blev för de tre höjderna 0,0015 m (30 m), 0,0026 m (60 m) samt 0,0025 m (100 m). Artikelförfattarna anser att det är den rumsliga bildupplösningen som är den viktigaste parametern vid valet av flyghöjd. En högre flyghöjd gav färre foton, utfördes fortare och gav mindre problem vid återskapandet av mosaiken. Vid en lägre flyghöjd konstaterades motsatsen och därför ansåg Gómez-Candón et al. (2013) att det är lämpligare att flyga på en höjd av 100 m.

Över ett arkeologiskt område på ca 5 ha utförde Fernández-Hernandez et al. (2015) en flygning med UAS. Syftet med studien var att generera en arkeologisk karta. Flygningen utfördes på 65 m höjd och med 80 % övertäckning längs stråklod samt 40 % tvärs stråklod. Flygsignalerna som användes var 0,40x0,40 m och röda till färgen med en central vit cirkel som var 0,12 m i diameter. Identifieringen utfördes manuellt i respektive bild, koordinater beräknades och jämfördes med de terrestert mätta koordinaterna. Målsättningen för Fernández-Hernandez et al. (2015) var att RMS-värdet i plan för gränspunkterna inte skulle överstiga 0,045 m, vilket också uppnåddes i studien.

I en studie av Santise, Fornari, Forlani och Roncella (2014) utfördes en jämförelse mellan UAS och terrester mätning för framställning av en höjdmodell. Studien omfattade två flygningar över ett universitetsområde, den ena på 70 m höjd över ett område på 0,05 ha och den andra på 140 m höjd över ett område på 0,23 ha. Övertäckningen vid flygningen var 60 % längs stråklod samt 40 % tvärs stråklod. Två typer av flygsignaler användes vid UAS-flygningen. Den ena flygsignalen var tillverkad av en svartmålad kartong som bas och med ett fastklistrat vitt A3 eller A4 pappersark ovanpå. Den andra bestod av en svart- och vitmålad

metallplåt med ett mönster som liknade schackrutor. Från flyghöjden 70 m användes 20 stödpunkter för georefereringen, vilket resulterade i ett RMS-värde på 0,020 m och 0,021 m, för gränspunkternas x- respektive y-koordinater. RMS-värdet för gränspunkterna på marken från flyghöjden 140 m blev 0,051 m och 0,047 m, för x- respektive y-koordinater, när nio stödpunkter användes och 0,045 m och 0,049 m, för x- respektive y-koordinater, när 28 stödpunkter användes. Flyghöjden 140 m ansågs bättre än 70 m i och med att avståndet mellan kameran och det fotograferade objektet ändrades plötsligt vid övergången från låg till hög byggnad från flygningen på 70 m höjd, vilket orsakade problem vid återskapandet av mosaiken.

2 Metod och material

2.1 Rekognosering av naturliga gränspunkter

Studien har genomförts i ett avgränsat område på ca 24 ha, i Norra Åbyggeby, norr om Gävle. Området har normalt förekommande skogsmark, liknande markförhållandena som i Dalarna. För att kartlägga lämpliga gränspunkter inför kommande mätningar rekognoserades det långsmala skiftet i samarbete med fastighetsägaren. Längs en av kortsidorna på skiftet fanns en visare (utliggare) och två rösen med varsin hjärtsten. Båda rösena var ca 0,5 m höga och ca 1,0 m i diameter, visaren var ca 0,9 m hög och ca 0,4 m i diameter. Visaren var placerad för att markera den nordvästliga riktningen och låg ca 2,5 m från det ena röset. Hjärtstenarna låg också placerade så att de visade nordvästlig riktning i mitten av rösena. Längs ena långsidan av skiftet utgjorde ett dike en del av hävden. Här ansågs gränsen gå mitt i det ca 0,5 m breda diket.

2.2 Rekognosering av fiktiva gränspunkter

Ytterligare rekognosering utfördes för att hitta lämpliga fiktiva gränspunkter med annan omgivande miljö än hos de naturliga gränspunkterna. En sådan gränspunkt var omgiven av tät skog norrut och gles barrskog söderut. En annan valdes i en skogsglänta omgiven av gles och hög blandskog. Vid ett hygge valdes ytterligare tre fiktiva gränspunkter, två längs kanterna och en mitt på hygget.

2.3 Rekognosering av områden för stödpunkter till georeferering

För att kunna georeferera ett block av flygbilder eller ett punktmoln krävs att stödpunkter för flygfotograferingen placeras och mäts i öppna områden. Tanken var enligt Mårtensson och Reshetyuk (2014) att använda fem stödpunkter för georefereringen, en i varje hörn av det tilltänkta flygområdet och en i mitten. Efter rekognoseringen av området konstaterades att det inte fanns någon öppen yta för en central placering, därför valdes två relativt centrala ytor.

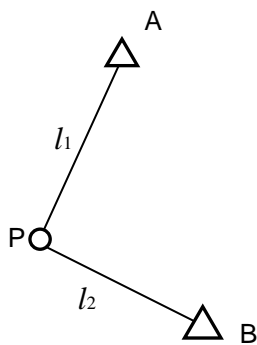
2.4 Utplacering av flygsignaler och mätning av signalerade stöd- och gränspunkter med nätverks-RTK

Två olika flygsignaler med storleken 0,40x0,40 m har testats, en helvit på rekommendation av A. Huhta, Metria (personlig kommunikation, 16 mars 2015) och en svartvit timglasmönstrad med en väl definierbar mittpunkt enligt Gunnarsson och Persson (2013).

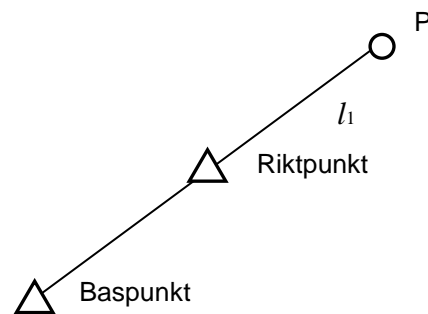
Mätningen av stöd- och gränspunkterna utfördes med en GNSS-mottagare med antenn, Leica GS14 (serienummer: 2811777) och en handenheter, Leica CS14 (serienummer: 2895639), GNSS-mottagaren placerades på en 4 m fullt utdragen teleskopisk lodstång. Elevationsvinkeln valdes till 15° för att utesluta signaler från satelliter som ligger nära horisonten. Eftersom mätningen utfördes i ett skogsområde fick olika antennhöjder användas för att få fixlösning, samtliga antennhöjder vid respektive mätning protokollfördes. För att vara säker på att jonofärsstörningar inte skulle påverka mätningarna kontrollerades jonofärsstörningarna (bilaga 1). Stöd- och gränspunkterna mättes med nätverks-RTK i referenssystemet SWEREF 99 16 30. För att säkerställa att en noggrann nätverks-RTK-metod användes, valdes en liknande metod som Mårtensson, Reshetyuk och Jivall (2012) använde i sin studie. Mårtensson et al. (2012) genomförde mätning med stativ och med en observation per sekund under en minut vilket gav en lägesosäkerhet i plan på 0,010 m. Mätningen utfördes i vårt fall inte med stativ utan med lodstång och med hjälp av två signalkäppar för att stabilt kunna hålla lodstången i vertikalt läge. I övrigt användes samma mätningsprocess som i Mårtensson et al. (2012) vilken upprepades två gånger med förnyad initialisering mellan mätningarna av respektive stöd- och gränspunkt. Ominitialiseringen gjordes för att säkerställa fixlösningens tillförlitlighet (Norin, Engfeldt, Öberg & Jämnäs, 2010). En tredje mätning genomfördes som kontroll på vissa stöd- och gränspunkter. Vid samtliga mätningar kontrollerades att Position Dilution of Precision (PDOP) inte översteg det rekommenderade kravet 3–4 (Odolinski, 2010). Alla mätningar utfördes när PDOP understeg 3 utom för en punkt i samband med

mätning av gränspunkt 15, då PDOP var 3,6. Enligt Lantmäteriet (2015) ska mätningen kvalitetssäkras med dubbelmätning och därefter ska ett medelvärde beräknas av de två mätningarna. Medelvärdet av koordinaterna för respektive stöd- och gränspunkt beräknades i Excel (avsnitt 2.8). Dessa medelkoordinater kommer i fortsättningen att benämnas referenskoordinater och kommer att som sådana användas vid jämförelser med koordinater erhållna vid digitalisering i ArcMap, beräkningar i PhotoScan och vid utvärdering av dolda punkter.

Vissa gränspunkter mättes som dolda punkter med hjälp av inbindning eller en rak linje. Vid inbindning beräknades den dolda punkten (P) (figur 1) med hjälp av mätningar med nätverks-RTK av två hjälppunkter (A och B) samt avstånden (l_1 och l_2) mätta i fält till den dolda punkten. Koordinaterna för de dolda punkterna beräknades i handenheten med hjälp av de mätta hjälppunkterna och avstånden som beskrivits ovan. Dold punkt på rak linje beräknades med hjälp av mätning med nätverks-RTK av en hjälppunkt (Riktpunkt) (figur 2) och avståndet (l_1) mätt i fält från riktpunkten till den dolda punkten (P) samt en mätning med nätverks-RTK av en hjälppunkt (Baspunkt) i linje med riktpunkt och dold punkt.

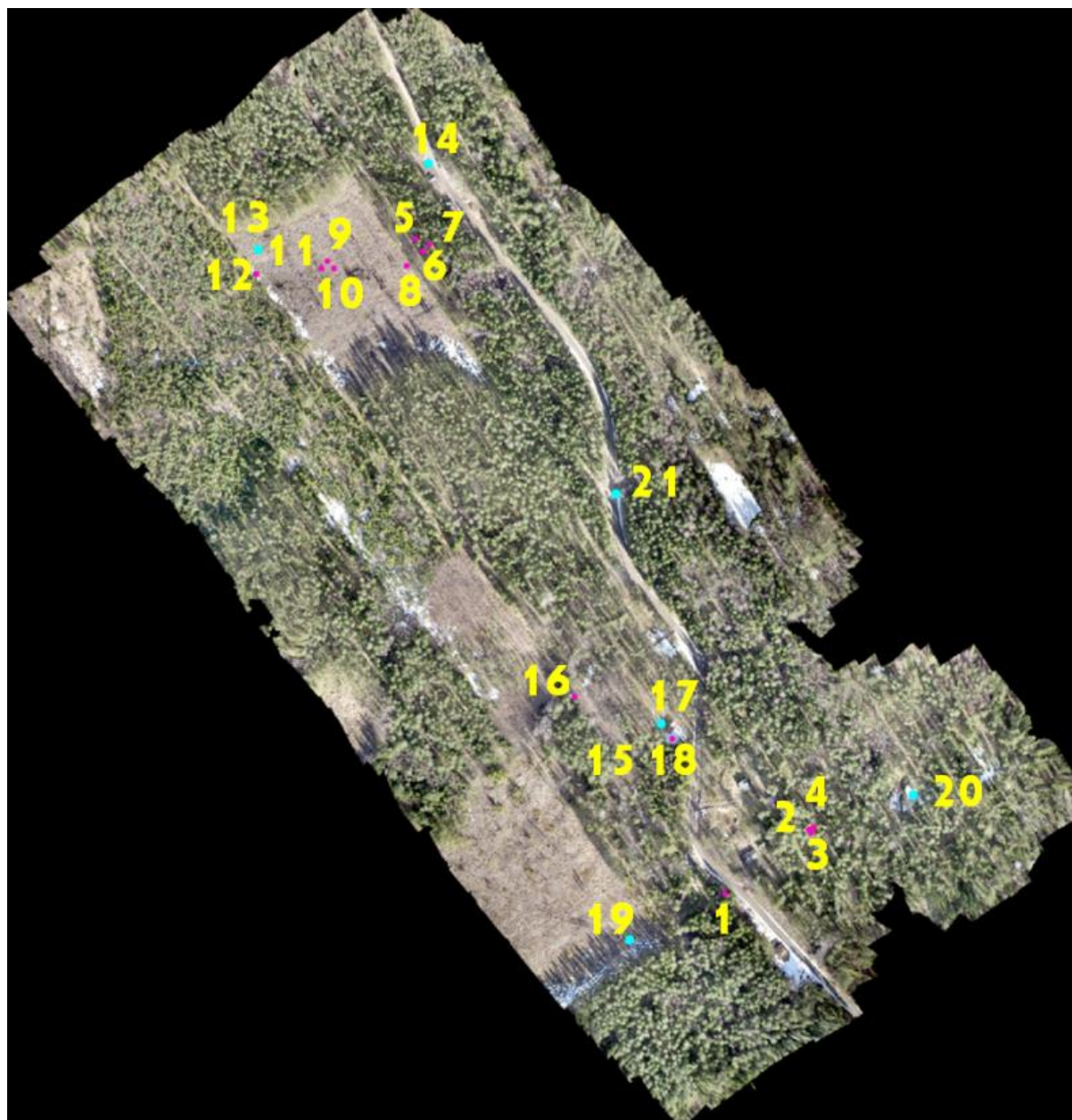


Figur 1. Gränspunkt (P) mätt som dold punkt med hjälp av inbindning, beräknas med hjälp av två mätta hjälppunkter (A och B) samt avstånden l_1 och l_2 .



Figur 2. Gränspunkt (P) mätt som dold punkt med hjälp av en rak linje, beräknas av två mätta hjälppunkter (bas- och riktpunkt) samt avståndet l_1 .

Figur 3 visar flygområdet, numrerade gränspunkter visas med cerise markering och numrerade stödpunkter visas med turkos markering.



Figur 3. Punkter som har använts i undersökningen är numrerade från 1 till 21.

I det södra området av skiftet fanns ett gammalt röse med en hjärtsten i mitten, gränspunkt 1, (figurerna 4 och 6). Området runt röset bestod söderut av gammal tät barrskog och norrut av gles blandskog. Hur skymd gränspunkten var av omkringliggande skog visas i figur 5.



Figur 4. Den signalerade gränspunkten 1, ett gammalt röse. Foto taget mot söder.



Figur 5. Med kameran riktad rakt uppåt ses hur skymd gränspunkt 1 var av omkringliggande skog.



Figur 6. Gammalt röse med en hjärtsten i mitten.

Det andra röset med en lutande hjärtsten i mitten, gränspunkt 2 (figur 9), var omgivet mestadels av barrskog som inte var alltför tät men precis intill röset växte några stora barrträd. Gränspunkten mättes som dold punkt med hjälp av inbindning (figur 7). Hur skymd gränspunkten var av omkringliggande skog visas i figur 8.



Figur 7. Den signalerade gränspunkten 2, ett gammalt röse, tillsammans med de signalerade hjälppunkterna 3 och 4. Foto taget mot söder.



Figur 8. Med kameran riktad rakt uppåt ses hur skymd gränspunkt 2 var av omkringliggande skog.



Figur 9. Gammalt röse med en lutande hjärtsten i mitten.

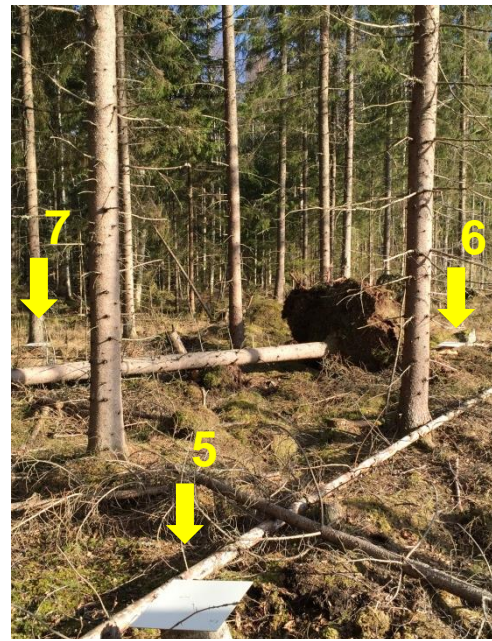
I det norra området av skiftet mättes den fiktiva gränspunkten 7, för att undersöka vilken mätosäkerhet som kan erhållas i ett område där fixlösning var svår att få (figur 10). Även vid hjälppunkterna 5 och 6 som användes för inbindningen av gränspunkt 7 (figur 12) var det svårt att få fixlösning. Hur skymd den fiktiva gränspunkten var av omkringliggande skog visas i figur 11.



Figur 10. Den signalerade fiktiva gränspunkten 7, placerad i ett område med hög skog och därför svårighet att få fixlösning. Foto taget mot söder.



Figur 11. Med kameran riktad rakt uppåt ses hur skymd den fiktiva gränspunkten 7 var av omkringliggande skog.

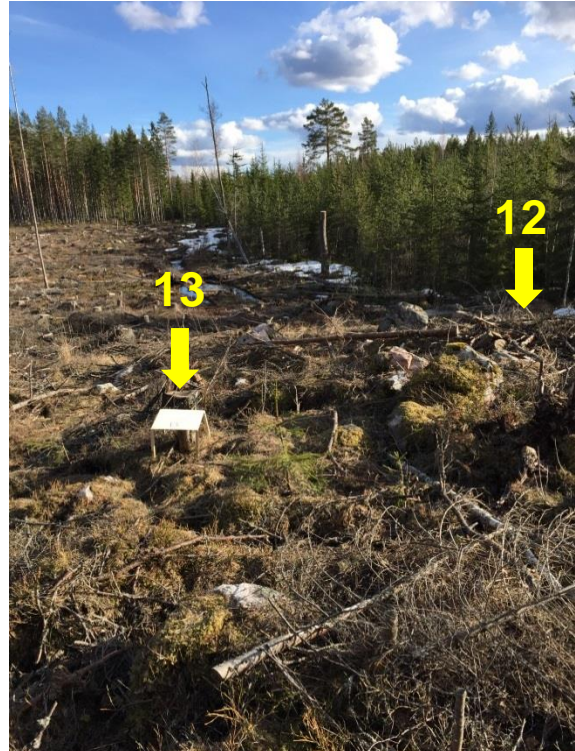


Figur 12. Den signalerade fiktiva gränspunkten 7 tillsammans med de signalerade hjälppunkterna 5 och 6.

I den norra delen av området fanns en hyggeskant som gränsade till hög blandskog, där mättes den fiktiva gränspunkten 8 (figur 13). Den andra sidan av hygget gränsade till lite lägre barrskog och där mättes den fiktiva gränspunkten 12 (figur 14). Gränspunkterna valdes vid varsin hyggeskant för att undersöka hur mätosäkerheten påverkas vid mätning gränsande till olika hög skog, samt hur ortofotomosaiken påverkas av de olika höjderna på skogen. På hygget i det nordvästra hörnet mättes stödpunkt 13 (figur 14) för att användas vid georefereringen av blocket.



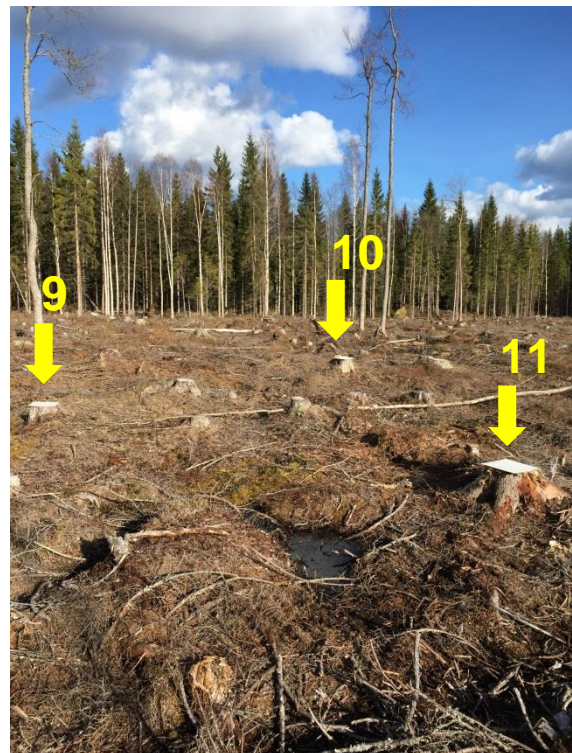
Figur 13. Den signalerade fiktiva gränspunkten 8, låg intill hög blandskog. Foto taget mot söder.



Figur 14. Den signalerade fiktiva gränspunkten 12 låg intill lägre barrskog och stödpunkt 13 mättes för att användas vid georefereringen av blocket. Foto taget mot söder.

Mitt ute på hygget mättes den fiktiva gränspunkten 9 som dold punkt med hjälp av hjälppunkterna 10 och 11 (figur 15). Syftet var att se vilken mätosäkerhet som mätning av dold punkt med hjälp av inbindning kunde erhålla med så få störningar som möjligt från omgivningen. Mätosäkerheten jämfördes sedan med mätosäkerheten för övriga dolda gränspunkter omgivna av skog. Gränspunkt 9 mättes även med nätverks-RTK utan inbindning.

Vid vändplanen i den norra delen av området mättes stödpunkt 14 för att användas vid georefereringen av blocket (figur 16).



Figur 15. Den signalerade fiktiva gränspunkten 9 tillsammans med de signalerade hjälppunkterna 10 och 11.



Figur 16. Den signalerade stöd-punkten 14 mättes för att användas vid georefereringen av blocket.

Vid diket, som utgjorde en hävd, mättes gränspunkterna 15 och 16 (figurerna 17 och 18). Eftersom området bestod av gammal och hög blandskog gick det inte att få någon fixlösning vid mätningarna. Istället mättes de som dolda punkter med hjälp av rak linje. Rikt- och baspunkterna (hjälpunkterna) signalerades inte i fält, de mättes enbart med nätverks-RTK. Riktpunkten för beräkningen av gränspunkt 15 mättes bara en gång med 60 observationer. Baspunkten mättes en gång med 60 observationer och en gång till med 29 observationer. Eftersom mätningen av rikt- och baspunkterna inte kunde genomföras med två mätningar, i en minut vardera, har gränspunkt 15 inte använts vid

jämförelserna. Terrängen vid gränspunkt 16 gjorde att avståndet mellan rikt- och baspunkten blev kortare än avståndet mellan gräns- och riktpunkten. Hur skymd gränspunkterna var av omkringliggande skog visas i figurerna 19 och 20.



Figur 17. Den signalerade hävden 15, ett gammalt dike. Foto taget mot nordväst.



Figur 18. Den signalerade hävden 16, ett gammalt dike. Foto taget mot sydost.



Figur 19. Med kameran riktad rakt uppåt ses hur skymd gränspunkt 15 var av omkringliggande skog.



Figur 20. Med kameran riktad rakt uppåt ses hur skymd gränspunkt 16 var av omkringliggande skog.

Relativt centralt i området, i en skogsglänta omgiven av gles och hög blandskog, mättes stödpunkt 17 och en fiktiv gränspunkt 18 (figurerna 21 och 22). Stödpunkt 17 mättes för att användas vid georefereringen av blocket.



Figur 21. Den signalerade stödpunkten 17 mättes för att användas vid georefereringen av blocket. Foto taget mot sydväst.



Figur 22. Den signalerade fiktiva gränspunkten 18. Foto taget mot nordväst.

I den södra delen av skiftet mättes stödpunkterna 19 och 20 (figurerna 23 och 24). Relativt centralt i området mättes stödpunkt 21 vid kanten av skogsvägen (figurerna 25 och 26). Alla tre stödpunkterna mättes för att användas vid georefereringen av blocket.



Figur 23. Den signalerade stödpunkten 19, mättes för att användas vid georefereringen av blocket. Foto taget mot söder.



Figur 24. Den signalerade stödpunkten 20, mättes för att användas vid georefereringen av blocket. Foto taget mot sydöst.



Figur 25. Den signalerade stödpunkten 21, mättes för att användas vid georefereringen av blocket. Foto taget mot söder.



Figur 26. Timglasmönstrad flygsignal 21, 0,40x0,40 m.

2.5 Flygning med UAS och bearbetning av flygbilder

Metria i Gävle ansvarade för flygningen med UAS, över ett område på ca 24 ha, i Norra Åbyggeby, norr om Gävle. Flygningen genomfördes med ett flygplan, SmartOne C, från SmartPlanes (figur 27). I flygplanets undre del var en 16 megapixel kamera, Pentax Ricoh GR placerad, med objektivet riktat nedåt (figur 28). Vädret den aktuella dagen var soligt med några stackmoln, jämn och stadig vind rådde. Flygriktningen planerades utefter vindförhållandena, sidovind var att föredra för att flygplanet skulle hålla en jämn hastighet längs stråken (P. Ljungdahl, personlig kommunikation, 25 maj 2015). Till handdatorn hade en georefererad tiff-bild (tillhandahållen av Lantmäteriet) importerats och det planerade flygområdet markerades i tiff-bilden. Övertäckningen för flygfotograferingen valdes till 80 % längs och tvärs stråklod och flyghöjden valdes till 180 m. Flygrutten överfördes till flygplanet. Piloten kastade iväg flygplanet och manövrerade det manuellt med hjälp av styrkontrollen (figur 29) till ett stand-by läge över referenspunkten för starten av flygrutten. När piloten utfört en sista kontroll skickades flygplanet iväg för att automatiskt flyga längs stråken i flygrutten. Flygplanet återgick till stand-by läge när alla stråk hade fotograferats, för att sedan manövreras manuellt ner till marken. Processen upprepades med en flygning på 100 m flyghöjd.



Figur 27. Flygningen genomfördes med UAS, SmartOne C, från Smart Planes.



Figur 28. UAS, SmartOne C, med en 16 megapixel kamera, Pentax Ricoh GR placerad i flygplanets undre del.



Figur 29. Styrkontroll för manuell manövrering av flygplanet. Styrkontrollen användes vid starten, vid övergången till automatisk flygning och vid nedtagning av flygplanet till marken.

Totalt 221 flygbilder togs under ca 25 min från flyghöjden 180 m. I programvaran PhotoScan Professional 1.1.3 bearbetade Metria flygbilderna och det resulterade i en ortofotomosaik med markupplösning 0,05 m (figur 33). 616 flygbilder togs under ca 40 min från flyghöjden 100 m. Efter bearbetningen av flygbilderna blev resultatet en ortofotomosaik med markupplösning 0,03 m (figur 32).

2.6 Digitalisering i ArcMap

För att kunna jämföra mätosäkerheter i plan, erhållna i en ortofotomosaik och från nätverks-RTK-mätningar, importerades ortofotomosaikerna framställda från flyghöjderna 100 och 180 m till programvaran ArcMap 10.2 från Esri. En shapefil, för stöd- och gränspunkterna, för respektive flyghöjd, skapades i samma referenssystem som ortofotomosaiken dvs. SWEREF 99 16 30. I ortofotomosaiken digitaliserades centrum på varje flygsignal som var fullt synlig och koordinater erhöles för stöd- och gränspunkterna. För de flygsignaler som inte var helt synliga eller som blivit skymda av trädskronor, digitaliserades gränspunkterna istället som dolda punkter med hjälp av inbindning i ortofotomosaiken. Hjälppunkterna som användes vid beräkningen av de dolda punkterna digitaliserades i ortofotomosaiken och avstånden som användes hade mätts i fält. Visaren (utliggeren) som beskrivits i avsnitt 2.1 hade inte signalerats, istället var syftet att undersöka om den gick att digitalisera direkt i ortofotomosaiken, men visaren var tyvärr inte synlig.

2.6.1 Ortofotomosaik framställd från flyghöjden 100 m

Flygsignalerna som gränspunkterna 1 och 2 signalerats med (figurerna 30 och 31) var inte fullt synliga i ortofotomosaiken framställd från flyghöjden 100 m. Vid gränspunkt 1 hade inte hjälpunkterna signalerats för beräkning av dold punkt, därför kunde den inte digitaliseras i ortofotomosaiken. Gränspunkt 2 kunde däremot digitaliseras som dold punkt med hjälp av inbindning och beräknades med hjälpunkterna 3 och 4.



Figur 30. Den signalerade gränspunkten 1 i en del av ortofotomosaiken framställd från flyghöjden 100 m.



Figur 31. Den signalerade gränspunkten 2 i en del av ortofotomosaiken framställd från flyghöjden 100 m.

Trots att den fiktiva gränspunkten 9 ute på hygget var synlig, digitaliserades gränspunkten även som dold punkt med hjälp av inbindning och beräknades med hjälpunkterna 10 och 11. Syftet var som tidigare nämnts, att kunna jämföra den dolda punktens mätosäkerhet med mätosäkerheterna hos de dolda punkterna som var omgivna av skog. Den fiktiva gränspunkten 15 var inte synlig i ortofotomosaiken från flyghöjden 100 m och hjälpunkterna för beräkningen av dold punkt hade inte signalerats, därför kunde inte gränspunkten digitaliseras.

2.6.2 Ortofotomosaik framställd från flyghöjden 180 m

Eftersom den signalerade gränspunkten 2 inte var synlig i ortofotomosaiken framställd från flyghöjden 180 m, digitaliserades den istället som dold punkt med inbindning med hjälp av hjälpunkterna 3 och 4. Vid den fiktiva gränspunkten 7 fanns en misstanke om att ortofotoframställningen inte blivit korrekt, därför digitaliserades gränspunkten direkt i ortofotomosaiken och som dold punkt med inbindning med hjälp av hjälpunkterna 5 och 6.

Även i denna ortofotomosaik digitaliserades den fiktiva gränspunkten 9 som vanligt och som dold punkt (se avsnitt 2.6.1). Den signalerade gränspunkten 16 var inte synlig i ortofotomosaiken från 180 m och hjälppunkterna för beräkning av dold punkt hade inte signalerats, därför kunde inte gränspunkten digitaliseras.

2.7 Blockutjämnning i PhotoScan

För att få ytterligare en jämförelse av mätosäkerheter i plan, med en annan mätningssätt, bearbetades flygbilderna i programvaran PhotoScan Professional Edition 1.1.5, från det ryska företaget Agisoft. Först markerades flygsignalerna i så många bilder som möjligt, även i suddiga bilder. Ett glest punktmoln bestående av konnektionspunkter, som programmet identifierat i två eller fler flygbilder, skapades vid blockutjämnningen. Därefter rensades det punktmolnet från brus. För att minimera processtiden i nästa moment avgränsades punktmolnet till ett område som inneslöt stöd- och gränspunkterna. Referenskoordinaterna för stödpunkterna matades in manuellt för att användas vid georeferering av punktmolnet. En ny blockutjämnning (optimering) genomfördes och koordinater erhöles för stöd- och gränspunkterna. En analys av mätosäkerheter i plan gjordes för att hitta eventuella stödpunkter med osäkerheter som avvek från övriga stöd- och gränspunkters osäkerheter. Baserat på de avvikande resultaten genomfördes en rensning av flygsignaler genom att ta bort bilder där det inte gick att se deras centrum tydligt. Efter ännu en blockutjämnning erhöles gränspunkternas koordinater, vilka sedan användes för utvärdering av radiella avvikelser i plan i förhållande till referenskoordinaterna.

2.8 Beräkning i Excel

I programvaran Excel beräknades N- och E-koordinaternas medelvärden var för sig för stöd- och gränspunkter mätta med nätverks-RTK. De beräknade medelvärdena har sedan använts som ”kända” värden. Vid utvärderingen av avvikelserna och de dolda punkterna benämns de beräknade medelvärdena referenskoordinater.

Medelvårdets radiella standardosäkerhet i plan, $u_r(\bar{x})$, för respektive stöd- och gränspunkt (bilaga 2) beräknades enligt ekvation (1):

$$u_r(\bar{x}) = \frac{\sqrt{u_r^2(x_1) + u_r^2(x_2)}}{n} \quad (1)$$

där $u_r(x_1)$ är första mätningens radiella standardosäkerhet och $u_r(x_2)$ är andra mätningens radiella standardosäkerhet, beräknade efter hämtning av koordinaternas standardosäkerheter i Leica Geo Office (LGO).

Sammanlagd radiell standardosäkerhet i enlighet med JCGM 100 (2008) för mätt dold punkt med hjälp av en rak linje beräknades enligt ekvation (2) (Mårtensson, 2014):

$$u_r(P) = \sqrt{u^2(d_B) + u_r^2(\bar{x}) \left(1 + \left(\frac{d_A}{d_B} \right)^2 \right)} \quad (2)$$

där $u_r(P)$ är den dolda punktens radiella osäkerhet (se figur 2), $u(d_B)$ är osäkerheten för avståndet (d_B) mellan rikt- och baspunkt, vilken uppskattas till 0,020 m (typ B-osäkerhet). Avståndet mellan riktpunkt och dold punkt är d_A (l_1 i figur 2)) och $u_r(\bar{x})$ är riktpunktens radiella standardosäkerhet i plan, beräknad enligt ekvation (1).

Radiella standardosäkerhetens beroende av mätningar gjorda för dold punkt som bestäms med hjälp av inbindning ($u_{r-mät}(P)$) beräknades enligt ekvation (3) (Kahmen & Faig, 1988):

$$u_{r-mät}(P) = \frac{\sqrt{2}}{\sin \gamma} \cdot u(d_A) \quad (3)$$

där γ är vinkeln vid den dolda punkten som bildas mellan de båda längdmätningarna (se figur 1) och $u(d_A)$ är osäkerheten hos längdmätningarna, vilken enligt S-G. Mårtensson (personlig kommunikation, 23 oktober 2015) kan uppskattas till 0,020 m (typ B-osäkerhet).

För att få sammanlagd standardosäkerhet vid inbindning ($u_{r-total}(P)$), måste även utgångspunkternas osäkerhet tas i beaktande, den sammanlagda standardosäkerheten uppskattades enligt ekvation (4):

$$u_{r-total}(P) = \sqrt{u_{r-mäm}^2(P) + u_r^2(\bar{x}_1) + u_r^2(\bar{x}_2)} \quad (4)$$

där $u_{r-mäm}(P)$ är standardosäkerheten enligt ekvation (3), $u_r(\bar{x}_1)$ och $u_r(\bar{x}_2)$ är hjälppunkternas respektive standardosäkerheter.

Ett RMS-värde har beräknats för att visa spridningen av standardosäkerheterna för samtliga referenskoordinater (bilaga 2).

Koordinater erhållna vid digitaliseringen i ortofotomosaiken i ArcMap och beräknade vid blockutjämnings i PhotoScan importerades till programvaran Excel. Avvikelse mellan erhållna koordinater och referenskoordinater beräknades (tabellerna 1 och 2). Sedan beräknades kvadratiska medelvärden (RMS-värden) (tabellerna 1 och 2) för att få ett mått på spridningen hos de radiella avvikelserna i plan enligt ekvation (5):

$$RMS_{plan} = \sqrt{\frac{\sum (\Delta N^2 + \Delta E^2)}{n}} \quad (5)$$

där ΔN och ΔE är avvikelser mellan digitaliserade/beräknade koordinater och referenskoordinater för N (northing) och E (easting), n är antalet radiella avvikelser.

2.9 Statistisk testning av resultat

För varje punkt som ingår i vår undersökning har koordinater erhållits i programvarorna ArcMap (manuellt digitaliserade i en ortofotomosaik) och PhotoScan (automatiskt erhållna via beräkningar i en blockutjämnings). För några punkter, klassificerade som dolda punkter, har koordinater beräknats med hjälp av s.k. hjälppunkter (se t.ex. figurerna 1 och 2). Koordinaternas avvikelser från ”kända” koordinater erhållna med nätverks-RTK har beräknats var för sig i N - respektive E -led och därefter tillsammans beräknats som radiella avvikelser. För varje metod (ortofotomosaik och blockutjämnings) och varje flyghöjd (100 och 180 m) har en medelavvikelse beräknats som ett RMS-värde. Om dessa fyra värden betraktas som

erhållna ur stickprov från oberoende och normalfördelade populationer, kan de parvis statistiskt testas på någon konfidensnivå om de kommer från samma population. Enklare uttryckt: är koordinater erhållna i en ortofotomosaik likvärdiga med koordinater erhållna genom blocktriangulering och, är koordinater erhållna från flyghöjden 100 m likvärdiga med koordinater erhållna från 180 m?

För detta tillämpas ett F-test, ett varianstest, där, enligt Huitfeldt (1972 s. 38), F beräknas enligt ekvation (6):

$$F_{t-1, n-1} = \frac{\sigma_t^2}{\sigma_n^2} \quad (6)$$

$t - 1$ och $n - 1$ är antalet frihetsgrader hos täljarens respektive nämnarens varians. De fyra aktuella frihetsgraderna är i vårt fall 14, 13, 13 och 13, varför vi för att något förenkla beräkningsprocessen, betraktar alla som 13. σ symboliserar de RMS-värden som ska jämföras. Testproceduren genomförs genom att placera kvadraten på det större RMS-värdet i täljaren, testet blir då ensidigt med nollhypotesen att kvoten mellan täljare och nämnare i ekvation (6) är lika med 1 (ett). Statistiskt tillåts en viss avvikelse från värdet ett, t.ex. så förkastas nollhypotesen på en viss konfidensnivå (här 95 %) om kvoten mellan de två kvadrerade RMS-värdena är större än 2,58 enligt ekvation (7). Då finns det alltså en skillnad mellan stickproven.

$$\frac{RMS_t^2}{RMS_n^2} \geq F_{0,95,13,13} = 2,58 \quad (7)$$

3 Resultat

3.1 Koordinater – nätverks-RTK, ArcMap och PhotoScan

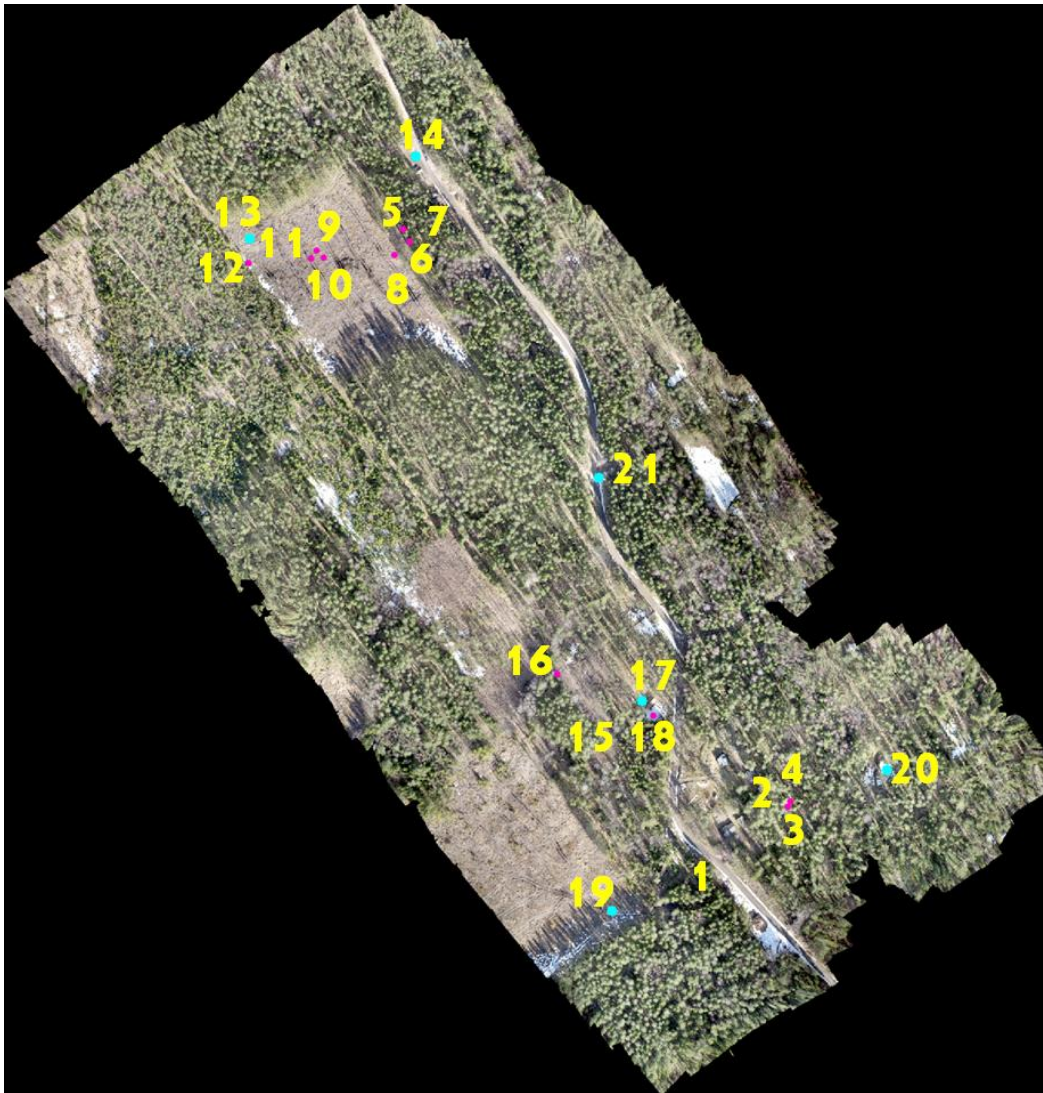
Referenskoordinater i plan och deras radiella standardosäkerheter redovisas i bilaga 2. De dolda punkternas radiella standardosäkerheter är synbart större jämfört med direktmätta punkter, $RMS_{Dold} = 0,050$ m respektive $RMS_{Direkt} = 0,015$ m. Terrängen vid gränspunkt 16 (dold) var inte optimal för mätning och avståndet mellan bas- och riktpunkten var kortare än avståndet mellan riktpunkten och den dolda punkten. Trots detta blev den radiella standardosäkerheten för gränspunkt 16 jämförbar med de övriga dolda punkternas radiella

standardosäkerheter (bilaga 2). Koordinater i plan digitaliserade i ortofotomosaiken (ArcMap) från respektive flyghöjd redovisas i bilagorna 3 och 4. Koordinater i plan erhållna efter blockutjämnings (PhotoScan) redovisas i bilaga 5.

3.2 Avvikelse och RMS-värden i plan – ArcMap och PhotoScan

Avvikelse mellan digitaliserade koordinater i ortofotomosaiken (ArcMap) och referenskoordinater mätta i fält, redovisas för respektive flyghöjd i tabell 1. Avvikelse mellan koordinater erhållna efter blockutjämnings (PhotoScan) och referenskoordinater mätta i fält, redovisas för respektive flyghöjd i tabell 2. Även medelavvikelse och RMS-värde för spridningarna hos de radiella avvikelse i plan redovisas i tabellerna.

I figur 32 visas ortofotomosaiken framställd från flyghöjden 100 m. Resultatet av jämförelsen mellan digitaliserade koordinater och referenskoordinater visade radiella avvikelse i plan på 0,020–0,181 m (tabell 1). Vid jämförelsen mellan avvikelse i N- och E-led för respektive gränspunkt kunde inga systematiska effekter upptäckas.



Figur 32. Ortofotomosaik framställd från flyghöjden 100 m. Gränspunkter visas med cerise markering och stödpunkter visas med turkos markering.

I figur 33 visas ortofotomosaiken framställd från flyghöjden 180 m. Resultatet av jämförelsen mellan digitaliserade koordinater och referenskoordinater visade radiella avvikelser i plan på 0,019–0,083 m, utom för 7a vilken avvek 2,31 m (tabell 1). Vid jämförelsen mellan avvikelserna i N- och E-led för respektive gränspunkt syntes inga systematiska effekter. När avvikelserna i N- och E-led för de båda flyghöjderna jämfördes fanns inte heller några systematiska effekter.

Tabell 1. ArcMap: Avvikelser (m) mellan koordinater digitaliserade i ortofotomosaiken och referenskoordinater mätta i fält. Samtliga punkter är fiktiva om inget annat anges (röse/hävd). Även medelavvikelse och RMS-värde för respektive flyghöjd redovisas (7a från 180 m flyghöjd ingår inte i dem senare redovisningarna).

Punkt-nummer	Typ	100 m ΔN	100 m ΔE	100 m Radiellt	180 m ΔN	180 m ΔE	180 m Radiellt
1	Gräns (röse)	–	–	–	-0,033	0,016	0,037
2	Dold (röse)	-0,059	-0,097	0,114	0,014	-0,034	0,037
3	Gräns	-0,088	-0,158	0,181	0,004	-0,069	0,069
4	Gräns	-0,045	-0,117	0,125	0,027	-0,054	0,060
5	Gräns	-0,096	0,015	0,097	-0,076	0,034	0,083
6	Gräns	0,043	0,027	0,051	0,058	0,012	0,059
7a	Gräns	-0,051	-0,094	0,107	(-2,16)	(-0,83)	(2,31)
7b	Dold	0,008	0,053	0,053	0,001	0,062	0,062
8	Gräns	0,020	-0,002	0,020	-0,029	-0,018	0,034
9a	Gräns	-0,061	-0,039	0,073	0,033	0,003	0,034
9b	Dold	0,006	0,035	0,036	-0,001	0,038	0,038
10	Gräns	-0,023	0,004	0,024	-0,011	0,026	0,028
11	Gräns	0,049	-0,026	0,056	0,015	0,014	0,021
12	Gräns	-0,011	-0,018	0,021	0,017	-0,007	0,019
16a	Gräns (hävd)	-0,061	0,109	0,125	–	–	–
18	Gräns	0,006	-0,050	0,051	0,003	-0,053	0,053
Medelavvikelse		-0,024	-0,024		0,002	-0,002	
RMS				0,083			0,049

Syftet med gränspunkt 9b (dold) på hygget, var att kontrollera om det gick att få lägre mätosäkerhet i plan än vid de andra dolda punkterna 2 och 7b (bilaga 6), då de senare var omgivna av skog. Jämförelsen av koordinaterna mellan beräknad som dold punkt i ortofotomosaiken och beräknad som dold punkt i fält, visar en radiell avvikelse i plan på 0,036 m från flyghöjden 100 m och 0,038 m från flyghöjden 180 m. Detta är den minsta radiella avvikelsen hos de tre dolda punkterna, förutom dold punkt 2 som hade likvärdig radiell avvikelse (0,037 m) från 180 m flyghöjd, från 100 m var punkt 2:s radiella avvikelse avsevärt större (0,114 m) än de andras. Punkt 7b:s radiella avvikelser var något större, 0,053 m och 0,062 m från flyghöjderna 100 m respektive 180 m.

De radiella avvikelserna i plan för gränspunkterna 8 och 12, som låg intill olika hög skog vid hyggeskanterna, visade likvärdiga resultat vid digitaliseringen i ortofotomosaiken. Gränspunkt 8 avvek 0,020 m från flyghöjden 100 m och 0,034 m från flyghöjden 180 m, gränspunkt 12 avvek 0,021 m respektive 0,019 m. Med tanke på att gränser kan gå längs hyggeskanter, kan vi utifrån resultatet se att det fungerar bra med sådan placering av flygsignaler.

Tabell 2. PhotoScan: Avvikelser (m) mellan koordinater erhållna efter blockutjämnningen och referenskoordinater mätta i fält. Även medelavvikelse och RMS-värde för respektive flyghöjd redovisas.

Punkt-nummer	100 m ΔN	100 m ΔE	100 m Radiellt	180 m ΔN	180 m ΔE	180 m Radiellt
1	-0,051	-0,023	0,056	-0,023	-0,036	0,043
2	-0,071	0,116	0,136	-0,037	0,084	0,092
3	-0,050	-0,048	0,069	-0,031	-0,074	0,080
4	-0,014	-0,029	0,032	0,000	-0,053	0,053
5	0,014	0,031	0,034	-0,003	0,031	0,031
6	0,055	0,026	0,061	0,050	0,003	0,050
7a	0,009	-0,088	0,089	-0,008	-0,109	0,109
8	0,024	-0,005	0,025	0,013	-0,024	0,027
9a	0,023	0,007	0,024	-0,132	0,007	0,132
10	-0,007	0,000	0,007	-0,015	-0,021	0,026
11	0,011	0,016	0,019	0,004	-0,007	0,008
12	-0,017	0,008	0,019	0,007	-0,025	0,026
16a	-0,091	0,125	0,155	-0,118	0,089	0,148
18	-0,015	-0,041	0,044	-0,011	-0,033	0,035
Medelavvikelse	-0,018	0,011		-0,022	-0,012	
RMS			0,071			0,077

I PhotoScan kan inga systematiska effekter ses vid jämförelsen mellan avvikelserna i N- och E-led för respektive punkt och flyghöjd.

För gränspunkt 16a är skillnaden mellan metoderna märkbar, i och med att resultat erhöles från båda flyghöjderna efter blockutjämnningen men endast vid digitaliseringen i ortofotomosaiken från 100 m flyghöjd (bilaga 6).

3.3 Genomförande av statistisk testning

Följande kvoter har beräknats med RMS-värden hämtade från tabellerna 1 och 2.

Ortofotomosaik:

$$\frac{RMS^2(100)}{RMS^2(180)} = \frac{0,083^2}{0,049^2} = 2,87$$

Blockutjämnning:

$$\frac{RMS^2(180)}{RMS^2(100)} = \frac{0,077^2}{0,071^2} = 1,18$$

100 m:

$$\frac{RMS^2(\text{ortof})}{RMS^2(\text{block})} = \frac{0,083^2}{0,071^2} = 1,37$$

180 m:

$$\frac{RMS^2(\text{block})}{RMS^2(\text{ortof})} = \frac{0,077^2}{0,049^2} = 2,47$$

Ur ovanstående beräkningar kan ses att för koordinater erhållna i en ortofotomosaik finns en statistiskt signifikant skillnad mellan flyghöjderna 100 och 180 m. Övrigt är att osäkerheten blir större från den lägre flyghöjden. Vid blocktriangulering ses ingen statistiskt signifikant skillnad mellan de två flyghöjderna. Ingen statistiskt signifikant skillnad kan heller ses vid jämförelse mellan de två metoderna ortofotomosaik och blocktriangulering för flyghöjderna 100 och 180 m.

4 Diskussion

Basnivåkravet ligger på 0,50 m för mätning av nya gränspunkter i jord- och skogsbruksfastigheter (Lantmäteriet, 2015). I den här studien är den använda metoden för mätning med nätverks-RTK av referenskoordinaterna mycket noggrann för ändamålet (avsnitt 2.4). Valet av metod gjordes för att få så noggranna referenskoordinater som möjligt att jämföra med de manuellt digitaliserade koordinaterna i ArcMap och med de automatiskt beräknade koordinaterna i PhotoScan. Vår metod visar att de dolda punkterna fick ca tre gånger så hög standardosäkerhet som de direktmätta punkterna vilket innebär att om direktmätta punkter har en osäkerhet på 0,15 m (vid mätning med nätverks-RTK i t.ex. skogsmiljö) uppfylls basnivåkravet på 0,5 m även för dolda punkter.

Den största radiella avvikelsen från referenskoordinaterna i plan är 0,181 m för gränspunkt 3 i ortofotomosaiken från 100 m flyghöjd. Vid inzoomning var det lättare att urskilja flygsignalen från 100 m än från 180 m, därför blev den radiella avvikelsen i plan på nära två decimeter ett oväntat resultat (bilaga 6, figurerna B1 och B2). Avvikelsen kan möjligen bero på en ökad skuggeffekt vid den lägre flyghöjden då solen lyste starkt vid tillfället för flygningen.

Digitaliseringen av gränspunkt 7a i ortofotomosaiken framställd från 180 m flyghöjd erhöll en radiell avvikelse i plan på 2,31 m vid jämförelsen med referenskoordinaterna mätta i fält (beräknad som dold punkt, bilaga 6, figurerna B5 och B6). Digitaliseringen i ortofotomosaiken framställd från 100 m flyghöjd (bilaga 6, figur B7) och beräkningarna i PhotoScan från båda flyghöjderna, visar att de tre radiella avvikelserna i plan på ungefär en decimeter är jämförbara, vilket tyder på att resultatet av digitaliseringen av gränspunkt 7a i ortofotomosaiken framställd från 180 m flyghöjd inte är korrekt. Analysen av ortofotomosaiken framställd från 180 m, visar att skapandet av punkten inte är den bästa vid gränspunkt 7 (bilaga 6, figur B8). En tänkbar orsak kan vara att ortofotomosaiken inte blivit korrekt eftersom området där gränspunkten är placerad är omgiven av hög och tät skog, vilket troligtvis hade en ogynnsam effekt vid ortofotoframställningen. Med tanke på att resultatet blev bra vid beräkningarna i PhotoScan talar detta för att den metoden är att föredra framför digitalisering i en ortofotomosaik.

I samtliga jämförelser av flygsignalernas placeringar i olika miljöer, är det bara en radiell avvikelse i plan som ligger över basnivåkravet på 0,50 m och det är gränspunkt 7 som nämnts

ovan. Alla andra radiella avvikelser ligger under 0,181 m. Digitaliseringen i ortofotomosaiken resulterade i ett RMS-värde på 0,083 m från 100 m flyghöjd och 0,049 m från 180 m flyghöjd. RMS-värdena anses väl godtagbara med tanke på basnivåkravet, men kan inte jämföras med RMS-värdet som Gómez-Candón et al. (2013) erhöll (0,0025 m) eftersom flygningen i den studien utfördes över öppna vetefält, och den här flygningen utfördes över skogsmark. Att vårt RMS-värde är större kan också bero på att i den studien användes 11 stödpunkter på ett område som var 1 ha stort, och vi använde sex stödpunkter på ett område som var ca 24 ha stort.

Blockutjämnningen i PhotoScan resulterade i ett RMS-värde på 0,071 m från 100 m flyghöjd och 0,077 m från 180 m flyghöjd. RMS-värdena anses i detta fall godtagbara, speciellt vid jämförelse med RMS-värdet som Fernández-Hernandez et al. (2015) erhöll (0,045 m), vid flygningen från 65 m höjd över ett arkeologiskt område.

Det som påverkar möjligheten att använda UAS vid gränsmätning är bl.a. årstiden. I och med att hävderna/gränsmarkeringarna ska lokaliseras och märkas ut med flygsignaler påverkas tillfället för flygningen av om det är snö på marken eller inte samt hur mycket eventuella lövträd täcker flygsignalerna ovanifrån. Det måste även finnas öppna ytor för mätning av stödpunkter till georefereringen. Väderleksförhållanden är en annan viktig faktor att tänka på vilket van Hinsbergh et al. (2013) konstaterar i sin studie, då påverkades resultatet negativt av kyla, regn och vind. Utifrån våra resultat kan konstateras att även skuggbildningen kan påverka resultatet negativt, något som även Mårtensson och Reshetyuk (2014) konstaterar i sin projektrapport. Tidpunkten på dagen då flygningen utförs är alltså en faktor att ta hänsyn till och det med tanke på hur högt eller lågt solen står och hur skuggbildningen blir i bilderna.

Med tanke på de faktorer som inverkar på när en flygning kan utföras, kan ogynnsamma väderleksförhållanden under en längre period leda till att arbetet inte kan utföras. Om arbetet har påbörjats och vädret försämras så mycket att flygningen måste ställas in, resulterar det i outnyttjade arbetstimmar. Eftersom det svenska sommarvädret kan vara skiftande kan konstateras att vädret är en stor faktor att ta hänsyn till vid flygning med UAS.

Fördelen med att digitalisera signalerade gränspunkter i en ortofotomosaik är att arbetet är enklare och kan utföras fortare än vid en blockutjämnning, då många bilder ska gås igenom för att lokalisera och markera flygsignalens centrum. Nackdelen är att användaren inte kan

påverka vilka bilder som ska ingå i mosaiken och därmed kanske inte alla flygsignaler blir synliga. Något som inträffade för gränspunkterna 15 och 16 som kunde beräknas i PhotoScan (bilaga 4) men inte kunde digitaliseras i ortofotomosaiken, utom 16 från 100 m flyghöjd (bilaga 6, figurerna B9 och B10). Vid skapandet av ortofotomosaiken kan vissa bilder där flygsignalen varit synlig då ha blivit täckta av bilder där flygsignalen varit skydd av exempelvis trädkronor, och därmed har inte flygsignalen blivit synlig i mosaiken. Tack vare att övertäckningen var 80 % längs och tvärs stråkled, resulterade det i att samtliga flygsignaler var synliga i tillräckligt många flygbilder för att kunna beräknas i PhotoScan.

Trots att mätosäkerheterna för metoderna inte visar tydliga skillnader har metoden då koordinater beräknas vid blockutjämnning en fördel, då ingående flygbilder kan bestämmas av användaren, vilket ökar möjligheten att kunna se och markera flygsignalen i flygbilderna. Dessutom rekommenderas att det är samma person som placerar ut flygsignalerna som utför markering av signalerna i flygbilderna. Kännedom om hur terrängen ser ut där flygsignalerna har placerats underlättar när dessa ska lokaliseras i flygbilderna. Med tanke på att det är många flygbilder att gå igenom i efterarbetet, kan identifieringen förenklas ytterligare genom att t.ex. en orangefärgad flygsignal används, då den är lättare att urskilja än en vit flygsignal, i flygbilderna tagna över skogsområden. Att färgen är lättare att urskilja lade vi märke till eftersom en varningskon fanns längs skogsvägen och konan syntes tydligt i flygbilderna.

Det som har orsakat det stora RMS-värdet (0,083 m) hos ortofotomosaiken framtagen från 100 m flyghöjd är att det finns en systematisk avvikelse hos tre punkter. Punkterna 2, 3 och 4, har avvikelser som är negativa i både N- och E-led och de radiella avvikelserna för punkterna är 0,114 m, 0,181 m respektive 0,125 m (tabell 1). Om vi bortser från dessa tre punkter visade inte F-testet heller någon statistiskt säkerställd skillnad mellan flyghöjderna 100 m och 180 m hos ortofotomosaikerna.

5 Slutsatser

- Signalerade stödpunkter för georeferering och gränspunkter/hjälpunkter kan mätas med en mindre noggrann metod än den som använts i detta examensarbete.
- En högre flyghöjd rekommenderas, med tanke på att tidsåtgången för flygningen blir kortare. Det ger också ett mindre antal flygbilder och därmed blir också tidsåtgången för bearbetning av dessa kortare.
- Välj en metod för bearbetning av flygbilderna som användaren är förtrogen med – t.ex. manuell digitalisering i en ortofotomosaik eller automatisk beräkning i en blockutjämnning.
- Välj en flygtidpunkt när det är molnigt väder för att undvika skuggbildningar i flygbilderna.

Referenser

- Berteška, T. & Ruzgienė, B. (2013). Photogrammetric mapping based on UAV imagery. *Geodesy and Cartography*, 39(4), 158–163. doi:10.3846/20296991.2013.859781
- Eisenbeiss, H. (2009). *UAV Photogrammetry*. Doctor of Sciences/doctoral dissertation, University of Technology Dresden, Institution of Geodesy and Photogrammetry. Från http://www.igp-data.ethz.ch/berichte/Blaue_Berichte_PDF/105.pdf
- Fernández-Hernandez, J., González-Aguilera, D., Rodríguez-Gonzálvez, P. & Mancera-Taboada, J. (2015). Image-Based Modelling from Unmanned Aerial Vehicle (UAV) Photogrammetry: An Effective, Low-Cost Tool for Archaeological Applications. *Archaeometry*, 57(1), 128–145. doi:10.1111/arc.12078
- Gómez-Candón, D., De Castro, A.I. & López-Granados, F. (2013). Assessing the accuracy of mosaics from unmanned aerial vehicle (UAV) imagery for precision agriculture purposes in wheat. *Precision Agriculture*, 15(1), 44–56. doi:10.1007/s11119-013-9335-4
- Gunnarsson, T. & Persson, M. (2013). *Stödpunkters inverkan på osäkerheten vid georeferering av bilder tagna med UAS*. Examensarbete 15 hp, Högskolan i Gävle, Akademin för teknik och miljö. Från <http://hig.diva-portal.org/smash/get/diva2:628351/FULLTEXT01.pdf>
- Haala, N., Cramer, M., Weimer, F. & Trittler, M. (2011). Performance test on UAV-based photogrammetric data collection. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XXXVIII-1/C22, 7–12. Från <http://www.int-arch-photogramm-remote-sens-spatial-inf-sci.net/XXXVIII-1-C22/7/2011/isprsarchives-XXXVIII-1-C22-7-2011.pdf>
- 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. doi:10.1016/j.geomorph.2013.03.023
- Huitfeldt B. (1972). *Statistiska metoder för experimentella undersökningar*. Lund: Studentlitteratur.
- JCGM 100 (2008). Evaluation of measurement data – Guide to the expression of uncertainty in measurement. Joint Committee for Guides in Metrology (JCGM/WG 1)
- Kahmen, H. & Faig, W. (1988) *Surveying*. Berlin: Walter de Gruyter & Co.
- Kahmen, H. & Faig, W. (1988). *Surveying*. Berlin: Walter de Gruyter.

Kelm, K. (2014). UAVs Revolutionise Land Administration. *GIM International*, 27(3), 20–25.

Lantmäteriet (2015). Enhetligt arbetssätt. Handbok (opublicerat).

Li, G.Q., Zhou, X.G., Yin, J. & Xiao, Q.Y. (2014). An UAV scheduling and planning method for post-disaster survey. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XL-2, 169–172. doi:10.5194/isprsarchives-XL-2-169-2014

Manyoky, M., Theiler, P., Steudler, D. & Eisenbeiss, H. (2011). Unmanned Aerial Vehicle in cadastral applications. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XXXVIII-1/C22, 1–6. Från http://www.geometh.ethz.ch/uav_g/proceedings/manyoky

Mårtensson, S-G. (2014) Measurement uncertainty when surveying inaccessible points. (Oplicerat)

Mårtensson, S-G. & Reshetyuk, Y. (2014). *Noggrann och kostnadseffektiv uppdatering av DTM med UAS för BIM* (FoU-rapport 2015:030). Borlänge: Trafikverket. Från <http://online4.ineko.se/trafikverket/Product/Detail/46381>

Mårtensson, S-G., Reshetyuk, Y. & Jivall, L. (2012). Measurement uncertainty in network RTK GNSS-based positioning of a terrestrial laser scanner. *Journal of Applied Geodesy*, 6, 25–32. doi:10.1515/jag-2011-0013

Norin, D., Engfeldt, A., Öberg, S. & Jämtnäs, L. (2010). *Kortmanual för mätning med SWEPOS Nätverks-RTK-tjänst* (LMV-Rapport 2006:2). Gävle: Lantmäteriet. Från https://www.lantmateriet.se/globalassets/kartor-och-geografisk-information/gps-och-matning/geodesi/rapporter_publicationer/rapporter/lmv-rapport_2006_2_utgava3.pdf

Odolinski, R. (2010). *Geodesi och Geografiska informationssystem: Checklista för nätverks-RTK* (LMV-Rapport 2010:3). Gävle: Lantmäteriet. Från http://www.lantmateriet.se/globalassets/kartor-och-geografisk-information/gps-och-matning/geodesi/rapporter_publicationer/rapporter/lmv-rapport_2010_3.pdf

Rainer, D. (2014). Rules, regulations and codes for drones, unmanned aerial vehicle, NextGen Air Transportation, unmanned air systems. *Journal of Chemical Health and Safety*, 21(6), 34–35. doi:10.1016/j.jchas.2014.09.003

Remondino, F., Barazzetti, L., Nex, F., Scaioni, M. & Sarazzi, D. (2011). UAV photogrammetry for mapping and 3d modeling: current status and future perspectives. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XXXVIII-1/C22, 25–31. Från <http://www.int-arch-photogramm-remote-sens-spatial-inf-sci.net/XXXVIII-1-C22/25/2011/isprsarchives-XXXVIII-1-C22-25-2011.pdf>

Santise, M., Fornari, M., Forlani, G. & Roncella, R. (2014). Evaluation of DEM generation accuracy from UAS imagery. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XL-5, 529–536. Från <http://www.int-arch-photogramm-remote-sens-spatial-inf-sci.net/XL-5/529/2014/isprsarchives-XL-5-529-2014.pdf>
SFS 1970:994. Jordabalken. Stockholm: Justitiedepartementet.

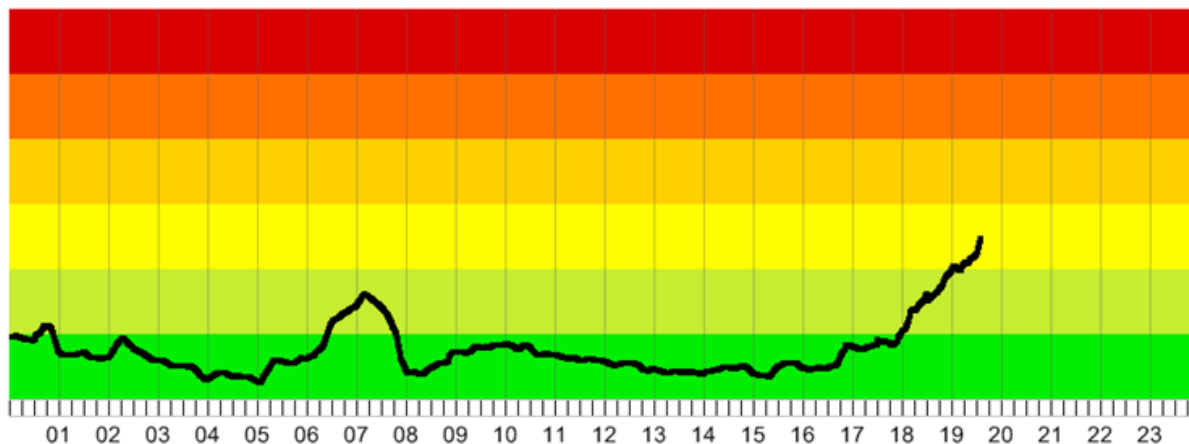
SFS 1970:995. Lag om införande av nya jordabalken. Stockholm: Justitiedepartementet.

Toresson, M. & Bransell, E. (2008). *Omarrondering för långsiktig hållbar utveckling - En samhällsekonomisk bedömning*. Hämtad 12 mars, 2015 från <http://www.lantmateriet.se/globalassets/fastigheter/andra-fastighet/omarrondering/omarrondering-och-samhallsnytta-080520.pdf>

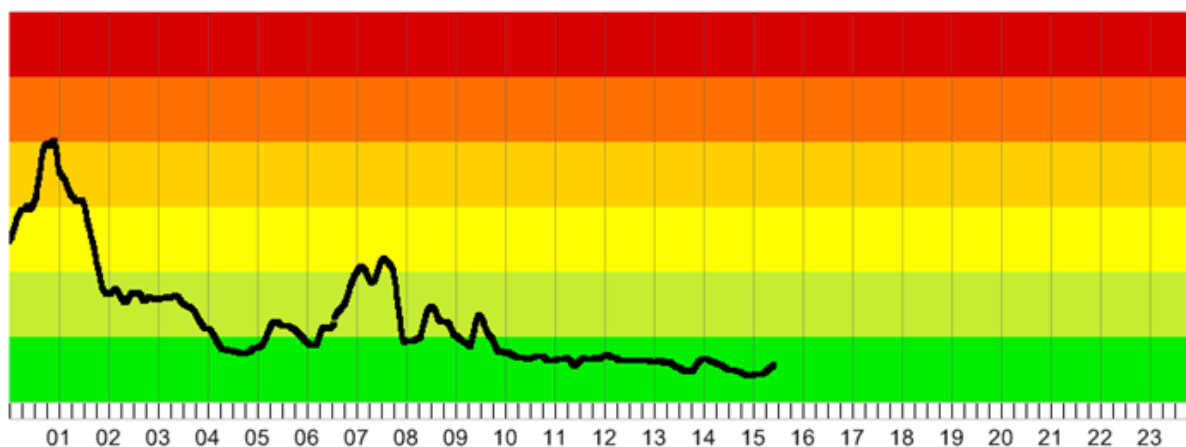
van Hinsbergh, W., Rijdsdijk, M. & Witteveen, M. (2013). UAS for Cadastral Application: Testing suitability for boundary identification in urban areas. *GIM International*, 27(3), 20–25.




Bilaga 1 - Jonosfärsstörningar

Jonosfärsstörningar över Svealand 150331



Jonosfärsstörningar över Svealand 150401



-  Mätosäkerheten ökar obetydligt (<15 % i vertikalt) och möjligheten att få fixlösning påverkas ej.
-  Mätosäkerheten ökar gradvis upp till 60 % och sannolikheten för fixlösning minskar gradvis.
-  Mätningarna har låg tillförlitlighet och det är mycket svårt att få fixlösning.

Alla tider anges i UTC. Under Svensk normaltid lägg på 1 timme på UTC och under Svensk sommartid lägg på 2 timmar.

Hämtad 150401 från: <https://swepos.lantmateriet.se/tjanster/jonomonitor/jonomonitor.aspx>

Bilaga 2 – Referenskoordinater

Medelvärden och standardosäkerheter i plan för referenskoordinater, mätta med nätverks-RTK (om inget annat anges i tabellen). Även RMS-värde redovisas.

Punkt-nummer	Typ	N (m)	E (m)	Radiell standardosäkerhet (m)
1		6738365,65	182181,51	0,0083
2	Dold	6738416,53	182248,14	0,041
3		6738413,95	182250,02	0,013
4		6738418,22	182251,49	0,0071
5		6738879,36	181938,88	0,0059
6		6738869,62	181944,05	0,011
7	Dold	6738875,27	181949,18	0,039
8		6738858,55	181931,43	0,0069
9a		6738862,24	181869,10	0,0032
9b	Dold	6738862,38	181869,07	0,033
10		6738856,54	181874,73	0,0033
11		6738856,24	181864,83	0,0032
12		6738852,19	181813,67	0,0045
13		6738871,35	181814,50	0,0032
14		6738938,43	181948,73	0,0098
16a	Dold	6738520,69	182063,29	0,034
16b		6738530,44	182072,91	0,021
16c		6738527,81	182070,15	0,020
17		6738498,97	182131,33	0,0064
18		6738487,65	182140,83	0,0074
19		6738329,79	182107,15	0,0053
20		6738443,11	182329,58	0,0053
21		6738679,09	182096,33	0,0061
RMS	Direkt			0,015
RMS	Dold			0,050

Bilaga 3 – Koordinater digitaliserade i ArcMap (100 m)

Digitaliserade koordinater i plan i ortofotomosaiken från 100 m flyghöjd.

Punkt- nummer	Typ	N (m)	E (m)
1	Gräns (röse)	–	–
2	Dold (röse)	6738416,47	182248,04
3	Gräns	6738413,86	182249,86
4	Gräns	6738418,17	182251,37
5	Gräns	6738879,26	181938,90
6	Gräns	6738869,66	181944,08
7a	Gräns	6738875,22	181949,08
7b	Dold	6738875,28	181949,23
8	Gräns	6738858,57	181931,42
9a	Gräns	6738862,18	181869,06
9b	Dold	6738862,39	181869,11
10	Gräns	6738856,52	181874,73
11	Gräns	6738856,29	181864,81
12	Gräns	6738852,18	181813,65
16a	Gräns (hävd)	6738520,63	182063,40
18	Gräns	6738487,65	182140,77

Bilaga 4 – Koordinater digitaliserade i ArcMap (180 m)

Digitaliserade koordinater i plan i ortofotomosaiken från 180 m flyghöjd.

Punkt- nummer	Typ	N (m)	E (m)
1	Gräns (röse)	6738365,62	182181,53
2	Dold (röse)	6738416,54	182248,10
3	Gräns	6738413,95	182249,95
4	Gräns	6738418,25	182251,43
5	Gräns	6738879,28	181938,92
6	Gräns	6738869,68	181944,06
7a	Gräns	6738877,43	181948,35
7b	Dold	6738875,27	181949,24
8	Gräns	6738858,52	181931,41
9a	Gräns	6738862,27	181869,10
9b	Dold	6738862,38	181869,11
10	Gräns	6738856,53	181874,76
11	Gräns	6738856,25	181864,85
12	Gräns	6738852,21	181813,66
16a	Gräns (hävd)	–	–
18	Gräns	6738487,65	182140,77

Bilaga 5 – Koordinater erhållna i PhotoScan (100 m, 180 m)

Koordinater i plan erhållna efter blockutjämnningen, från flyghöjden 100 m (vänster) och 180 m (höger).

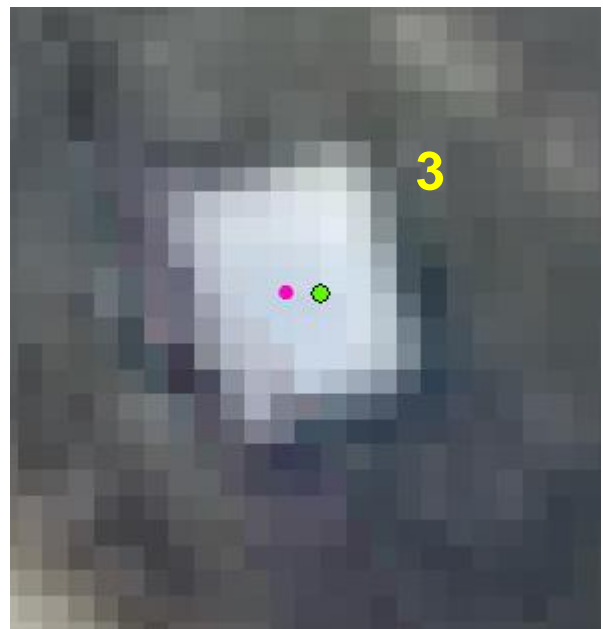
Punkt- nummer	N (m)	E (m)	Punkt- nummer	N (m)	E (m)
1	6738365,60	182181,49	1	6738365,63	182181,48
2	6738416,46	182248,25	2	6738416,49	182248,22
3	6738413,90	182249,98	3	6738413,92	182249,95
4	6738418,21	182251,46	4	6738418,22	182251,43
5	6738879,37	181938,92	5	6738879,35	181938,91
6	6738869,67	181944,07	6	6738869,67	181944,05
7	6738875,28	181949,09	7	6738875,26	181949,07
8	6738858,57	181931,42	8	6738858,56	181931,40
9	6738862,26	181869,10	9	6738862,25	181869,08
10	6738856,54	181874,73	10	6738856,53	181874,71
11	6738856,25	181864,85	11	6738856,24	181864,83
12	6738852,17	181813,68	12	6738852,20	181813,64
15	6738466,93	182102,47	15	6738467,00	182102,47
16	6738520,60	182063,41	16	6738520,57	182063,38
18	6738487,63	182140,78	18	6738487,64	182140,79

Bilaga 6 – Digitalisering i ArcMap

Nedan visas delar av ortofotomosaikerna från 100 m (vänster) och 180 m (höger) flyghöjd. Cerise markering visar digitalisering i ortofotomosaikerna och grön markering visar referenskoordinaterna i förhållande till digitaliseringen. I figur B7 visar övre cerise markering placeringen av digitaliseringen i ortofotomosaiken från 180 m flyghöjd, i förhållande till digitaliseringen i ortofotomosaiken från 100 m flyghöjd. Digitaliseringen avvek 2,3 m från referenskoordinaterna, vilket visas i figur B7, där koordinaterna från denna digitalisering kopierats till koordinatfilen tillhörande ortofotomosaiken från 100 m flyghöjd, för att visualisera den stora avvikelsen.



Figur B1.



Figur B2.



Figur B3.



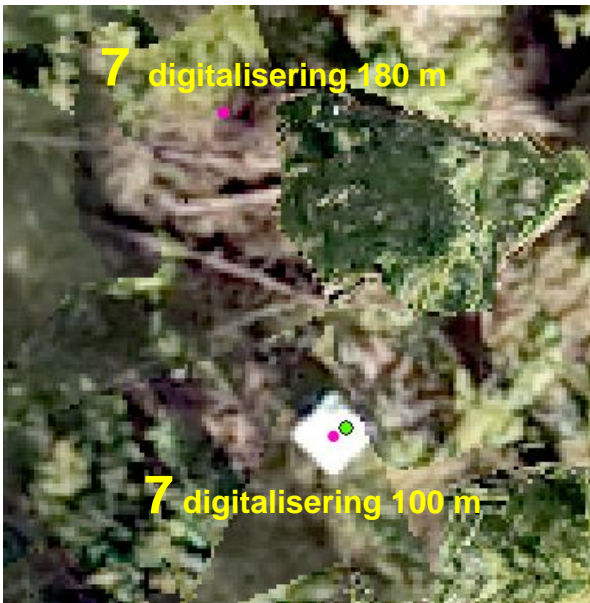
Figur B4.



Figur B5.



Figur B6.



Figur B7.



Figur B8.



Figur B9.



Figur B10.