

Mätmetoder för ökad produktivitet

Guide för upprättande av genomförandebeskrivning - UAS

InfraSweden är ett nationellt strategiskt innovationsprogram (SIP) som finansieras via Vinnova, Energimyndigheten och Formas. I programmet samarbetar företag, organisationer, högskolor och andra nyckelaktörer från infrastrukturbranschen mot målet att Sverige 2030 har en konkurrenskraftig transportinfrastruktur. Programmet syftar till att stärka Sveriges konkurrenskraft och öka hållbarhetsutvecklingen inom den svenska transportinfrastrukturbranschen.

InfraSweden arbetar för en hållbar transportinfrastruktur som stödjer omställningen till Agenda 2030 och når klimatneutralitet 2045. Programmets delmål för att uppnå visionen är att utveckla innovationer, minska miljö- och klimatpåverkan samt skapa en öppen, dynamisk och attraktiv transportinfrastruktursektor.

För mer information om programmet, se www.infrasweden.nu.



Dokumentinformation

Dokumenttitel: Guide för upprättande av genomförandebeskrivning - UAS

Dokumenttyp: Dokument

Version: 1.0

Kontaktperson: Anna Neidenström, Trafikverket

Deltagare

Guiden har upprättats i samarbete med följande projektparter:

NCC, Sergio Delgado

Outflight AB, Peter Melander

RISE, Åke Sivertun

SCIOR Geomanagement AB, Andreas Karlström

SCIOR Geomanagement AB, Kent Persson

Skymap, Jon Bengtsson

Sweco Sverige AB, Yuriy Reschetiuk

Trafikverket, Jesper Klarqvist

Tyréns AB, Ulf Hedlund

Veidekke, Mikael Blomberg

Förord

Denna guide ska ses som en handledning för att skapa god praxis och syftar i första hand till att utgöra stöd för upprättande av genomförandebeskrivning för datafångst med UAS. Dokumentet avser inte att vara ett kravdokument utan ska endast tillämpas som en guide och som ett underlag för att underlätta kommunikation som berör mätningstekniska frågor.

Innehållet i guiden är generellt beskrivet och ska kunna tillämpas oavsett projekttyp eller beställare, vilket innebär att den kan användas som underlag oavsett om det är en privat aktör, kommun eller Trafikverket står som beställare.

Innehåll

1	Inledning.....	4
2	Syfte och omfattning.....	5
2.1	Dokumentets disposition	5
3	Begrepp och definitioner.....	6
4	Regler och begränsningar.....	7
5	Kort om UAS	7
5.1	Farkosttyper	8
5.2	Sensorer.....	9
5.2.1	Rekommendationer vid val av sensor	10
5.3	Arbetsmiljö, säkerhet och störning	11
5.4	Egenkontroll och verifiering	12
5.5	Arbetsflöde.....	14
6	Datafångst och mätning	16
6.1	Planering av flygning	16
6.1.1	Kamerasensor.....	17
6.1.2	Lasersensor.....	17
6.2	Markstöd, kontrollpunkter och positionering.....	18
6.2.1	Markstöd	18
6.2.2	Kontrollpunkter	18
6.2.3	Konfiguration.....	18
6.2.4	Positionering.....	20
6.3	UAS med kamera (UAS-fotogrammetri).....	21
6.3.1	Kamerans egenskaper	21
6.3.2	Kamerans inställningar	25
6.3.3	Övriga faktorer	27
6.4	UAS med laserskanner.....	28
7	Databearbetning.....	29
7.1	Primär databearbetning – fotogrammetrisk data.....	29
7.1.1	Optimering av bildblock	29
7.1.2	Generering av ett högupplöst punktmoln.....	29
7.2	Primär databearbetning – laserskannad data.....	30
7.2.1	Stråkutjämnning	30
7.2.2	Inpassning på markstöd.....	30
7.3	Sekundär databearbetning.....	30
8	Produkter.....	31

8.1	Datafångst	31
8.2	Georefererat punktmoln	31
8.3	Ytmodeller	32
8.3.1	Markmodell	32
8.3.2	Siluetmodell	32
8.3.3	Objektmodell	32
8.4	Ortofoto.....	32
8.5	Kartering (2D/3D)	33
9	Verifiering.....	33
10	Dokumentation och redovisning	34
11	Kravdokument och riktlinjer.....	35
12	Litteratur- och referensförteckning.....	36
	Bilagor.....	38
	Bilaga 1: Mall för genomförandebeskrivning	38
1	Inledning.....	38
2	Omfattning och förutsättningar	38
3	Planering.....	38
4	Genomförande och egenkontroll	39
4.1	Osäkerhetsbedömning av resultat	39
4.2	Utförande	39
4.3	Kontrollförfarande.....	40
4.4	Produktionsresultat och redovisning	40
5	Arbetsmiljö	40
	Bilaga 2: Riskanalys.....	41

1 Inledning

Inom anläggningsbranschen finns det behov av att utföra mätning med UAS som sensorbärare i syfte att framställa geodata till bl.a. underlag för projektering och byggande. Teknik och tillämpningar är inte nya, men utvecklas kontinuerligt. Det gör att även kunskap och arbetsätt behöver utvecklas. I branschen finns ett behov av att fastställa hur ”best practice” ser ut idag och att tydliggöra vad som bör vara en miniminivå för att uppnå ett bra kvalitetssäkrat slutresultat.

Tekniken med UAS som *mätinstrument* har redan idag en berättigad plats för ett flertal tillämpningar där den kan vara ytterst effektiv och med bra mätningstekniskt resultat. fördelar kan vara flexibilitet, snabb insamling av data över områden, låg mätosäkerhet (*rätt* utfört med *rätt* förutsättningar) och där insamlad data kan ligga till grund för ett flertal användbara och efterfrågade geodata-produkter. UAS-tekniken kan då vara en effektiv metod som skapar nytta i projekt och uppdrag.

Men det bör även nämnas att det, som för alla mätmetoder, finns begränsningar för UAS-mätning där tekniken inte har samma tillämplighet. Den är jämte andra tekniker som terrestra mätmetoder och GNSS, ett av verktygen i mätningingenjörens ”verktygslåda” för att utföra mätningstekniska uppdrag och skapa efterfrågade geodataprodukter. Här påverkar faktorer som uppnåbar mät- och lägesosäkerhet, hanterbarhet, möjlighet för åtkomst och insyn, tidsåtgång/kostnad, projektstorlek, resultat användning m.m. Och i många situationer behövs kombinationer av tekniker för att möjliggöra ett bra och användbart resultat. Ett exempel kan vara framtagande av markmodell där UAS-data som punktmoln, georefererad med hjälp av terrestra mätningar, kompletterad med inmätta och vektoriserade brytlinjer ger en produkt som uppfyller behovet.

Det är då viktigt att ha god kunskap om UAS-tekniken som ”mätinstrument”, dess fördelar och begränsningar, och att tekniken används med gott omdöme. Det är här som denna guide är tänkt att fylla en funktion. Att kortfattat beskriva ett antal påverkande faktorer för mätning med UAS och dess påverkan på resultat, och handleda utförare att på ett strukturerat och genomtänkt sätt planera och beskriva ett genomförande. För den egna kvalitetssäkringen eller för dialog med beställare och behovshavare.

2 Syfte och omfattning

Denna guide har tagits fram i syfte att skapa ett branschgemensamt dokument som hjälp och stöd vid insamling av lägesbestämd information där UAS används som sensorbärare. Guiden är begränsad till behandling av datainsamling med en kamera och laserskanner för att ta fram underlag till bl.a. markmodell och ortofoto.

Målgrupp är alla verksamma inom mättningsbranschen. Guiden skall tjäna som stöd för både utförare och beställare vid kravställning, planering, utförande och redovisning. Läsaren förväntas ha grundläggande kunskaper om fotogrammetri, laserskanning och mätningsteknik.

2.1 Dokumentets disposition

Dispositionen i dokumentet är:

- Kapitel 4 och 5 beskriver övergripande om UAS
- Kapitel 6 och 7 innehåller en teoretisk del som ska ge bakgrund och förståelse för olika faktorer som påverkar datafångst och databearbetning.
- Kapitel 8 beskriver kort vanligt förekommande produkter.
- Kapitel 9 och 10 beskriver verifiering och dokumentation.

I bilaga 1 finns en mall för genomförandebeskrivning vilken är tänkt att användas som stöd och underlag när en beskrivning ska upprättas. För varje rubrik finns rådstexter som beskriver de olika uppgifter som ska redovisas under respektive rubrik. Denna bilaga är helt fristående och ska separeras från guiden när en genomförandebeskrivning upprättas.

3 Begrepp och definitioner

Begrepp	Definition
UAV (unmanned aerial vehicle)	Anordning som kan erhålla bärkraft i atmosfären genom luftens reaktioner, med undantag av dess reaktioner mot jordytan, och som flygs eller är konstruerat att flygas utan en pilot ombord. (TSFS 2017:110, obemannat luftfartyg)
UAS (unmanned aerial system)	System bestående av obemannat luftfartyg (UAV) samt övriga komponenter som är nödvändiga för att kunna kontrollera det obemannade luftfartyget på avstånd av en eller flera personer. I detta dokument inkluderas också sensor för datainsamling. (TSFS 2017:110, obemannat luftfartygssystem)
Markstöd	En punkt på marken eller annat fast objekt som är lägesbestämd i ett referenssystem och som används för georeferering av bildblocket eller punktmoln insamlat med UAS.
Kontrollpunkt	En punkt på marken eller annat fast objekt som är lägesbestämd i ett referenssystem och som används för kontroll av kvalitet av georeferering eller slutlig mätosäkerhet.
Ytmodell	Modell som beskriver en yta
Markmodell	Numerisk beskrivning av markens överyta i tre dimensioner. (SIS-TS 21144:2016)
Siluetmodell	Modell som beskriver en heltäckande yta där det översta skiktet i terrängen inklusive alla objekt som byggnader, vegetation, master, luftledningarna med mera inkluderas. Även benämnd DSM.
GSD	Avståndet mellan två intilliggande pixlars centrumpunkter, mätt på marken.

För övriga definitioner hänvisas till HMK – Ordlista, termer och förkortningar.

4 Regler och begränsningar

I detta kapitel beskrivs regler och begränsningar på en översiktlig nivå, för mer information om regler och begränsningar kring UAS och data hänvisas till länkar i litteratur- och referensförteckning (kap. 12). Det är utförarens ansvar att kontrollera gällande regler för användning av UAS och data eftersom dessa ständigt förändras.

Den 1 januari 2021 trädde en europeisk förordning för användning av UAS i kraft men fortfarande kan varje land ha sina egna nationella regler för användning av UAS. Den nya förordningen reglerar användning i Europa och de länder som tillhör EASA (European Aviation Safety Agency) d.v.s. EU, Island, Liechtenstein, Norge, Schweiz samt Storbritannien, med nya användningsregler, certifiering och klassificering av UAS beroende på användning och tekniska egenskaper i olika kategorier. På grund av den ständiga förändringen av teknologier och eventuella variationer och förändringar i regelverk rekommenderas att kontinuerligt kontrollera gällande regler för typ av UAS, flygning och område.

Utöver dessa regler är det nödvändigt att ta hänsyn till i vilket luftrum som flygning genomförs. Det finns en luftrumsklassificering som alla luftfartyg måste följa oavsett vilken typ av luftfartyg det är, och UAS är reglerade som ett luftfartyg. Det finns dock möjlighet att flyga i de kontrollerade luftrummen men där krävs speciella tillstånd.

Det finns även andra begränsningar att ta reda på, beakta och eventuellt söka tillstånd för innan flygning. Exempelvis beslutar Naturvårdsverket och länsstyrelser om begränsningar i t.ex. förbud mot att starta och landa med luftfartyg i skyddad natur. Man måste själv ta reda på vad som gäller via respektive länsstyrelse eller nationalparksföreskrift. För naturområde som är klassat som Natura 2000-område finns EU-regler som förbjuder flygning med drönare.

För att få sprida (dela) geografisk information insamlad från luften måste spridningstillstånd finnas för aktuell data-/informationsmängd. Spridningstillstånd hanteras av Lantmäteriet.

Även Dataskyddsförordningen (DSF, mest känd som GDPR) och kamerabevakningslagen (2018:1200) kan bli tillämpliga på UAS-data om UAS:en fångar personer som kan identifieras.

5 Kort om UAS

UAS (Unmanned Aircraft System; även drönare) blir idag en allt vanligare syn i bygg- och anläggnings-sammanhang för framtagande av geodata. Men UAS i sig själv är inget mätinstrument utan endast en flygande plattform för bärande av något sensorsystem som samlar in data från luften. För mätningstekniska tillämpningar är det primärt digitalkamera eller laserskanner som är sensorer där insamlad data i form av bilder eller laserpunkter kan beräknas och bearbetas till lägesbestämd data som beskriver objekt och företeelser på marken dvs. geodata.

5.1 Farkosttyper

Även om UAS per definition är obemannade system krävs en pilot på marken som har kontroll över systemet under flygningen. Flygning kan genomföras helt automatiskt längs en förprogrammerad rutt med hjälp av att UAS:en kan positionera sig med integrerad GNSS-mottagare.

De typer av drönare som används för geodetiska mätningar är vanligtvis flygplan med fasta vingar och vertikalt monterad rotor, eller så kallad multikopter, se Bild 1 nedan. Det förekommer också hybridvarianter (Bild 2) som kan starta och landa vertikalt som en multikopter men kan flyga framåt som ett flygplan med vingar. Denna typ av farkost har fördelar med enkel och säker start och landning som en multikopter samt möjlighet att flyga över stora områden som ett flygplan. För ytterligare jämförelse mellan flygplan och multikopter se Tabell 1 .

Tabell 1 Exempel på för- och nackdelar med flygplan och multikoptrar

Aktivitet/område	Flygplan	Multikopter
Start och landning	- Lång start- och landningssträcka	+ Vertikal start och landning
Hastighet	+ Relativt hög	- Lägre än för flygplan
Stabilitet i luften	+ Jämnare och stabilare framfart	- Kan vara störningskänslig för vind
Flygtid	+ Längre flygtid	- Kortare flygtid (Fler rotorer och inte självbärande i luften)
Manövrering	- Svåra att använda i områden med många hinder	+ Kan flyga med varierande hastighet + Kan flyga vertikalt
Underhåll	+ Enkelt underhåll	- Mer krävande underhåll (Bl.a. beroende på fler roterande delar)
Årstider	- Suddiga bilder, hög ISO	+ Bilder i fokus, låg ISO
Övrigt	- Kan bli måltavla för rovfåglar, fiskmåsar mm	



Bild 1. Exempel på en multikopter. Källa NCC, Sergio Delgado



Bild 2. Exempel på hybrida UAS:er. Källa NCC, Sergio Delgado

5.2 Sensorer

Vid användning av UAS för geodetisk mätning används normalt två typer av sensorer; kamera (digitala) eller laserskanner. Kameran tar digitala flygbilder som kan bearbetas till punktmoln och utgöra underlag för t.ex. ortofoto. Laserskannern mäter med laser mängder av punkter på marken som efter bearbetning resulterar i ett punktmoln.

Vid användning av kamera görs mätningen i de flygbilder som tas från UAS. Tekniken kallas för (flyg)fotogrammetri och har använts inom bl.a. kartering i mer än 100 år. Med fotogrammetri skapas mätpunkter med 3D-positioner (x, y och z). Antingen genom stereokartering eller som bildmatchning. Mätta 3D-positioner ansluts därefter till ett referenssystem och får rätt geografisk plats – i både plan och höjd (N, E, H). Detta kallas georeferering. Georefereringen sker vanligtvis med hjälp av referenspunkter på marken (markstöd) som syns i bilderna och är lägesbestämda i referenssystemet med t.ex. totalstation eller GNSS-RTK.

Eftersom digitala kameror tar högupplösta bilder finns förutsättning för att beräkna väldigt många mätpunkter per kvadratmeter. Detta täta punktmoln har bra möjlighet att detaljerat återger den geometriska formen av det fotograferade objektets överyta i 3 dimensioner (2.5D).

Kameran är en passiv sensor och kräver därför bra ljusförhållanden för att kunna ge ett resultat. Det begränsar användningen till dagtid och goda väderförhållanden. En annan begränsning med kamera som sensor (och fotogrammetri) är att för att kunna mäta en punkt måste samma punkt vara synlig i minst två överlappande bilder. Det ger bl.a. som konsekvens att möjligheten till att t.ex. mäta punkter på mark som är bevuxen med vegetation är mycket små.

Fördelar med kamera som sensor är bl.a. att systemen är relativt billiga och lätta och tekniken har förutsättningar för ett resultat med låg lägesosäkerhet, kan ge hög punkttäthet samt att man erhåller bilder som kan utgöra indata till ortofoto.

Vid användandet av laserskanner som sensor mäter en laserstråle avstånd (och registrerar vinklar) till varje objekt den träffar. På detta sätt fås en stor mängd punkter på objektets överyta (t.ex. markyta, vegetation, byggnader) vilket resulterar i ett punktmoln direkt. Georeferering av punktmolnet sker med hjälp av GNSS-mottagare och tröghetsensor ombord på UAS'en. Dock ska markstöd användas för noggrannare georeferering.

Till skillnad från kamera är laserskanner en aktiv sensor som skickar ut en signal som gör det möjligt att beräkna avståndet till punkter på objektet. Därför kan den mäta i dåliga ljusförhållanden och mörkret. En fördel gentemot kamera som sensor är att lasertekniken har bättre möjlighet att komma

ner med mätpunkter i små öppningar i vegetation och därmed öka sannolikheten för att träffa marken. Dock har laserskanning oftast inte samma förutsättningar för samma höga punkttäthet som kamera har.

Det finns möjlighet att kombinera kamera och laserskanner i ett integrerat system för att ta bilder samtidigt med skanningen. Det ger förutsättningar för att på ett enklare sätt kunna skapa ortofoto och få laserskannade punkter i punktmoln färgsatta från flygbilderna.

En jämförelse mellan datainsamling med fotogrammetri och laserskanning redovisas i Tabell 2. Kort sammanfattat är fotogrammetri en överkomlig och lätt hanterbar mätmetod som fungerar bäst på öppna ytor med bra färgkontrast, och som kan ge mätningstekniskt bra resultat för vissa tillämpningar om den används på rätt sätt. Laserskanning är däremot en mer avancerad metod som kräver mer kompetens hos utföraren men är överlägsen fotogrammetri vid inmätning av områden som är täckta av vegetation.

Tabell 2. En jämförelse mellan UAS-fotogrammetri och laserskanning från UAS.

Egenskap	UAS-fotogrammetri	UAS-laserskanning
Tidsåtgång för att ta fram ett georefererat punktmoln	Relativt stor	Relativt liten
Möjlighet att mäta mark under vegetation	Ingen	Mindre bra till bra (beroende på bl.a. vegetationens täthet, inställningar, möjlighet till att registrera flera laserreturer)
Beroende av bra ljusförhållanden	Ja	Nej
Behöver kontrastrika ytor för att få bra resultat?	Ja	Nej
Uppnåbar detaljnivå	Mycket hög	Hög (beroende bl.a. på laserskannerns mätfrekvens, flyghastighet)
Kostnad av systemet	Lägre	Högre
Underhåll av systemet	Enkelt	Mer avancerat
Vikt	Mindre vikt	Relativt tyngre utrustning än kamera

5.2.1 Rekommendationer vid val av sensor

Nedanstående tabell (Tabell 3) redovisar olika aspekter som kan utgöra stöd vid val av sensor för mätningstekniska tillämpningar. De avser framför allt aspekter där datafångsten har som mål att er hålla bra värden och överensstämmelse för markytan.

Tabell 3. Exempel på generella rekommendationer vid val av sensor för datainsamling med UAS.

Krav / förutsättning	Kamera	Laserskanner
Krav på hög detaljnivå	+++	+
Krav på låg mätosäkerhet, speciellt i plan	+++	+
Krav på en fotorealistisk produkt	+++	-
Projekt i öppen terräng (utan eller med liten vegetationsandel)	+++	++

Projekt i skogsterräng eller i områden med större vegetationsandel	-	+++
Projekt där resultatet önskas snabbt (produkt)	+	+++
Identifierbarhet av linjer/kanter med låg planosäkerhet (kartering)	+++	-

+++ Mycket lämplig

++ Lämplig

+ Någorlunda lämplig

- Inte lämplig

När det gäller operationell täckning brukar UAS, beroende på farkosttyp, kunna utföra uppdrag med områdesstorlekar upp till 10 km². När det gäller valet mellan bemannad och obemannad flygning med laserskanning kan "effektivitetsgränsen" för UAS ligga vid ca 10 km för långsträckta objekt och 300 – 400 ha för områden (Vallet et. al., 2020¹).

5.3 Arbetsmiljö, säkerhet och störning

Som andra mätmetoder som inte kräver personnärvaro vid mätobjektet (t.ex. terrester laserskanning) har UAS en arbetsmiljömässig fördel vid mätning i riskfyllda och svårtillgängliga miljöer. Exempel på sådana miljöer kan vara trafikerade vägar och järnvägar, branta slänter, ras- och skredkänsliga områden, höga branter o.d. Detta jämfört med metoder som kräver att mätinstrument eller utrustning (GNSS-rover, prisma/reflektor) fysiskt placeras på mätobjektet.

UAS kan även ha fördelar mot markbundna mätmetoder som kräver bärande av instrument och utrustning som kan leda till negativ fysisk belastning för personal.



Bild 3. Exempel på riskfyllda miljöer där UAS kan vara en fördel. Källa: Trafikverket

Användandet av UAS inkluderar även risker för personer, verksamhet och egendom på marken. Här är det främst risken att UAS' en störtar och orsakar skada eller på annat sätt stör verksamhet som kan ge konsekvenser. Användning av UAS kan ha positiva tillämpningar för mätning på och intill pågående verksamhet som t.ex. trafikerad anläggning, för att undvika eller minimera störning. Ur ett arbetsmiljö- och säkerhetsperspektiv bör samtliga dessa frågor vägas in i val av mätmetod och utförande.

¹ [Airborne and mobile LIDAR, which sensors for which application?](#)



Bild 4. Exempel på en trafikerad miljö där UAS kan vara en fördel. Källa: Trafikverket

5.4 Egenkontroll och verifiering

Egenkontroller ska utföras under hela processen och är en förutsättning för att kunna upptäcka och åtgärda felaktigheter i ett tidigt skede. Detta skapar bra förutsättningar för slutförande av uppdraget i tid och med rätt kvalitet. Det är viktigt att egenkontroller utförs och dokumenteras löpande i anslutning till varje moment i processen. Genomförda och bra dokumenterade egenkontroller utgör ofta ett värdefullt underlag för produktionsdokumentation och redovisning.

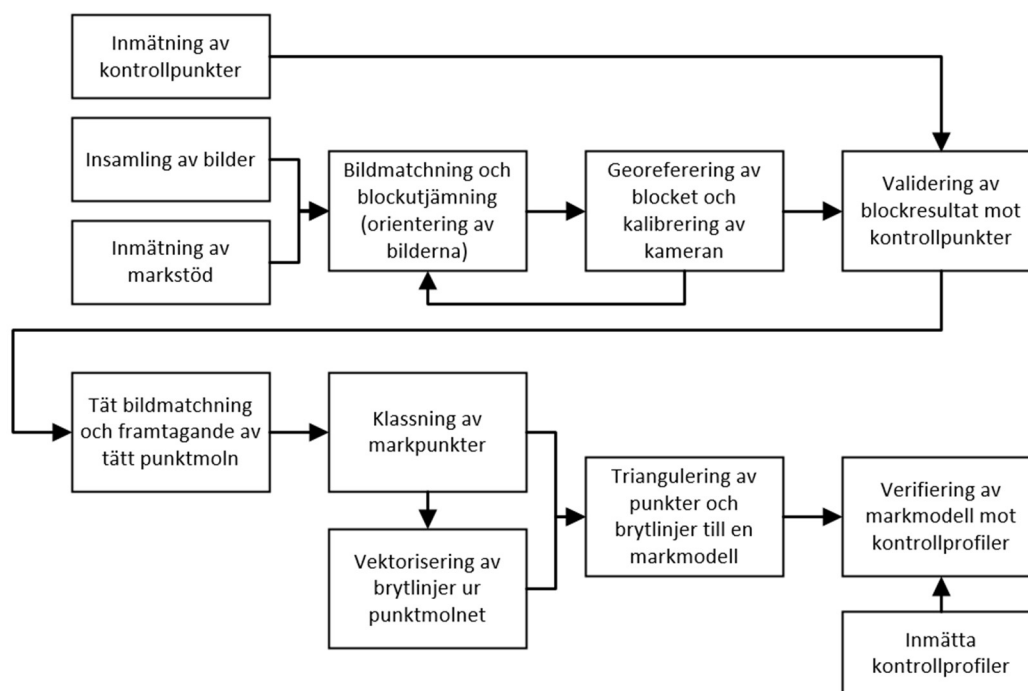
Uppdrag baseras vanligtvis på ”beställare/utförare-modellen” där utföraren har ansvar för kvalitetskontroll genom hela processen fram till och med leverans. Beställaren kontrollerar därefter mottagen leverans. Nivån på denna kontroll kan vara från; endast kontroll att leverans är gjord och fullständig; stickprovskontroll på delar av leveransen; till en fullständig.

Rekommenderat är att beställare och utförare, i uppdragsbeskrivning eller innan uppdraget påbörjas, är överens om hur utförarens kontroller ska genomföras, redovisas och dokumenteras. Kontroll av geodata beskrivs i HMK-Geodatakvalitet 2017. Här ges en generell beskrivning anpassad till datainsamling och databearbetning med UAS.

Utförarens kontroller består dels av *egenkontroll* – kontroll av det egna arbetet – dels av *verifiering* av resultat mot ställda krav.

Verifiering avser en bekräftelse på att resultat uppfyller krav eller bestämd kvalitet. Det sker ofta med någon form av kontroll som belägger att specificerade krav har uppfyllts. Det kan t.ex. vara kontrollmätningar och kontrollberäkningar.

I Figur 1 illustreras schematiskt en process från insamling av UAS-data till framställning av en markmodell. Det är viktigt att utföraren utför egenkontroller för alla dessa steg för att säkerställa datakvalitet och resultat. Inmätta kontrollprofiler utgör ett exempel på underlag för verifiering av slutprodukten.



Figur 1. Exempel på arbetsflöde för framställning av markmodeller baserat på UAS-data insamlade med kamera som sensor. Källa: Trafikverket, Jesper Klarqvist

En enkel men begränsad kontroll är kontroll mot annan geodata som finns tillgänglig och har en verifierad kvalitet. För att kunna göra relevanta ställningstaganden avseende lägesosäkerhet på det framställda resultatet måste tillgänglig geodata ha lägre osäkerhet än det resultatet ska uppnå. Dock kan tillgänglig heltäckande geodata med högre osäkerhet utgöra en del i en egenkontroll för att detektera förekomst av grova fel och systematiska och slumpmässiga avvikelser. Det förutsätter dock att kvaliteten i denna data är homogen. Exempel på tillgänglig geodata kan vara Lantmäteriets ortofoto eller nationell höjddata ("Laserdata nedladdning skog").

För stickprovskontroller kan terrestert eller GNSS-RTK inmätt data användas. Dessa ger ofta ett mer tillförlitligt kontrollresultat men är å andra sidan inte heltäckande vilket medför att det inte går att uttala sig om kvaliteten på en hel produkt. Exempel på detta är t.ex. kontroll av markmodell enligt SIS-TS 21144:2016 kapitel 10.

Utöver det finns det ytterligare två kontrollprinciper - procentuell kontroll och statistisk kontroll - där den procentuella utgörs av att man kontrollmäter en viss procent av resultatet/produkten. Den statistiska avser en mer "statistiskt korrekta" kontroll där kontrollomfattningen och kontrollägen ger underlag för en statistisk bedömning av resultatet.

5.5 Arbetsflöde

En process för att få en mätningsteknisk produkt/resultat baserat på datainsamling med UAS innefattar följande moment:

1. Planering
 - a. Val av utrustning, parameterar och utförande
2. Fältarbete och datafångst
 - a. Inmätning av markstöd och kontrollpunkter/objekt
 - b. Flygning och datafångst
3. Databearbetning
 - a. Primär: framtagande av georefererat punktmoln
 - b. Sekundär: Klassificering av punkter i punktmoln utifrån behov för produktframställning
4. Produktframställning
 - a. Bearbetning, förädling och sammanställning av data till produkter så som markmodell, ortofoto m.fl.
5. Kvalitetskontroll och verifiering
 - a. Egenkontroller under hela genomförandet
 - b. Kvalitetskontroll av punktmoln
 - c. Kvalitetskontroll av slutprodukt
6. Dokumentation och redovisning
 - a. Egenkontroller
 - b. Produktionsdokumentation
 - c. Kvalitetsredovisning
 - d. Redovisning

Planering utgör en viktig del i processkedjan. Det är här val av utrustning, parametrar och utförande som påverkar det slutliga resultatet sker. Den ligger även till grund för egenkontroll och verifiering under utförandeprocessen. Om det sker avvikelser från planeringen ska dessa dokumenteras och redovisas.

Fältarbetet med flygning och datafångst och inmätning av stöd och kontroller är självklart nyckelaktiviteten. Utförs inte detta moment kontrollerat och utefter planerat genomförande kan det vara omöjligt att uppnå det resultat som avsetts.

Databearbetning är nästa viktiga del i processkedjan. Det finns flera olika programvaror att välja på som fungerar på olika sätt med olika beräkningsmetoder och algoritmer. Men det är viktigt att för mätningstekniska tillämpningar att välja en programvara som är avsedd för det med bl.a. möjlighet att utvärdera kvaliteten i slutresultatet.

Vid användandet av dessa programvaror är det viktigt att ha bra kunskap om de funktioner och inställningar som kan göras och deras påverkan på resultat och kvalitet. Generellt, samt för varje datamängd, rekommenderas att utföra tester för att hitta de inställningar i programvaran som ger ett optimalt resultat utifrån utrustning, kvalitet på indata, förhållandena vid insamlingsområdet och vilken slutprodukt som eftersträvas. Inställningar för ett "optimalt resultat" kan därför variera.

Databearbetning delas upp i primär och sekundär. Den primära avser bearbetning fram till ett georefererat punktmoln där man har kontrollerat och korrigerat för systematiska positioneringsfel. Den sekundära tar därefter vid med bl.a. klassificering av punkter av t.ex. mark. Se vidare kapitel 6 och 7 för datafångst och databearbetning. Efter den sekundära databearbetningen kommer framställning

av produkter så som markmodell, ytmodell, ortofoto, vektorisering o.d. En översiktlig redovisning av några huvudprodukter beskrivs i kapitel 8.

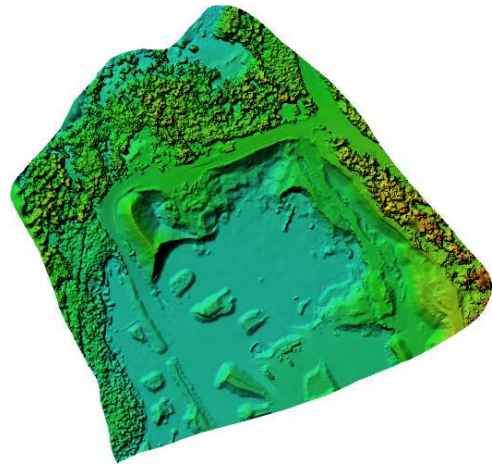
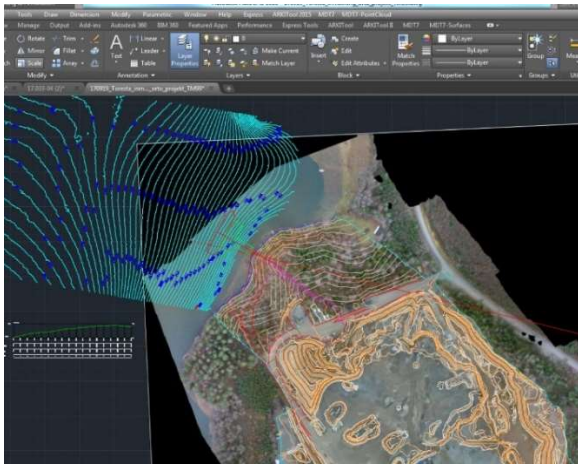


Bild 5. Exempel på produkter skapade baserat på datainsamling med UAS. Till vänster: en markmodell med höjdkurvor, överlagd på ett ortofoto. Till höger: en ytmodell. Källa: NCC, Sergio Delgado

Genom hela processkedjan rekommenderas att kontinuerligt utföra egenkontroller av det egna utförandet och uppnådda resultat. Delprodukter (t.ex. punktmoln) och slutprodukter ska kvalitetkontrolleras för att verifiera kravuppfyllnad.

Utförande, egenkontroller och kontrollresultat ska dokumenteras. Dels i syfte att kvalitetssäkra utförandet och resultat. Dels för att ingå eller ligga till grund för redovisning.

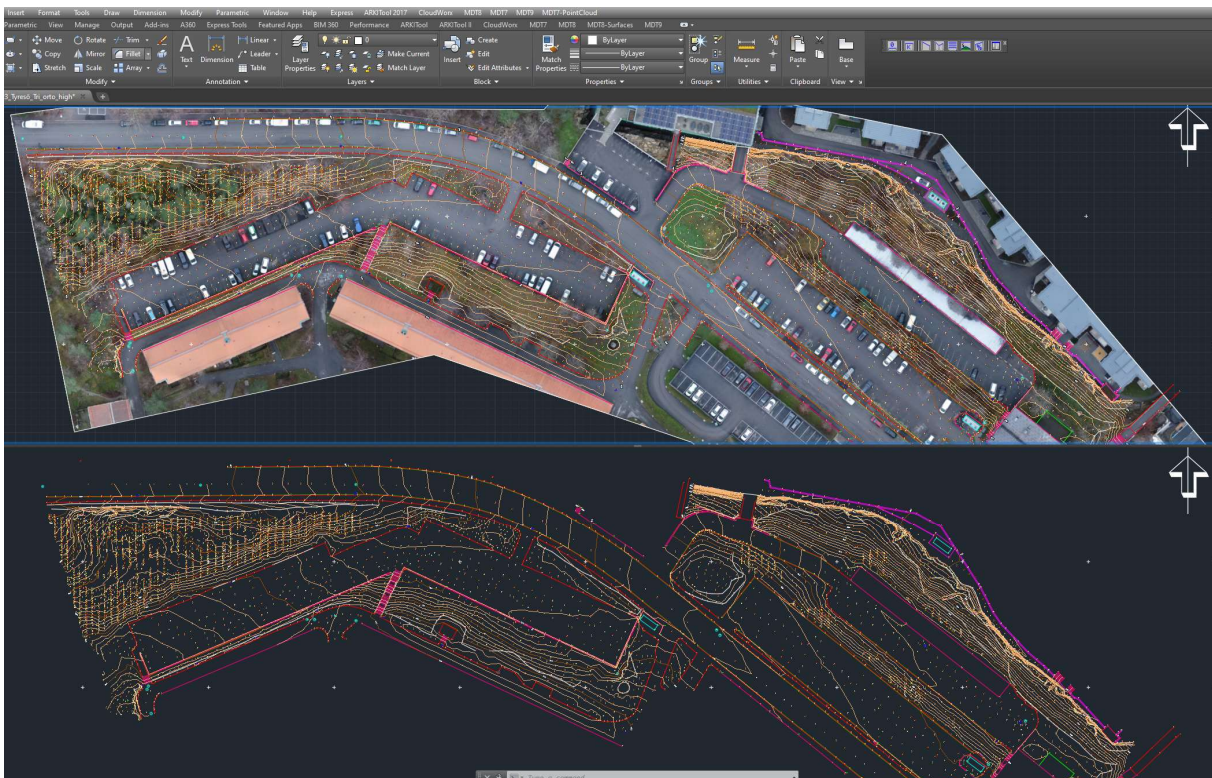


Bild 6. Exempel på vektordata skapade baserat på data insamlade med UAS. Källa: NCC, Sergio Delgado

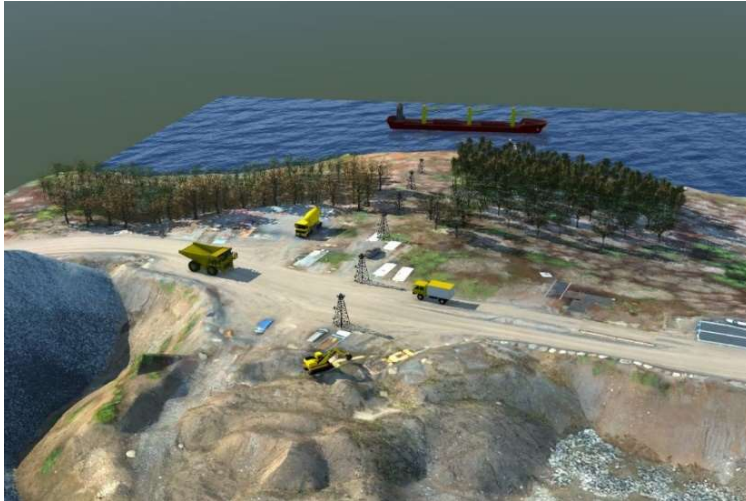


Bild 7. Exempel på visualisering av en markmodell. Källa: NCC, Sergio Delgado

6 Datafångst och mätning

6.1 Planering av flygning

En väl genomförd planering av datainsamling med UAS är en förutsättning för att få data av rätt kvalitet. Nedan följer en kort sammanfattning av de faktorer som ska beaktas (Tabell 4).

Tabell 4. Faktorer som ska beaktas för att åstadkomma data av rätt kvalitet.

Exempel på faktorer som ska beaktas	Kamera	Laser
<i>Väder och tidpunkt</i>		
<ul style="list-style-type: none"> Tid på dygnet. Ju högre solen står desto kortare skuggor. 	X	
<ul style="list-style-type: none"> Sol och moln som påverkar ljus och skuggor. De mest optimala förhållandena för datainsamling är mulet väder, vilket ger jämn belysning i bilderna och minimerar skuggor. 	X	
<ul style="list-style-type: none"> Dimma och nederbörd 	X	X
<ul style="list-style-type: none"> Väder som kan påverka farkostens prestanda och stabilitet i luften (vindstyrka). 	X	X
<i>Flyghöjd</i>		
<ul style="list-style-type: none"> Påverkar markupplösning i bilderna och därmed detaljnivå och mätosäkerheten. 	X	
<ul style="list-style-type: none"> Påverkar punkttäthet, punktavtryck, insyn i vegetation 	X	X
<i>Flygförhållanden och omgivning</i>		
<ul style="list-style-type: none"> Annan flygtrafik i området (t.ex. en kontrollzon för en närliggande flygplats). 	X	X
<ul style="list-style-type: none"> Behov av tillstånd för att flyga över området eller delar av det, samt behov av information till allmänheten. 	X	X
<ul style="list-style-type: none"> Hinder som kan påverka flygning på viss höjd. 	X	X
<ul style="list-style-type: none"> Lämplig start- och landningsbana. 	X	X
<ul style="list-style-type: none"> Terrängförhållanden, om markhöjder inom området varierar mycket behöver utföraren ta hänsyn till detta. 	X	X
<i>Flyghastighet</i>		
<ul style="list-style-type: none"> Rörelseoskärpa 	X	
<ul style="list-style-type: none"> Punkttäthet 	X	X

Stråkplanering		
▪ Täckning	X	X
▪ Överlappning mellan stråk	X	X
▪ Överlapp mellan bilder i stråk	X	
▪ Behov av tvärstråk	X	X

Stråkplanering är av yttersta vikt och för att kunna utföra fotogrammetrisk mätning i bilder behöver dessa överlappa varandra. Både inom fotostråket och mellan stråk. Överlappet påverkar bl.a. antal bilder och insyn vid höjdvariationer och högre objekt (t.ex. byggnader, vegetation) och påverkas av fokallängd och flyghöjd. Överlappet bör vara minst 80 % i stråklöd och 70 % mellan stråken. För områden med stora höjdvariationer, högre byggnader eller där man vill öka möjligheten till mätning i områden med vegetation behöver överlappet ökas till t.ex. 90 % i stråklöd och 80 % mellan stråken

6.1.1 Kamerasensor

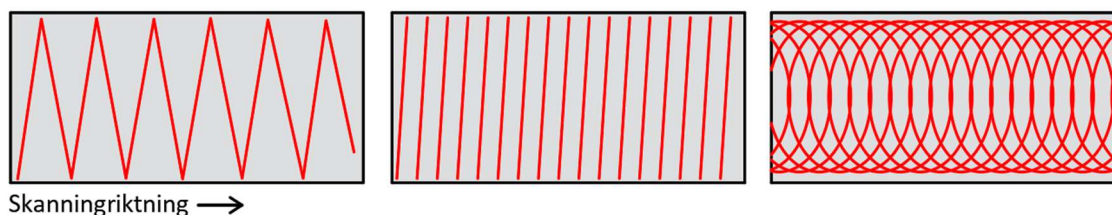
Vid planering av flygning med kamerasensor behöver vissa kritiska faktorer beaktas då de påverkar både flygning, antal bilder och kvalitet i resultat. För att säkerställa korrekt skattning av kamerans kalibreringsparametrar behöver korsande stråk inkluderas i bildblocket. De korsande stråken bör flygas på en annan flyghöjd än resten av stråken. Detta är särskilt viktigt i områden utan större höjdvariationer, samt när endast markstöd används för georefereringen (ingen RTK eller PPK), där det är svårt att tillförlitligt bestämma kameraparametrarna genom självkalibrering i en blockutjämnning.

6.1.2 Lasersensor

Vid planering av flygning med lasersensor finns ett antal faktorer och parametrar som påverkar resultatet bl.a. punkttäthet, punktdistribution, mätkvalitet, kontrollerbarhet, möjlighet till att identifiera objekt.

Skanningfrekvens, dvs. med vilken frekvens skannern mäter punkter, påverkar tillsammans med flyghöjd och flyghastighet vilken punkttäthet som är möjlig att uppnå på mark och objekt.

Det finns ett antal typer av skannrar som ger upphov till olika skanningmönster så som sicksackmönster, linjer tvärs flygriktningen, "spiralmönster". Dessa har vissa effekter på resultatet som kan behöva beaktas vid planering av flygning.



Figur 2. Skanningmönster, schematiskt. Källa: Trafikverket, Jesper Klarqvist

Skanningvinkel, dvs. den maximala infallsvinkel som de yttersta laserpulserna har mot ett horisontalplan, påverkar; stråkbredd, punkttäthet, behov av antal stråk/övertäckning samt insyn vid höjdvariationer (t.ex. byggnader) och vegetation, möjlighet att skanna mer vertikala objekt m.m.

Beroende på höjdskillnader och landskap, behövs mer eller mindre överlapp på stråk.

Det kan uppstå dock uppstå oönskade effekter vid för stora överlapp eller att man skannar samma område flera gånger för att öka punkttätheten.

6.2 Markstöd, kontrollpunkter och positionering

Markstöd och positionering av UAS utgör grund för georeferering medan kontrollpunkter utgör grund för verifiering av denna.

6.2.1 Markstöd

Markstöd utgörs av väl definierade punkter, ytor eller objekt som är lägesbestämda i för projektet gällande referenssystem.

Markstöd kan utgöras av olika typer av punkter/objekt. För fotogrammetriska tillämpningar är det lämpligt att använda signalerade punkter där signalen har en färg, form och storlek som dels syns tydligt i bilder och dels har en tydligt identifierbar mittpunkt som lägesbestäms. Dessa signaler kan användas som stöd i både plan och höjd.

Som stöd för laserskanning kan det vara lämpligt att skilja på planstöd och höjdstöd. Markstöd för laserskanning kan signaleras men beroende på punkttäthet kan signalstorleken behöva vara ganska stora.

Höjdstöd består lämpligtvis av inmätta punkter på en väldefinierad (jämn) plan horisontell yta. Ett högre antal punkter per stöd ökar tillförlitligheten i inpassningen.

Som planstöd kan inmätning av profiler över tydliga höjdformationer användas så som hustak eller tydliga krön. Alternativt kan objekt som är tydligt urskiljbara i intensitetsdata så som vägmålning mätas in. Om man väljer profiler över höjdformationer så ska de mätas så att två riktningar mäts vid varje stöd. Viktigt är att formationernas storlek är tillräckligt stor för att tydligt vara identifierbara i laserdata.

För inmätning av markstöd bör lägesosäkerheten för inmätningen relativt referenssystemet vara max 1/3 av den lägesosäkerhet man vill uppnå med resultatet.

6.2.2 Kontrollpunkter

För att ha möjlighet till en utvärdering av lägesosäkerheten vid georeferering av bildblock eller punktmoln ska kontrollmätningar utföras. Kontrollpunkter ska upprättas, lämpligtvis på samma sätt som markstöden så att de kan vara tydligt definierade i bilder eller punktmoln. För att få ett objektivt resultat ska kontrollpunkter inte placeras i nära anslutning till markstödet. Liksom markstöd ska kontrollpunkterna spridas jämnt över "resultatområdet" så att resultatet av kontrollen blir representativt för hela området. Antalet kontrollpunkter ska stå i rimlig proportion till områdets storlek och markytans kuperingsgrad. Rekommendationen är att antalet kontrollpunkter är 30 – 40 % antalet markstöd.

För inmätning av kontrollpunkter bör lägesosäkerheten för inmätningen relativt referenssystemet vara max 1/3 av den lägesosäkerhet man vill uppnå med resultatet.

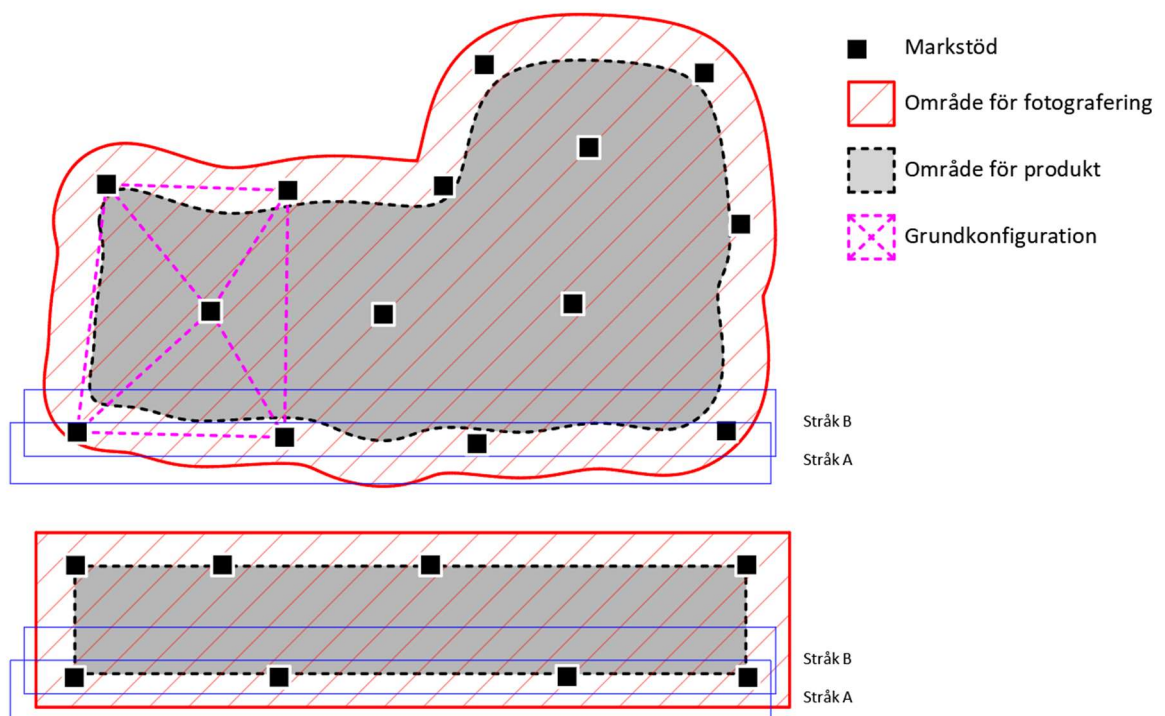
6.2.3 Konfiguration

En väl utförd konfiguration av markstöd i ett UAS-fotogrammetriskt projekt är viktigt av två syften:

- För att åstadkomma bra georeferering. (Bra kontrollerbarhet av anslutning till referenssystem)
- För att minska effekten av deformationer i bildblocket p.g.a. kvarstående systematiska avvikelser i kameran.

Följande lista innehåller principer för konfiguration samt placering, signalering och inmätning av markstöd. Principerna är i grunden samma som för traditionell flygfotogrammetri, se även HMK Flygfotografering 2017². Listan ska ses som en rekommenderad grundnivå, men kan utökas beroende på t.ex. krav, objektförutsättningar, behov av kontrollerbarhet, erfarenheter etc.

1. Grundprincipen för placering av markstöd är att de ska omsluta det område där ett fotogrammetriskt mätresultat (produkt) ska uppnås, så att ingen extrapolering sker.
2. Konfiguration:
 - a. Markstöd ska finnas i områdets ytterhörnen och längs kanterna.
 - b. Markstöd ska placeras inuti bildblocket.
 - c. Antalet markstöd ska vara minst 5.
 - d. Markstöden ska fördelas jämt över det område som ska mätas
 - e. Avståndet mellan markstöd är beroende av olika faktorer som bl.a. förväntad mätosäkerhet i slutprodukten, behov av kontrollerbarhet, minska deformationer i bildblocket, höjdskillnader inom området (inkluderar andra objekt än mark om dessa ska mätas). Områden med större höjdskillnader behöver fler stöd och det är önskvärt att dessa fördelas jämt även i höjddled. Princip för placering av markstöd redovisas i Figur 3.



Figur 3. Grundläggande princip för placering av markstöd för en fotogrammetrisk mätning med UAS. Övre figur: princip för ett "normalstort" område, Nedre figur: princip för ett långsträckt objekt.

3. Placering:
 - a. Varje markstöd ska vara synligt i så många bilder som möjligt.
 - b. Markstöd i ytterkanter ska placeras så att de kommer att vara synliga i minst fyra bilder; två stråk och två bilder i varje stråk. Det innebär att fotograferingsområdet måste vara större än området för mätresultat/produkt. Se Figur 3.

² www.lantmateriet.se/HMK-Flygfotografering-2017

- c. Markstöd ska placeras så att de inte skymms av uppstickande objekt eller hamnar i skugga.
 - d. Markstöd ska placeras stabilt och vara förankrade så att de inte riskerar att röras under den period som inmätning och flygfotografering pågår. Markstöd ska placeras på plan mark, och inte nära "höjdförändrande kanter".
4. Utformning och signalering:
- a. Markstöd ska vara tydligt identifierbara i bilder. Avser både storlek och kontrast mot omkringliggande yta.
 - b. Centrum på markstödet ska kunna identifieras med liten osäkerhet. Både vid lägesbestämning och vid mätning i bilder.
 - c. Storlek på markstödet ska väljas så att det är möjligt att mäta dem i bilderna tydligt och noggrant, med tanke på GSD.
 - d. Markstöd ska signaleras. Med signal som placeras ut eller målas på plana jämna ytor.
5. Lägesbestämning (inmätning):
- a. Markstöd ska lägesbestämmas genom inmätning så att lägesosäkerheten relativt referenssystemet är max 1/3 av lägesosäkerheten i slutprodukten. Avser både plan och höjd.

6.2.4 Positionering

UAS utrustad med laserskanner kräver att skannerns position och orientering är känd för att kunna lägesbestämma laserpunkterna. Detta åstadkoms genom att det finns en GNSS-mottagare och ett tröghetsystem (INS) på UAS:en. Detta möjliggör att positionera skannerns färdväg (trajectory) med en lägesosäkerhet under 0.1 m GNSS-RTK-teknik (Nätverks RTK eller enkelstations RTK) eller PPK-teknik (Post Processed Kinematic, vid efterberäkning).

Det finns även möjlighet att använda samma teknik för att lägesbestämma kamerans position och orientering vid exponeringstillfället. Därmed finns möjlighet att inkludera koordinater på kamerapositioner i blockutjämnningen som "stödpunkter i luften". Så kallad "GNSS-stödd UAS-flygfotografering". Denna metod har visat sig vara effektivt för att minska deformationer i bildblocket som orsakas av kvarstående systematiska fel i kameran. Därmed kan man förbättra framför allt den relativa lägesosäkerheten i höjddled. Det är viktigt att komma ihåg att markstöd krävs även i detta fall för att absolutpositionera och kvalitetssäkra resultatet i referenssystemet. Teoretiskt behövs minst ett markstöd placerat i mitten av det fotograferade området. Men för att kunna identifiera systematiska avvikelser bör minst 4 markstöd användas, placerade i varje "horn".

För att åstadkomma lägsta möjliga mätosäkerhet med GNSS-stödd UAS-flygfotografering behöver följande faktorer beaktas:

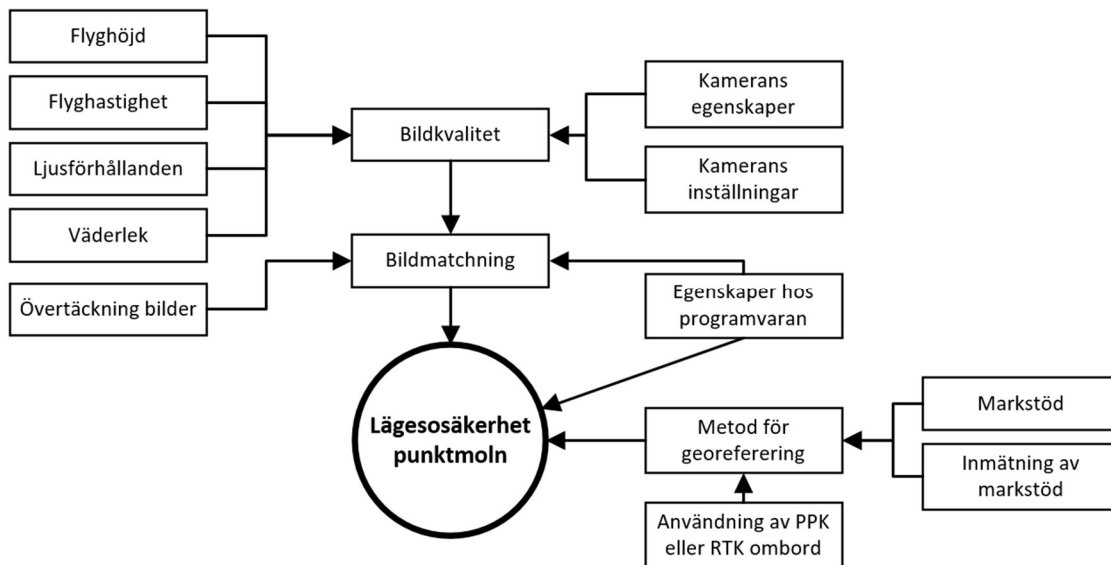
- Bestämning av farkostens orientering under exponering – sköts av tröghetsnavigeringssystemet (INS, inertial navigation system) ombord.
- Tidssynkronisering mellan systemkomponenter. T.ex. ett tidsglapp mellan exponering och observation av position medför ett fel i positionen som beror på flyghastigheten. Ett sätt att detektera eventuella kvarstående avvikelser p.g.a. brister i synkroniseringen är att använda markstöd och kontrollpunkter.
- Avståndet till referensstation. Denna faktor påverkar lägesosäkerheten i positioneringen med 1 ppm d.v.s. lägesosäkerheten ökar med 1 mm/km. Lägesosäkerheten i höjd påverkas mer än

lägesosäkerheten i plan. Höjdskillnaden mellan referensstation och UAS (rover) ska vara mindre än 500 m (Wingtra, u.å.³).

- Bestämning av offset mellan kamerans centrum och antennens fascentrum – görs oftast av tillverkaren.

6.3 UAS med kamera (UAS-fotogrammetri)

Den slutliga lägesosäkerheten i ett punktmoln som tas fram med UAS-fotogrammetri beror bl.a. på faktorer som exemplifieras i Figur 4. Det är t.ex. flera faktorer som påverkar bildkvaliteten, som i sin tur påverkar möjligheten att utföra bra mätningar och därmed möjligheten till ett *homogent* punktmoln. Detta punktmoln ska därefter georefereras, och kvaliteten på denna påverkar punktmolnets slutliga lägesosäkerhet.



Figur 4. Exempel på faktorer som påverkar resultat av en UAS-mätning med kamera. Källa: Trafikverket, Jesper Klarqvist

Det är därför viktigt att man vid planering och utförande har kännedom och kunskap om de påverkande faktorerna, vad de påverkar, hur de samverkar och hur man hanterar dem för att uppnå önskat resultat. Detta bör då även beskrivas i en väl genomtänkt genomförandebeskrivning.

I den fortsatta bearbetningen av punktmolnet är kvaliteten på de slutliga produkterna beroende av hur väl punkterna i molnet representerar de objekt som efterfrågas. Hur bra representerar punkterna t.ex. mark i områden där det förekommer vegetation?

För ytterligare information kring flygfotografering och bildmätning hänvisas till HMK Flygfotografering⁴ och HMK Fotogrammetrisk detaljmätning⁵.

6.3.1 Kamerans egenskaper

Kvaliteten i de bilder som samlas in med UAS beror på många olika faktorer så som kamerans egenskaper och inställningar, flyghöjd, väderlek och flyghastighet. Här kommer vi kortfattat att gå igenom de viktigaste inställningarna i kameran och vad man ska tänka på vid fotografering med UAS. Önskas mer ingående information om vissa moment finns det flera källor som avhandlar detta mer ingående.

³ [Guide: Wingtra Photogrammetry vs. LIDAR](#)

⁴ [www.lantmateriet.se/HMK-Flygfotografering 2017](http://www.lantmateriet.se/HMK-Flygfotografering-2017)

⁵ [www.lantmateriet.se/HMK-Fotogrammetrisk detaljmätning 2017](http://www.lantmateriet.se/HMK-Fotogrammetrisk-detalmätning-2017)

6.3.1.1 Fokallängd

Fokallängd, även kallat brännvidd, är en parameter hos kamerans objektiv som beskriver hur ”brett” kameran ser. Många kameror som används i UAS-sammanhang, framför allt på konsumentsidan, har vidvinkelobjektiv (t.ex. fish-eye-objektiv med 8-16 mm fokallängd). Problem som är förknippade med dessa objektiv är bl.a. stora optiska deformationer (kallade för felteckning) och stora skalvariationer i bilderna (exemplifieras i Bild 8). Även om många programvaror kan kompensera för dessa effekter rekommenderas ett objektiv med 24-50 mm fokallängd (motsvarande en 35 mm storlek för sensorn då fokallängden är beroende av storlek på sensor) för att minimera dessa deformationer. Rekommenderat är att använda ett objektiv som ger en fokallängd runt 35 mm. Detta medför dock en minskning av produktivitet jämfört med vidvinkligna objektiv eftersom det behövs fler bilder och därmed sannolikt längre flygtider. I de flesta fall är originalbild utan korrigering att föredra innan process för fotogrammetri påbörjas.

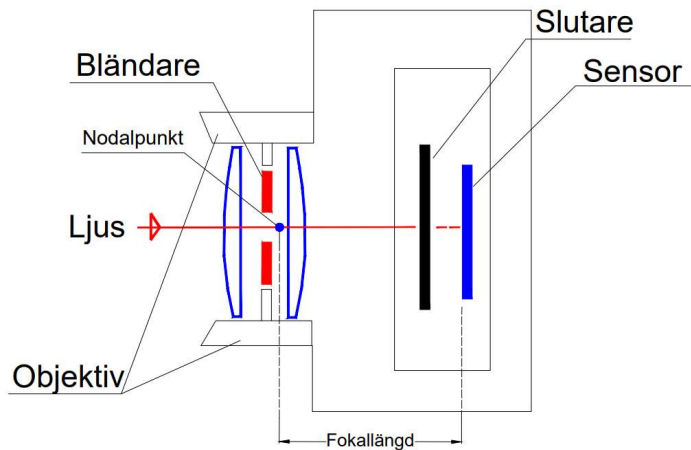


Bild 8. Till vänster: originalbild, fokallängd 24 mm. Till höger: samma bild, men som korrigerats för optisk deformation.
Källa: NCC, Sergio Delgado

6.3.1.2 Slutartyp

Slutaren (Figur 5) är den del av kameran som under en given tid tillåter att ljus når kamerans sensor som då registrerar bilden. Det finns två olika typer av slutare, elektronisk eller mekanisk. Den mekaniska slutaren kan beskrivas som en fysisk skärm framför sensorn som mycket snabbt öppnas och stängs. En kamera med enbart elektronisk slutare saknar denna ”skärm” och aktiverar i stället elektroniskt sensorns pixlar rad för rad.

Det är viktigt att kontrollera vilken typ av slutare en kamera har, om den ska användas för fotogrammetrisk datainsamling, då detta har en stor påverkan på bildkvaliteten.



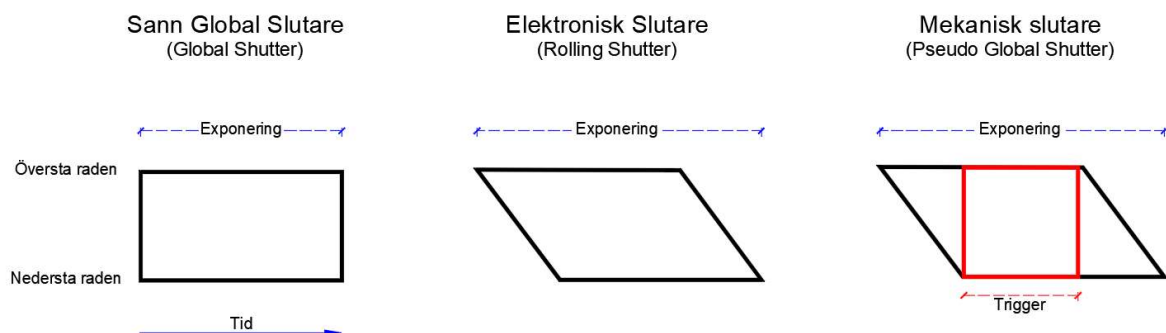
Figur 5. Schematisk figur av kamerans uppbyggnad och huvuddelar. Källa: NCC, Sergio Delgado

Det är rekommenderat att använda en mekanisk slutare vid fotogrammetri då denna exponerar hela kamerans sensor mycket snabbare än den elektroniska. Den elektroniska slutaren kan ge upphov till en förvrängning i bilden som kallas "rolling shutter-effekt" (rullande slutare-effekt) se Bild 9, detta då kameran och/eller motivet hinner flytta sig under den tid det tar för kameran att exponera den första raden och den sista raden av pixlar. Om en elektronisk slutare används rekommenderas därför att drönaren stannar helt vid varje exponering för att undvika denna förvrängning.



Bild 9. Illustration av en rullande slutare-effekt. Källa: www.shutterbug.com/electronic-shutters

Idag finns det inte så många UAS som bär kameror med en mekanisk slutare. Den senare kan komma i två varianter – "global slutare" och "pseudo-global slutare" (Figur 6). Den första typen är komplex och ökar vikten för kameran. Den typen av slutare finns i t.ex. industrikameror. De UAS-kameror som har en mekanisk slutare brukar ha den andra varianten, en "pseudo-global slutare" som är en enklare lösning än den "globala" men samtidigt inte är en elektronisk slutare. Den här typen av slutare har också begränsningar när det gäller slutartid. Vid slutartider som är kortare än $1/2000$ s brukar en mekanisk slutare "växla över" till en elektronisk slutare.



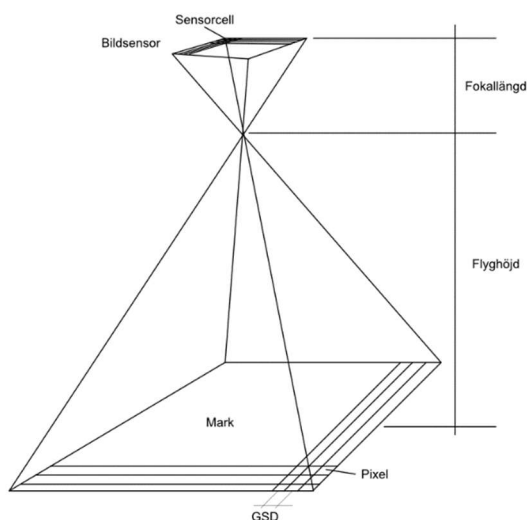
Figur 6. Jämförelse mellan olika typer av slutare. Källa: NCC, Sergio Delgado

De flesta UAS-kameror på marknaden har elektroniska slutare. I moderna fotogrammetriska programvaror finns möjlighet att kompensera för "rullande slutare" effekt vid databearbetningen och därmed höja kvaliteten vid fotogrammetrisk kartering med den typen av kameran.

6.3.1.3 Geometrisk och radiometrisk upplösning

Den *geometrisk upplösning* avser avståndet mellan två intilliggande pixlars centrumpunkter i en rasterbild mätt på marken och definieras vanligtvis med GSD (Ground Sampling Distance) eller *markupplösning*. GSD påverkar möjligheten till att urskilja detaljer i bilderna och därmed möjligheten att mäta i dessa. Ett litet GSD ger en hög upplösning i bilderna och ger förutsättningar för att uppnå en lägre relativ mätosäkerhet.

Den geometriska upplösningen påverkas av antalet celler i bildsensorn, fokallängd och flyghöjd, se Figur 7. En högre flyghöjd med samma kamera (bildsensor och fokallängd) medför lägre markupplösning (större GSD) och tvärtom; en större fokallängd ger upphov till högre markupplösning (mindre GSD) från samma flyghöjd. En bildsensor med ett större antal celler ger upphov till högre markupplösning (lägre GSD) och vice versa, förutsatt att flyghöjd och fokallängd är densamma.



Figur 7. Illustration av samband mellan GSD, flyghöjd och fokallängd Källa: Trafikverket, Jesper Klarqvist

I litteratur om UAS finns i dagsläget inga enhetliga tumregler för sambandet mellan mätosäkerheten i plan/höjd och GSD. Den "näbara" gränsen för mätosäkerheten i plan brukar uppges som 1-2 gånger GSD. I höjd redovisas ett bredare intervall mellan 0,5-3 gånger GSD, beroende bl.a. på typ av bildkvalitet, bildinformation (radiometrisk) och hur väldefinierat mätobjektet är.

Den *radiometriska upplösningen* (se illustration, Figur 8) avser sensorcellernas förmåga att differentiera den inkommande ljusstyrkan till en digital skala. Detta görs i tre spektrala band rött, grönt och blått där ljusstyrkan för varje band registreras. Vanligast är att ljusstyrkan för varje band registreras i en skala med 8 bitars upplösning, dvs 256 "skaldelar". Ökar man antal bitar till 16 bitar blir det 65 536 "skaldelar".



Figur 8. Illustration av radiometrisk upplösning för 2, 3 och 8 bitar. Källa: Trafikverket, Jesper klarqvist

En hög radiometrisk upplösning gör att bilden kan hantera stora ljusskillnader, t.ex. vid solsken med kraftiga skuggor. Detta möjliggör att man t.ex. kan identifiera objekt i de mörka skuggade områdena som inte går med en lägre radiometrisk upplösning.

Själva storleken på bildsensorn påverkar även bildkvaliteten. En större sensor möjliggör större sensorceller som har bättre möjlighet att tolka och digitalisera inkommande ljus (känsligheten) vilket i sin tur leder till mindre brus i bilderna. Även detta ökar möjligheten till bättre tolkning och mätbarhet.

6.3.2 Kamerans inställningar

En kamera har tre grundläggande inställningar som tillsammans styr bildens exponering: slutartid, bländare (eller bländartal) och ljuskänslighet (ISO-värdet). Tillsammans formar dessa inställningar det som kallas för exponeringstriangeln, vilket vi rekommenderar att du söker mer info på om du önskar mer ingående kunskap.

Gemensamt för dessa inställningar är att de påverkar bildens exponering för att ge ett mörkare eller ljusare foto, men de för även med sig olika sidoeffekter, vilket vi beskriver nedan. En bra balans mellan de olika inställningarna krävs för att ge en optimal bildkvalitet.

6.3.2.1 Slutartid

Slutartiden bestämmer hur länge kamerans sensor exponeras för det ljus som släpps in i kameran. En längre slutartid ger en ljusare bild men om slutartiden är för lång finns risk för rörelseoskärpa. Ju kortare slutartiden är desto snabbare kan drönaren röra/förflytta sig utan att rörelseoskärpa skapas (beakta dock en rullande slutare-effekt vid användande av en elektronisk slutare).

6.3.2.2 Bländare

Bländaren reglerar hur stort "hålet" i kamerans objektiv är och därigenom hur mycket ljus som släpps in. Vissa kameror har en fast bländare som inte går att justera. Om den justeras, rekommenderas att man inte väljer det högsta eller det lägsta värdet utan ett mellanvärde är att föredra, förutsatt att ljusförutsättningarna tillåter det. Det optimala värdet varierar mellan olika kameror.



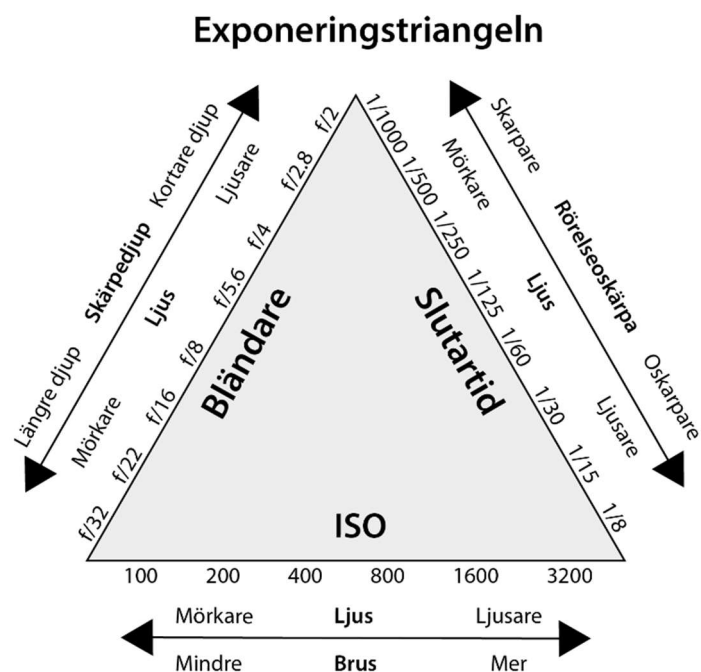
Bild 10. En bländare (och slutare) i kameran. F2.8 – F5.6 – F16. Källa: NCC, Sergio Delgado

6.3.2.3 ISO

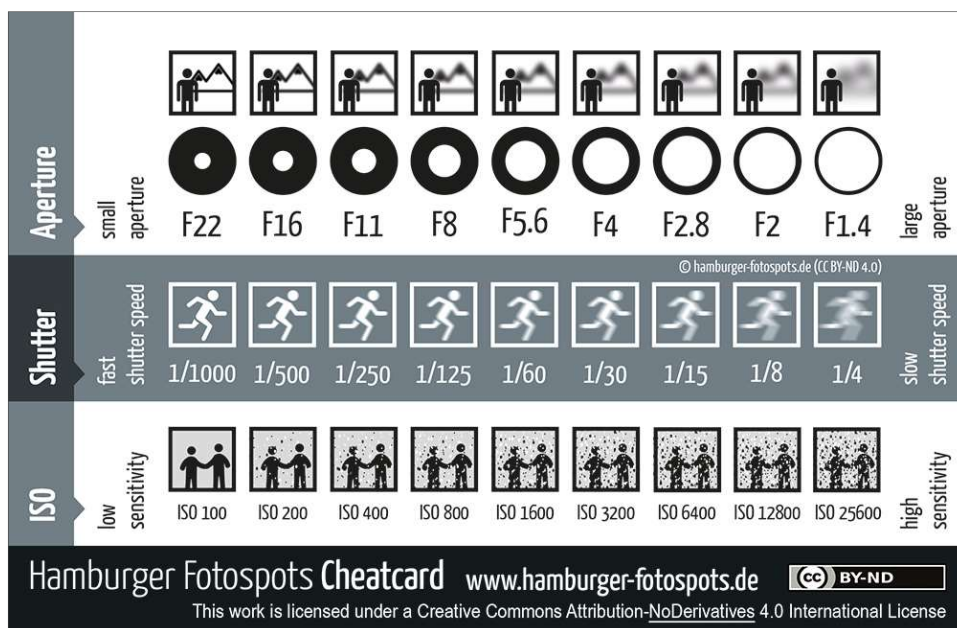
ISO-värdet kan enklast beskrivas som den inställning som styr kameran sensorns ljuskänslighet. Ett högre värde ökar känsligheten och ger ljusare bilder. Det är dock viktigt att veta att när man ökar ISO-värdet sker en signalförstärkning för att göra bilden ljusare, sensorns faktiska ljuskänslighet ökar alltså inte. Höjda ISO-värden skapar därför ett brus i bilderna. På grund av detta ska man alltid sträva efter att ha ett så lågt värde som möjligt. Vilket värde som är "för högt" varierar från kamera till kamera men generellt bör ISO-värdet inte överstiga 800.

6.3.2.4 Samband mellan kamerainställningar

Sambandet mellan slutartiden, bländartalet och ISO-värdet brukar illustreras med hjälp av en s.k. exponeringstriangeln (Figur 9). Det kan också illustreras som i Figur 10.



Figur 9. Exponeringstriangeln. Källa: Skymap, Jon Bengtsson



Figur 10. Illustration av samband mellan slutartid, bländartal och ISO-värde. Källa: www.hamburger-fotospots.de⁶

Som en sammanfattning, påverkar dessa tre kamerainställningar bildkvaliteten på följande sätt (Spring, 2014⁷):

- Längre slutartid innebär att mer ljus kommer till bildplanet men samtidigt ökar rörelseoskärpan i bilderna.
- Ett större bländartal minskar kameraöppningen och därmed mängden ljus som kommer till bildplanet. Ett optimalt bländartal ligger på runt $f/4.0$ - $f/5.6$, beroende på typ av kamera. Påverkar bland annat skärpedjupet, ett för högt bländartal kan påverka höjdmätning negativt beroende på flyghöjd och kameratyp.
- Ett större ISO-tal ökar ljuskänslighet men kan medföra ökat brus i bilderna. Rekommendationen är att använda så låga ISO-tal som möjligt.

För att uppnå tillräcklig bildkvalitet ska det hittas en balans mellan dessa inställningar. En kortare slutartid medför att ISO-talet ska ökas. Ett lågt ISO-tal medför att längre slutartid ska användas. Om mindre ljus behövs ska bländartalet ändras (Spring, 2014⁸).

6.3.3 Övriga faktorer

Övriga faktorer som påverkar bildens kvalitet och som är värda att beskriva lite utförligare är flyghastighet och väderlek.

Flyghastigheten påverkar skärpan i de foton som tas. Ju snabbare en drönare flyger desto kortare behöver slutartiden vara för att kunna fånga in skarpa bilder. Den maximala rekommenderade hastigheten varierar därför beroende på kamerans egenskaper och inställningar samt rådande ljusförhållanden.

Eftersom kameran registrerar ljus är väderlek och tid på dagen två viktiga faktorer för fotogrammetri. Dimma eller dis gör det omöjligt att samla in bra bilder. Önskvärt är en väderlek som ger så mycket ljus som möjligt men utan att skapa för mycket skuggor. Om möjligt bör flygningen genomföras vid

⁶ www.hamburger-fotospots.de

⁷ <http://hiq.diva-por-tal.org/smash/get/diva2:731604/FULLTEXT03.pdf>

⁸ <http://hiq.diva-por-tal.org/smash/get/diva2:731604/FULLTEXT03.pdf>

molnigt väder alternativt om vädret är klart, mitt på dagen då solen står högt och skapar kortare skuggor.

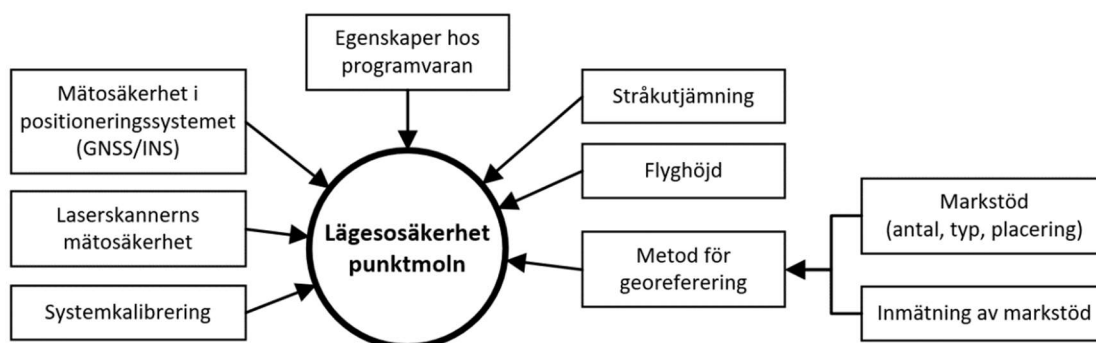
6.4 UAS med laserskanner

Avseende rekommendationer för insamling av punktmoln med laserskanning från UAS hänvisas till HMK – Flygburen laserskanning 2017⁹ även för obemannade flygfarkostsystem. Det som ska beaktas vid tillämpning av detta dokument gällande UAS är följande:

- Välj de rekommendationer som gäller för HMK-standardnivå 3 (avser “projektinriktad mätning och kartering” enligt HMK – Geodakvalitet 2017¹⁰).
- Vid utformning av markstöd bör rekommendationer för punktmoln med hög punkttäthet följas.
- Omfattning av dokumentation bör överenskommas med beställaren.

Det finns flera faktorer som påverkar mätosäkerheten i det punktmoln som tas fram med laserskanning från UAS, se Figur 11. Följande lista ger exempel på grupper av faktorer som kan påverka mätosäkerheten:

- System-/instrumentberoende.
- Beroende av de parametrar som används för datainsamling i aktuellt projekt (t.ex. flyghöjd och flyghastighet).
- Georefereringsberoende (typ, antal och placering av markstöd etc.).
- Programvaruberoende.
- Markytans/objektets beskaffenhet. Denna faktor är mycket viktig eftersom laserstrålen reflekteras direkt från markytan som då har direkt påverkan på lägesosäkerheten. De påverkande egenskaperna är ytans reflektionsförmåga, lutning, öppenhet etc. Till exempel, vid förekomst att tät låg vegetation som hindrar laserstrålen att nå ända ner till marken kommer “marknivån” i punktmolnet att vara belägen på vegetationstoppen.



Figur 11. Exempel på faktorer som påverkar resultat av en mätning med laserskanning från UAS. Källa: Trafikverket, Jesper Klarqvist

I en väl genomtänkt genomförandebeskrivning för en datainsamling med laserskanning från UAS bör man redogöra för hur dessa faktorer kommer att beaktas för att ta fram en produkt av rätt kvalitet.

⁹ [www.lantmateriet.se/HMK - Flygburen laserskanning 2017](http://www.lantmateriet.se/HMK-Flygburen-laserskanning-2017)

¹⁰ [www.lantmateriet.se/HMK - Geodakvalitet 2017](http://www.lantmateriet.se/HMK-Geodakvalitet-2017)

7 Databearbetning

7.1 Primär databearbetning – fotogrammetrisk data

Bearbetning av bilder till ett punktmoln innefattar vanligtvis följande steg:

- Relativ orientering av alla bilder till ett bildblock genom bildmatchning, vilket resulterar i ett glest punktmoln av konnektionspunkter, som ger en "översiktlig" bild av det fotograferade objektet/området.
- Georeferering av bildblocket / glesa punktmolnet.
- Optimering av det glesa punktmolnet / bildblocket genom:
 - Borttagning av felaktiga konnektionspunkter.
 - Korrigering för systematiska fel i kameran (självkalibrering) inklusive eventuell kompensering för rullande slutare i kameran.
- Generering av det "slutliga" högupplösta punktmolnet genom s.k. tät bildmatchning.

I alla dessa steg behöver användaren ange parametrar som styr hur respektive processteg utförs och hur resultatet blir. I olika programvaror kan processerna se olika ut och det kan vara olika parametrar. Programvaruleverantörens föreslagna/rekommenderade parametervärden kan användas som utgångsvärden, men det är viktigt att förstå parametrarnas påverkan på resultatet och identifiera de värden som ger ett användbart resultat. Det avråds starkt från att blint använda "standardvärden" på dessa parametrar i programvaran. Därför är det viktigt att utarbeta ett arbetsflöde i projektet, vilket innefattar val av värden för de specifika parametrarna i olika steg i processen. Detta är något som bör tas upp i den interna planeringen som en del i kvalitetssäkring och egenkontroll.

Primär databearbetning för laserskanning består av att hantera systemberoende korrektioner, orienteringskorrektioner och georeferering.

7.1.1 Optimering av bildblock

De parametrar som kan behöva anges och beräknas i detta steg är osäkerheter för:

- **Konnektionspunkter**
Starta med ett realistiskt startvärde, men efter borttagning av felaktiga konnektionspunkter kan detta värde minskas.
- **Markstöd och kontrollpunkter** (geodetisk inmätning på marken)
Realistiska värden ska anges för lägesosäkerheten i referenssystemet.
- **Mätning av markstöd i bilderna**
Manuellt eller med automatiska metoder (fotogrammetrisk inmätning).
- **Kontroll mot kontrollpunkter**
Kontrollpunkterna mäts i bilderna och erhållna koordinater jämförs med de i fält lägesbestämda. Omfattar även statistiska beräkningar och analyser. Både numeriska och lägesrelaterade.

7.1.2 Generering av ett högupplöst punktmoln

De parametrar som brukar styra skapandet av ett högupplöst punktmoln är:

- Vilken **bildupplösning** som används i bildmatchningen. Bildmatchning brukar sällan utföras på "full upplösning" utan bilderna samplas ner till större pixelstorlek. Denna parameter styr möjlig punkttäthet samt även tidsåtgången för databearbetningen och storleken på punktmolnet när det gäller lagringsutrymme.

- **Filtrering** för reducering av brus för punktmolnet. Detta påverkar till vilken grad oönskade punkter tas bort vid framställningen av punktmolnet samt hur bra mindre detaljer behålls.

En viktig förutsättning för att använda dessa parametrar effektivt är inläsning på manualen till programvaran. Detta, i sin tur, kräver en tydlig beskrivning av de implementerade algoritmerna och parametrarna av tillverkaren, vilket inte alltid är fallet. Därför kan det rekommenderas att experimentera med dessa parametrar på en avgränsad del av punktmolnet, för att välja en optimal uppsättning parametrar som kan tillämpas för hela projektet.

7.2 Primär databearbetning – laserskannad data

En grundförutsättning för den primära databearbetningen och beräkningen av punktmoln är att orienteringsdata (GNSS/INS) inte är behäftad med systematiska fel. Detta bör säkerställas och eventuellt korrigeras innan fortsatt bearbetning görs.

Beräkning av ett georefererat laserskannat punktmoln följer normalt följande ordning:

- Beräkning av skannerposition och dess orientering
- Systemberoende korrektioner (t.ex. längder, vinklar)
- Beräkning av punktpositioner för molnet
- Stråkutjämning
- Inpassning på markstöd

7.2.1 Stråkutjämning

För att förbättra precisionen ett dataset med flera överlappande stråk för att utjämna de skillnader som finns för att uppnå ett mer homogent punktmoln.

Stråkutjämnningen bör resultera i en redovisning över t.ex. avvikelser före och efter justering. Presenteras med fördel grafiskt.

7.2.2 Inpassning på markstöd

För att förbättra punktmolnets georeferering bör en inpassning mot markstöd göras i såväl plan som höjd. Inpassningen kan behöva föregås av viss klassning av punktmolnet för att få bort effekter av t.ex. brus i mätdata.

7.3 Sekundär databearbetning

Den sekundära databearbetningen av punktmoln tar vid när det är georefererat samt kontrollerat och korrigerat för systematiska positioneringsfel. Ett första steg är att klassa eller ta bort uppenbart avvikande punkter ("outliers") från punktmolnet då de kan medföra problem och ytterligare felaktigheter i den fortsatta bearbetningen.

Den vanligaste förädlingen av punktmoln är att klassa punkterna utefter vilket behov man har och till vilken produkt eller användning som det ska ligga till grund för. Det kan vara klassning av mark, vegetation, byggnader/anläggningar, "det översta punktskiktet" för ythöjdmodell och sant ortofoto etc. Samt klassning (och eventuellt borttagning) av punkter som inte är relevanta, t.ex. fordon.

Klassningen sker ofta genom parameterstyrd filtrering (algoritmer) men kan även behöva kompletteras med manuell klassning där algoritmer och parametrar inte ger ett riktigt (förväntat) resultat. Det kan vara t.ex. för tät marknära vegetation, lokalt snabba diskontinuiteter.

Det kan även finnas behov av att ytterligare förfina georefereringen av punktmolnet för att förbättra dess lägesosäkerhet. Detta kan t.ex. göras genom att eliminera mätrelaterat brus på markstöd eller referensytor/referensobjekt och därefter justera/transformera hela punktmolnet.

Då punktmoln ofta har en hög punkttäthet, och som för vissa tillämpningar blir överinformation eller gör att datamängden blir svårhanterlig, kan punktmolnet behöva glesas ut, *uttunning*. Viktigt här är att uttunningen sker på ett sådant sätt att krav på tolkbarhet och lägesosäkerhet på efterföljande produkter uppfylls. Den stora datamängden kan även medföra att leveranser behöver delas upp i del-filer för att vara hanterbara.

Efter den sekundära databearbetningen av punktmolnet används det, eller delar av (t.ex. vissa klas-ser), som indata och underlag till andra produkter där några vanligt förekommande produkter redogörs för i kapitel 8.

8 Produkter

8.1 Datafångst

Produkten *datafångst* avser en produkt endast innehållande själva datafångsten (foto/laserdata) med tillhörande stöd- och kontrollmätningar samt dokumentation av detta. Det vill säga att utföraren endast utför själva datafångsten och dokumenterar den till en nivå som möjliggör databehandling och bearbetning av annan aktör eller i ett senare skede till behövda geodataprodukter.

Exempel på användningsområde kan vara för att fånga en ögonblicksbild av förhållanden för arkivering, som i ett senare skede kan bearbetas i syfte att rekonstruera då gällande förhållanden.

Data och dokumentation som behöver ingå i en strukturerad leverans för att redogöra för den färdiga produkten är exempelvis:

- Data (bilder, laserdata)
- Positionerings- och georefereringsdata (GNSS-positioner, trajectories, markstöd etc.)
- Verifieringsdata (kontrollmätningar o.d.)
- Kvalitetskontroll (uppfyllnad av specifikation, bildkvalitet/punkttäthet, fullständighet (täckning), stöd- och kontrollmätningar (mätosäkerhet, detekterbarhet i data, antal och konfiguration) etc.)

Det bör bl.a. beaktas att filformat, namnsättning och struktur på data utförs så att framtida bearbetning och förädling är möjlig. T.ex. rekommenderas att standardiserade utbytesformat används.

8.2 Georefererat punktmoln

Georefererat punktmoln är en grundprodukt. Flertalet av efterföljande produkter utgår från detta. Här avses ett kvalitetssäkrat punktmoln avseende lägesosäkerhet.

Punktmolnet i sin råa form består av alla mätta punkter (laserskannade eller fotogrammetriskt framställda) och att ingen klassning av dessa har skett. Där ingår även punkter som representerar träffar/mätningar på objekt som man inte är intresserad av, samt avvikande punkter ("outliers").

Beroende på behov och kravspecifikation kan filtrering och klassning av ingående punkter göras till olika nivåer. Rekommendation är att outliers alltid filtreras och klassas (och eventuellt även raderas) för att inte påverka efterföljande bearbetning. Övrig filtrering kan bestå i att klassa t.ex. mark, vegetation, byggnader, underlag för ythöjdsmodell o.d. Som ett sista steg kan det finnas behov att utföra

uttunning av punktmolnet för att minska datamängden till en hanterlig nivå. Viktigt här är att uttunningen sker på ett sådant sätt och till en sådan nivå att krav på tolkbarhet, lägesosäkerhet och datastruktur inte överskrids.

Punkterna i punktmolnet kan förses med färginformation genererade från bilder. Laserskannade punktmoln kan även innehålla mer information som intensitetsvärde, laserretur, stråknnummer, m.m.

Punktmoln levereras med fördel i leverantörsberoende format som exempelvis LAS/LAZ, alternativt E57 eller PTX.

Till punktmolnet behöver dokumentation ingå i leverans för att redogöra för den färdiga produkten och dess produktion. Exempelvis:

- Produktionsdokumentation
- Kontroller
- Redogörelse

Här rekommenderas HMK-Höjddata som utförligt beskriver vad produktdokumentation bör omfatta.

8.3 Ytmodeller

8.3.1 Markmodell

Som underlag för markmodeller används ett punktmoln där man har klassat fram de punkter som sannolikt representerar mätning på markytan (eller nära den). Indata kan behöva kompletteras i de delar där informationen i det klassade punktmolnet är otillräcklig t.ex. i områden med tät vegetation eller där det behövs brytlinjer för att komplettera modellen och dess interpolering.

Markmodellen utgör ofta underlag för projektering, dokumentation, uppföljning och massberäkning men även för visualiseringsprodukter. Markmodell ligger till grund för generering av höjdkurvor. Markmodellen används också som underlag för rektifiering av ortofoto.

SIS-TS 21144 beskriver framställning samt kontroll och leveranser av markmodeller. HMK Höjddata fångar också upp olika aspekter och kan användas som referens för hantering av markmodeller.

8.3.2 Siluettmodell

Siluettmodell kan utgöra underlag för "sant ortofoto", siktanalyser, illustrationer/visualiseringar m.m. Siluettmodell beskrivs vidare som ythöjdmodell i HMK Höjddata.

8.3.3 Objektmodell

Modell som representerar enstaka avgränsade objekt som exempelvis bro, byggnad (primärt takform).

8.4 Ortofoto

Det finns tre olika typer av ortofoton; normalt *ortofoto*, *byggnadsortofoto* och *sant ortofoto*. Ortofotoframställning kräver utöver flygfoton en ytmodell som lämpligtvis skapats från punktmoln och brytlinjer. För normalt ortofoto används markmodell vid rektifiering med effekten att alla objekt över markytan blir deplacerade. För byggnadsortofoto är markmodellen kompletterad med byggnader så att dessa inte blir deplacerade. Sant ortofoto rektifieras på en ytmodell som inkluderar överytan på alla objekt.

Exempel på användningsområden för ortofoton:

- Kartering 2D (monoplotning)
- Inventering
- Planering/projektering
- Redovisningsbakgrund och illustration
- Dokumentation

Ortofoto beskrivs vidare i HMK Ortofoto.

8.5 Kartering (2D/3D)

Kartering (vektorisering) av objekt och företeelser i punktmoln och/eller i ortofoto. Karteringen kan göras manuellt eller mer eller mindre automatiserat.

En 2D-vektorisering kan utföras på ortofoto eller på färgsatt punktmoln. För höjdsättning av 2D-kartering krävs markmodell/markklassat punktmoln (förutsatt att det är marknivån som är intressant). 3D-vektorisering kan direkt utföras med stereokartering eller att via programvaror som kan generera detta från punktmoln.

Följande exempel på användningsområden finns för karterat underlag:

- Grundkarta/bakgrundskarta
- Projekteringskarta/projekteringsmodell
- Underlag för modellering

9 Verifiering

För att säkerställa att datainsamling med UAS och efterföljande databearbetning leder till produkt som har rätt kvalitet är det viktigt att utföra löpande kontroller under hela processen. Dessa kontroller avser inte bara lägesosäkerheten utan även andra egenskaper/kvaliteter som t.ex. fullständighet, så att slutprodukten uppfyller ställda krav och kan användas för avsett ändamål.

Den "verifieringskedja" som kan användas i mätningstekniska UAS-projekt med kamera som sensor kan se ut enligt nedan. För kontroller vid datainsamling med laserskanning från UAS hänvisas till HMK – Flygburen laserskanning 2017¹¹.

1. Datainsamling:
 - Rätt parametrar har använts för flygningen (kamerainställningar, överlapp, GSD, flyghöjd, flyghastighet etc.).
 - Hela karteringsområdet täcks av bilderna.
 - Bilderna har tillräcklig kvalitet.
 - Övertäckning mellan bilderna har blivit enligt planeringen.
 - Alla markstöd syns väl i tillräckligt många bilder, speciellt i hörnen/på kanterna av bildblocket, för att åstadkomma en bra georeferering.
2. Inmätning av markstöd och kontrollpunkter:
 - Kvalitetssäkrad mätmetod och utförande.
 - Att markstöd inte har rört sig mellan inmätning och datainsamling med UAS.

¹¹ [www.lantmateriet.se/HMK - Flygburen laserskanning 2017](http://www.lantmateriet.se/HMK-Flygburen-laserskanning-2017)

3. Primär databearbetning:
 - Kontroll av den relativa orienteringen (som resulterar i ett glest punktmoln av konnektionspunkter) – enligt programvarans manual.
 - Kontroll av georefereringen.
 - Kontroll av avvikelser på markstöden.
 - Kontroll av avvikelse på kontrollpunkter.
 - Om GNSS-stödd UAS-fotografering har använts ska kontrollen av detta steg göras enligt tillverkarens anvisningar.
 - Kontroll av det slutliga högupplösta punktmolnet:
 - Förekomst av felaktigt matchade punkter.
 - Rätt upplösning har använts och det är möjligt att urskilja efterfrågade detaljer.
 - Höjdvariationer i terrängen har återskapats i punktmolnet (inte har utjämnats eller hanterats felaktigt av programvaran).
4. Sekundär databearbetning:
 - Filtrering och klassning av punkter: att det inte finns punkter som t.ex. inte är mark i markklassen, samt att inga markpunkter har felaktigt filtrerats bort.
5. Produkter
 - Specifika kontroller som gäller för respektive produkt t.ex. markmodell eller ortofoto, enligt t.ex. HMK – Höjddata 2017 och HMK – Ortofoto 2017 samt SIS-TS 21144:2016.

10 Dokumentation och redovisning

Dokumentation och redovisning av UAS-uppdrag har primärt två syften – dels att utgöra kvalitetsbeskrivning för att dokumentera resultatet och dels att verifiera att ställda krav är uppfyllda (primärt redovisning till beställaren).

Baserat på den princip som ligger till grund för definition av omfattning av produktionsdokumentation i mätningstekniska uppdrag enligt nya HMK-serien, kan det sägas att dokumentation av UAS-uppdrag ska omfatta följande aspekter:

- Utfört uppdrag.
- Uppdragsorganisation (beställare och utförare).
- En lista över levererade datafiler/produkter.

Den första delen av dokumentationen är mest omfattande och kräver mest tid. För att underlätta kan man utgå ifrån den struktur som presenteras i avsnitt 0, d.v.s. redogöra för följande moment i arbetsflödet:

- Planering
- Fältdarbete
- Databearbetning (primär och sekundär)
- Produktframställning
- Kvalitetskontroll.

Det är viktigt att löpande dokumentera alla steg i processen, vilket kommer att underlätta framtagande av slutdokumentationen som ska levereras och redovisas till beställaren.

Innehållet i redovisningen behöver definieras av beställaren i varje enskilt fall, beroende på typ av uppdrag, projektkrav etc.

11 Kravdokument och riktlinjer

Kravdokument	Beskrivning	Länk
HMK – Flygburen laserskanning 2017	Behandlar upprättande av teknisk specifikation för upphandling av georefererat laserpunktmoln samt hur det tas fram, kontrolleras och dokumenteras.	
HMK – Flygfoto-grafering 2017	Behandlar upprättande av teknisk specifikation för upphandling av orienterade flygbilder i lod samt hur dessa tas fram, kontrolleras och dokumenteras.	https://www.lantmateriet.se/hmk
HMK - Höjddata 2017	Behandlar upprättande av teknisk specifikation för upphandling av höjddata i olika former samt arbetets utförande, dokumentation och kontroll.	
HMK – Ortofoto 2017	Behandlar upprättande av teknisk specifikation för upphandling av ortofoton framtagna från flygbilder i lod samt arbetets utförande, kontroll och dokumentation.	
HMK – Geodata-kvalitet 2017	Lantmäteriets metodbeskrivning för kontroll av geodata inklusive punktmoln.	
HMK – Ordlista – Termer och förkortningar	En sammanställning av de termer som används inom HMK.	
TDOK 2014:0571	Geodetiska mätningsarbeten och geografisk lägesbestämning - Väg och järnväg.	https://trvdokument.trafikverket.se/
SIS-TS 21143:2016	Teknisk specifikation för geodetiska mätningar i infrastrukturprojekt.	https://www.sis.se/
SIS-TS 21144:2016	Teknisk specifikation för framställning och kontroll av markmodeller.	

12 Litteratur- och referensförteckning

Beskrivning	Länk/referens
Spring, T. (2014). <i>Uncertainty comparison of Digital Elevation Models derived from different image file formats</i> . Examensarbete i Lantmäteriteknik på Högskolan i Gävle.	http://hiq.diva-portal.org/smash/get/diva2:731604/FULLTEXT03.pdf
U.S. Department of Transportation (2019). Use of small unmanned aerial systems for land surveying. Tech Brief.	http://www.fhwa.dot.gov/uas .
Wingtra (u.å.). White paper. Reaching 1 cm (0.4 in) drone survey accuracy.	https://wingtra.com/downloads/wingtra-white-paper-reaching-1cm-drone-survey-accuracy/
Gerke, M. & Przybilla, H-J. (2016). Accuracy Analysis of Photogrammetric UAV Image Blocks: Influence of Onboard RTK-GNSS and Cross Flight Patterns.	https://doi.org/10.1127/pfg/2016/0284
H.-J. Przybilla, H-J., Bäumker, M., Luhmann, T., Hastedt, H. & Eilers, M. (2020). Interaction between direct georeferencing, control point configuration and camera self-calibration for RTK-based UAV Photogrammetry.	https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLIII-B1-2020-485-2020
Vallet, J., Gressin, A., Clausen, P. & Skaloud, J. (2020). Airborne and mobile LIDAR, which sensors for which application? <i>The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume XLIII-B1-2020</i> .	https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLIII-B1-2020-397-2020
TerraDrone (2019). Comparing drone LIDAR and photogrammetry.	https://www.terra-drone.net/global/2019/01/28/comparing-drone-lidar-and-photogrammetry/
Wingtra (u.å.). Guide: Wingtra Photogrammetry vs. LIDAR.	https://wingtra.com/downloads/guide-photogrammetry-vs-lidar/
Pix4D (u.å.). Pix4D Documentation – Photogrammetry knowledge	https://support.pix4d.com/hc/en-us/sections/360000212943-Photogrammetry-knowledge
Pix 4D (u.å.). Pix4D Mapper 4.1 User Manual	https://support.pix4d.com/hc/en-us/articles/204272989-Offline-Getting-Started-and-Manual-pdf
EASA – EU:s regler för UAS	https://www.easa.europa.eu/domains/civil-drones
Transportstyrelsen – regler för UAS i Sverige	https://www.transportstyrelsen.se/dronare
Sveriges Kommuner och Regioner (SKR), rapport Drönare i kommunal verksamhet	https://skr.se/skr/tjanster/rapporterochskrifter/publikationer/dronareikommunalverksamhet.64753.html
Myndigheten för samhällsskydd och beredskap (MSB), rapport om UAS inom räddningstjänst	https://www.msb.se/sv/publikationer/obemannade-luftfartyg-i-kommunal-raddningstjanst--vagledning-1.0/
Luftfartsverkets (LFV) drönarkarta med restriktionsområden	https://dronechart.lfv.se/

Natura 2000-karta (EU)	https://natura2000.eea.europa.eu/
Naturvårdsverkets Skyddad natur-karta	https://skyddadnatur.naturvardsverket.se/
Lantmäteriet - information om spridningstillstånd	https://www.lantmateriet.se/sv/spridningstillstand/spridningstillstand/

Not. Observera att länkarna gäller hösten 2022 och att dessa kan bli inaktuella med tiden.

Bilagor

Bilaga 1: Mall för genomförandebeskrivning

Denna bilaga är uppbyggd med rubriker som ska underlätta och utgöra mall då en genomförandebeskrivning ska upprättas. Under varje rubrik finns stödtexter som beskriver de uppgifter som ska redovisas under respektive rubrik.

Den röda texten innehåller endast instruktioner och ska tas bort i slutligt dokument.

1 Inledning

Under denna rubrik beskrivs följande:

- *Kort om uppdraget/projektet*
- *Vilken farkosttyp och sensorval planeras användas.*
- *Redogör för eventuella risker som identifierats i planerat utförande och vilka konsekvenser det kan resultera i. Tabell att använda som stöd och som underlag för redovisning av riskanalys finns i bilaga 2.*

2 Omfattning och förutsättningar

Under denna rubrik beskrivs följande:

- *Förutsättningarna för utförandet/uppdraget/projektet, exempelvis:*
 - *Befintligt stornät och dess kvalitet/status/tillstånd.*
 - *Fysisk miljö: vegetation, höjdskillnader, hinder, pågående verksamhet, möjligheter för GNSS-mätningar etc.*
 - *Arbetsmiljö och personsäkerhet.*
- *Beskriv eventuellt de krav som berörs av planerat utförande.*
- *Beskriv aktuell omfattning/avgränsningar.*
- *Tider*
- *En tydlig beskrivning av vilken användning och/eller produkt som resultatet ska användas till.*

3 Planering

Ange utrustning och parameterval som gjorts (t.ex. flyghöjd, markstöd inkl. lägesbestämning, GSD) och redogör för hur de säkerställer (påverkar) resultatet.

Flygplanering

- *Stråkplan (grafisk)*
- *Farkosttyp (plan, multikopter, hybrid)*
- *Övertäckning och eventuella tvärstråk*
- *Flyghöjd(er)*

Stöd- och kontrollplanering

- *“Stödplan” (grafisk)*
- *Konfiguration, omfattning, avstånd*

Markbundna mätningar

- *Referenssystem och dess realisering*
- *Mätmetod för inmätning av markstöd/kontroller. Bedömd lägesosäkerhet i referenssystemet.*

Sensorval

- *Val av sensor*
- *Eventuellt positioneringssystem och prestanda*
- *Laser*
 - *Teknisk prestanda*
 - *Skanningvinkel, skanningfrekvens, skanningmönster o.d.*
- *Kamera*
 - *Fokallängd (objektiv)*
 - *Planerad GSD*

Georeferering

- *Metod för georeferering*
- *Kontroll av georeferering*

4 Genomförande och egenkontroll

Beskriv hur genomförandet är planerat att utföras, vilka egenkontroller som ska utföras och vilka verifieringar ingår.

Detta beskrivs i HMK. Använd gärna dessa beskrivningar som underlag för att dokumentera punkterna i detta kapitel.

- *Beskriv kortfattat viktiga steg i utförandet inklusive inmätning, databearbetning och redovisning som ska egenkontrolleras eller verifieras.*
- *Redovisa hur resultat och delresultat ska verifieras.*
- *Beskriv hur egenkontroller utförs och dokumenteras.*

4.1 Osäkerhetsbedömning av resultat

Gör en bedömning av den slutliga osäkerheten i resultatet med beaktande av påverkande faktorer.

4.2 Utförande

- *Redogör för olika steg i datainsamling samt primär och eventuell sekundär databearbetning*
- *Redogör specifikt för hur georeferering av punktmolnet kommer att göras samt kontroll av denna.*
- *Redogör för hur löpande egenkontroller ska genomföras och dokumenteras.*

4.3 Kontrollförfarande

- *Redogör för hur slutresultat ska verifieras. Vid behov ska kontrollplan upprättas och inkluderas under denna rubrik.*

4.4 Produktionsresultat och redovisning

Beskriv hur resultat ska redovisas och vilka uppgifter som ska ingå.

- *Omfattning*
- *Beskrivning av slutresultat/produkt*
- *Lägesosäkerhet*
- *Aktualitet*
- *Fullständighet*
- *Referenssystem plan/höjd*
- *Avvikelser från krav och planerat utförande/resultat*
- *Dataleverans (filformat, uppdelning...)*

5 Arbetsmiljö

Beskriv hur arbetsmiljön kan påverkas av utförandet. Såväl positiva som negativa effekter redovisas.

Bilaga 2: Riskanalys

Denna tabell kan användas som stöd för att genomföra en riskanalys. Beskriv eventuella risker med utförande, metod och/eller resultat och hur dessa ska hanteras. Såväl tekniska, resultatmässiga och arbetsmiljömässiga.

För respektive risk ska sannolikhet att detta inträffar redovisas samt bedömd konsekvens. Dessa två faktorer multipliceras och skapar den uppskattade risknivån för aktuell risk. Beskriv åtgärd som ska/kan genomföras för att reducera aktuell risk.

Tabell 5. Riskanalys

ID	Rubrik	Beskrivning	Sannolikhet (1=låg, 4=hög)	Konsekvens (1=låg, 4=hög)	Riskenivå (SxK)	Åtgärd
ID01	<i>Detta är endast ett exempel, tas bort! Implementering av föreslagen mätmetod</i>	<i>Att föreslagen mätmetod inte kommuniceras och implementeras korrekt.</i>	3	2	6	<i>Genomgång med fältpersonal för att beskriva genomförandet. Dokumenterad egenkontroll.</i>