

HMK

- handbok i mät- och kartfrågor

Flygburen laserskanning

2024



Förord 2024

Första versionen av HMK – Laserdata publicerades i juli 2014. Denna version, HMK – Flygburen laserskanning 2024, är den fjärde i ordningen och resultatet av en större revidering. Teknikområdet har utvecklats mycket under de senaste tio åren och flera delar kändes något föråldrade. Förutom en allmän revidering och uppdatering har följande förändringar gjorts i förhållande till den förra versionen:

- Avsnitt 3 (Genomförande) har omstrukturerats och utökats något
- Bilaga B (Produktionsdokumentation) har förenklats till en mer funktionell nivå
- Bilaga C (Kontroll av flygburen laserdata) har förenklats till en nivå som är rimlig att genomföra för de flesta beställare
- Länkar och hänvisningar till andra dokument har uppdaterats.
- Tekniska termer och förkortningar förklaras i Bilaga D

Översynen har utförts av en arbetsgrupp bestående av Andreas Rönneberg, Emelie Wilhelmsson och Lena Morén, Lantmäteriet.

Gävle 2024-09-25

Lena Morén

Uppdragsledare HMK

Innehållsförteckning

Innehållsförteckning	3
1 Inledning	5
1.1 Om dokumentet.....	5
1.2 Om Handbok i mät- och kartfrågor.....	6
2 Teknisk specifikation	9
2.1 Allmän beskrivning.....	9
2.2 Specifikation av utgångsmaterial.....	10
2.3 Specifikation av produkten.....	10
2.3.1 HMK-standardnivå.....	10
2.3.2 Punkttäthet.....	11
2.3.3 Lägesosäkerhet.....	14
2.3.4 Skanningsvinkel.....	15
2.3.5 Insamlingsperiod.....	16
2.3.6 Följdprodukter.....	16
2.3.7 Tilläggspecifikation.....	16
2.4 Specifikation av leverans.....	19
2.4.1 Referenssystem.....	19
2.4.2 Stråk- och stödplan.....	19
2.4.3 Markstöd.....	19
2.4.4 Stråkinformation (GNSS/INS-data).....	20
2.4.5 Laserdata.....	20
2.4.6 Produktionsdokumentation.....	22
2.4.7 Övriga metadata.....	22
2.4.8 Tilläggspecifikation av leverans.....	24
3 Genomförande	25
3.1 Planering.....	25
3.1.1 Flyghöjd.....	25
3.1.2 Öppningsvinkel.....	26
3.1.3 Stråk.....	26
3.1.4 Markstöd.....	27
3.1.5 Leverans.....	28
3.2 Insamling av markstöd.....	29
3.2.1 Utformning.....	29
3.2.2 Inmätning.....	30
3.2.3 Leverans.....	31
3.3 Insamling av laserdata.....	31
3.3.1 Lasersystemet.....	31
3.3.2 Skanningsparametrar.....	32
3.3.3 Insamlingsförhållanden.....	32
3.4 Efterbearbetning.....	33
3.4.1 Beräkning av GNSS/INS-data.....	33
3.4.2 Bearbetning av punktmoln.....	34
3.4.3 Leverans.....	35
4 Beställarens kontroll	36
5 Referenser/Läs mer	37

Bilaga A: Mall och exempel för upp-rättande av teknisk specifikation	38
Bilaga A.1 Mall för teknisk specifikation	38
Bilaga A.2 Exempel på ifylld mall.....	41
Bilaga B: Produktionsdokumentation	48
Bilaga B.1 Markstöd.....	48
Bilaga B.2 Insamling och efterbearbetning.....	49
Bilaga C: Kontroll av flygburen laserdata	50
Bilaga C.1 Komplet leverans	50
Bilaga C.2 Produkt	50
Bilaga C.3 Fördjupad kontroll vid behov	52
Bilaga D: Ordlista till handboken	53

1 Inledning

1.1 Om dokumentet

Syfte

HMK – Flygburen laserskanning behandlar upprättande av teknisk specifikation för upphandling av georefererat laserpunktmoln samt hur det tas fram, kontrolleras och dokumenteras. Punktmolnet ska kunna användas för framtagning av höjdmodeller och för kartering.

Råden i HMK – Flygburen laserskanning bygger främst på de erfarenheter som Lantmäteriet, kommuner och Trafikverket har som beställare inom sina respektive verksamhetsområden. Mycket är dock generellt och kan, med mindre modifieringar, användas även inom andra verksamheter.

Disposition

Dokumentet stödjer:

- upprättande av en teknisk specifikation (kapitel 2 och Bilaga A), se [HMK – Introduktion 2017](#), avsnitt 2.1. Från beställarens perspektiv.
- genomförande av ett uppdrag avseende flygburen laserdatainsamling (kapitel 3 och Bilaga B). Från utförarens perspektiv.
- kontroll av leverans (kapitel 4 och Bilaga C).

Kapitel 5 "Referenser/läs mer" innehåller visst fördjupningsmaterial.

Avgränsningar

Följande HMK-standardnivåer omfattas av ([HMK – Geodatakvalitet 2017](#), avsnitt 2.6).

- HMK-standardnivå 1: Nationell/regional mätning och kartläggning för översiktlig planering och dokumentation.
- HMK-standardnivå 2: Mätning och kartläggning av tätort för kommunal detaljplanering och dokumentation.
- HMK-standardnivå 3: Projektinriktad mätning och kartläggning för projektering och byggande.

HMK – Flygburen laserskanning behandlar främst traditionell (linjär) laserskanning från bemannade flygfarkoster. Andra typer av lasersystem, som single photon eller geiger mode, ger delvis annorlunda produkter som inte behandlas närmare här. Handboken bör dock till största del fungera även för laserskanning från drönare.

Laserskanning för batymetrisk kartering av djupförhållanden behandlas ej i HMK – Flygburen laserskanning. Fordonsburen datainsamling med mobila system beskrivs i dokumentet [HMK – Fordonsburen laserskanning](#) och terrester skanning i dokumentet [HMK – Terrester laserskanning](#).

1.2 Om Handbok i mät- och kartfrågor

Information

- Versioner av handböcker i HMK-serien betecknas med årtal.
- För eventuella justeringar av senaste version, se förändringsförteckningen

Publicering av HMK

HMK – Handbok i mät- och kartfrågor – omfattar en samling handböcker och tekniska rapporter för ämnesfördjupning, omvärldsbevakning med mera. Samtliga HMK-dokument publiceras i PDF-format och finns tillgängliga avgiftsfritt via lantmateriet.se/hmk.

Målgrupp

HMK riktar sig till yrkesverksamma eller studerande inom geodata och samhällsbyggnadsområdet, särskilt som stöd vid kravställning/beställning eller genomförande av geodatainsamling, eller vid framtagande av geodataprodukter. Vissa handböcker är skraddarsydda för att stödja utformning och användning av tekniska specifikationer vid upphandling. I övrigt är mycket av innehållet i HMK av allmän karaktär och kan användas i valfri utsträckning i egna/interna kravspecifikationer, regelverk eller arbetsrutiner.

Kompletterande dokument

HMK – Flygburen laserskanning kompletteras med följande HMK dokument:

- [HMK – Fordonsburen laserskanning](#), senaste version, behandlar mobil insamling av laserdata från fordon, med bilddata som komplement.
- [HMK- Höjdmodell](#), senaste version, behandlar klassning av laserdata.

- Frågor om upphandling, tillstånd och sekretess behandlas i [HMK – Introduktion 2017](#), kapitel 3.
- Riktlinjer för hänvisningar beskrivs i [HMK – Introduktion 2017](#), avsnitt 1.7.
- Tekniska termer och förkortningar förklaras i Bilaga D samt i [HMK - Ordlista och förkortningar](#), senaste version.

I övrigt följer HMK standardiserad eller vedertagen terminologi inom berörda områden, men det finns ingen ambition att HMK ska vara generellt normerande. Terminologin inom HMK har dock harmoniserats för att handböckerna ska kunna tolkas och användas på ett entydigt sätt.

Tillämpning av HMK

De krav som återfinns i HMK-handböcker kan tolkas och tillämpas på tre olika sätt:

- Kraven ingår i grundutförande enligt HMK. Detta motsvarar en allmän/branschgemensam syn på fackmannamässig yrkesutövning. Tillämpning sker genom hänvisning till grundutförande i en eller flera handböcker. Grundutförande kan justeras i överenskommelse mellan beställare och utförare.
- Kraven ingår en teknisk specifikation. Handboken ger stöd för upprättande av en sådan och tillämpning sker sedan i kravställning och upphandling i den mån hänvisning sker till den tekniska specifikationen.
- Kraven baseras på föreskrift/lag och ska därmed följas, oavsett vilka övriga krav som finns beskrivna inom HMK.

Krav enligt grundutförande eller enligt teknisk specifikation blir juridiskt bindande endast i den mån de inkluderas i upphandlingsunderlag, eller i motsvarande avtal eller regelverk. I dessa fall förutsätts korrekt tillämpning av hänvisningsregler enligt [HMK – Introduktion 2017](#), avsnitt 1.7.

Generella frågor om upphandling, tillstånd och sekretess behandlas i [HMK – Introduktion 2017](#), kapitel 3.

Förvaltning av HMK

HMK förvaltas av Lantmäteriet, med stöd av olika intressenter inom geodata- och mättningsområdet. Den viktigaste samverkansformen för detta är HMK:s referensgrupp. Referensgruppen utför fackgranskning av HMK-dokumentet inför publicering samt ger förslag till framtida revideringar och nya dokument.

Vid intresse av att delta i HMK:s referensgrupp, skicka anmälan till hmk@lm.se.

För att prenumerera på nyhetsbrev med aktuell information om HMK, se <https://www.lantmateriet.se/nyhetsbrev/>.

2 Teknisk specifikation

Rekommendation

- a) Beställaren beskriver och specificerar uppdraget i en teknisk specifikation.

Vid upprättande av teknisk specifikation använder beställaren detta kapitel samt Bilaga A som stöd.

En teknisk specifikation kan helt eller delvis bestå av hänvisningar till en eller flera befintliga dataproduktspecifikationer (DPS) eller formella standarder. Kapitel 2 och 3 kan även användas som checklista för att säkerställa att aktuell DPS/standard omfattar alla relevanta krav vid beställning av laserdata.

För mer information om teknisk specifikation och dataproduktspecifikation, se [HMK – Introduktion 2017](#), avsnitt 2.1 och [HMK – Geodatakvalitet 2017](#), Bilaga B. Dataproduktspecifikation benämns dataspecifikation vid datautbyte inom EU enligt [INSPIRE-direktivet](#) och dataproduktspecifikation samt informationspecifikation i arbetet med [Nationella specifikationer](#) inom arbetet projektet [Smartare samhällsbyggnadsprocess](#).

2.1 Allmän beskrivning

Rekommendation

Beställaren beskriver översiktligt:

- a) de tjänster och produkter som den tekniska specifikationen omfattar, det vill säga vad som ska utföras och levereras
- b) hur produkterna ska användas.

Den allmänna beskrivningen säkerställer att samsyn råder mellan beställare och utförare. Vetskap om det tänkta användningsområdet ger utföraren möjlighet att använda sin erfarenhet för att erbjuda ett effektivt genomförande och en ändamålsenlig produkt.

2.2 Specifikation av utgångsmaterial

Rekommendation

- a) Beställaren levererar insamlingsområdets koordinatsatta begränsning i vektorformat samt anger filformat och referenssystem.
- b) Beställaren redovisar vilket existerande utgångsmaterial som ställs till utförarens förfogande för uppdraget, samt dess egenskaper.

Det tekniska underlaget ger förutsättningar för- och underlättar planeringen och utförandet av uppdraget. Exempel på befintligt utgångsmaterial kan vara markhöjdmodeller, vatten- och byggnadspolygoner, samt befintliga markstöd med tillhörande metadata.

2.3 Specifikation av produkten

2.3.1 HMK-standardnivå

Rekommendation

- a) Beställaren anger HMK-standardnivå för produkten.

Vald HMK-standardnivå (läs mer i [HMK - Geodatakvalitet 2017](#), avsnitt 2.6), utifrån tänkt användning, blir styrande för genomförandet. Tabell 2.3.1.a redovisar en sammanställning av parametervärden för respektive HMK-standardnivå. Värdena ska ses som rekommendationer och beställaren kan justera dessa vid behov. Det bör dock noteras att eventuella justeringar kan innebära påverkan både på slutprodukten användbarhet och på priset för genomförandet av uppdraget.

Värdena i Tabell 2.3.1.a gäller främst laserskanning från bemannade luftfarkoster, som flygplan eller helikopter. I HMK-standardnivå 3 kan insamlingen även göras med drönare. Då används normalt mycket låg flyghöjd, vilket kan ge högre punktätthet, lägre lägesosäkerhet samt en mindre träffyta.

Tabell 2.3.1.a. Sammanställning av parametrar per HMK-standardnivå för flygburen laserskanning.

Parametrar	HMK-standard-nivå 1	HMK-standard-nivå 2	HMK-standard-nivå 3
Punkttäthet (punkter/m ²) ^{I)}	1-4	4-16	16-64
Lägesosäkerhet plan/höjd (m) ^{II)}	0,30/ 0,08	0,15/ 0,04	0,08/ 0,02
Träffyta (fotavtryck) enligt 1/e ² (m) ^{III)}	0,5-1,0	0,2-0,5	0,1-0,2

^{I)} Vanligt förekommande intervall. För definition av punkttäthet vid flygburen laserskanning se avsnitt 2.3.2.

^{II)} Avser standardosäkerhet för väldefinierade objekt. Angivna värden kan ses som en tumregel, se rekommendation i avsnitt 2.3.3.

^{III)} Vanligt förekommande intervall, se rekommendation i avsnitt 2.3.7.

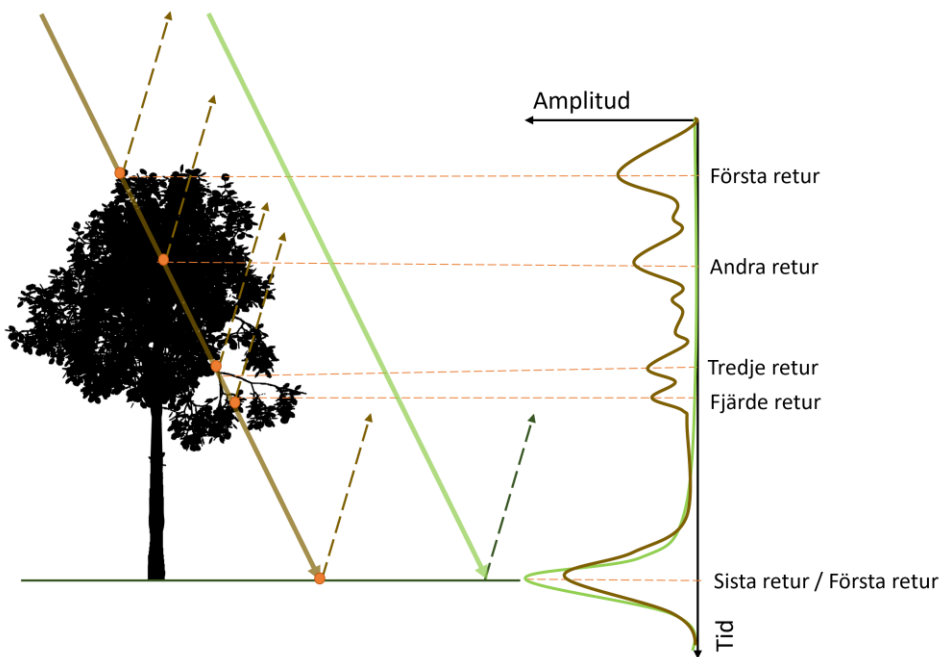
2.3.2 Punkttäthet

Rekommendation

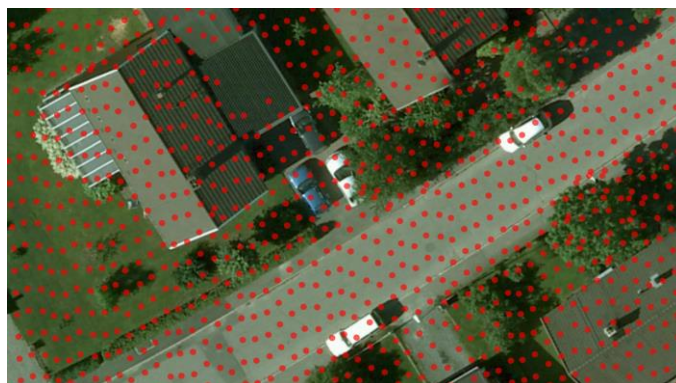
- a) Beställaren ställer direkt eller indirekt krav på punkttäthet (första retur).

Punkttäthet vid flygburen laserskanning definieras normalt som antal förstareturer per kvadratmeter vid markytan och mäts i 2D. En hög punkttäthet medger en mer verklighetstrogen modellering av de träffade objekten, medan en låg punkttäthet ger en mer generaliserad modellering med högre geometrisk osäkerhet.

Eftersom varje laserpuls potentiellt kan ge flera returer på olika höjd registreras fler punkter per ytenhet framförallt i skog (Figur 2.3.2.a). Samtidigt registreras färre punkter på markytan eftersom många laserpulser aldrig tränger igenom trädkronorna. Normalt kravställs och kontrolleras därför punkttäthet på öppen mark, vilket är samma sak som att mäta endast förstareturer.



Figur 2.3.2.a I skog registreras fler punkter, eftersom varje utsänd laserpuls där kan ge flera returer på olika höjd. På öppen mark kan varje utsänd laserpuls endast ge en retur.



Figur 2.3.2.b Exempel på träffbild med låg punkttäthet. I vegetationen har något fler punkter registrerats. Notera att ett hustak saknar punkter.

Kända brister

Punkttätheten kan bli lägre på ytor med låg reflektans i laserns våglängd, liksom på ytor där laserns infallsvinkel är ogynnsam. Därför måste låg punkttäthet på vattenytor liksom vissa hustak accepteras (Figur 2.3.2.b). Små ytor med fullständigt punktbortfall kan även uppträda i laserskugga bakom täta objekt som hus och broar.

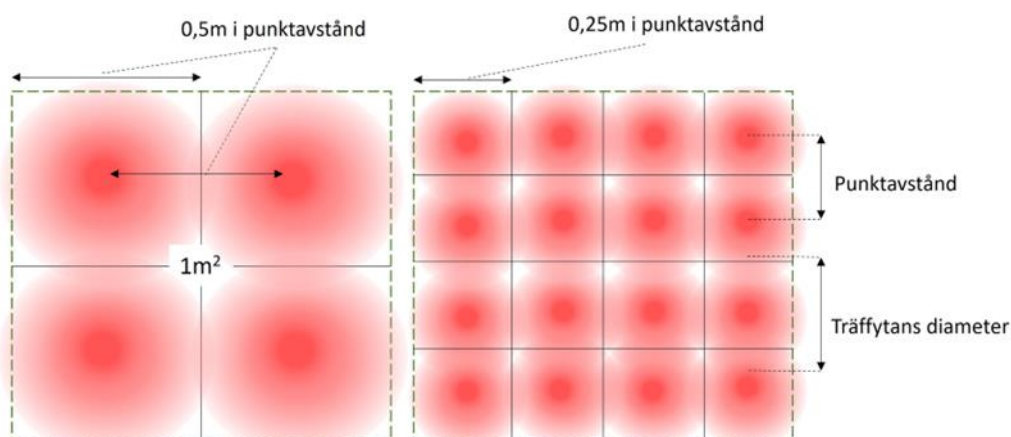
Punktavstånd

Det genomsnittliga punktavståndet är ibland ett mer illustrativt mått på detaljeringsgrad och ger en indikation på hur små detaljer som kan detekteras. Notera att punkttätheten behöver fyrdubblas för att punktavståndet ska halveras (se exempel i Figur 2.3.2.c).

Om punktavståndet är mycket större än träffytan (se avsnitt 2.3.7) finns risk att objekt med liten utbredning, som stolpar och luftledning, inte träffas och därmed kommer att saknas i punktmolnet.

Tabell 2.3.2.a. Förhållandet mellan punkttäthet och genomsnittligt punktavstånd. $\text{Punktavstånd} = \sqrt{1/\text{punkttäthet}}$.

Punkter/m ²	Punktavstånd (m)
64	0,13
32	0,18
16	0,25
8	0,35
4	0,50
2	0,71
1	1,00
0,5	1,41

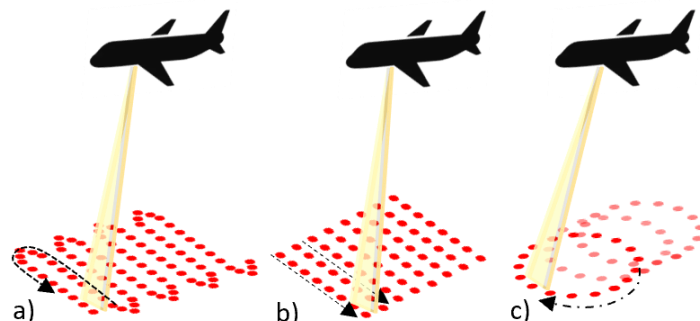


Figur 2.3.2.c Schematiskt exempel på punkttäthet och genomsnittligt punktavstånd. Vid 4 punkter/m² är det genomsnittliga punktavståndet 0,5 m. För halvering av punktavståndet till 0,25 m krävs en fyrdubbling av punkttätheten.

Punktfordring

Lasersystemen ger olika skanningsmönster beroende på skannermekanism (se Figur 2.3.2 d och Figur 2.3.4.a). Vissa system har dessutom

flera lasrar eller kanaler och ger ett sammansatt mönster. Punktdistributionen är aldrig helt perfekt, och man får acceptera att punktavståndet varierar något mellan olika delar av ett stråk.



Figur 2.3.2.d Punkt a-c illustrerar tre vanliga skanningsmönster hos flygburna lasersensorer: a) Oscillerande b) Linjärt c) Cirkulärt (Palmer).

Indirekt krav

Beställaren kan även välja att ställa indirekta krav på punkttätheten genom att specificera vilka detaljer som ska vara möjliga att urskilja i punktmolnet.

2.3.3 Lägesosäkerhet

Rekommendation

- a) Beställaren ställer krav på lägesosäkerhet.

Lägesosäkerhet vid flygburen laserskanning avser det färdiga punktmolnets standardosäkerhet vid jämförelse mot kontrollobjekt utformade som markstöd (se avsnitt 3.2.1). Den anges vanligen i meter, och gäller för de nationella referenssystemen SWEREF 99 och RH 2000 eller annat referenssystem som beställaren anger, se avsnitt 2.4.1.

Vid flygburen laserskanning blir lägesosäkerheten vanligtvis 3–5 gånger större i plan än i höjd. Lägesosäkerheten i höjd kan därför bli större på lutande ytor. Lägesosäkerheten är också starkt kopplad till flyghöjden och träffytans (fotavtryckets) storlek.

Handlingar för byggande (HMK-standardnivå 3) kräver vanligen en standardosäkerhet på 20 mm eller bättre i både plan och höjd, vilket ställer särskilda krav på datainsamlingen. Ofta används då en kombination av flygfotografering och laserskanning. Planläget tas från fotogrammetrisk detaljmätning och höjdläget från laserskannad höjdmödel.

2.3.4 Skanningsvinkel

Rekommendation

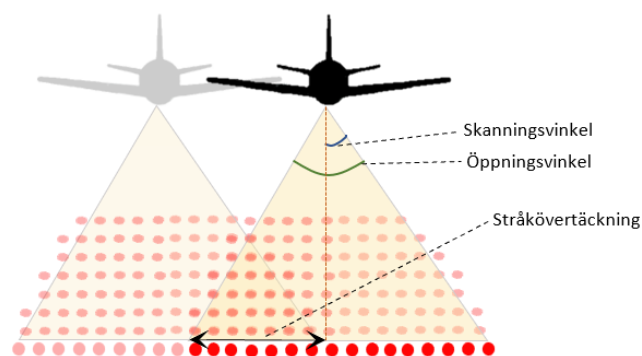
- a) Beställaren specificerar eventuellt krav på maximal skanningsvinkel

Med skanningsvinkel menas laserns avvikelse mot lodlinjen, vanligen angiven i grader. Den maximala skanningsvinkeln motsvarar halva systemets öppningsvinkel (se Figur 2.3.4.a).

En liten skanningsvinkel ger bra insyn mot markytan i skog och stadsmiljö, men ger tidskrävande och därmed dyr insamling eftersom det krävs många flygstråk för att täcka en yta. En stor skanningsvinkel kan ge fler träffar på till exempel husfasader och innebär effektivare insamling eftersom en yta kan täckas med färre flygstråk. En stor skanningsvinkel ökar dock osäkerheten i längdmätningen, speciellt i kombination med stor träffyta, och därför begränsas den ofta till cirka 20 grader.

Lasersystem med oscillerande eller linjärt skanningsmönster har en ständigt föränderlig skanningsvinkel, där lägesosäkerheten kan bli något högre i utkanten av stråket. System med cirkulärt mönster har normalt en konstant skanningsvinkel, där varje yta avbildas två gånger – strax före respektive strax efter systemets överflygning. Detta verkar till stor del kompensera för nackdelarna med den konstant stora skanningsvinkeln.

Krav på maximal skanningsvinkel ställs ofta indirekt genom beskrivning av användningsområde och krav på lägesosäkerhet. Vid speciella behov kan beställaren specificera en maximal skanningsvinkel, vilket kan leda till lägre effektivitet och därmed ökad kostnad för insamling.



Figur 2.3.4.a Figuren illustrerar parametrarna skanningsvinkel, öppningsvinkel och stråkövertäckning.

2.3.5 Insamlingsperiod

Rekommendation

- a) Beställaren specificerar eventuella krav på insamlingsperiod.

Den bästa årstiden för laserskanning är, för de flesta tillämpningar, mellan snösmältning och lövsprickning. Under denna period är den höga vegetationen gles och markvegetationen outvecklad. Det ger goda förutsättningar för detaljerad avbildning av både markytan och markbundna objekt som byggnader. Eventuell kvarliggande snö liksom potentiellt höga vattenstånd måste dock beaktas.

Vid höga vattenstånd i hav, sjö eller vattendrag bör laserskanning generellt undvikas. Längs Sveriges kust är tidvattnet ofta försumbart, men efter stormar och kraftig nederbörd kan mycket höga vattenstånd inträffa i alla typer av vatten. En utförare måste därför hålla sig kontinuerligt informerad om vädersituationen.

Alltför snäva krav på insamlingsperiod kan dock öka kostnaden för insamling.

2.3.6 Följdprodukter

Information

Följande följdprodukter stöds av andra HMK-dokument:

- klassificerat punktmoln, markhöjdmodell, ythöjdmodell, höjdkurvor och höjdpunkter i [HMK - Höjdmodell](#).
- höjdmodell för rektifiering av ortofoto (rektifieringsmodell) i [HMK - Ortofoto](#).

2.3.7 Tilläggspecifikation

Rekommendation

- a) Beställaren specificerar eventuella övriga krav på produkten.

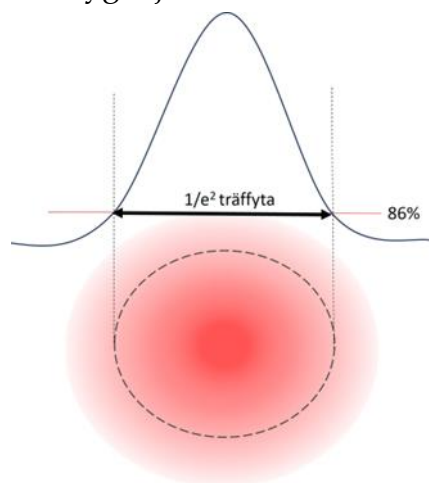
Beställaren bör inte detaljstyra genomförandet, utan så långt som möjligt överlämna det till utföraren.

Nedan ges exempel på avsteg/tillägg till genomförandekraven enligt kapitel 3.

Träffyta (fotavtryck)

Varje laser har en viss divergens som bland annat beror på den använda våglängden. Träffytans diameter på mark (fotavtrycket) ökar linjärt

med flyghöjden och anges i meter (vanligen enligt $1/e^2$) (Figur 2.3.7.a). Beställaren kan ange en maximal diameter på laserpulsens träffyta, vilket dock begränsar flyghöjden och därför kan öka flygtid och kostnad.



Figur 2.3.7.a En lasers träffyta anges vanligen enligt $1/e^2$, vilket motsvarar diametern av en cirkel som innehåller 86 % av den totala energin.

En stor träffyta ger större osäkerhet i längdmätningen, speciellt i kombination med stor skanningsvinkel, och ökar därmed punktmolnets lägesosäkerhet. För god genomträngning i skog krävs dock att laserpulsens träffyta är tillräckligt stor för att inte helt blockeras av grenar och blad.

Träffytans storlek är tillsammans med punktavståndet (se avsnitt 2.3.2) avgörande för hur små objekt som går att identifiera i ett punktmoln.

Upprepad insamling

För att öka insynen främst i stadsmiljö kan man välja att skanna området flera gånger, exempelvis genom att flyga korsande stråk eller skanna med mer än 50 % övertäckning mellan stråk. Upprepad insamling bör utföras inom så kort tidsrymd som möjligt för att inte skapa motsättningar i punktmolnet på grund av naturliga förändringar i landskapet. Av den anledningen ska upprepade insamling inte användas som en metod för att uppnå efterfrågad punkttäthet.

Kontrollobjekt

Beställaren anger eventuella krav på kontrollobjekt, som används för att kontrollera anslutningen till referenssystemet och verifiera lägesosäkerheten i laserdata. De utformas och positionsbestäms på samma sätt som markstöd (se avsnitt 3.2), men ska vara geografiskt åtskilda från dessa. Eftersom de inte används för georeferering av punktmolnet, ger de en mer representativ bild av lägesosäkerheten.

Samtidig bildinsamling

Beställaren ställer eventuella krav på samtidig bildinsamling. Insamlingen kan antingen ske genom användning av separata bild- och lasersystem eller med hjälp av ett kombisystem. Fördelen med det senare är en gemensam stråkeräkning och därmed en mer homogen georeferering av bilder och laserpunktmoln.

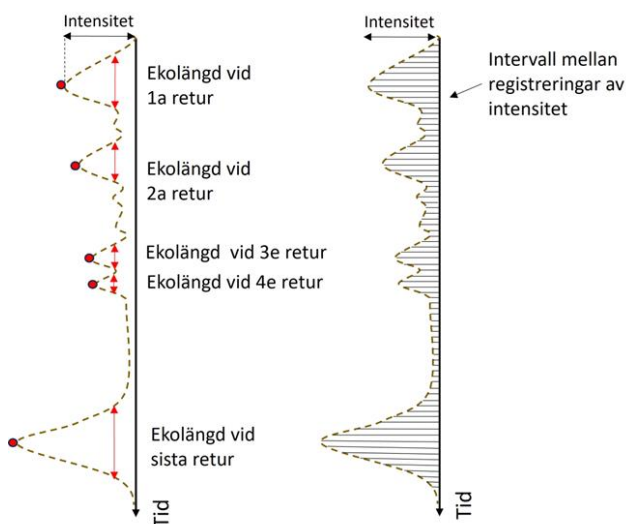
Bilddata kan komplettera laserdata, framför allt som stöd vid klassning och kvalitetskontroll. Bilddata kan också användas för färgsättning av punktmolnet. Bilderna används för kartering och för att ta fram andra produkter som ortofotomosaik. Det kan därför vara både lämpligt och kostnadseffektivt med samtidig bildinsamling.

Insamling av bild- respektive laserdata ställer dock olika krav på bland annat ljusförhållanden, vilket kan begränsa den möjliga insamlingsperioden.

Vågform eller ekolängd

Beställaren anger eventuella krav på lagring av vågform. Vågformsdata bör ses som ett komplement, och därför bör punktmolnet ändå bestå av en komplett uppsättning diskreta returerna. Vågformsdata är oftast kopplat till specifika användningsområden och beställaren bör beakta att datamängden kan bli mycket stor.

Ett alternativ till lagring av full vågform är att för varje retur lagra ekolängd, pulsavvikelse, eller liknade attribut. Sådana mått på respektive returs form ger ökad information om det träffade objektet, och kan exempelvis användas för att stärka markklassning av punktmolnet. Se Figur 2.3.7.b om ekolängd och vågform.



Figur 2.3.7.b Vänstra bilden illustrerar ekolängd, som motsvarar en returs längd (i tid) vid en viss intensitet. Högra bilden illustrerar vågform, där intensiteten samplas med ett visst tidsintervall.

2.4 Specifikation av leverans

2.4.1 Referenssystem

Rekommendation

- a) Beställaren anger referenssystem i plan och höjd för de filer som ska levereras.
- b) Vid beställning av annat referenssystem än SWEREF 99 och RH 2000 anvisar beställaren transformations samband mellan systemen.

Läs mer om SWEREF 99 och RH 2000 samt relationer mellan olika referenssystem och projektionszoner i HMK – [Geodetisk infrastruktur 2021](#), kapitel 2.

Om beställaren inte har ett aktuellt transformations samband kan sådant upprättas som en del av uppdraget enligt [HMK – Geodetisk infrastruktur 2021](#), kapitel 2.

2.4.2 Stråk- och stödplan

Rekommendation

- a) Beställaren anger eventuella krav på filformat och namngivning för leverans av stråk- och stödplan.

Syftet med stråk- och stödplanen är att nå en samsyn kring insamlingens utformning. Normalt ska beställaren granska och godkänna planen innan insamlingen påbörjas.

2.4.3 Markstöd

Rekommendation

- a) Beställaren anger filformat och namngivning för leverans av markstöd, inklusive eventuella kontrollobjekt.

Markstöd är nödvändigt för att åstadkomma ett punktmoln med låg lägesosäkerhet, åtminstone i höjd. Markstöden kan återanvändas i framtida insamlingar och bör därför bevaras på lämpligt sätt hos beställaren.

2.4.4 Stråkinformation (GNSS/INS-data)

Rekommendation

- a) För GNSS/INS-data definierar beställaren:
- eventuella krav på filformat
 - eventuella krav gällande namngivning
 - eventuella tilläggskrav gällande informationsinnehåll.

Stråkinformation (även kallad banddata efter engelskans trajectory) består av systemets position (från GNSS) och orientering (från INS) lagrade med hög frekvens. Denna information är inte bara nödvändig för georeferering av punktmolnet, utan krävs även för viss bearbetning. Därför ska denna information ingå i en komplett leverans.

Beställaren anpassar, vid behov, kraven på informationsinnehåll i GNSS/INS-data. Om annan hantering önskas än genomförandekrav enligt 3.4.3 a-c specificeras detta av beställaren.

2.4.5 Laserdata

Rekommendation

- a) För leverans av laserdata definierar beställaren:
- filformat och version (normalt LAS 1.4)
 - eventuell datakomprimering (normalt LASzip (LAZ))
 - eventuell specifik filorganisering
 - geografisk uppdelning och indexsystem
 - krav gällande namngivning

Filformat

Laserpunktmoln levereras lämpligen i LAS-format (Laser file format), normalt version 1.4. LAS-formatet är specificerat av ASPRS och antogs 2017 som standard av OGC.

Valet av point data record format (ofta förkortat PDRF) styrs av vilken radiometrisk information som punktmolnet har. I LAS-version 1.4 används normalt PDRF 6 (endast laserintensitet), 7 (laserintensitet, R, G, B) eller 8 (laserintensitet, R, G, B, NIR).

Om man även önskar vågform används PDRF 9 (som 6, plus vågform) eller 10 (som 8, plus vågform). Vågformerna lagras normalt i externa filer, med samma namn som respektive LAS-fil men med filändelsen WDP.

För lagring av ekolängd, pulsavvikelse, eller liknade kan LAS-formatet

utökas med så kallade Extra bytes, där extra attribut kan lagras som Variable Length Records.

Filkomprimering

Det är vanligt att filer i LAS-format komprimeras. En vanligt förekommande komprimeringsmetod är den öppna LASzip som stöds av de flesta programvaror, och där de komprimerade filerna får ändelsen LAZ.

Nackdelen med komprimerade filer är att längre tid krävs för åtkomsten, något som måste vägas mot den kortare överföringstiden om filerna distribueras samt mindre behov av lagringsutrymme.

Filorganisering

Punkterna i en LAS-fil är normalt lagrade i kronologisk ordning, med naturliga ekosekvenser (exempelvis 1/5, 2/5 ... 5/5). Punkterna kan även organiseras enligt specifikationen för COPC (Cloud Optimized Point Cloud) för att optimera strömmande åtkomst. Sådana filer är alltid av typen LAZ 1.4 med PDRF 6, 7, eller 8.

Geografisk uppdelning och indexsystem

Laserdata bör levereras i hanterbara filstorlekar och därför krävs normalt en geografisk uppdelning av större områden, vanligen i form av ett rutnät. En geografisk uppdelning enligt Lantmäteriets indexsystem kan tillämpas för SWEREF 99, även i lokala zoner. Vid laserskanning av korridorer kan punktmolnet i stället delas upp i segment av lämplig längd.

Tabell 2.4.4. Exempel på förhållandet mellan punkttäthet, indexrutans storlek och filstorlek i okomprimerat LAS-format (version 1.4, PDRF 6). De gröna rutorna indikerar lämpliga kombinationer, de röda olämpliga.

Punkttäthet/ indexrutans storlek	1 p/m ²	4 p/m ²	16 p/m ²	64 p/m ²
250 m	2 MB	8 MB	30 MB	120 MB
500 m	8 MB	30 MB	120 MB	480 MB
1000 m	30 MB	120 MB	480 MB	2 GB
2500 m	188 MB	750 MB	3 GB	12 GB

Namngivning

En logisk namngivning av filerna bör tillämpas, gärna där koordinaterna för något hörn av respektive indexruta ingår.

2.4.6 Produktionsdokumentation

Rekommendation

- a) Beställaren specificerar eventuella tilläggskrav på produktionsdokumentationen.

Produktionsdokumentationen är en form av metadata som i första hand riktar sig till beställaren. Den ska innehålla en lagom ingående beskrivning av både planering, insamling och efterbearbetning, med fokus på resultat från ingående kvalitetskontroller och hantering av eventuella avvikelser. Dokumentet ska bevisa att leveransen uppfyller samtliga krav i den tekniska specifikationen.

Beställaren anpassar, vid behov, kraven på produktionsdokumentation utifrån uppdragets storlek och komplexitet. Om annan hantering önskas än genomförandekrav 3.2.1 d-e för markstöd och 3.4.3 g-h för GNSS/INS-data samt laserdata, specificeras detta av beställaren.

2.4.7 Övriga metadata

Rekommendation

- a) För eventuella övriga metadata definierar beställaren informationsinnehåll och filformat.

Metadata avser information om produkten och behövs främst för att bedöma dess användbarhet för olika tillämpningar. Produktionsdokumentationen utgör en viktig del, men behöver ofta kompletteras med ytterligare information. Metadata kan struktureras och lagras på olika sätt, exempelvis som text (ofta formaterad enligt en standard), eller som kartinformation i vektor- eller rasterformat.

Metadata kan med fördel struktureras för publicering på [Geodataportalen](#) eller [Nationella geodataplattformen](#).

Metadata kan exempelvis avse:

- Redovisning av flygstråkens utbredning på mark i form av polygoner med attribut som stråk-ID, insamlingsdatum, typ av laserskanner och skanningsparametrar.
- Rasterkarta med höjddifferenser mellan individuellt markklassade stråk.
- Rasterkarta med punkttäthet för förstareturer.

Rasterkartor bör redovisas med en lämplig upplösning baserad på punkttäthet. Relativa färgskalor baserade på ställda krav rekommenderas.

Exempel på lämpliga filformat är JSON for text, GeoPackage för vektor-data och GeoTIFF för rasterkartor.

Tabell 2.4.7.a. Relativ färgskala för höjddifferenser mellan individuellt markklassade stråk.

Blått	< efterfrågad lägesosäkerhet × 0.5
Grönt	efterfrågad lägesosäkerhet × 0.5–1
Gult	efterfrågad lägesosäkerhet × 1–2
Rött	> efterfrågad lägesosäkerhet × 2
Svart	dolda (maskerade) ytor, t.ex. vattenområden

Tabell 2.4.7.b. Relativ färgskala för punkttäthet hos förstareturer.

Blått	> efterfrågad punkttäthet × 2
Grönt	efterfrågad punkttäthet × 1–2
Gult	efterfrågad punkttäthet × 0.5–1
Rött	< efterfrågad punkttäthet × 0.5
Svart	dolda (maskerade) ytor, t.ex. vattenområden

Tabell 2.4.7.c. Lämplig upplösning för metadata i rasterformat per HMK-standardnivå.

	HMK-standardnivå 1	HMK-standardnivå 2	HMK-standardnivå 3
Upplösning (m)	5–10	2,5–5	1–2,5

2.4.8 Tilläggspecifikation av leverans

Rekommendation

- a) Beställaren specificerar eventuella övriga krav på leverans.

Prov- och delleveranser

Beställaren anger eventuella krav på prov- eller delleveranser, för godkännande av till exempel stråk- och stödplanering. Detta hanteras vanligen i upphandlingens kontraktsvillkor (se [HMK - Introduktion 2017](#), avsnitt 3.2.1).

Leveransmedia och katalogstruktur

Beställaren specificerar eventuella krav på leveransmedia och katalogstruktur.

Rådatahantering

Beställaren specificerar eventuella krav på att leverantören ska leverera rådata och/eller delresultat i förädlingskedjan. Alternativt ställs eventuella krav på lagring av data för beställarens räkning samt på hur länge lagrade data ska finnas tillgängliga hos leverantören.

Detta hanteras vanligen i upphandlingens kontraktsvillkor ([HMK - Introduktion 2017](#), avsnitt 3.2.1).

3 Genomförande

Krav

- a) Utföraren ska ansvara för kvalitetssäkring av hela produktionsprocessen samt för att det material som levereras är kvalitetskontrollerat och komplett enligt beställarens specifikation.
- b) Kvalitetskontroll ska ske löpande under både planering, insamling och efterbearbetning, så att eventuella brister tidigt kan upptäckas och åtgärdas.

Rekommendation

- c) En kvalitetsplan bör upprättas.

I en kvalitetsplan definieras uppdragets genomförande. I den beskrivs bland annat hur produkterna ska tas fram samt vilka kontroller som ska genomföras och dokumenteras för att kvalitetssäkra planering, datainsamling, efterbearbetning och leverans.

En kvalitetsplan ger förutsättningar för en tydlig kvalitetsstyrning av ett uppdrag. Beställaren kan kräva i upphandlingens kommersiella villkor att en kvalitetsplan upprättas, läs mer i [HMK – Introduktion 2017](#), avsnitt 2.2.

3.1 Planering

För mer information om planering vid flygburen laserskanning se avsnitt 15.5.2 i referens [8].

3.1.1 Flyghöjd

Krav

Flyghöjden ska begränsas så att:

- a) signal/brus-förhållandet (SNR) hamnar inom det av systemtillverkaren rekommenderade intervallet
- b) en hög andel av utsända pulser ger upphov till multipla returerna i skog

Flyghöjden har stor påverkan på slutproduktens kvalitet. Precisionen i längdmätningen avtar med ökad flyghöjd, vilket ökar lägesosäkerheten i punktmolnet. Alltför hög flyghöjd ger så lågt signal/brus-förhållande (SNR) att få utsända laserpulser ger upphov till multipla returerna. Flyghöjden ska därför begränsas så att signal/brus-förhållandet hamnar

inom det av systemtillverkaren rekommenderade intervallet, och så att en hög andel utsända pulser ger upphov till multipla returerna i skog.

3.1.2 Öppningsvinkel

Krav

- a) Öppningsvinkel ska väljas baserat på angivet användningsområde och så att krav på lägesosäkerhet i höjd uppfylls i stråkets alla delar, om inte beställaren anger annat

Öppningsvinkeln (dubbla skanningsvinkeln) kan ha stor påverkan på slutproduktens användbarhet och lägesosäkerhet i höjd. Precisionen i längdmätningen avtar med ökad skanningsvinkel, speciellt i kombination med stor träffyta.

3.1.3 Stråk

Krav

- a) Hänsyn ska tas till kuperad terräng och höga objekt som bebyggelse eller träd, för att säkerställa att samtliga objekt avbildas
- b) Övertäckning mellan stråk ska vara minst 10 % om inte beställaren anger annat.
- c) Upprepad insamling ska inte användas som en metod för att uppnå efterfrågad punkttäthet.

Rekommendation

Tvärstråk bör:

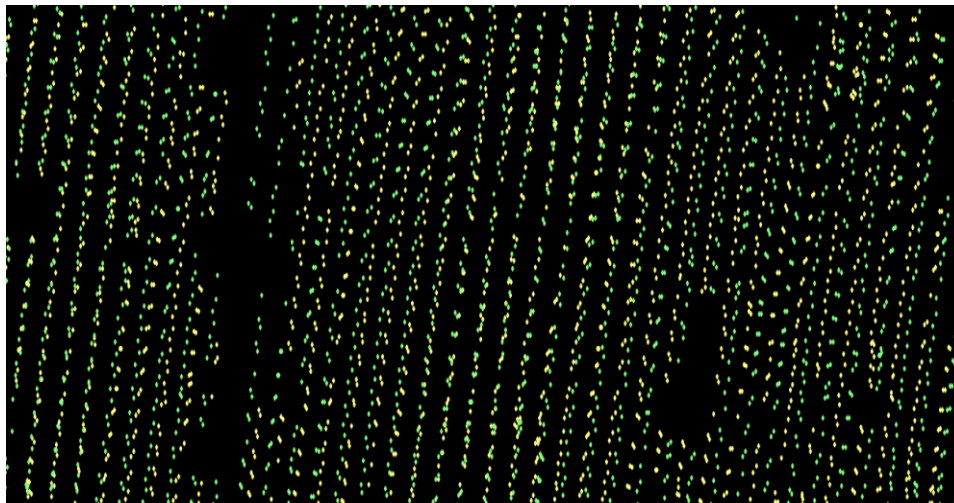
- d) placeras i skanningsområdets båda ändar och, vid större områden, även inne i området
- e) läggas i nära rät vinkel mot ordinarie stråk
- f) placeras över markstöd
- g) undvika områden med vattenytor.

Flygstråkens riktning planeras enligt det mest ekonomiska alternativet, om det inte medför negativ påverkan på slutprodukten.

Övertäckning mellan angränsande stråk ska säkerställa heltäckande insamling utan glipor, och möjliggöra stråkutjämnning och kvalitetskontroll. Den faktiska övertäckningen varierar med terrängens höjd, men

påverkas även av plattformens stabilitet.

Upprepad laserskanning längs samma eller parallella stråk kan ge oönskad interferens mellan skanningsmönstren, och därmed ogynnsam punktdistribution (Figur 3.1.3).



Figur 3.1.3. Oönskad interferens mellan skanningsmönstren vid upprepad laserskanning.

Ett eller flera tvärstråk ger en mer robust geometri som kan underlätta felsökning och stråkutjämnning och därmed bidra till en låg lägesosäkerhet i det färdiga punktmolnet. Behovet av tvärstråk, samt det inbördes avståndet mellan dem, styrs främst av systemets prestanda vad gäller INS.

3.1.4 Markstöd

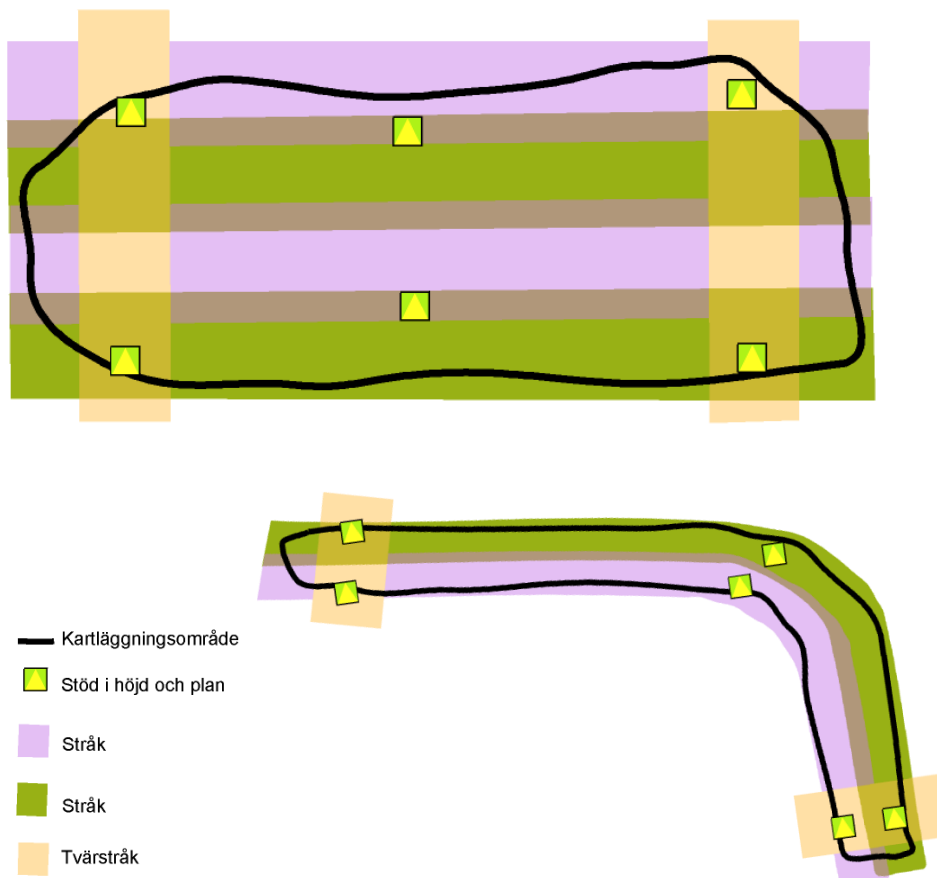
Krav

Markstöd ska:

- a) anpassas i antal och inbördes avstånd efter den förväntade mätosäkerheten i slutprodukten och efter kartläggningsområdets storlek
- b) fördelas jämnt men särskilt finnas i korsande stråk och i ytterkanten av kartläggningsområdet, för att erhålla god kontrollbarhet (Figur 3.1.4)
- c) vara anpassade i form och storlek för att tydligt synas i punktmolnet.

Markstöd är nödvändigt för att åstadkomma ett punktmoln med låg lägesosäkerhet, åtminstone i höjd. De kan även användas för att upptäcka grova fel och systematiska effekter, samt som underlag för eventuella transformationer.

Exempel på markstödens principiella placering inom ett projektområde redovisas i Figur 3.1.4.



Figur 3.1.4. Principiell placering av markstöd för yta respektive korridor. (Källa: Lantmäteriet).

3.1.5 Leverans

Krav

Leverans av stråk- och stödplan ska:

- vara kvalitetskontrollerad och komplett
- göras i form av en karta, i PDF/ A-format om inte annat anges, som visar insamlingsområdets begränsning, läget för samtliga planerade stråk och markstöd, samt grundläggande information om bland annat flyghöjd och öppningsvinkel
- levereras i det filformat och med den namngivning som eventuellt anvisats av beställaren.

Filformat och namngivning specificeras av beställaren enligt avsnitt 2.4.2.

3.2 Insamling av markstöd

Olika slags markstöd kan användas beroende på laserskanningens punkttäthet. Vid låg punkttäthet är naturliga stöd vanligast, medan signalerade stöd kan förekomma vid hög punkttäthet.

Kontrollobjekt (se avsnitt 2.3.7) hanteras på samma sätt som markstöd, men används främst för att oberoende verifiera lägesosäkerheten i punktmolnet.

3.2.1 Utformning

Krav

Höjdstöd ska:

- a) placeras på öppna väldefinierade ytor med högst 10 % lutning
- b) utformas som rutnät av punkter med inbördes avstånd större än det genomsnittliga punktavståndet i laserskanningen
- c) normalt ha en utsträckning på minst 5×5 punkter eller motsvarande icke kvadratiska area

Planstöd ska:

- d) antingen utformas som minst två väldefinierade närliggande sektioner, i nära rät vinkel mot varandra
- e) eller, vid hög punkttäthet, utformas som minst en väldefinierad punkt synlig i intensitetsdata

Höjdstöd

Höjdstöd utformas som rutnät av punkter på öppna väldefinierade ytor med låg lutning, exempelvis på asfalt, grus eller betong, där laserlängderna har hög precision. Antalet punkter per stöd anpassas efter vald teknik för inmätning och kraven på lägesosäkerhet i punktmolnet.

För att minimera risken för att temporära objekt som parkerade bilar täcker stöden, kan det vara lämpligt att lägga ut flera närliggande stöd.

Planstöd

Vid låg punkttäthet kan planstöd utformas som sektioner över vegetationsfri mark med tydliga höjdvariationer, till exempel vägsektioner med djupa diken och branta slänter. Ett annat alternativ är taknockar eller sektioner över sadeltak. Eftersom sektioner bara ger stöd i en riktning behövs minst två närliggande sektioner, i nära rät vinkel mot varandra.

Vid laserskanning med hög punkttäthet kan detaljer som syns tydligt i intensitetsdata användas, till exempel hörn på större vägmålningar. Vid behov kan liknade stöd signaleras.

3.2.2 Inmätning

Krav

Inmätning av markstöd ska:

- a) tidsmässigt ske i nära anslutning till flygning för att säkerställa god aktualitet
- b) ske med en standardosäkerhet, inklusive eventuella utgångspunkters mätosäkerhet, som inte överstiger 1/3 av standardosäkerheten i slutprodukten – enligt den tekniska specifikationen
- c) ske med lämplig geodetisk mätmetod

Mätosäkerheten hos markstöden har stor inverkan på lägesosäkerheten i slutprodukten. Det är viktigt att olika felkällor tas med i beräkningen när mätosäkerheten för markstöden bedöms. Till exempel är det viktigt att utreda stomnätets kvalitet när en produkt för detaljprojektering (HMK-standardnivå 3) ska framställas.

Vid inmätning av markstöd med nätverks-RTK mot SWEPOS behövs en väl genomtänkt mätmetodik, speciellt för att åstadkomma höjdstöd med tillräckligt låg mätosäkerhet. Se [HMK - GNSS-baserad detaljmätning 2021](#) för beskrivning. Markstöd i HMK-standardnivå 3 kan kräva andra mätmetoder, se [HMK - Terrester detaljmätning 2021](#).

3.2.3 Leverans

Krav

Leverans av markstöd ska:

- a) vara kvalitetskontrollerad och komplett
- b) göras i form av en fil som innehåller markstödens namn, utformning och position. Koordinater redovisas i meter med tre decimaler. För varje stöd ska även ett representativt foto finnas.
- c) levereras i det filformat och med den namngivning som använts av beställaren.

Leverans av produktionsdokumentation ska:

- d) vara kvalitetskontrollerad och komplett
- e) bestå av rapport enligt bilaga B.1 Markstöd om beställaren inte anger annat.

Filformat/namngivning specificeras av beställaren enligt avsnitt 2.4.3.

3.3 Insamling av laserdata

3.3.1 Lasersystemet

Krav

- a) Senaste kalibreringscertifikat för systemet ska på begäran kunna uppvisas för beställaren.
- b) Systemet ska kalibreras enligt tillverkarens rekommendationer.
- c) En laserskanner som endast lagrar diskreta returerna i realtid (ingen lagring av vågform) ska kunna registrera minst 5 returerna från en utsänd laserpuls, inklusive respektive returernas intensitet (amplitud).

Rekommendation

- d) Systemet bör under insamling vara monterat i en gyrofot.
- e) Systemets GNSS-mottagare bör kunna hantera både GPS, Glonass, Galileo och BeiDou

Systemet är vid leverans internt kalibrerat av tillverkaren, något som upprepas vid behov, exempelvis efter större uppgraderingar eller reparationer. Senaste kalibreringscertifikat ska på begäran kunna uppvisas för beställaren.

Efter installation i flygplanet ska vektorn mellan systemet och GNSS-antennen (GNSS lever arm) bestämmas på cm-nivå, vanligen genom geodetisk mätning. Sedan måste en kalibreringsflygning genomföras, vanligen över stadsmiljö, varefter bland annat så kallad boresight misalignment kan beräknas.

En laserskanner som endast registrerar diskreta returerna i realtid (ingen lagring av vågform) ska kunna registrera minst 5 returerna från en utsänd laserpuls, inklusive respektive returernas intensitet (amplitud).

Systemet bör vara monterat i en gyrofot, som ger en jämnare punktfördelning längs och tvärs flygriktningen, samt minskar risken för lokala brister i täckning och punkttäthet.

Systemets GNSS-mottagare bör kunna hantera både GPS, Glonass, Galileo och BeiDou, och systemets *IMU* bör vara av mycket hög kvalitet.

3.3.2 Skanningsparametrar

Krav

Skanningsparametrar ska väljas så att:

- a) efterfrågad punkttäthet uppnås för varje stråk inom hela insamlingsområdet
- b) likartat punktavstånd erhålls längs och tvärs insamlingsriktningen, och aldrig överstiger det dubbla genomsnittliga punktavståndet
- c) signal/brus-förhållandet (SNR) hamnar inom det av systemtillverkaren rekommenderade intervallet

Vid val av skanningsparametrar vill man uppnå kraven med viss marginal och samtidigt minimera tiden för datainsamlingen. Normalt bestäms parametrarna med hjälp av en speciell planeringsprogramvara som tillhandahålls av instrumenttillverkaren.

För mer information om skanningsparametrar och inställningar av laserskannern se avsnitt 15.4 respektive 15.5.2 i referens [8].

3.3.3 Insamlingsförhållanden

Krav

- a) Insamling under olämpliga väderförhållanden (höga vattenstånd, signifikant snötäcke eller stark vind) ska undvikas.

Förhållanden med höga vattenstånd i hav, sjöar eller vattendrag ska undvikas, liksom förhållanden där ett snötäcke signifikant påverkar avbildningen av markytan eller markbundna objekt. Även kraftig vind

ska undvikas.

3.4 Efterbearbetning

3.4.1 Beräkning av GNSS/INS-data

Krav

- a) Relevant information om stråkinformationens skattade osäkerhet (position och orientering) ska redovisas grafiskt

Grunden för ett punktmoln med låg lägesosäkerhet är en kvalificerad beräkning av stråkinformation. Kvalitet i både position och orientering ska därför granskas noggrant ur flera olika perspektiv. Geodetiskt inmätt GNSS lever arm bör verifieras genom beräkning.

Det finns inget standardiserat filformat för lagring av stråkinformation. Information motsvarande tabell 3.4.1.a bör dock alltid finnas, oavsett format.

Det är viktigt att referenssystem i plan och höjd samt tidstyp (veckotid eller absolut tid) är tydligt angivet, gärna i filhuvudet. Dessutom gärna en märkning med sessions-ID och stråktyp (ordinarie eller tvärstråk).

En logisk namngivning av stråkfilerna bör tillämpas, där stråk-ID ingår.

Tabell 3.4.1.a Obligatoriskt innehåll i lagrad stråkinformation. Stråk-ID anges i filhuvudet, medan övriga rader är information per tidpunkt.

Värde	Kommentar
Stråk-ID	Heltal
GPS-tid	Sekunder med 4 decimaler
Northing (N)	Meter med 3 decimaler
Easting (E)	Meter med 3 decimaler
Up	Meter med 3 decimaler
Roll (omega)	Grader med 3 decimaler
Pitch (phi)	Grader med 3 decimaler
Heading (kappa)	Grader med 3 decimaler
Standardosäkerhet N/E	Meter med 3 decimaler
Standardosäkerhet Up	Meter med 3 decimaler
Standardosäkerhet roll/pitch	Grader med 4 decimaler
Standardosäkerhet heading	Grader med 4 decimaler

3.4.2 Bearbetning av punktmoln

Krav

- a) Systemberoende korrigeringar ska utföras.
- b) Punkttäthet för första retur ska redovisas grafiskt (se 2.4.7)
- c) Stråkutjämning ska utföras, där motsättningar mellan överlappande stråk minimeras.
- d) Höjddifferens mellan individuellt markklassade stråk efter stråkutjämning ska redovisas grafiskt (se 2.4.7)
- e) Kontroll av avvikelser mot markstöd i plan och höjd ska utföras. Vid behov, och om signifikanta korrektinger kan skattas, ska punktmolnets läge justeras.
- f) Den skattade absoluta lägesosäkerheten i plan och höjd ska redovisas numeriskt.

Beräkning av georefererat punktmoln sker normalt enligt följande:

- Systemberoende korrigeringar av mätta längder och vinklar utförs för varje flygsession. Genom integrering med stråkinformation kan längder och vinklar sedan omvandlas till ett punktmoln.
- Täckning och punkttäthet, liksom intensitets- och ekoinformation, kontrolleras.
- Stråkutjämning utförs, som bland annat kompenserar för brister i stråkinformationens kvalitet. Den relativa lägesosäkerheten kontrolleras.
- Kontroll av avvikelser i plan mot markstöd. Vid behov, och om signifikanta korrektinger kan skattas (främst HMK standardnivå 3), justeras punktmolnets planläge. Den absoluta lägesosäkerheten i plan skattas, eventuellt mot kontrollobjekt.
- Kontroll av avvikelser i höjd mot markstöd. Vid behov justeras punktmolnets höjdläge. Den absoluta lägesosäkerheten i höjd skattas, eventuellt mot kontrollobjekt.
- Eventuell färgsättning och klassificering av punktmolnet utförs.

För mer information om beräkningar vid flygburen insamling, se avsnitt 15.5.3 i referens [8].

3.4.3 Leverans

Krav

Leverans av GNSS/INS-data ska:

- a) vara kvalitetskontrollerad och komplett
- b) ha innehåll enligt tabell 3.4.1.a.
- c) göras i det filformat och med den namngivning som eventuellt har anvisats av beställaren.

Leverans av laserdata ska:

- d) vara kvalitetskontrollerad och komplett
- e) göras i det filformat och med den namngivning som anvisats av beställaren.

Leverans av produktionsdokumentation ska:

- f) vara kvalitetskontrollerad och komplett
- g) bestå av rapport enligt bilaga B.2 Insamling och efterbearbetning om beställaren inte anger annat.

Leverans av eventuella övriga metadata ska:

- h) vara kvalitetskontrollerad och komplett
- i) göras i det filformat och med den namngivning som anvisats av beställaren.

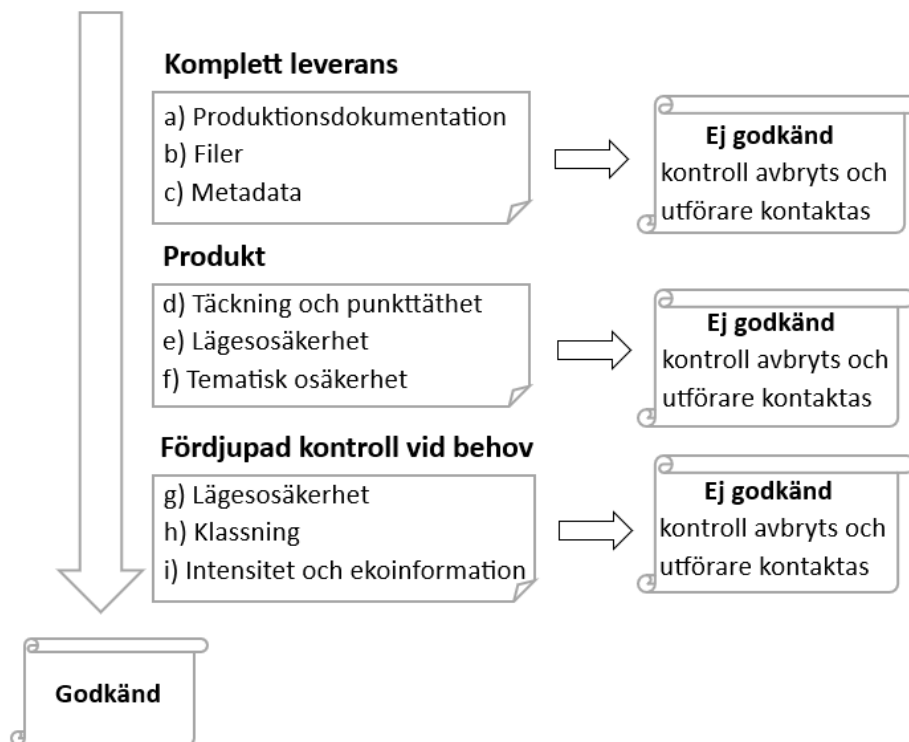
Filformat, namngivning och övrigt innehåll specificeras av beställaren enligt avsnitt 2.4.4–2.4.7.

4 Beställarens kontroll

Beställaren bör kontrollera erhållen leverans snarast möjligt efter mottagandet. En tidsfrist bör anges i upphandlingens kommersiella villkor ([HMK - Introduktion 2017](#), avsnitt 3.2.1). Kontrollernas omfattning anpassas efter leveransens storlek och kan appliceras som fullständiga kontroller, där varje fil kontrolleras, eller som stickprov.

I Figur 4, redovisas ett kontrollflöde i syfte att identifiera felaktigheter i leveransen. Först genomförs kontroll av komplett leverans och slutprodukts kvalitet. Endast om den uppvisar avvikelser sker en fördjupad kontroll. Om en leverans inte är komplett eller något kontrollsteg indikerar signifikanta brister bör kontrollen avbrytas och utföraren kontaktas. I Bilaga C redovisas olika kontroller mer detaljerat.

För generell information om datakvalitet och kontroll av geodata, se [HMK - Geodatakvalitet](#).



Figur 4. Visualisering av kontrollflödet och de ingående kontrollerna.

5 Referenser/Läs mer

- [1] Trafikverket (2012) [NNH i Trafikverket](#) (Trafikverket, Rapport 2012:198).
- [2] SIS (2016) [Byggmätning – Specifikationer vid framställning och kontroll av digitala markmodeller](#) (Teknisk specifikation SIS-TS 21144:2016).
- [3] Rönnberg, A. (2011) [Höjdmodellens noggrannhet](#) (Lantmäteriet, PM - Ny Nationell Höjdmodell 2011-04-06).
- [4] Persson, C-G m.fl. (2014) [Kontroll av lägesosäkerheten i laserdata](#) (HMK – Teknisk rapport: 2014:1).
- [5] Dataproduktspecifikationer samt informationsspecifikationer för datamängden höjddata på [Nationella geodataplattformen](#).
- [6] Specifikationer för [LAS-formatet](#).
- [7] Nationella metadataprofilen för publicering på [Geodataportalen](#).
- [8] Lantmäteriet, LU, KTH och HiG (2021) [Geodetisk och fotogrammetrisk mättnings- och beräkningsteknik](#). (se avsnitt 15.1–15.5).
- [9] LAS-standarden på [OGC](#).
- [10] Specifikationen för [COPC](#).

Förutom referens [8] finns följande svenskspråkiga läroböcker för introduktionskurser på universitet och högskolor framtagna:

- Harrie, L red. (2020) [Geografisk informationsbehandling – Teori, metoder och tillämpningar](#), sjunde upplagan, Studentlitteratur.
- Nordkvist, K. m.fl. (2013) [Laserskanning och digital fotogrammetri i skogsbruket](#), andra upplagan, Sveriges lantbruksuniversitet, Rapport: 407 2013. (se kapitel 1–7)

Bilaga A: Mall och exempel för upp-rättande av teknisk specifikation

Bilaga A.1 Mall för teknisk specifikation

0 Teknisk specifikation

Genomförande ska göras enligt denna tekniska specifikation. Förklaring av krav och definitioner av termer framgår av HMK – Flygburen laserskanning 2024 och [HMK-Ordlista](#), senaste version.

1 Allmän beskrivning (HMK – Flygburen laserskanning 2024, avsnitt 2.1)

Ingående tjänster:.....

Aktuella produkter:.....

Produkternas användning:.....

2 Specifikation av utgångsmaterial (HMK – Flygburen laserskanning 2024, avsnitt 2.2)

Insamlingsområde inklusive format och referenssystem:.....

Övrigt utgångsmaterial inklusive egenskaper:.....

3 Specifikation av produkten (HMK – Flygburen laserskanning 2024, avsnitt 2.3)

Krav på HMK-standardnivå:.....

Krav på punkttäthet:.....

Krav på lägesosäkerhet i plan/höjd:.....

Krav på skanningsvinkel:.....

Krav på insamlingsperiod:.....

Krav på följdprodukter:.....

Krav på tilläggspecifikationer: (exempelvis krav på träffyta, upprepade insamling, kontrollobjekt, samtidig bildinsamling, vågform):.....

4 Specifikation av leverans (HMK – Flygburen laserskanning 2024, avsnitt 2.4)

Referenssystem

Krav på referenssystem i plan:.....

Krav på referenssystem i höjd:.....

Övriga krav:.....

Stråk- och stödplan

Krav på format:.....

Krav på namngivning:.....

Övriga krav:.....

Markstöd

Krav på format:.....

Krav på namngivning:.....

Övriga krav:.....

Laserdata

Krav på format och version:.....

Krav på datakomprimering:.....

Krav på specifik filorganisering:.....

Krav på geografisk uppdelning och indexsystem:.....

Krav på namngivning:.....

Övriga krav:.....

Stråkinformation (GNSS/INS-data)

Krav på format:.....

Krav på namngivning:.....

Tilläggskrav på informationsinnehåll:.....

Produktionsdokumentation

Tilläggskrav på produktionsdokumentation:

Övriga metadata

Krav på innehåll:.....

Krav på format:.....

Övriga krav:.....

Tilläggs-specifikationer av leverans

Krav på tilläggs-specifikation av produkten: (exempelvis prov- och delleveranser, leveransmedia och katalogstruktur, rådatahantering):

5 Specifikation av genomförande (HMK – Flygburen laserskanning 2024, kapitel 3)

Hänvisningar till HMK - Flygburen laserskanning, kapitel 3

Förutom de specifikt ställda kraven ovan, gäller dessa krav:

Krav 3 a-b i HMK – Flygburen laserskanning 2024 gäller

Rek. 3 c i HMK – Flygburen laserskanning 2024 gäller

Krav 3.1.1 a-b i HMK – Flygburen laserskanning 2024 gäller

Krav 3.1.2 a i HMK – Flygburen laserskanning 2024 gäller

Krav 3.1.3 a-c i HMK – Flygburen laserskanning 2024 gäller

Rek. 3.1.3 d-g i HMK – Flygburen laserskanning 2024 gäller

Krav 3.1.4 a-c i HMK - Flygburen laserskanning 2024 gäller
Krav 3.1.5 a-c i HMK - Flygburen laserskanning 2024 gäller
Krav 3.2.1 a-e i HMK - Flygburen laserskanning 2024 gäller
Krav 3.2.2 a-c i HMK - Flygburen laserskanning 2024 gäller
Krav 3.2.3 a-e i HMK - Flygburen laserskanning 2024 gäller
Krav 3.3.1 a-c i HMK - Flygburen laserskanning 2024 gäller
Rek 3.3.1 d-e i HMK - Flygburen laserskanning 2024 gäller
Krav 3.3.2 a-c i HMK - Flygburen laserskanning 2024 gäller
Krav 3.3.3 a i HMK - Flygburen laserskanning 2024 gäller
Krav 3.4.1 a i HMK - Flygburen laserskanning 2024 gäller
Krav 3.4.2 a-f i HMK - Flygburen laserskanning 2024 gäller
Krav 3.4.3 a-i i HMK - Flygburen laserskanning 2024 gäller

Kommentar till mallen:

- I mallens avsnitt 5 ges hänvisningar till vilka krav i HMK-Flygburen laserskanning 2024, kapitel 3 *Genomförande*, som ska gälla.
- Listan i avsnitt 5 innehåller alla krav och rekommendationer i kapitel 3. Ej aktuella krav tas bort av beställaren vid användning av mallen.
- Se [HMK - Introduktion 2017](#), avsnitt 1.7, för principer vid hänvisning till krav samt exempel på hur hänvisningar och avsteg-/tillägg kan formuleras.

Bilaga A.2 Exempel på ifylld mall

0 Teknisk specifikation

Genomförande ska göras enligt denna tekniska specifikation. Förklaring av krav och definitioner av termer framgår av [HMK – Flygburen laserskanning 2024](#) och [HMK-Ordlista](#), senaste version.

Nedanför följer ett exempel ur Lantmäteriets tekniska specifikation för den nationella laserskanningen. Kravställningarna är i detta fall väldigt specifika och detaljerade. Vid upprättning av en teknisk specifikation för ett mindre projekt, exempelvis hos kommun, rekommenderas det att inte detaljstyra genomförandet, utan så långt som möjligt överlämna det till utföraren.

1 Allmän beskrivning (HMK – Flygburen laserskanning 2024, avsnitt 2.1)

Ingående tjänster: Produktion inom tredje lasertäckningen av Sverige: planering och genomförande av laserskanning, samt georeferering, klassning och kvalitetskontroll av insamlade laserdata. Total areal är cirka 410 000 km² (cirka 88 % av Sveriges landareal).

Ambitionen är att slutföra uppdraget inom cirka fem år, där den årliga volymen styrs helt av tillgängliga medel och offererat pris per km².

Aktuella produkter: Laserdata, banddata och metadata.

Produkternas användning: I första hand uppdatering av markhöjdsmodell och skogliga grunddata.

2 Specifikation av utgångsmaterial (HMK – Flygburen laserskanning 2024, avsnitt 2.2)

Insamlingsområde inklusive format och referenssystem:

Följande material är bifogat i anbudsfrågan i filformat Geopackage i referens- och höjdsystem SWEREF 99 TM och RH 2000.

- Avgränsning och namn för samtliga aktuella skanningsområden (normalt 50 X 25 km).
- Positioner för inmätta stödbjekt

Övrigt utgångsmaterial inklusive egenskaper: Lantmäteriet tillhandahåller visst utgångsmaterial som stöd för genomförandet av uppdraget. Observera att tillhandahållet material endast får användas för detta uppdrag. Filformat enligt överenskommelse.

- 2.5 indexrutor i SWEREF 99 TM.
- Fullständiga inmätta objekt för stöd och kontroll.

- Ortofoto från Lantmäteriet senaste flygning, i första hand via WMS.
- Markhöjdmodell, grid 1+, i första hand via WCS.
- Markhöjdmodell, grid 50+. Tillgänglig som öppen data via Lantmäteriets hemsida.
- Vektorinformation ur Topografi 10, i första hand vattenytor, byggnader och vägar.
- Aktuell geoidmodell, för närvarande SWEN17_RH2000. Tillgänglig via Lantmäteriets hemsida.
- Vid behov SWEPOS-data för efterberäkning av GNSS-positioner.

3 Specifikation av produkten (HMK – Flygburen laserskanning 2024, avsnitt 2.3)

Krav på HMK-standardnivå: HMK-Standardnivå 1

Krav på punkttäthet: 1 pkt/ m².

- Punkttätheten baserad på förstaretur skall inom varje stråke vara minst den efterfrågade. Instrument med flera utgående laserstrålar får användas, men ej upprepade skanningar vid annan tidpunkt.
- Punkttätheten skall maximeras för den valda flyghöjden (med beaktande av övriga krav samt tillverkarens rekommendationer för signal/brus-nivå).
- Punkttätheten baserad på förstareturer skall för GSD vara minst den efterfrågade punkttätheten i 95% av fallen (vattenytor undantagna).
- Laserpunkterna ska vara så homogent som möjligt med det aktuella skanningsmönstret, med jämn fördelning av laser punkter längs och tvär flygriktningen.
- Låg punkttäthet orsakad av ytor med låg reflektans, exempelvis permanenta vattenytor och vissa takbeläggningar, liksom laserskugga bakom byggnader, accepteras.
- Låg punkttäthet, exempelvis orsakad av otillräcklig övertäckning mellan stråke, tipprörelser vid turbulens, eller översvämmad markyta, skall dokumenteras i metadata och kan accepteras i undantagsfall.

Krav på lägesosäkerhet i plan/höjd: 0,3/0,1 m

- Standardosäkerhet vid inpassning på oberoende kontrollobjekt, inmätta med GNSS mot SWEPOS skall vara högst den efterfrågade.

- RMS för höjddifferenser mellan stråk inom ett skanningsområde skall på väldefinierade ytor (exempelvis plan öppen mark) vara enligt standardosäkerhet höjd. RMS för höjddifferenser mellan skanningsområden skall vara enligt standardosäkerhet höjd $\times \sqrt{2}$. Medeldifferensen skall i båda fallen vara försumbar.
- RMS för höjddifferenser (markeklassade punkter) mot nationella markhöjdmodellen (raster med 1 m GSD) skall på plan öppen mark vara < 0.15 m. Medeldifferensen skall vara $< 0,1$ m

Krav på skanningsvinkel: Hela skanningsområdet skall vara täckt av laserdata med högst 20° skanningsvinkel.

Krav på insamlingsperiod:

- Laserskanning under förhållanden som kan försämra resultatet från insamlingen, exempelvis hård vind eller markdimma, skall undvikas.
- Skanning får inte genomföras när terrängen är översvämmad på grund av högt vattenstånd (beakta både hav, sjöar och vattendrag) eller kraftig nederbörd. Inte heller när ett sammanhängande snötäcke signifikant förändrar bilden av markytan, eller när snö förekommer i trädkronorna.
- I södra delen av landet skall skanning ske endast under avlövad säsong. I hela landet gäller att skanning inte skall ske under björkens lövsprickning eller lövfällning.
- Det är leverantörens ansvar att hålla sig informerad om de förhållandena som råder i de områden som är aktuella för skanning.
- Ett skanningsområde skall slutföras inom 1 år från att skanning påbörjats, samt innan avtalet upphör.

Krav på följdprodukter: Klassificerat punktmoln. Krav på klassning av mark, vatten och oklassificerat enligt särskild specifikation upprättad med hjälp av [HMK-Höjdmodell 2023](#).

Om ekolängd eller motsvarande finns tillgänglig skall den användas.

Krav på tilläggspecifikationer:

- Laserskannern skall använda våglängden 1064 nm.
- Laserstrålens diameter på marken (fotavtrycket) ska vara mindre än 0,8 m, mätt enligt 1/e². Observera att kravet gäller för hela strålebredden.

- Laserskannern skall kunna detektera minst 5 ekon per utsänd puls, med registrerad intensitet. Andelen utsända pulser som ger upphov till flera relevanta ekon skall i skog uppgå till minst 50 %.
- Planerad stråkövertäckning skall vara minst 10 % vid 40° öppningsvinkel.
- Planerad täckning skall vara minst 200 m utanför respektive skanningsområde.
- Höga smala objekt av icke obetydlig storlek, exempelvis mobilmaster med fackverkskonstruktion, skall vara väl avbildade i punktmolnet. Därför krävs en varsam filtrering av punktmolnet så att inte punkter på sådana objekt felaktigt kasseras.
- Ansamlingar av felaktiga punkter, exempelvis lågpunkter eller punkter på moln, skall klassificeras. Detta är en del av leverantörens kvalitetskontroll avseende täckning och punkttäthet.
- Alla avvikelser från slutproduktens normala egenskaper skall tydligt dokumenteras i leveransrapporten, om möjligt med bildexempel.

4 Specifikation av leverans (HMK – Flygburen laserskanning 2024, avsnitt 2.4)

Referenssystem

Krav på referenssystem i plan: Allt arbete skall redovisas i SWEREF 99 TM.

Krav på referenssystem i höjd: Allt arbete skall redovisas RH 2000.

Övriga krav: Aktuell geoidmodell, för närvarande SWEN 17, ska användas för beräkning av höjder.

Stråk- och stödplan

Krav på format: PDF och Geopackage (kartlager).

Krav på namngivning: Enligt 24A001_plan.pdf, där 24A001, där 24 avser det år då skanningen avser påbörjas och A001 avser skanningsområdet.

Övriga krav: Separat planering för respektive skanningsområde skall vara godkänd av Lantmäteriet innan skanning påbörjas. Planen skall inkludera en karta och tydligt redovisa de viktigaste förutsättningarna:

- Utrustning
- Skanningsparametrar
- Antal och placering för stråk och tvärstråk
- Placering av stöd- och kontrollobjekt i plan respektive höjd

Markstöd

Krav på format: ASCII-fil.

Krav på namngivning: 65831_4600_SH

Övriga krav:

- Innehållet i ASCII-filen ska vara; identitet för objekt samt löpnummer för mätpunkter inom objektet, N, E, H, uppskattad mätosäkerhet (3D), datum för mätning, samt detaljtyp
- Varje inmätt stödoobjekt skall åtföljas av ett foto i format JPEG som tydligt visar stödets läge i terrängen.

Laserdata

Krav på format och ev. version: ASPRS LAS, version 1.4, point data record format 6.

Krav på datakomprimering: Filerna ska komprimeras med Laszip och kommer alltså att ha filändelsen. LAZ.

Krav på geografisk uppdelning och indexsystem: Laserdatat ska delas upp i 2,5*2,5km rutor enligt utgångsmaterialet "2.5 indexrutor".

Krav på namngivning: Enligt 24A001_61325_3875_25.las, där 24 avser det år då skanningen påbörjades och A001 avser skanningsområdet. 61325_3875_25 avser 2.5 km indexruta i SWEREF 99 TM, där de två första siffergrupperna anger rutans koordinater (N och E) i 100-tals meter för sydvästra hörnet.

Övriga krav:

- Tid skall anges som adjusted standard GPS time (absolut tid).
- Classification flags skall användas, och sättas till overlap för punkter från tvärstråk.
- Intensity skall anges för varje punkt. Observera att intensiteten skall normaliseras (sträckas linjärt) till en 16 bits skala (se LAS 1.4-R15).
- Om möjligt skall ekolängd eller motsvarande lagras som Extra bytes VLRS.

Stråkinformation (GNSS/INS-data)

Krav på format: Terrasolid TRJ.

Krav på namngivning: Enligt 24A001_00001.trj, där 24A001 avser skanningsområdet och 00001 avser Point Source ID. Tvärstråk namnges enligt 24A001_00001_cross.trj

Tilläggskrav på informationsinnehåll:

- Tidsangivelser skall anges som adjusted standard GPS time (absolut tid)
- Samma system för Point Source ID som i LAS-filerna skall användas
- Tvärstråk skall kunna identifieras genom fältet description

- Stråk från samma session skall ha samma värde i fältet group

Produktionsdokumentation

Rapport levereras i filformat PDF och namnges enligt 24A001_leverans-rapport.pdf, där 24A001 avser skanningsområdet. Rapporten skall redovisa utfall från kvalitetskontroll av samtliga listade steg enligt bilaga X.

Tilläggskrav på produktionsdokumentation: -

Övriga metadata

Krav på innehåll: För varje skanningsområde ska:

- Metadata om ingående flygsessioner levereras som en tabell, se bilaga X för innehåll. Filen namnges enligt följande exempel: 24A001_fs.txt, där 24A001 avser skanningsområdet.
- Bilder avseende avvikelser i höjd mellan stråkövertäckningszoner levereras enligt HMK-Flygburen Laserskanning 2024 Tabell 2.4.7.a.
- Bilder avseende punkttäthet hos förstareturer levereras enligt HMK-Flygburen Laserskanning 2024, Tabell 2.4.7.b.

Krav på format:

Tabell med metadata om flygsessioner levereras i textformat (ASCII), Metadata i kartform levereras i TIFF-format (+ styrfil TFW) med 5x5 meters upplösning.

Övriga krav:

Certifikat från senast genomförda systemkalibrering för använd laserskanner skall medfölja varje leverans.

Tilläggspecifikationer av leverans

Delleverans: Produkten levereras som delleveranser. En delleverans består av ett komplett skanningsområde.

Krav på katalogstruktur: Filstruktur bestäms i samråd med beställaren.

Krav på leveransmedia: Hårddisk med gränssnitt USB 3.0

Krav på rådatahantering: Utföraren ska behålla rådata, det vill säga oarbetat punktmoln och orienteringsdata, i fyra år från insamlingstillfället.

5 Specifikation av genomförande (HMK – Flygburen laserskanning 2024, kapitel 3)

Hänvisningar till HMK - Flygburen laserskanning, kapitel 3

Förutom de specifikt ställda kraven ovan, gäller dessa krav:

Krav 3 a-b i HMK – Flygburen laserskanning 2024 gäller

Rek. 3 c i HMK – Flygburen laserskanning 2024 gäller

Krav 3.1.1 a-b i HMK – Flygburen laserskanning 2024 gäller

Krav 3.1.2 a i HMK - Flygburen laserskanning 2024 gäller
Krav 3.1.3 a-c i HMK - Flygburen laserskanning 2024 gäller
Rek. 3.1.3 d-g i HMK - Flygburen laserskanning 2024 gäller
Krav 3.1.4 a-c i HMK - Flygburen laserskanning 2024 gäller
Krav 3.1.5 a-c i HMK - Flygburen laserskanning 2024 gäller
Krav 3.2.1 a-e i HMK - Flygburen laserskanning 2024 gäller
Krav 3.2.2 a-c i HMK - Flygburen laserskanning 2024 gäller
Krav 3.2.3 a-e i HMK - Flygburen laserskanning 2024 gäller
Krav 3.3.1 a-c i HMK - Flygburen laserskanning 2024 gäller
Rek 3.3.1 d-e i HMK - Flygburen laserskanning 2024 gäller
Krav 3.3.2 a-c i HMK - Flygburen laserskanning 2024 gäller
Krav 3.3.3 a i HMK - Flygburen laserskanning 2024 gäller
Krav 3.4.1 a i HMK - Flygburen laserskanning 2024 gäller
Krav 3.4.2 a-f i HMK - Flygburen laserskanning 2024 gäller
Krav 3.4.3 a-i i HMK - Flygburen laserskanning 2024 gäller

Kommentar till exemplet:

- Bilagorna som det hänvisas till i stycket "produktionsdokumentation" och "metadata" bifogas inte i detta exempel.
- Kraven på följdprodukten klassificerat punktmoln upprättad med hjälp av HMK-Höjdmodell 2023 är inte med i exemplet. För utformning av krav se [HMK - Höjdmodell 2023](#).

Bilaga B: Produktionsdokumentation

Produktionsdokumentationen är en rapport i PDF/A-format om inte annat anges, som redovisar följande grundinnehåll:

- kort beskrivning av uppdraget
- uppdragsorganisation, det vill säga utförare och beställare
- förteckning över levererade produkter (filer)
- utfall av kvalitetskontroll för samtliga produktionssteg
- hantering av eventuella avvikelser

Bilaga B.1 Markstöd

I tillägg till grundinnehållet redovisas följande:

- referenssystem i plan och höjd (inklusive eventuell geoidmodell)
- markstödens utformning i plan och höjd
- utrustning och metod för inmätning
- datum för inmätning
- skattad mätosäkerhet i plan och höjd
- lista över samtliga markstöd med namn, utformning och position
- karta som visar insamlingsområdets begränsning och läget för samtliga markstöd
- som bilaga (och eventuellt i rapporten): ett representativt foto av varje markstöd

Bilaga B.2 Insamling och efterbearbetning

I tillägg till grundinnehållet redovisas följande:

Insamling

- utrustning
- kalibrering
- skanningsparametrar
- datum för insamling
- insamlingsförhållanden (väder, vattenstånd, snötäcke)
- karta som visar insamlingsområdets begränsning och läget för samtliga realiserade stråk

Efterbearbetning

- referenssystem i plan och höjd (inklusive geoidmodell)
- beräkning av stråkinformation
- relevant grafisk redovisning av stråkinformationens skattade osäkerhet (position och orientering), exempelvis PDOP och differens mellan framåt- och bakåtlösning
- korrektioner och beräkning av punktmoln
- kontroll av täckning och punkttäthet
- karta som visar punkttäthet för första retur (se 2.4.7)
- kontroll av intensitets- och ekoinformation
- stråkutjämnning
- karta som visar höjddifferenser mellan individuellt markklassade stråk (se 2.4.7)
- kontroll av avvikelser mot markstöd i plan och höjd, med eventuell justering av punktmolnet
- skattning av lägesosäkerhet i plan och höjd
- eventuell bearbetning av bilddata
- eventuell färgsättning av punktmolnet
- eventuell markklassning
- eventuell karta som visar punkttäthet för markklassade punkter

Bilaga C: Kontroll av flygburen laserdata

Bilaga C.1 Komplett leverans

a) Produktionsdokumentation

Produktdokumentationen granskas för att verifiera:

- att dokumentationens omfattning och utformning överensstämmer med gällande krav och teknisk specifikation
- att uppnått resultat överensstämmer med gällande teknisk kravspecifikation
- eventuella avvikelser.

b) Filer

Filer/material granskas för att verifiera att:

- alla filer i filförteckningen är levererade
- alla filer har korrekt filformat och rimlig filstorlek. LAS-filer ska bland annat ha rätt version och PDRF (se 2.4.5)
- alla filer har korrekt namnsättning
- alla filtyper är öppningsbara.

c) Metadata

Kontrollera att eventuella metadatafiler:

- är kompletta och korrekt ifyllda.

Bilaga C.2 Produkt

För att kontrollera laserpunktmolnet behövs ofta någon form av bakgrundskarta, exempelvis en ortofotomosaik, dels för allmän orientering, dels för bedömning av vad olika detaljer i punktmolnet representerar. Tänk dock på tidsskillnaden mellan bakgrundskarta och punktmoln, om dessa inte är samtidigt insamlade.

d) Täckning och punkttäthet

Det är viktigt att så snart som möjligt verifiera att hela insamlingsområdet är täckt, det vill säga att punkttätheten överallt uppfyller ställda krav. Brister kan nämligen kräva kompletterande insamling. Lokala brister kan dock behöva accepteras (se avsnitt 2.3.2). I övrigt ska punkttätheten vara minst den efterfrågade inom hela insamlingsområdet.

Punkttätheten bör verifieras genom spridda stickprov på öppna ytor i punktmolnet. Man bör samtidigt även kontrollera att punkternas spridning (distribution) längs och tvärs insamlingsriktningen är god.

Kontrollera även att olika typer av objekt ovan mark, exempelvis bygg-

nader, träd och större master, generellt är väl representerade i punktmolnet.

Övertäckning mellan stråk och eventuell övertäckning mot angränsande områden bör också kontrolleras. Mindre avvikelser från den planerade övertäckningen, exempelvis orsakade av stark sidvind eller höjdvariationer i terrängen, kan accepteras så länge inga glipor uppstår mellan stråken.

e) Lägesosäkerhet

Både absolut och relativ lägesosäkerhet är normalt tillräckligt kontrollerad av leverantören, och redovisad i produktionsdokumentationen. Vid behov utförs en fördjupad kontroll.

f) Klassning

Om klassificerat punktmoln har beställts bör klassningens kvalitet granskas. Klassningen är aldrig helt felfri, men andelen felaktigt klassade punkter ska naturligtvis vara låg. Det kan vara svårt att upptäcka felaktig klassning, bland annat på grund av att den stora mängden punkter normalt omöjliggör en fullständig kontroll.

Kontrollera att rätt klasser finns representerade i punktmolnet, samt att felaktiga punkter (brus) är klassade. Verifiera sedan genom stickprov att klassningens kvalitet är god.

f) Övrigt

f.1) Skanningsvinkel

Om en maximal skanningsvinkel har specificerats bör den kontrolleras genom statistisk analys av punktmolnet.

f.2) Insamlingsperiod

Om insamlingsperioden har specificerats bör den kontrolleras, dels i produktionsdokumentationen, dels genom statistisk analys av punktmolnet.

f.3) Upprepad insamling

Om upprepade insamlingar har specificerats bör man genom visuell kontroll av punktmolnet verifiera att insamlingen har skett på önskat sätt.

f.4) Samtidig bildinsamling

Om samtidig bildinsamling har specificerats bör framförallt bildernas eller ortomosaikens visuella kvalitet granskas. Om punktmolnet har infärgats utifrån bilderna ska varje punkt ha intensitet för varje tillgängligt färgband (R, G, B eller R, G, B, NIR).

f.5) Vågform eller ekolängd

Om lagring av vågform har specificerats bör man dels kontrollera att den har levererats på önskat sätt, dels genom stickprov i skogsområden kontrollera att en tillräckligt detaljerad vågform som täcker hela trädhöjden finns för varje ekosekvens.

Om lagring av ekolängd, pulsavvikelse, eller liknade attribut har specificerats bör man kontrollera att det finns för varje retur.

Bilaga C.3 Fördjupad kontroll vid behov

Ytterligare kontroll bör göras om tidigare kontrollsteg har påvisat oklarheter eller eventuella brister.

g) Lägesosäkerhet

Den absoluta lägesosäkerheten kan verifieras genom jämförelse av punktmolnet mot oberoende kontrollobjekt.

Den relativa lägesosäkerheten kan verifieras genom jämförelse av punkter från olika men överlappande stråk, lämpligen genom stickprov på distinkta sektioner över sadeltak eller liknade objekt.

h) Klassning

Både visuella och statistiska metoder kan användas för att globalt indikera möjliga fel, som sedan verifieras genom lokal fullständig kontroll av punktmolnet. Exempelvis kan analys av rasterprodukter som terrängskuggning eller terränglutning synliggöra diskontinuiteter i den annars relativt släta markytan.

i) Intensitets- och ekoinformation

Intensitets- och ekoinformationen utgör en viktig del av laserpunktmolnets egenskaper, dels som indikatorer på att laserskannern har fungerat normalt, dels som hjälp vid klassning och kartering.

Informationen kan kontrolleras visuellt genom analys av rasterade produkter, exempelvis medelintensitet eller andel laserpulser med multipla returer. Statistiska metoder, där man bland annat kontrollerar att informationen ligger inom normala intervall, är också effektiva

Bilaga D: Ordlista till handboken

Ordlistan innehåller ett urval av de viktigaste termerna i handboken.

Fler termer och förkortningar finns i [HMK - Ordlista och förkortningar](#) som är övergripande för hela HMK-serien.

Term	Förklaring
Batymetri	Beskriver terrängens fysiska form under vatten (bottentopografien)
BeiDou	Kinesiskt satellitbaserat positioneringssystem
Galileo	Europeiskt satellitbaserat positioneringssystem
Geiger mode	Typ av tvådimensionell laserskanner, som till skillnad från en linjär laserskanner gör många längdmätningar per ytenhet simultant
Georeferering	Anslutning av en geodatamängd till ett officiellt referenssystem, till exempel SWEREF 99/RH2000 eller kommunala system
Glonass	Globalnaya Navigatsionnaya Sputnikovaya Sistema. Ryskt satellitbaserat positioneringssystem
GNSS lever arm	Vektorn mellan ett systems IMU (Inertial Measurement Unit) och GNSS-antenn
GPS	Global Positioning System. Amerikanskt satellitbaserat positioneringssystem
Gyrofot	Anordning som kompenserar för plattformens rörelser så att sensorns orientering förblir konstant
IMU boresight misalignment	Skillnad i orientering (sikt fel) mellan ett systems IMU (Inertial Measurement Unit) och dess optik
Kontrollobjekt	Objekt med känd position för verifiering av lägesosäkerhet. Ofta utformade på samma sätt som markstöd men geografiskt åtskilda från dessa
LAS-format	Ett filformat framtaget av ASPRS för utbyte av laserpunktmoln
Lägesosäkerhet	Osäkerhet i lägesangivelser t.ex. i förhållande till andra objekt, geodatamängder eller referenssystem. En utvidgning av termen mätosäkerhet

Term	Förklaring
Markstöd	Objekt med känd position för anslutning av mätprojekt till ett referenssystem. Kan vara naturliga eller signalerade
Nätverks-RTK	Den vanligaste metoden för relativ GNSS-mätning i realtid där flera referensstationer utnyttjas
Oscillerande	Snabbt och regelbundet svängande, till exempel om spegel vid laserskanning
Punktmoln	Stor mängd tredimensionella positioner, vanligen insamlade med laserskanning eller skapade med bildmatchning
Punkttäthet	Antal punkter per ytenhet, exempelvis antal laserekon per kvadratmeter
Raster	Regelbunden datastruktur med mätvärden ordnade i rader och kolumner, i vardagsspråk liktydigt med grid
Reflektans	Andelen ljus inom en viss våglängd som en yta reflekterar
Retur	Reflektion (eko) från en utsänd laserpuls, representerat i form av en punkt.
RH 2000	Rikets höjdsystem 2000. Det nationella referensnätet i höjd och den svenska realiseringen av EVRS
Single photon	Typ av tvådimensionell laserskanner, som till skillnad från en linjär laserskanner gör många längdmätningar per ytenhet simultant
Stråk	Den bana som en farkost färdas längs
Stråkutjämnning	Korrektion för geometriska fel, där målet är att minimera motsättningar mellan angränsande stråk
Trajectory	Engelska för den bana som en farkost färdas längs, jämför stråk
Träffyta	Den yta som en laserpuls träffar på marken, kallas även fotavtryck. Mäts vanligen enligt $1/e^2$ vilket motsvarar träffytans diameter vid cirka 86 % av full intensitet
Vågform	Reflektion av en utsänd laserpuls, registrerad med så hög frekvens att individuella ekons form kan urskiljas

Övertäckning	Överlapp mellan exempelvis bild- eller laserdata från angränsande exponeringar eller stråk
--------------	--

Förkortningar	Förklaring
ASPRS	American Society for Photogrammetry and Remote Sensing
COPC	Cloud Optimized Point Cloud. En standard för organisering av punkter lagrade som LAZ, optimerad för strömmande åtkomst
GNSS	Global Navigation Satellite Systems. Ett samlingsnamn för satellitbaserade navigations- och positioneringssystem
INS	Inertial Navigation System. Ett navigationssystem som med hjälp av en IMU kontinuerligt beräknar position, orientering och hastighet för en plattform. Positionen beräknas genom "död räkning" och startpositionen måste därför vara känd
Inspire	Infrastructure for spatial Information in Europe. EU-direktiv som skapar en infrastruktur för medlemsländernas tillhandahållande av geodata
NIR	Nära InfraRöd. I bilddata är det vanligen den nära infraröda (NIR-delen) av IR-spektrat som används
OGC	Open Geospatial Consortium. Internationell standardiseringsorganisation för geodata
PDF/A	Portable Document Format / A (arkivering). Används för långtidslagring av handlingar
PDRF	Point Data Record Format. En underkategori inom LAS-formatet, som beror på laserpunkternas attribut
RGB	Röd, Grön, Blå. Färgsystem för digitala bilder
SNR	Signal-to-Noise Ratio. Mått en signals styrka i förhållande till bakgrundsbruset