HMK

– handbok i mät- och kartfrågor

Flygburen laserskanning

2017

Förord 2017

Första versionen av *HMK – Laserdata* publicerades i juli 2014. Dokumentet togs fram av en arbetsgrupp bestående av Jan Wingstedt, Jönköpings kommun/Lantmäteriet, Joakim Fransson och Per Isaksson, Trafikverket, samt Thomas Lithén och Marianne Orrmalm, Lantmäteriet. Muriel Bjureberg och Gunilla Lundgren ansvarade för layout och design.

Denna version, *HMK – Flygburen laserskanning 2017,* är den tredje i ordningen. Förutom att dokumentets namn har ändrats så har följande förändringar gjorts i förhållande till den förra versionen:

- Delar av avsnitt 2.3 har skrivits om i enlighet med den tekniska rapporten HMK-TR 2016:3 ”*Lägesosäkerheten i geodata – likheter och olikheter*”.
- Bilaga C.2 (om produktkontroll) har omarbetats, utökats och gjorts enhetlig med övriga geodatainsamlingsdokument.
- Avsnitt 2.4 har omarbetats – framför allt vad gäller produktionsdokumentation och metadata.
- Bilagorna har getts en mer logisk numrering, som bättre följer huvudtexten.
- Länkar och hänvisningar till andra dokument har uppdaterats.

Översynen har utförts av en arbetsgrupp bestående av Thomas Lithén, Clas-Göran Persson och Jan Wingstedt, Lantmäteriet, samt Joakim Fransson, Trafikverket. En granskning av dokumentets slutversion har gjorts av Helén Rost, Terratec.

Gävle 2017-09-30

/Anders Grönlund,
Uppdragsledare HMK

Innehållsförteckning

Innehållsförteckning 3
1 Inledning 5
2 Teknisk specifikation 7
2.1 Allmän beskrivning 7
2.2 Specifikation av utgångsmaterial 7
2.3 Specifikation av produkten 8
2.3.1 HMK-standardnivå 8
2.3.2 Punkttäthet 9
2.3.3 Lägesosäkerhet 12
2.3.4 Skanningsvinkel 13
2.3.5 Insamlingsperiod 13
2.3.6 Följdprodukter 14
2.3.7 Tilläggsspecifikation 14
2.4 Specifikation av leverans 16
2.4.1 Referenssystem 16
2.4.2 Stråk- och stödplan 16
2.4.3 Markstöd 16
2.4.4 Laserdata 17
2.4.5 Positions- och orienteringsdata (GNSS/ INS) 18
2.4.6 Produktionsdokumentation 18
2.4.7 Metadata 19
2.4.8 Tilläggsspecifikation av leverans 22
3 Genomförande 23
3.1 Planering av insamling 23
3.1.1 Val av flyghöjd och stråkplanering 23
3.1.2 Planering av markstöd 25
3.1.3 Leverans 26
3.2 Signalering och inmätning av markstöd 26
3.2.1 Leverans 29
3.3 Insamling av laser- och GNSS/INS-data samt beräkning av punktmoln 29
3.3.1 Laserskanning 29
3.3.2 Beräkning av orienteringsdata ur GNSS/INS-data 30
3.3.3 Beräkning av punktmoln 31
3.3.4 Leverans 32
4 Beställarens kontroll 33
5 Referenser/Läs mer 34
Bilaga A: Mall och exempel för upp-rättande av teknisk specifikation 35
Bilaga A.1 Mall för teknisk specifikation 35
Bilaga A.2 Exempel på ifylld mall för Lantmäteriet 38
Bilaga A.3 Exempel på ifylld mall för en kommun 43
Bilaga A.4 Exempel på ifylld mall för Trafikverket 46
Bilaga B: Produktionsdokumentation 49

Bilaga B.1 Stråk- och stödplanering 49
Bilaga B.2 Signalering och inmätning av markstöd 50
Bilaga B.3 Insamling av laser- och GNSS/INS-data samt beräkning av punktmoln 51
Bilaga C: Kontroll av laserdata 52
Bilaga C.1 Komplett leverans 52
Bilaga C.2 Produkt 52
Bilaga C.3 Fördjupad kontroll vid behov 61

1 Inledning

Information

För eventuella fortlöpande justeringar av detta dokument, se HMK-loggen.

HMK – Flygburen laserskanning 2017 behandlar upprättande av teknisk specifikation för upphandling av georefererat laserpunktmoln samt hur det tas fram, kontrolleras och dokumenteras. Utgångspunkten är flygburen insamling av laserdata med laserskanner. Punktmolnet ska kunna användas för framtagning av höjdmodeller och för kartering.

Dokumentet stödjer:

- upprättande av en teknisk specifikation (kapitel 2 och Bilaga A), se HMK – Introduktion 2017, avsnitt 2.1
- genomförande av ett uppdrag avseende flygburen laserdata-insamling (kapitel 3 och Bilaga B)
- kontroll av leverans (kapitel 4 och Bilaga C).

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.

Frågor om upphandling, tillstånd och sekretess behandlas i HMK – Introduktion 2017, kapitel 3. Tekniska termer och förkortningar förklaras i HMK-Ordlista, senaste version. Dokumentstruktur och hänvisningar förklaras i HMK – Introduktion 2017, avsnitt 1.7.

Råden i HMK – Flygburen laserskanning 2017 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.

Avgränsningar

Laserskanning för batymetrisk kartering av djupförhållanden behandlas ej i HMK – Flygburen laserskanning 2017, och inte heller fotogrammetriskt bestämda punktmoln. Fordonsburen datainsamling med mobila system beskrivs i dokumentet HMK – Fordonsburen laserskanning 2017 och terrester skanning i dokumentet HMK – Terrester laserskanning 2021.

Intresserade av härledningar, formler etc. hänvisas till Kapitel 5 *Referenser/Läs mer*.

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.

Information om teknisk specifikation och dataproduktspecifikation, se HMK – Introduktion 2017, avsnitt 2.1, HMK – Geodatakvalitet 2017, Bilaga B. Dataproduktspecifikation enligt SS-EN ISO 19 131 benämns *dataspecifikation* på geodata.se/Inspire och *dataproduktspecifikation* samt *informationsspecifikation* i arbetet med Nationella specifikationer.

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.

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.

Exempel på befintligt material är markhöjdmodeller, strandlinjer, stompunkter och befintliga markstöd med tillhörande metadata och kvalitetsuppgifter.

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 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 slutproduktens användbarhet och på priset för genomförandet av uppdraget.

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

Parametrar	HMK-standard-nivå 1	HMK-standard-nivå 2	HMK-standard-nivå 3
Punkttäthet, flygburen laserskanning (punkter /m²) I)	0,5 - 2	6 - 12	20 - 30
Lägesosäkerhet, ideala förhållanden Plan/Höjd (m) II)	0,30/ 0,10	0,15/ 0,05	0,05/ 0,02
Maximal skanningsvinkel (grader) III)	± 20°	± 20°	-

I) *För definition av punkttäthet i laserdata vid flygburen insamling se avsnitt 2.3.2. Intervallet avser ett spelrum inom vilket värdet på punkttäthet vanligtvis ligger. Beställaren väljer ett värde för sitt ändamål.*

II) *Lägesosäkerhet avser standardosäkerhet i plan för väldefinierade objekt och i höjd på plana, väldefinierade ytor. Angivet parametervärde kan ses som en tumregel. Andra värden kan väljas av beställaren men dessa bör inte överskrida tabellvärdena, se rekommendation i avsnitt 2.3.3.*

III) *Vanligt förekommande värde, se rekommendation i avsnitt 2.3.4.*

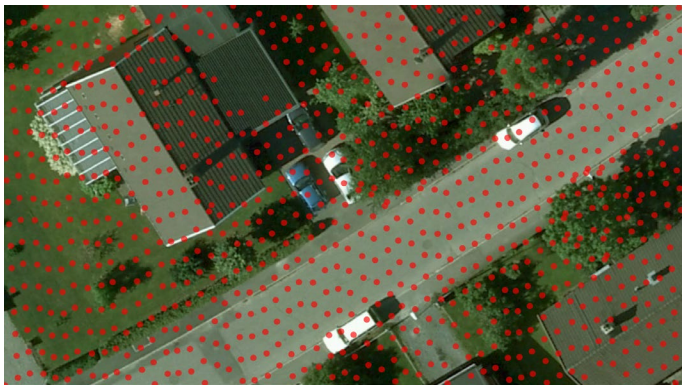
2.3.2 Punkttäthet

Rekommendation

a) Beställaren ställer direkt eller indirekt krav på punkttäthet för sista eller enda retur.

Punkttäthet vid flygburen laserskanning avser antalet punkter på markytan (sista eller enda retur) per kvadratmeter. En hög punkttäthet medger en mer verklighetstrogen modellering av de träffade objekten, medan en låg punkttäthet ger en mer generaliserad modellering med högre osäkerhet i både geometri och klassning, läs mer i referens [1].

Krav kan ställas indirekt genom att specificera slutproduktens egenskaper och/eller funktion. Är punktmolnet slutprodukt bör punkttätheten specificeras.



Figur 2.3.2. *Exempel, motsvarande HMK-standardnivå 1, på träffbild med punkttäthet avseende alla returer och storlek på träffyta. Den slutliga punkttätheten för alla returer beror på topografin och blir i skog vanligtvis högre än på öppen mark eftersom varje utsänd puls där kan ge flera returer. Punkttätheten på markytan blir däremot lägre.*

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

Punkter/m²	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

Tabell 2.3.2.b. *Ungefärlig storlek på träffyta (definierad enligt 1/e²). Storleken på träffytan på marken är tillsammans med punkttätheten avgörande för hur små objekt som går att identifiera i ett punktmoln.*

HMK-standardnivå	Träffytans diameter (m)
1	0,5 – 2 m
2	0,2 – 0,5 m
3	0,1 – 0,2 m

Tabell 2.3.2.c *Objekt som är möjliga att identifiera i punktmolnet vid viss upplösning enligt referens [2]. Definition av klasser framgår av Tabell 2.3.2.d. (* Svårt att skilja på asfalt/grus.)*

	Kartering i punktmoln		Kartering med stöd av bilder
Objekt	**0,5 punkter/m² Klass**	**20 punkter/m² Klass**	**20 punkter/m² Klass**
Vägkant asfalt	10	6*	3
Vägkant grus	10	6*	3
Väg målad linje		5	3
Stödremsekant			4
Kantstöd			4
Broar	8	3	3
Spår			5
Byggnad bostad	8	3	3
Uthus och mindre byggnader	8	4	3
Trappa		7	5
Altan		4	4
Luftledningar		3	3
Stolpar			5
Trafikskyltar (bärande stolpar)			6
Kraftledningsstolpe		4	4
Elskåp			6
Hägnader/stängsel			6
Staket		7	4
Plank		5	4
Murar		5	4
Vägräcken			4
Diken	8	5	5
Strandlinje	9	6	5
Slänter	9	5	5
Ägoslagsgräns		10	7
Brunnar			4

Tabell 2.3.2.d *Generell klassning av markhöjdmodell, enligt Tabell 6 i referens [2]. Medelavvikelse kontrolleras enligt kapitel 10 i referens [2].*

Klass	Maximal medel-avvi-kelse i höjd (m)	Användningsområde
1	0,02	Detaljprojektering för bygghandling väg och järnväg samt mängdberäkning på noggrant inmätta hårdgjorda ytor
2	0,05	Detaljprojektering för bygghandling väg och järnväg med befintliga bangårdar och spår och övriga bygg-nadsverk samt mängdberäkning på jämna markytor
3	0,10	Detaljprojektering för bygghandling väg, järnväg och övriga byggnadsverk samt mängdberäkning på övriga ytor och järnvägsbank. Underlag för relationshandling vid terrester komplettering av modell samt upprät-tande av bergmodell
4	0,15	Projekteringsunderlag för arbetsplan väg och system-handling järnväg i jämn terräng
5	0,20	Underlag för arbetsplan väg och systemhandling järn-väg i ojämn och kuperad terräng
6	0,30	Översiktlig projektering i jämn terräng. Väg- och järn-vägsutredning i och i närheten av samhällen
7	0,50	Översiktlig projektering i ojämn och kuperad terräng. Väg- och järnvägsutredning i allmänhet
8	1,00	Förstudier i och i närheten av samhällen
9	2,00	Förstudier i allmänhet
10	3,00	Lokaliseringsöversikter

Tabell 2.3.2.e *Lämplig lägsta nivå på parametrar per HMK-standardnivå.*

Parametrar	HMK-standardnivå 1	HMK-standardnivå 2	HMK-standardnivå 3
Minsta lämpliga upp-lösning i grid (m)	1,0	0,25	0,20
Minsta lämplig ekvidistans för höjd-kurvor (m)	0,5	0,25	0,1

2.3.3 Lägesosäkerhet

Rekommendation

a) Beställaren ställer krav på lägesosäkerhet.

Information

Standardosäkerheten vid laserskanning kan inte direkt jämföras med den för bildbaserade tekniker (bilddata, ortofoto, fotogrammetriskt punktmoln etc.).

Fotogrammetrisk mätning – i bilder – sker genom 3-dimensionell *avskärning* (riktningsmätning) medan laserskanning i princip är en *polär* mätmetod (riktning + avstånd).

Bildmätningens lägesosäkerhet följer därför den *geometriska upplösningen* ganska väl, och standardosäkerheten i höjd är ungefär 1,5 ggr standardosäkerheten i plan (plan bättre än höjd).

Detta gäller inte på samma sätt för flygburen laserskanning, där standardosäkerheten i plan erfarenhetsmässigt är ca 3 ggr standardosäkerheten i höjd (höjd bättre än plan).

Krav på lägesosäkerhet avser ”absolut” lägesosäkerhet i de nationella referenssystemen Sweref99 och RH2000 eller annat referenssystem som beställaren anger, se avsnitt 2.4.1. Som mått används standardosäkerheten i plan för tydligt identifierbara objekt mätta i punktmolnet och i höjd för öppna, plana, hårdgjorda ytor – efter stråkutjämning och inpassning på markstöd.

Observera att standardosäkerheten i höjd kan bli avsevärt högre på andra typer av ytor, exempelvis lutande ytor och ytor med vegetation. Läs mer i referens [1] och [3] för att få en uppskattning av vilken standardosäkerhet i höjd som kan förväntas utanför öppna plana hårdgjorda ytor.

Krav på lägesosäkerhet ställs utifrån användningen av den beställda produkten. Följande tumregler gäller för HMK-standardnivå 1, 2 respektive 3:

- Krav på standardosäkerheten i höjd bör inte överstiga 0,10, 0,05 respektive 0,02 m på öppna plana hårdgjorda ytor.
- Krav på standardosäkerheten i plan bör inte överstiga standardosäkerheten i höjd med mer än en faktor 2-3 beroende på HMK-standardnivå.

Det är möjligt att uppnå en lägre standardosäkerhet i höjd än tumreglerna ovan. Vid hårda krav på standardosäkerheten i höjd för HMK-standardnivå 1 och 2 kan faktorn för standardosäkerhet i plan behöva höjas upp till 5, läs mer i referens [4]. Hårdare krav på standardosäkerheten i höjd påverkar kravställningen på markstöd, efterbearbetningen med mera, liksom kostnaden för uppdraget.

Handlingar för byggande (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 mäts genom fotogrammetrisk detaljmätning och höjdläget tolkas från laserskannad höjdmodell.

Det förekommer också, exempelvis vid inventering, höga krav på tolkbarhet medan lägesosäkerheten är mindre viktig. I sådana fall kan kraven på lägesosäkerhet minskas jämfört med tumreglerna.

2.3.4 Skanningsvinkel

Rekommendation

a) Beställaren specificerar maximal skanningsvinkel.

Med skanningsvinkel menas laserns avvikelse mot lodlinjen, i levererat punktmoln.

En skanningsvinkel nära 0 grader ger bättre insyn mot markytan i skog och stadsmiljö. Större skanningsvinklar ger fler träffar på sidorna av höga objekt, till exempel husfasader. En stor skanningsvinkel ökar osäkerheten i lägesbestämningen.

En laserskanning bör normalt planeras så att området täcks av data med maximalt 20 grader.

2.3.5 Insamlingsperiod

Rekommendation

a) Beställaren specificerar insamlingsperiod.

När laserdata ska användas för att framställa en markhöjdmodell där marken är täckt med vegetation är den bästa årstiden för insamling, mellan snösmältning och lövsprickning. Under denna period döljs inte marken av vegetation eller snö, vilket medför att genomträngningen ner till markytan är som bäst. Snäva krav på insamlingsperiod kan dock öka kostnaden.

2.3.6 Följdprodukter

Information

Följande följdprodukter stöds av andra HMK-dokument:
- klassificerat punktmoln, markhöjdmodell, ythöjdmodell, höjdkurvor och höjdpunkter i HMK – Höjddata 2017
- höjdmodell för rektifiering av ortofoto (rektifieringsmodell) i HMK – Ortofoto 2017.

2.3.7 Tilläggsspecifikation

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.

Övertäckning och tvärstråk

Normalt ställer beställaren krav på övertäckning och tvärstråk implicit genom att specificera slutproduktens egenskaper och/eller kvalitet. Krav förekommer främst vid HMK-standardnivå 1 och 2. Exempel på detta är Nationella höjdmodeller och kommunala upphandlingar.

Om annan hantering än genomförandekrav 3.1.1 d-g önskas specificeras detta av beställaren.

Stråkriktning

Beställaren anger eventuella krav på stråkriktning.

Repetitiv insamling

För att öka insynen kan man välja att skanna området flera gånger vid samma tillfälle, så kallad repetitiv insamling. För att öka insynen kan man välja att planera flygningen med korsande stråk eller parallellt förskjutna stråk, där det förskjutna stråket flygs mellan ordinarie stråk.

Repetitiv insamling bör inte göras i syfte att öka punkttätheten.

Om annan hantering än genomförandekrav 3.1.1 h önskas specificeras detta av beställaren, till exempel att:

- Vid repetitiv insamling ska punktmolnet vara fritt från interferens och insamling utföras inom så kort tidsrymd som möjligt.

Kontrollobjekt

Beställaren anger eventuella krav på *kontrollobjekt*. Signalering av kontrollobjekt utförs enligt kraven i avsnitt 3.2.

Kontrollobjekt används för att kontrollera anslutningen till referenssystemet och verifiera lägesosäkerheten i laserdata. De utformas och positionsbestäms på samma sätt som de *markstöd* som använts för att justera georefereringen av punktmolnet – men ska vara geografiskt åtskilda från dessa. Antal kontrollobjekt, samt inbördes avstånd, anpassas så att uppnådd lägesosäkerhet kan redovisas signifikant.

Markstöd

Normalt ställer beställaren krav på markstöd implicit genom att specificera slutproduktens egenskaper och/eller kvalitet.

Markstöd används för att ansluta ett mätprojekt till ett referenssystem i höjd, plan eller 3D samt för att justera geometrin vid stråkutjämning.

Om annan hantering än genomförandekrav 3.1.2 a-c önskas specificeras detta av beställaren, till exempel att beställaren anger krav på antalet *markstöd*.

Samtidig bildinsamling

Beställaren ställer eventuella krav på samtidig insamling av bild och laserdata.

Bilddata kan komplettera laserdata, framför allt som stöd vid klassning och vid kvalitetskontroll. Bilddata kan också användas för färgsättning av punktmolnet. Bilderna används även till att ta fram andra produkter som ortofoto och som underlag vid kartering. Det kan därför vara lämpligt och kostnadseffektivt att samla in bilddata samtidigt som laserskanning genomförs, framförallt vid HMK-standardnivå 3.

Insamling av bild- och laserdata ställer olika krav på bland annat ljusförhållanden. Därför kan bildkvaliteten bli lidande när laserdata är primära data. Bild- och laserinsamling vid samma tidpunkt ger ett homogent dataset, men om höga krav ställs på bildkvaliteten kan det begränsa insamlingsperioden och vara kostnadsdrivande.

Bilder insamlade vid ett annat tillfälle kan också användas. Hur stor tidsskillnad mellan insamlingstillfällena som är acceptabel beror bland annat på hur snabbt området förändras.

Vågform

Beställaren anger eventuella krav på insamling av vågform.

Vid beställning av vågform, bör även leverans av diskreta returer beställas. Vågform bör ses som ett komplement till ordinarie leverans och har specifika användningsområden.

2.4 Specifikation av leverans

Om leverans av produkten, produktionsdokumentation, metadata med mera ska göras enligt Nationella specifikationer framgår krav på leverans i referens [5].

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 transformationssamband mellan systemen.

Läs mer om Sweref 99 och RH2000 samt relationer mellan olika referenssystem och projektionszoner i HMK – Geodetisk infrastruktur 2020, kapitel 2.

Om beställaren inte har ett aktuellt transformationssamband kan sådant upprättas som en del av uppdraget enligt HMK – Geodetisk infrastruktur 2020, kapitel 2.

2.4.2 Stråk- och stödplan

Rekommendation

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

2.4.3 Markstöd

Rekommendation

a) Beställaren anger filformat och namngivning för leverans av markstöd.

2.4.4 Laserdata

Rekommendation

a) För laserdata definierar beställaren:
- filformat, versionsnummer
- datakomprimering
- geografisk uppdelning och indexsystem
- krav gällande namngivning på filer, stråk med mera.

Filformat

Punktmoln från laserskanning eller bildmatchning levereras lämpligen i ASPRS LAS-format (referens [6]), senaste version. Skillnaden mellan versionerna av LAS-formatet, liksom mellan andra format, är stora och det kan ta lång tid att anpassa en programvara för en ny version. Beställaren bör därför specificera både format och version, så att filerna kan läsas av den aktuella programvaran.

För punktmoln med färgvärden (RGB) väljs LAS format, version 1.2 eller senare. Från och med LAS version 1.4 hanteras fyra färgband, till exempel RGB och NIR (nära infrarött).

Datakomprimering

LAS-formatet är relativt kompakt men kan komprimeras ytterligare. Nackdelen med komprimerade data är att längre tid krävs för åtkomsten, något som måste vägas mot den kortare överföringstiden om filerna distribueras samt mindre behov av lagringsutrymme.

Det finns flera effektiva komprimeringar av LAS-formatet. De är programberoende och i dagsläget inte kompatibla med varandra. Beställaren bör därför specificera typ av komprimering.

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

Tabell 2.4.4. *Exempel på förhållandet mellan punkttäthet, indexrutans storlek och filstorlek. De blå rutorna indikerar lämpliga kombinationer.*

Punkttäthet/ Indexrutans storlek	**0.5 p/m²**	**6 p/m²**	**20 p/m²**
100x100 m	0.5 MB	4 MB	10 MB

500x500 m	10 MB	100 MB	200 MB
1000x1000 m	40 MB	400 MB	800 MB
2500x2500 m	250 MB	2 500 MB	5 000 MB

En geografisk uppdelning enligt Lantmäteriets indexsystem kan tillämpas för Sweref 99 TM. För lokala projektionszoner genereras lokalt rutsystem. Vid laserskanning av korridorer kan punktmolnet delas upp i segment av lämplig storlek.

Krav gällande namngivning på filer, stråk m.m.

Namngivning av filer bör ske på ett strukturerat sätt och anpassas till beställarens verksamhet. Oavsett namngivning ska stråk-ID vara unikt inom projektet.

2.4.5 Positions- och orienteringsdata (GNSS/ INS)

Rekommendation

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

Beställaren anpassar, vid behov, kraven på informationsinnehåll i GNSS/INS-data. Om annan hantering önskas än genomförandekrav enligt 3.3.4 a-e för laser- och GNSS/INS-data, specificeras detta av beställaren. Kvalitetsmått som standardosäkerhet per orienteringsparameter, pdop-värde och antal satelliter kan vara önskvärda, se HMK – Geodetisk infrastruktur 2017, Bilaga B.7.

2.4.6 Produktionsdokumentation

Rekommendation

a) Beställaren specificerar eventuella tilläggskrav på produktionsdokumentationen.

Produktionsdokumentationen avser i första hand en skriftlig redogörelse som riktar sig till beställaren i syfte att kunna bedöma om produktionen, produkten och leveransen följer specifikationen.

Beställaren anpassar, vid behov, kraven på produktionsdokumentation utifrån uppdragets storlek, omfattning och användningsområde. Om annan hantering önskas än genomförandekrav enligt 3.1.3 g-h för stråk- och stödplan, 3.2.1 d-e för markstöd och/eller 3.3.4 g-h för laser- och GNSS/INS-data, specificeras detta av beställaren.

Exempel på tillägg till genomförandekrav är:

- karta med planerade stråk och markstöd enligt Bilaga B.1 b
- karta med inmätta markstöd enligt Bilaga B.2 c
- skiss över signal och signalens läge enligt Bilaga B.2 d
- karta med flugna stråk och tagna bilder enligt Bilaga B.3 b.

2.4.7 Metadata

Rekommendation

a) För eventuella metadata definierar beställaren informationsinnehåll och filformat.

Metadata avser digitala strukturerade data om produkten. Dessa riktar sig främst till framtida användare i syfte att kunna hitta och bedöma användbarheten av data via geodataportaler och arkiv eller särskilda metadatatjänster. Kan även utgöra ett komplement till produktionsdokumentationen.

Krav på metadata till laserdata kan avse:

- Redovisning av insamlingsområdets yttäckning i form en polygon med tillhörande attribut. Attribut kan till exempel vara identitet för insamlingsområdet, punkttäthet, lägesosäkerhet, skanningsvinkel, stråkövertäckning, insamlingsdatum och program som använts vid beräknings av stråkutjämning.
- Redovisning av metadata stråkvis. För varje stråk ges exempelvis stråk-ID, punkttäthet, lägesosäkerhet, skanningsvinkel, övriga skanningsparametrar, insamlingsdatum, start- och sluttid för insamling, laserskanner-ID, program som använts vid beräkning av punktmolnet.

Metadata i kartform (raster) kan avse:

- Karta över avvikelser i höjd i övertäckningszonen mellan stråk, se Figur C.2.b.
- Punkttäthetskarta för sista eller enda retur, se Figur C.2.c.

Kartorna bör redovisas med en upplösning enligt Tabell 3.3.1, dvs. mellan 10x10 och 5x5 meter i HMK-standardnivå 1, 2,5x2,5 meter i standardnivå 2 och 2x2 meter i standardnivå 3. Färgskalan i kartorna kan vara *relativ* eller *absolut*. Den absoluta färgskalan har fördelar om man lägger samman laserdata, med olika punkttäthet, från olika projekt förutsatt att projekten använder samma färgskala.

Vid relativ skala rekommenderas färgskalor. Skalorna definieras i Tabell 2.4.7.a (avvikelser mellan stråk) respektive Tabell 2.4.7.b (punkttäthet för sista och enda retur).

Tabell 2.4.7.a. *Relativ färgskala för RMS-värden/avvikelser i höjd i övertäckningszonen mellan stråk. (En "tolkningsnyckel" till skalan finns i Tabell C.2.c.)*

Blått	mindre än den specificerade standardosäkerheten
Grönt	1 – 2 gånger den specificerade standardosäkerheten
Gult	2 – 3 gånger den specificerade standardosäkerheten
Rött	3 – 5 gånger den specificerade standardosäkerheten
Magenta	större än 5 gånger den specificerade standard-osäkerheten (grova fel)
Svart	dolda (maskade) ytor, t.ex. vattenområden, eller ytor utan data.

Tabell 2.4.7.b. *Relativ färgskala för punkttäthet, sista och enda retur, enligt Nationell höjdmodell.*

Blått	minst dubbla den efterfrågade punkttätheten
Grönt	mellan den efterfrågade och dubbla punkttätheten
Gult	mellan halva och den efterfrågade punkttätheten
Rött	mindre än halva den efterfrågade punkttätheten
Svart	dolda (maskade) ytor, t.ex. vattenområden, eller ytor utan data.

Metadatainnehåll och format för hela datamängder kan anpassas till den nationella metadataprofilen på geodata (referens [7]). Det ger förutsättningar för publicering av datamängden på geodataportalen.

Format

Exempel på några format är:

- För redovisning av insamlingsområdets yttäckning med tillhörande attribut kan GIS-format användas, t ex *shape* eller liknande.
- För stråkvis redovisning av metadata kan textfiler med posterna separerade med semikolon användas.
- Punkttäthetskartor och karta som visar avvikelse i höjd i övertäckningszonen levereras lämpligen som georefererade *tiff*-bilder, eller liknande.

2.4.8 Tilläggsspecifikation 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 stråkplanering, laserkvalitet eller orienteringsdata. Detta hanteras vanligen i upphandlingens kontraktsvillkor (se HMK – Introduktion 2017, avsnitt 3.2.1).

Stråk- och stödplaner kan till exempel granskas innan datainsamlingen påbörjas, i syfte att verifiera att planeringen genomförts enligt kraven i den tekniska specifikationen.

Leveransmedia och katalogstruktur

Beställaren specificerar eventuella krav på leveransmedia och katalogstruktur för leverans av filer och produkter.

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 produktionen samt för att det material som levereras är kvalitetskontrollerat och komplett enligt beställarens specifikation.

b) Allt insamlat material ska kontrolleras löpande under insamlingen för att eventuella brister tidigt ska kunna identifieras 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 av insamling

För mer information om planering vid flygburen laserskanning se avsnitt 16.5.2 i referens [8].

3.1.1 Val av flyghöjd och stråkplanering

Krav

Vid val av flyghöjd och vid stråkplanering ska:

a) krav på punkttäthet för sista eller enda retur uppfyllas i insamlingsområdets samtliga delar

b) hänsyn tas till kuperad terräng och höga objekt som bebyggelse eller träd, för att säkerställa att samtliga objekt avbildas

c) övertäckning mellan stråk vara minst 10 % om inte beställaren anger annat.

Rekommendation

Tvärstråk bör:

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

Krav

Repetitiv insamling får inte:

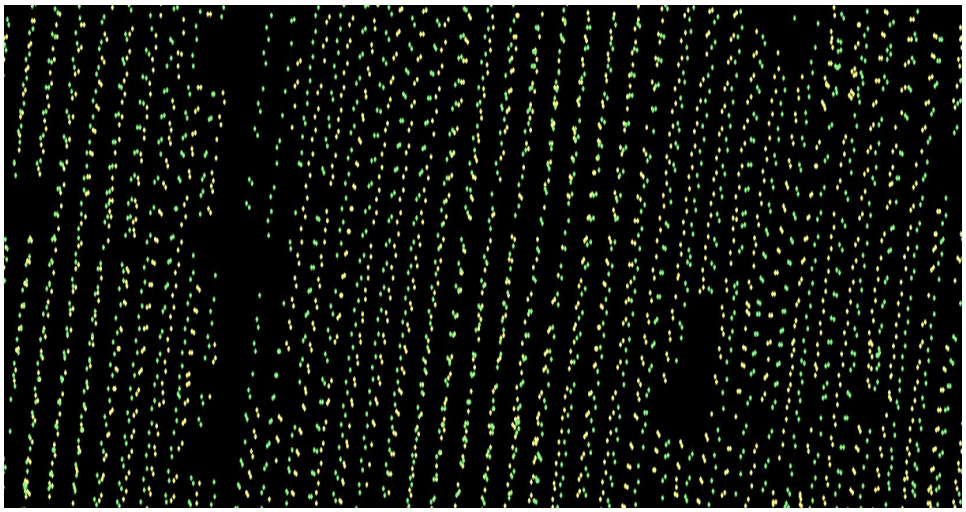
h) göras i syfte att öka punkttätheten.

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 stråkutjämning och kvalitetskontroll. Den faktiska övertäckningen varierar med terrängens höjd, men påverkas även av plattformens stabilitet.

Ett eller flera tvärstråk förbättrar stråkutjämningen och bidrar till en god geometri i det färdiga punktmolnet. Avståndet mellan tvärstråken styrs av systemets prestanda vad gäller GNSS och INS.

Repetitiv laserskanning längs samma eller parallella stråk kan ge interferens mellan skanningsmönstren. Det medför att punktavståndet längs och tvärs insamlingsriktningen blir ojämnt fördelat.



Figur 3.1.1. *Interferens vid repetitiv laserskanning. Där skanningslinjerna sammanfaller blir punkttätheten ojämnt fördelad.*

3.1.2 Planering av markstöd

Krav

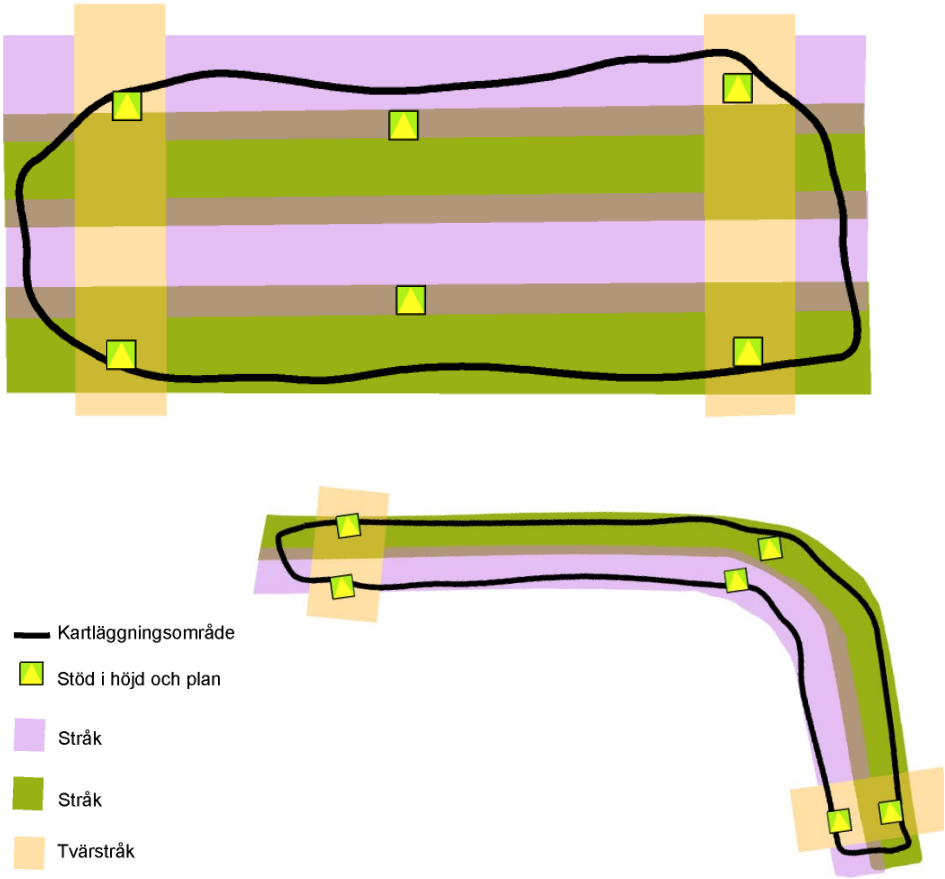
Markstöd ska:

a) anpassas i antal efter den förväntade mätosäkerheten i slutprodukten och efter kartläggningsområdets storlek

b) fördelas jämnt men särskilt finnas i korsande stråk, i hörnen, i ytterkanten och i mitten av kartläggningsområdet, för att erhålla god kontrollerbarhet (Figur 3.1.2)

c) vara anpassade i form och storlek för att tolkas och mätas i punktmolnet.

Olika slags markstöd kan användas beroende på laserskanningens punkttäthet. Vid låg punkttäthet är naturliga stöd vanligast, medan signalerade stöd kan förekomma vid hög punkttäthet. Exempel på markstödens principiella placering inom ett projektområde redovisas i Figur 3.1.2.



Figur 3.1.2. *Principiell placering av markstöd för yta respektive korridor. (Källa: Lantmäteriet).*

3.1.3 Leverans

Krav

Leverans av stråkplan ska:

a) vara kvalitetskontrollerad och komplett
b) göras i form av en fil med de planerade stråken med de planerade stråkens namn och position; koordinat- och höjdvärden redovisas i meter
c) levereras i det filformat och med den namngivning som anvisats av beställaren.

Leverans av planerade markstöd ska:

d) vara kvalitetskontrollerad och komplett
e) innehålla de planerade stödens namn och position; koordinat- och höjdvärden redovisas i meter
f) levereras i det filformat och med den namngivning som anvisats av beställaren.

Leverans av produktionsdokumentation ska:

g) vara kvalitetskontrollerad och komplett
h) bestå av rapport enligt punkt a) i Bilaga B.1 *Stråk- och stöd-planering* om beställaren inte särskilt anger annat.

Filformat och namngivning specificeras av beställaren enligt avsnitt 2.4.2 – 2.4.3.

3.2 Signalering och inmätning av markstöd

Krav

Signalering och inmätning av markstöd ska:

a) ske i anslutning till flygning för att säkerställa aktualitet.

Markstöd:

b) ska ha god kontrast mot omgivande mark och vara fria från vegetation och andra uppstickande objekt
c) i höjd ska utformas som ett horisontellt punktgitter med högst 10 % lutning
d) i höjd ska normalt ha en utsträckning på minst 5 x 5 punkter eller motsvarande icke-kvadratiska area
e) i plan ska utformas som tydliga profiler i flera riktningar

f) ha minst två objekt per plats om höjdprofiler, taksektioner eller vägmarkering i form av heldragen linje används.

Punkterna inom ett stödobjekt (punktgitter) ska:

g) ha ett inbördes avstånd som är ungefär det dubbla jämfört med det genomsnittliga punktavståndet i laserskanningen

h) fördelas jämnt över ytan så att terrängen beskrivs på bästa sätt.

Inmätning av markstöd ska:

i) ske med en standardosäkerhet, inklusive eventuella utgångspunkters mätosäkerhet, som inte överstiger 1/3 av standardosäkerheten i slutprodukten – enligt den tekniska specifikationen

j) ske med lämplig geodetisk mätmetod enligt HMK – Kravställning vid geodetisk mätning 2017, kapitel 3; inmätning av målade väglinjer kan kräva särskild inmätningsinstruktion.

Markstöd behövs för att kunna upptäcka grova fel och systematiska effekter, samt som underlag för eventuella transformationer. Vanligen sker ingen signalering. Istället används naturliga markstöd.

Utformning av markstöd

Vid laserskanning med hög punkttäthet kan objekt som syns tydligt i intensitetsdata, till exempel målade väglinjer, användas som *naturliga höjdstöd*.

Vid låg punkttäthet kan höjdstöden utformas som *punktgitter* i tre dimensioner på jämna, plana, horisontella och hårdgjorda ytor av asfalt, grus eller betong. Gittret bör ha ett antal ingående punkter per stöd som anpassats efter vald teknik för inmätning och kraven på lägesosäkerhet i punktmolnet. Punkterna behöver inte representeras av något specifikt objekt i verkligheten. Det viktiga är att välja en yta med ett underlag där laserskanningen ger liten mätosäkerhet. För att minimera risken att skymmande objekt, till exempel en parkerad bil, täcker hela stödet kan multipla stöd läggas ut.

Vid låg punkttäthet utformas *naturliga planstöd* som höjdprofiler i terräng med markanta höjdskillnader. Ett exempel på sådant stöd är två korsande terrängprofiler, som vägsektioner, diken och branta sluttningar. Alternativt kan taknockar eller sektioner över sadeltak mätas in. Vid hög punkttäthet kan det vara möjligt att använda målade väglinjer – om dessa kan urskiljas via intensiteten i laserdata. De två objekten i ett markstöd i plan bör vara orienterade i nära 90 graders vinkel mot varandra.

Ett *signalerat stöd* ska vara enkelt att identifiera och mäta i laserdata. Storleken på signalen anpassas efter punkttätheten. En liten signal kan bli svår att lokalisera och en för stor signal kan medföra att dess centrum blir svårt att fastställa.

Det kan krävas åtgärder för att öka kontrasten mellan signalen och den omgivande ytan, såsom målning av kontrastram, täckning av markytan runt skivsignalen eller användning av skivsignal med färdig kontrastram. Oavsett val av form ska signalens centrum vara lätt att bestämma.

Inmätning av markstöd

Mätosäkerheten hos markstöden har stor inverkan på lägesosäkerheten i slutprodukten. Om brister, orsakade av felaktigt utförd mätning eller dåliga inmätningsförhållanden, uppdagas vid beräkning av markstöd, måste punkten mätas om eller ersättas med ett naturligt stöd där bättre inmätningsförhållanden råder. Det är viktigt att olika felkällor tas med i beräkningen när mätosäkerheten för markstöden bedöms. Till exempel är det viktigt att utreda stomnätens kvalitet när en produkt med detaljprojekteringsnoggrannhet skall framställas.

Med den låga mätosäkerhet som laserskanning ger i dag börjar vi närma oss gränsen för vad Nätverks-RTK mot SWEPOS klarar av i höjd för HMK-standardnivå 1 och 2, om målsättningen är att mätmetodens standardosäkerhet är mindre än 1/3 av laserskanningens dito.

Standardosäkerheten i bestämningen av en stödyta minskar med antalet mätpunkter – även om det finns en korrelation mellan mätningarna, eftersom punkterna ligger så tätt och eftersom inmätningen sker under en kort tidsperiod.

Antingen mäts ett flertal punkter i varje yta, läs mer referens [4], eller också väljs annan metod enligt HMK – Kravställning vid geodetisk mätning 2017, kapitel 3. Nätverks-RTK mot SWEPOS är inte lämplig för HMK-standardnivå 3 eller vid särskilda krav på lägesosäkerhet i HMK-standardnivå 2.

Vid användning av målade väglinjer som markstöd bör inmätning förslagsvis ske på följande sätt:

- Streckad väglinje mäts i samtliga hörn på målningen. Minst fem streck bör mätas in. Mätta målningar kan väljas fritt beroende på målningens kvalitet och behöver inte hänga ihop.
- Då målad väglinje i vägmitt utgörs av heldragen linje bör linjens mitt mätas in på en sträcka av minst 10 meter med ett punktavstånd på 2 meter. Denna mätning bör kompletteras med inmätning av målade kantlinjer. Minst fem målningar, på valfri sida av vägen, bör mätas in.

Kontrollobjekt

Kontrollobjekt (se avsnitt 2.3.7 och Bilaga C.2 d1) hanteras på samma sätt som markstödet.

3.2.1 Leverans

Krav

Leverans av markstöd ska:

a) vara kvalitetskontrollerad och komplett
b) göras i form av en fil som innehåller markstödens namn och position. Koordinat- och höjdvärden redovisas i meter med tre decimaler
c) levereras i det filformat och med den namngivning som anvisats av beställaren.

Leverans av produktionsdokumentation ska:

d) vara kvalitetskontrollerad och komplett
e) bestå av rapport enligt punkt a) och lista enligt punkt b) i Bilaga B.2 *Signalering och inmätning av markstöd* om beställaren inte anger annat.

Filformat/namngivning specificeras av beställaren enligt avsnitt 2.4.3.

3.3 Insamling av laser- och GNSS/INS-data samt beräkning av punktmoln

3.3.1 Laserskanning

Krav

a) Aktuellt kalibreringscertifikat för laserskannern ska på begäran kunna uppvisas för beställaren.
b) En laserskanner ska kunna registrera flera returer från en utsänd laserpuls, inklusive respektive returs intensitet (amplitud).

Skanningsparametrar ska väljas så att:

c) likartat punktavstånd erhålls längs och tvärs insamlingsriktningen
d) enstaka maxvärden inte överstiger det dubbla punktavståndet
e) vald punkttäthet erhålls i minst 95 % av den skannade ytan, mätt i antal kvadratiska rutor, undantaget vattenområden (Tabell 3.3.1).

Laserskanner

En laserskanner är vid leverans internt kalibrerad av leverantören. Kalibreringen ska verifieras med jämna mellanrum, exempelvis vid årlig service, och resultatet i form av ett kalibreringscertifikat ska vid begäran kunna uppvisas.

Skanningsparametrar

Vid val av skanningsparametrar vill man uppnå önskad kvalitet med viss marginal och samtidigt minimera tiden för datainsamlingen.

Punktdistributionen påverkas bland annat av pulsfrekvensen, skanningsfrekvensen och flygplanets hastighet. Normalt bestäms parametrarna med hjälp av en speciell planeringsprogramvara som tillhandahålls av instrumenttillverkaren.

För mer information om skanningsparametrar och inställningar av laserskannern se avsnitt 16.4 respektive 16.5.2 i referens [8].

Tabell 3.3.1. *Upplösning på kvadratiska rutor för att beräkna andel rutor som ska uppfylla beställd punkttäthet. Punkttätheten avser punkter/m² i 2D för sista eller enda retur.*

Parametrar	**Standardnivå 1**		**Standard-nivå 2**	**Standard-nivå 3**
Punkter/m²	**0,5**	**2**	**6-12**	**20-30**
Storlek på kvadratiska rutor för olika HMK-standardnivåer	10 x 10 m	5 x 5 m	2,5 x 2,5 m	2 x 2 m
Andel rutor som skall uppfylla beställd punkttäthet	95% (undantaget vatten)			

3.3.2 Beräkning av orienteringsdata ur GNSS/INS-data

Rekommendation

a) GNSS/INS-data beräknas enligt HMK – Geodetisk infrastruktur 2017, Bilaga B.6.3.

Brister i beräkningsresultatet kan medföra komplettering eller omskanning för att uppnå kraven på mätosäkerhet i slutprodukten.

3.3.3 Beräkning av punktmoln

Krav

a) Systemberoende korrigeringar ska utföras och redovisas enligt systemleverantörens rekommendationer.

b) Stråkutjämning ska utföras, där återstående fel minimeras.

c) Avvikelser i övertäckningszonerna – före och efter stråkutjämning – ska redovisas numeriskt och grafiskt.

d) Inpassning på markstöd i plan och höjd – i givna referenssystem – ska utföras, där avvikelser minimeras.

e) Resultat från inpassning ska redovisas.

Beräkningsprocessen

Beräkning av georefererat punktmoln sker normalt enligt följande:

- Skannerns position och orientering vid skanningstillfället beräknas i efterhand ur GNSS/INS-data som har samlats in i flygplanet och referensstation(er) på marken.
- Systemberoende korrigeringar, till exempel korrigeringar av längder och vinklar utförs för varje flygsession. Laserpunkternas läge beräknas sedan med stöd av bland annat bandata, längder och vinklar.
- Stråkutjämning utförs för att få ett mer homogent punktmoln. Vid stråkutjämningen analyseras laserdata i övertäckningszonen mellan angränsande stråk. Korrektioner beräknas, som appliceras på hela eller delar av stråken.
- Resultatet redovisas på ett överskådligt sätt – numeriskt och grafiskt, till exempel som avvikelser före och efter stråkutjämning.
- Inpassning i givna referenssystem görs med hjälp av markstödet i plan och höjd.
- Resultaten utvärderas och eventuella åtgärder sätts in om resultatet inte uppfyller specifikationen.

För mer information om beräkningar vid flygburen insamling, se avsnitt 16.5.3 i referens [8].

3.3.4 Leverans

Krav

Leverans av laserdata ska:

a) vara kvalitetskontrollerad och komplett

b) ha koordinat- och höjdvärden redovisade i meter med antal decimaler baserade på lägesosäkerheten i slutprodukten. [1)]

c) göras i det filformat och med den namngivning som anvisats av beställaren.

Leverans av GNSS/INS-data ska:

d) vara kvalitetskontrollerad och komplett

e) göras i form av en fil som innehåller stråk-ID, Xo, Yo, Zo, ω, φ, κ och GPS-tid, samt eventuella övriga krav på innehållet som har anvisats av beställaren, för samtliga stråk; koordinat- och höjdvärden (Xo, Yo, Zo) redovisas i meter med tre decimaler, bildvridningar (ω, φ, κ) i grader med fem decimaler och GPS-tid i sekunder med fyra decimaler. [1)]

f) göras i det filformat och med den namngivning som anvisats av beställaren.

Leverans av produktionsdokumentation ska:

g) vara kvalitetskontrollerad och komplett

h) bestå av rapport enligt punkt a) i Bilaga B.3 *Insamling av laser- och GNSS/INS-data och beräkning av punktmoln* om beställaren inte anger annat.

Leverans av eventuella metadata ska:

i) vara kvalitetskontrollerad och komplett

j) göras i det filformat och med den namngivning som anvisats av beställaren.

[1)] *Läs mer i HMK – Geodatakvalitet 2017, Bilaga A.8, om varför man ska vara generös med siffrorna under beräkningsgången och inte avrunda till ungefär en tiondel av lägesosäkerheten förrän i slutprodukten.*

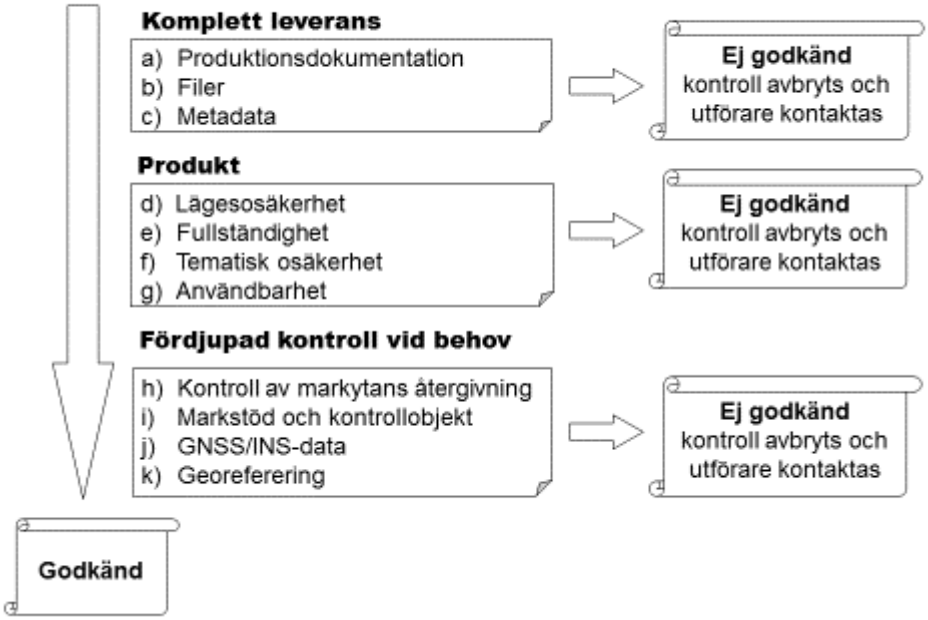
Filformat, namngivning och övrigt innehåll specificeras av beställaren enligt avsnitt 2.4.4–2.4.7.

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 slutproduktens 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 2017.



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 *informationsspecifikation för tema höjd,* aktuell version, samt tillhörande mätningsanvisningar finns på Nationella specifikationer.

[6] *ASPRS LAS file format*, i olika versioner, finns på ASPRS hemsida.

[7] *Nationell metadataprofil - Specifikation och vägledning, SS-EN ISO 19115:2005-geodata.se,* aktuell version, samt tillhörande instruktioner med mera för publicering på geodataportalen finns på geodata.se.

[8] Lantmäteriet, LU, KTH och HiG (2021) *Geodetisk och fotogrammetrisk mätnings- och beräkningsteknik.* (se avsnitt 16.1–16.5 på sidorna 257–270).

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)

På norska Kartverkets hemsida finns dokument motsvarande HMK och Nationella specifikationer:

- Hemsidan Standarder for geografisk informasjon innehåller senaste version av bland annat *Produksjon av basis geodata*.
- Hemsidan SOSI del 3 Produktspesifikasjoner, innehåller bland annat senaste version av datataproduktspecifikationen *Nasjonal modell for høydedata fra laserskanning (FKB-Laser)*.

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 2017 och HMK-Ordlista, senaste version.

1 Allmän beskrivning (HMK – Flygburen laserskanning 2017, avsnitt 2.1)

Ingående tjänster:.....

Aktuella produkter:.....

Produkternas användning:.....

2 Specifikation av utgångsmaterial (HMK – Flygburen laserskanning 2017, avsnitt 2.2)

Insamlingsområde inklusive format och referenssystem:.....

Övrigt utgångsmaterial inklusive egenskaper:.....

3 Specifikation av genomförande (HMK – Flygburen laserskanning 2017, avsnitt 2.3)

Krav på HMK-standardnivå:.....

Krav på punkttäthet:.....

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

Krav på skanningsvinkel:.....

Krav på insamlingsperiod:.....

Krav på följdprodukter:.....

Krav på tilläggsspecifikationer: *(exempelvis krav på övertäckning och tvärstråk, stråkriktning, repetitiv insamling, kontrollobjekt, markstöd, samtidig bildinsamling, vågform):*.....

4 Specifikation av leverans (HMK – Flygburen laserskanning 2017, avsnitt 2.4)

Referenssystem

Krav på referenssystem i plan:.....

Krav på referenssystem i höjd:.....

Stråk- och stödplan

Krav på format:.....

Krav på namngivning:.....

Markstöd

Krav på format:.....
Krav på namngivning:.....

Laserdata

Krav på format och ev. version:.....
Krav på datakomprimering:.....
Krav på geografisk uppdelning och indexsystem:.....
Krav på namngivning:.....

Positions- och orienteringsdata (GNSS/INS)

Krav på format:.....
Krav på namngivning:.....
Tilläggskrav på informationsinnehåll:.....

Produktionsdokumentation

Tilläggskrav på produktionsdokumentation: .....

Metadata

Krav på innehåll:.....
Krav på format:.....

Tilläggsspecifikationer av leverans

Krav på tilläggsspecifikation av produkten: (*exempelvis prov- och delleveranser, leveransmedia och katalogstruktur, rådatahantering*): .....

5 Specifikation av genomförande (HMK – Flygburen laserskanning 2017, kapitel 3)

Krav 3 a-b i HMK – Flygburen laserskanning 2017 gäller
Rekommendation 3 c i HMK – Flygburen laserskanning 2017 gäller
Krav 3.1.1 a-c i HMK – Flygburen laserskanning 2017 gäller
Rekommendation 3.1.1 d-g i HMK – Flygburen laserskanning 2017 gäller
Krav 3.1.1 h i HMK – Flygburen laserskanning 2017 gäller
Krav 3.1.2 a-c i HMK – Flygburen laserskanning 2017 gäller
Krav 3.1.3 a-h i HMK – Flygburen laserskanning 2017 gäller
Krav 3.2 a-j i HMK – Flygburen laserskanning 2017 gäller
Krav 3.2.1 a-e i HMK – Flygburen laserskanning 2017 gäller
Krav 3.3.1 a-e i HMK – Flygburen laserskanning 2017 gäller
Rekommendation 3.3.2 a i HMK – Flygburen laserskanning 2017 gäller
Krav 3.3.3 a-e i HMK – Flygburen laserskanning 2017 gäller
Krav 3.3.4 a-j i HMK – Flygburen laserskanning 2017 gäller

Kommentar till mallen:

- I mallens avsnitt 5 ges hänvisningar till vilka krav i HMK-Flygburen laserskanning 2017, 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 för Lantmäteriet

0 Teknisk specifikation

Genomförande ska göras enligt denna tekniska specifikation. Förklaring av krav och definitioner av termer framgår av HMK – Flygburen laserskanning 2017 och HMK-Ordlista, senaste version.

1 Allmän beskrivning (HMK – Flygburen laserskanning 2017, avsnitt 2.1)

Ingående tjänster: Planering och genomförande av laserskanning och eventuell kompletterande inmätning av markstöd, samt georefererinng, klassning och kvalitetskontroll av insamlad laserdata. Målet är att cirka 70 000 km² laserskannas per år under en femårsperiod.

Aktuella produkter: Klassificerat laserpunktmoln inklusive bandata, metadata, samt eventuella kompletterande markstöd.

Produkternas användning: Uppdatering av nationella höjdmodellen (NH), skogliga analyser av Skogsstyrelsen samt för andra ospecificerade ändamål.

2 Specifikation av utgångsmaterial (HMK – Flygburen laserskanning 2017, avsnitt 2.2)

Insamlingsområde inklusive format och referenssystem:
Avgränsning och namn för samtliga aktuella skanningsområden (normalt 50 X 25 km). Mindre justeringar i form av sammanslagning eller delning är möjliga, efter överenskommelse med Lantmäteriet.

Dataformat är ESRI Shape. Referenssystem Sweref99 TM och RH 2000.

Övrigt utgångsmaterial inklusive egenskaper: Lantmäteriet tillhandahåller visst utgångsmaterial som stöd för genomförandet av uppdraget.

- 2.5 indexrutor i Sweref 99 TM. Indexrutorna finns tillgängliga via Lantmäteriets hemsida.
- Fullständiga inmätta objekt för stöd och kontroll.
- Allmänna kartor och ortofoto, i första hand via WMS.
- Höjdmodell (NH), i första hand via WCS.
- GSD-Höjddata, grid 50+. Tillgänglig som öppen data via Lantmäteriets hemsida.
- Viss vektorinformation ur GSD-Fastighetskartan, exempelvis vattenytor, byggnader och vägar.
- Koordinat- och höjdlista för SWEPOS permanenta referensstationer och eventuellt andra Sweref-punkter.

- Aktuell geoidmodell, för närvarande SWEN08_RH2000. Tillgänglig via Lantmäteriets hemsida.
- Vid behov SWEPOS-data för efterberäkning av GNSS-positioner.

Dataformat enligt överenskommelse. Referenssystem Sweref 99 TM och RH 2000.

3 Specifikation av genomförande (HMK – Flygburen laserskanning 2017, avsnitt 2.3)

Krav på HMK-standardnivå: HMK-Standardnivå 1

Krav på punkttäthet: 1 pkt/ m^2

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

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

Krav på insamlingsperiod: I södra delen av landet ska skanning ske endast under avlövad säsong (se bilaga med karta för gräns). I hela landet ska skanning under björkens lövsprickning eller lövfällning undvikas.

Krav på följdprodukter: Krav på klassning av mark, vatten och oklassificerat enligt särskild specifikation upprättad med hjälp av HMK-Höjddata 2017.

Krav på tilläggsspecifikationer:

- Laserstrålens diameter på marken (fotavtrycket) ska vara mindre än 0,75 m, mätt enligt $1/e^2$.
- Planerad stråkövertäckning skall vara minst 10 % vid 40° öppningsvinkel.
- Planerad täckning skall vara minst 200 m utanför respektive skanningsområde.

4 Specifikation av leverans (HMK – Flygburen laserskanning 2017, 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 08, ska användas för beräkning av höjder.

Stråk- och stödplan

Krav på format: PDF och ESRI-shape

Krav på namngivning: Enligt **18A001_plan.pdf**, där **18A001** avser skanningsområdet.

Övriga krav: Planen i PDF-format ska 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

Planering för respektive skanningsområde ska vara godkänd av Lantmäteriet innan skanning påbörjas.

Markstöd

Krav på format: ASCII-fil.

Krav på namngivning: Bestäms i samråd med Lantmäteriet

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 stödobjekt skall åtföljas av ett foto i format JPEG som tydligt visar stödets läge i terrängen.
- Eventuella kompletterande markstöd skall ingå i leveransen av varje berört skanningsområde. Stöden kan vara inmätta med GNSS mot SWEPOS eller vara baserade på information ur NH.

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 dataformat och komprimering kan komma att förändras över tid.

Krav på geografisk uppdelning och indexsystem: Filerna ska omfatta 2,5km*2,5km rutor i nationella indexsystemet för Sweref 99TM.

Krav på namngivning: Enligt *18A001_61325_3875_25.las*, där **18A001** avser skanningsområdet och **61325_3875_25** avser 2.5 km indexruta i Sweref 99 TM. De två första siffergrupperna anger rutans koordinater (N och E) i 100-tals meter för sydvästra hörnet.

Positions- och orienteringsdata (GNSS/INS)

Krav på format: Terrasolid TRJ.

Krav på namngivning: Enligt **18A001_00001.trj**, där **18A001** avser skanningsområdet och **00001** avser Point Source ID. Tvärstråk namnges enligt 18A001_00001_cross.trj

Tilläggskrav på informationsinnehåll: -

Produktionsdokumentation

Rapporten ska redovisa innehåll enligt Bilaga.

Rapport levereras i filformat PDF och namnges enligt **18A001_leverans-rapport.pdf**, där **18A001** avser skanningsområdet.

Tilläggskrav på produktionsdokumentation: -

Metadata

Krav på innehåll:

För varje skanningsområde ska:

- metadata om ingående flygsessioner levereras som en tabell, se bilaga för innehåll.
- Karta avseende avvikelser i höjd mellan stråkövertäckningszoner levereras enligt HMK-FlyLas 2017, Tabell 2.4.7.a.
- Karta avseende punkttäthet för sista och enda retur levereras enligt HMK-FlyLas 2017, 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.

Tilläggsspecifikationer av leverans

Krav på katalogstruktur: En leverans består av ett komplett skanningsområde. Filstruktur bestäms i samråd med Lantmäteriet.

Krav på leveransmedia: Lantmäteriet tillhandahåller hårddiskar som skall användas för leverans.

Krav på rådatahantering: Senast efter avslutat uppdrag skall komplett rådata levereras för arkivering. Det gäller både GNSS/INS-data och laserdata, i ursprungliga format.

5 Specifikation av genomförande (HMK – Flygburen laserskanning 2017, kapitel 3)

Krav 3 a-b i HMK – Flygburen laserskanning 2017 gäller
Rekommendation 3 c i HMK – Flygburen laserskanning 2017 gäller som skallkrav
Krav 3.1.1 a-c i HMK – Flygburen laserskanning 2017 gäller
Rekommendation 3.1.1 d-g i HMK – Flygburen laserskanning 2017 gäller
Krav 3.1.1 h i HMK – Flygburen laserskanning 2017 gäller
Krav 3.1.2 a-c i HMK – Flygburen laserskanning 2017 gäller
Krav 3.1.3 a-g i HMK – Flygburen laserskanning 2017 gäller
Krav 3.2 a-j i HMK – Flygburen laserskanning 2017 gäller
Krav 3.2.1 a-d i HMK – Flygburen laserskanning 2017 gäller

Krav 3.3.1 a-e i HMK – Flygburen laserskanning 2017 gäller
Rekommendation 3.3.2 a i HMK – Flygburen laserskanning 2017 gäller
Krav 3.3.3 a-e i HMK – Flygburen laserskanning 2017 gäller
Krav 3.3.4 a-g och i-j i HMK – Flygburen laserskanning 2017 gäller

Kommentar till Lantmäteriexemplet:

- Bilagorna med karta avseende gräns för insamlingsperiod utan löv, innehåll i produktionsdokumentation och metadata om flygsession bifogas inte detta exempel.
- Krav 3.1.3 h), 3.2.1 e) och 3.3.4 h) är borttagna eftersom beställaren hänvisar till egen bilaga för innehåll i produktionsdokumentationen.
- Kraven på följdprodukten *klassificerat punktmoln* är inte med i exemplet. För utformning av krav se HMK – Höjddata 2017.

Bilaga A.3 Exempel på ifylld mall för en kommun

0 Teknisk specifikation

Genomförande ska göras enligt denna tekniska specifikation. Förklaring av krav och definitioner av termer framgår av HMK – Flygburen laserskanning 2017 och HMK-Ordlista, senaste version.

1 Allmän beskrivning (HMK – Flygburen laserskanning 2017, avsnitt 2.1)

Ingående tjänster: Kravspecifikationen omfattar planering, laserskanning, georefererinig och klassificering av laserpunktmoln. Beställaren gör inmätning och beräkning av markstöd.

Aktuella produkter: Klassificerat laserpunktmoln.

Produkternas användning: Laserdata skall användas som underlag för framställning av markhöjdmodell samt byggnadsmodeller. markhöjdmodellen skall användas som underlag för kommunens höjdmodell.

2 Specifikation av utgångsmaterial (HMK – Flygburen laserskanning 2017, avsnitt 2.2)

Insamlingsområde inklusive format och referenssystem: I detta underlag ingår områdesbegränsning i form av bild (jpeg) med kartbakgrund samt även områdesbegränsning i form av Mapinfo-fil (tab). Tillhandahålls i Sweref99 1200.

Övrigt utgångsmaterial inklusive egenskaper: Om så önskas kan brytlinjer tillhandahållas i form av dwg-filer ur primärkartan för att förfina höjdmodellen och filtreringen. T.ex. finns stereokarterade vägkanter, broar och takdetaljer att tillgå. Tillhandahålls i Sweref99 1200 och RH2000.

3 Specifikation av genomförande (HMK – Flygburen laserskanning 2017, avsnitt 2.3)

Krav på HMK-standardnivå: HMK-Standardnivå 2

Krav på punkttäthet: 10 pkt/ m^2

Krav på standardosäkerhet i plan/höjd: 0,15/0,05 m

Krav på skanningsvinkel: 20 grader

Krav på insamlingsperiod: Vårsäsongen när det är snö- och lövfritt

Krav på följdprodukter: Krav på klassning av mark, vatten, broar och oklassificerat enligt särskild specifikation upprättad med hjälp av HMK-Höjddata 2017.

Krav på tilläggsspecifikationer: -

4 Specifikation av leverans (HMK – Flygburen laserskanning 2017, avsnitt 2.4)

Referenssystem

Krav på referenssystem i plan: Allt material ska levereras i plansystem Sweref 99, projektionszon 1200

Krav på referenssystem i höjd: RH 2000,

Övriga krav: Geoidmodell SWEN 08 ska användas för beräkning av höjder.

Stråk- och stödplan

Krav på format: ESRI-shape eller KML

Krav på namngivning: Överenskoms efter avtalstecknande

Övriga krav: Leverantören upprättar stråk- och stödplan i samråd med Beställaren. Antal, läge och utformning för markstöden redovisas i signaleringsplan. Signaleringsplan levereras till Beställaren senast tre veckor före planerad flygning.

Markstöd

Krav på format: ASCII-fil

Krav på namngivning: Överenskoms efter avtalstecknande

Övriga krav: Beställaren mäter in markstöd i höjd och plan för georeferering enligt överenskommen signaleringsplan.

Laserdata

Krav på format och ev. version: LAS, version 1.2

Krav på datakomprimering: -

Krav på geografisk uppdelning och indexsystem: Överenskoms vid avtalstecknande

Krav på namngivning: Överenskoms vid avtalstecknande

Positions- och orienteringsdata (GNSS/INS)

Krav på format: enligt överenskommelse.

Krav på namngivning: enligt överenskommelse.

Tilläggskrav på informationsinnehåll: -

Produktionsdokumentation

Tilläggskrav på produktionsdokumentation: -

Metadata

Krav på innehåll: Avvikelser i höjd mellan stråkövertäckningszoner levereras enligt Tabell 2.4.7.a. Punkttäthetskarta för sista och enda retur levereras enligt Tabell 2.4.7.b.

Krav på format: Punkttäthetskartor och avvikelser i höjd mellan stråk levereras som en georefererad tiff-bild med 2,5x2,5 meters upplösning.

Tilläggsspecifikationer av leverans

Krav på leveransmedia: Hårddisk med gränssnitt USB 3.0

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

5 Specifikation av genomförande (HMK – Flygburen laserskanning 2017, kapitel 3)

Krav 3 a-b i HMK – Flygburen laserskanning 2017 gäller

Rekommendation 3 c i HMK – Flygburen laserskanning 2017 gäller

Krav 3.1.1 a-c i HMK – Flygburen laserskanning 2017 gäller

Rekommendation 3.1.1 d-g i HMK – Flygburen laserskanning 2017 gäller

Krav 3.1.1 h i HMK – Flygburen laserskanning 2017 gäller

Krav 3.1.2 a-c i HMK – Flygburen laserskanning 2017 gäller

Krav 3.1.3 a-h i HMK – Flygburen laserskanning 2017 gäller

Krav 3.3.1 a-e i HMK – Flygburen laserskanning 2017 gäller

Rekommendation 3.3.2 a i HMK – Flygburen laserskanning 2017 gäller

Krav 3.3.3 a-e i HMK – Flygburen laserskanning 2017 gäller

Krav 3.3.4 a-j i HMK – Flygburen laserskanning 2017 gäller

Kommentar till kommunexemplet:

- Krav enligt 3.2 och 3.2.1 finns inte med i exemplet eftersom beställaren utför signalering, inmätning och beräkning av markstöd i egen regi.
- Kraven på följdprodukten *klassificerat punktmoln* är inte med i exemplet. För utformning av krav se HMK – Höjddata 2017.

Bilaga A.4 Exempel på ifylld mall för Trafikverket

0 Teknisk specifikation

Genomförande ska göras enligt denna tekniska specifikation. Förklaring av krav och definitioner av termer framgår av HMK – Flygburen laserskanning 2017 och HMK-Ordlista, senaste version.

1 Allmän beskrivning (HMK – Flygburen laserskanning 2017, avsnitt 2.1)

Ingående tjänster: Kravspecifikationen omfattar planering och genomförande av samtidig laserskanning och flygfotografering, inmätning och beräkning av markstöd.

Aktuella produkter: Laserpunktmoln

Produkternas användning: Laserskanningen skall användas som underlag för framställning av markhöjdmodell och ortofoto som underlag i projektering för framtagande av vägplan.

2 Specifikation av utgångsmaterial (HMK – Flygburen laserskanning 2017, avsnitt 2.2)

Insamlingsområde inklusive format och referenssystem: Aktuellt karteringsområde (KML-fil), tillhandahålls i Sweref99, projektionszon 1800

Övrigt utgångsmaterial inklusive egenskaper: Trafikverket kan tillhandhålla följande material digitalt, för planering och genomförande av laserskanningen:

- Stompunkter i plan och höjd
- GSD-Terrängkartan i rasterform med statligt vägnät
- GSD-Fastighetskartan i shape- och DWG-format

Tillhandahålls i Sweref99, projektionszon 1800 och RH 2000

3 Specifikation av genomförande (HMK – Flygburen laserskanning 2017, avsnitt 2.3)

Krav på HMK-standardnivå: Standardnivå 3

Krav på punkttäthet: 20 pkt/m^2

Krav på standardosäkerhet i plan/höjd: 0,02/0,02 m

Krav på skanningsvinkel: -

Krav på insamlingsperiod: Vårsäsongen när det är snö- och lövfritt

Krav på följdprodukter: Krav på klassning av punktmoln samt framtagande av höjdmodell och ortofoto enligt särskilda specifikationer upprättad med hjälp av HMK-Höjddata 2017 respektive HMK-Ortofoto 2017.

Krav på tilläggsspecifikationer: Samtidig flygburen flygfotografering ska utföras enligt särskild specifikation upprättad med hjälp av HMK-flygfotografering 2017

4 Specifikation av leverans (HMK – Flygburen laserskanning 2017, avsnitt 2.4)

Referenssystem

Krav på referenssystem i plan: Allt material ska levereras i plansystem Sweref99, projektionszon 1800

Krav på referenssystem i höjd: RH2000.

Övriga krav: Geoidmodell SWEN 08 ska användas för beräkning av höjder.

Stråk- och stödplan

Krav på format: KML

Krav på namngivning: Överenskoms vid avtalstecknande

Markstöd

Krav på format: ASCII-fil

Krav på namngivning: Överenskoms efter avtalstecknande

Laserdata

Krav på format och ev. version: LAS, version 1.4

Krav på datakomprimering: -

Krav på geografisk uppdelning och indexsystem: Överenskoms vid avtalstecknande

Krav på namngivning: Överenskoms efter avtalstecknande

Positions- och orienteringsdata (GNSS/INS)

Krav på format: -

Krav på namngivning: -

Tilläggskrav på informationsinnehåll: -

Produktionsdokumentation

Tilläggskrav på produktionsdokumentation: -

Metadata

Krav på innehåll: Avvikelser i höjd i övertäckningszonen mellan stråk enligt Tabell 2.4.7.a. Punkttäthetskarta för sista och enda retur levereras enligt Tabell 2.4.7.b.

Krav på format: Avvikelser i höjd mellan stråk samt punkttäthetskartor levereras som georefererade tiff-bilder med 2x2 meters upplösning.

Tilläggsspecifikationer av leverans

Krav på leveransmedia: Hårddisk med gränssnitt USB 3.0

Krav på rådatahantering: Utföraren ska behålla rådata, det vill säga obearbetade bilder och orienteringsdata, i fyra år från insamlingstillfället.
Övriga krav: Flygbilder, ortofoto, och höjdmodell levereras enligt särskilda specifikationer.

5 Specifikation av genomförande (HMK – Flygburen laserskanning 2017, kapitel 3)

Krav 3 a-b i HMK – Flygburen laserskanning 2017 gäller

Rekommendation 3 c i HMK – Flygburen laserskanning 2017 gäller

Krav 3.1.1 a-c i HMK – Flygburen laserskanning 2017 gäller

Rekommendation 3.1.1 d-g i HMK – Flygburen laserskanning 2017 gäller

Krav 3.1.1 h i HMK – Flygburen laserskanning 2017 gäller

Krav 3.1.2 a-c i HMK – Flygburen laserskanning 2017 gäller

Krav 3.1.3 a-h i HMK – Flygburen laserskanning 2017 gäller

Krav 3.2 a-j i HMK – Flygburen laserskanning 2017 gäller

Krav 3.2.1 a-e i HMK – Flygburen laserskanning 2017 gäller

Krav 3.3.1 a-e i HMK – Flygburen laserskanning 2017 gäller

Rekommendation 3.3.2 a i HMK – Flygburen laserskanning 2017 gäller

Krav 3.3.3 a-e i HMK – Flygburen laserskanning 2017 gäller

Krav 3.3.4 a-j i HMK – Flygburen laserskanning 2017 gäller

Kommentar till Trafikverksexemplet:

- Kraven på flygfotografering, höjdmodell och ortofoto är inte med i exemplet. För utformning av krav, se HMK – Flygfotografering 2017, HMK – Höjddata 2017 respektive HMK – Ortofoto 2017.

Bilaga B: Produktionsdokumentation

Produktionsdokumentationen ska redovisa följande:

a) uppdraget
b) uppdragsorganisation, det vill säga utförare och beställare
c) förteckning över levererat material inklusive de filer/produkter som har levererats.

Bilaga B.1 Stråk- och stödplanering

Produktionsdokumentationen ska redovisa:

a) rapport, i PDF/A-format om inte annat anges, som redovisar:
   - referenssystem i plan och höjd
   - punkttäthet
   - övertäckning mellan stråken
   - antal stråk
   - antal markstöd
   - markstödens principiella lägen
   - markstödens planerade storlek, form och eventuell färg
   - skannermodell
   - flyghöjd
   - programvara, inklusive version, för stråkplanering
   - egenkontroll vid planering
   - särskilda överväganden vid planering.

Produktionsdokumentationen ska redovisa följande om beställaren begär det:

b) karta, i PDF/A-format om inte annat anges, där planerade stråk, tvärstråk och markstöd med namn, liksom kartläggningsområdet, tydligt framgår.

Bilaga B.2 Signalering och inmätning av markstöd

Produktionsdokumentationen ska redovisa följande:

a) rapport, i PDF/A-format om inte annat anges, som redovisar:
   - referenssystem i plan och höjd
   - geoidmodell
   - eventuella transformationssamband
   - referensstationer
   - antal markstöd
   - markstödens storlek, form, färg och signaltyp
     (signaltyp = till exempel skiva, målad på marken)
   - mätutrustning
   - mätmetod
   - programvara vid beräkning
   - egenkontroll vid inmätning och beräkning
   - särskilda överväganden vid inmätning och beräkning.

b) lista, i ASCII-format om inte annat anges, över samtliga markstöd med namn, position och signaltyp samt kvalitetsuppgift, datum för signalering och inmätning.

Produktionsdokumentationen ska redovisa följande om beställaren begär det:

c) karta, i PDF/A-format om inte annat anges, där inmätta markstöd liksom kartläggningsområdet och planerade stråk tydligt framgår

d) skiss över signal och signalens läge, alternativt digitalt foto av varje signal och dess omgivning.

Bilaga B.3 Insamling av laser- och GNSS/INS-data samt beräkning av punktmoln

Produktionsdokumentationen ska redovisa följande:

a) rapport, i PDF/A-format om inte annat anges, som redovisar:
- referenssystem i plan och höjd
- geoidmodell och- eventuella transformationssamband
- punkttäthet för alla returer samt sista och enda retur
- övertäckning mellan stråken, antal stråk och flyghöjd
- skanner med serienummer
- GNSS/INS-system
- antenn-offset
- systemkalibrering
- kalibreringscertifikat för använd skanner
- kalibreringsrutiner för skanner och GNSS/INS-system
- programvara vid GNSS/INS-beräkning
- programvara för framkallning av punkter
- programvara vid stråkutjämning
- programvara vid inpassning på givna referenssystem
- referensstation
- väderförhållanden per flygsession (temperatur, vind)
- uppgift om GPS-tid typ (veckotid/absolut GPS-tid)
- grafer eller liknande som redovisar kvalitetsmått som PDOP, antal satelliter, RMS av positioneringslösningen med mera
- beräkningsresultat från inpassning på givna markstöd samt ev. kontroll mot kontrollobjekt – se Bilaga C.2 d.1), särskilt Tabell C.2.b
- beräkningsresultat och grafisk redovisning från analys av överlappande stråk och stråkutjämning enligt exempelkartan i Figur C.2.b i Bilaga C.2 d.2); färgskalan väljs, t.ex. enligt Tabell 2.4.7.a, så att områden där lägesosäkerheten inte motsvarar ställda krav framgår tydligt; orsaken till avvikelser ska redovisas
- punkttäthetskarta för sista eller enda retur grafiskt redovisad enligt exempelkartan i Figur C.2.c i Bilaga C.2 e.1) – med en lämplig färgskala, t.ex. enligt Tabell 2.4.7.b, så att områden där punkttätheten inte motsvarar ställda krav tydligt framgår; orsaken till avvikelser ska redovisas
- egenkontroller vid insamling och efterbearbetning
- särskilda överväganden vid insamling och efterbearbetning.

Produktionsdokumentationen ska redovisa följande om beställaren begär det:

b) karta, i PDF/A-format om inte annat anges, där stråk med namn liksom kartläggningsområdet tydligt framgår.

Bilaga C: Kontroll av 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 filstorlek
- alla filer har korrekt namnsättning
- alla filtyper är öppningsbara.

c) Metadata

Kontrollera att eventuella metadatafiler:

- är kompletta och korrekt ifyllda.

Bilaga C.2 Produkt

d) Lägesosäkerhet

d.1) Kontroll med hjälp av markstöd och kontrollobjekt

Lägesosäkerheten kontrolleras genom jämförelse mellan laserpunktmolnet, efter beräkning enligt avsnitt 3.3.3, och ytor/objekt med kända positioner.

Denna kontroll baseras på:

- *Markstöd* (se avsnitt 3.1.2) som har lägesbestämts och använts för att passa in laserdata mot överordnat referenssystem. Stora avvikelser kan tyda på fel vid georefereringen (GNSS/INS-bearbetningen, GNSS-positionsbestämningen, kalibreringen etc.). Kontrollen utförs av leverantören.
- Oberoende *kontrollobjekt* (se avsnitt 2.3.7) – signalerade eller naturliga. Objekten ska vara jämnt fördelade över projektområdet och inte sammanfalla med markstöden. Beställaren avgör vem som utför kontrollen: i egen regi, som ett tilläggsuppdrag till leverantören eller som ett fristående tredjepartsuppdrag.

Båda typerna av ytor/objekt ska vara geodetiskt inmätta med en lägre standardosäkerhet än den som specificeras för laserdata i uppdraget, se krav 3.2 i-j.

För att undvika inverkan av klassning och punkttäthet placeras stöd- och kontrollobjekten på väldefinierade ytor i öppen terräng. Kontrollen kommer därför att ge en realistisk bild av lägesosäkerheten på öppna väldefinierade ytor men en optimistisk bild av lägesosäkerheten på områden med vegetation, stora lutningar m.m.

I praktiken kan även andra konfigurationer komma ifråga. Exempelvis kan brunnslock och streckmålningar i vägbanan mätas in i såväl plan som höjd (alla fyra hörnen på ett målat streck). Orsaken kan vara att sådana inmätningar behövs i andra sammanhang, för andra ändamål eller för att åstadkomma kombinerade produkter – där laserdata bara är en av flera datakällor.

Det bör dock gå att tillämpa nedanstående kontrollförfarande även i dessa sammanhang. Förfarandet baseras på en metod som beskrivs i referens [4] och bygger på empiriska data. I HMK – Geodatakvalitet 2017, Bilaga A.8, behandlas lägesosäkerhet vs. antalet värdesiffror. Kontrollresultatet redovisas i produktionsdokumentationen, se Bilaga B.3.

Följande storheter – i plan (*N, E)* respektive höjd (*H)* – beräknas separat för markstöd och kontrollobjekt:

- Medelavvikelsen i plan och höjd beräknas som:

$$\Delta\bar{N} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\Delta N_i \qquad \Delta\bar{E} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\Delta E_i \qquad \Delta\bar{H} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\Delta H_i \quad (\textit{skift})$$

$$\Delta\bar{R} = \sqrt{\Delta\bar{N}^2 + \Delta\bar{E}^2} \quad (\text{radiellt } \textit{off-set})$$

  där Δ avser avvikelsen mellan lasermätningen och inmätningen av jämförelseobjektet och n är antalet punkter.

  Skift och off-set ska naturligtvis vara nära noll annars kan man misstänka *systematik.* Stora enskilda Δ-värden bör inte förekomma.

- *RMS-värdena* är ett mått på *mätosäkerheten* och skattas enligt:

$$RMS_{plan} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}\Delta N_i^2 + \sum_{i=1}^{n}\Delta E_i^2}{n}} \qquad RMS_{höjd} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}\Delta H_i^2}{n}}$$

Dessa storheter granskas för att verifiera att erhållen *lägesosäkerhet* överensstämmer med ställda krav. För få kontrollobjekt ger inte särskilt effektiva kontroller – fler jämförelseobjekt innebär säkrare bedömningar.

Tumregler för enskilda och genomsnittliga RMS i ytor/objekt – i plan och höjd – redovisas i Tabell C.2.a Värdena utgår från att jämförelseytorna/-objekten är utformade på det sätt som beskrivs i avsnitt 3.2.

Totalt för hela projektet beräknas även medelskiften i Northing, Easting och höjd samt totalt radiellt off-set i plan. För dessa storheter anger HMK – för tillfället – inga gränsvärden, men de bör redovisas för att ge möjlighet till en kvalitativ granskning av helheten. Dessutom är det naturligtvis möjligt för varje beställare att ställa egna krav även på denna typ av storheter. Läs mer om tumreglerna, toleranser med mera i referens [4].

Tabell C.2.a *"Tumregler" – förslag till gränsvärden – för genomsnittliga och enskilda RMS i förhållande till projektets specificerade standardosäkerhet. Inom parantes framgår faktiska värden på standardosäkerheterna från Tabell 2.3.1 samt beräknade gränsvärden.*

	Plan (mm)			**Höjd (mm)**		
	Standardnivå 1	**Standardnivå 2**	**Standardnivå 3**	**Standardnivå 1**	**Standardnivå 2**	**Standardnivå 3**
Slutproduktens specificerade standardosäkerhet	$\sigma_{plan} = 3 \cdot \sigma_{höjd}$ (300)	$\sigma_{plan} = 3 \cdot \sigma_{höjd}$ (150)	$\sigma_{plan} = 2{,}5 \cdot \sigma_{höjd}$ (50)	$\sigma_{höjd}$ (100)	$\sigma_{höjd}$ (50)	$\sigma_{höjd}$ (20)
Gränsvärde, genomsnittligt RMS för samtliga ytor/objekt i projektet (tumregel)	$1{,}6 \cdot \sigma_{plan}$ (480)	$1{,}6 \cdot \sigma_{plan}$ (240)	$1{,}6 \cdot \sigma_{plan}$ (80)	$1{,}6 \cdot \sigma_{höjd}$ (160)	$1{,}6 \cdot \sigma_{höjd}$ (80)	$1{,}6 \cdot \sigma_{höjd}$ (30)
Gränsvärde, RMS i enskilda ytor/objekt (tumregel)	$2 \cdot \sigma_{plan}$ (600)	$2 \cdot \sigma_{plan}$ (300)	$2 \cdot \sigma_{plan}$ (100)	$2 \cdot \sigma_{höjd}$ (200)	$2 \cdot \sigma_{höjd}$ (100)	$2 \cdot \sigma_{höjd}$ (40)

I det följande ges ett exempel på metodens tillämpning och ett förslag på hur resultatet kan redovisas i Bilaga B.3.

Exempel C.2 d.1):

Exemplet kommer från projektet Nationell höjdmodell, se referens [4]. Jämförelsen avser dels separata/oberoende kontrollobjekt, dels kontroll mot markstödet – **efter** stråkutjämning och inpassning mot stöd.

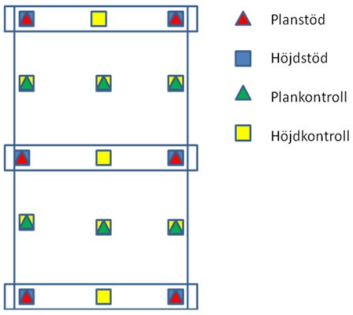
Tabell C.2.b *Exempel på redovisning av kontroll av lägesosäkerheten vid flygburen laserskanning. Gula fält fylls i.*

Kontroll, läges-osäkerhet		Avser:	Markstöd och kontrollobjekt	Antal (n) =	12 i plan 15 i höjd
HMK-Standard-nivå:	1	Specificerade standardosäkerheter			
		Plan (σ_{plan}) =	300 mm	Höjd ($\sigma_{höjd}$) =	100 mm

Test:		**Beräknade värden:**			OK?
Typ av kontroll	**Teststorhet**	**Erhållet**	**Tic**	**Tolerans**	
Systematik, plan	$\Delta\bar{R}$ (radiellt off-set totalt)	3 mm		Finns ej	Ja (sub-jektivt)
Systematik, höjd	$\Delta\bar{H}$ (medelskift i höjd)	21 mm		Finns ej	Ja (sub-jektivt)
Grova fel, plan	antal enskilda $RMS_{plan} > 2\sigma_{plan}$	0 st	>	600 mm	Ja
Grova fel, höjd	antal enskilda $RMS_{höjd} > 2\sigma_{höjd}$	0 st	>	200 mm	Ja
Lägesosäkerhet, plan	genomsnittligt $RMS_{plan} \leq 1,6 \cdot \sigma_{plan}$	161 mm	<	480 mm	Ja
Lägesosäkerhet, höjd	genomsnittligt $RMS_{höjd} \leq 1,6 \cdot \sigma_{höjd}$	48 mm	<	160 mm	Ja

Slutsats: Ur detta kan vi utläsa att projektet totalt sett ligger väl centrerat, utan nämnvärda systematiska avvikelser i vare sig plan (0.021) eller höjd (0.003). Vidare ligger genomsnittliga RMS väl under tumregelns gränsvärden både i plan (0.161 vs. 0.480) och höjd (0.048 vs. 0160). Inte heller några lokala avvikelser (”grova fel”) tycks förekomma. Även om det inte finns några regelrätta toleranser för dessa storheter så ger de som synes tilläggsinformation, som kan vara av betydelse för helhetsbedömningen.

Den principiella placeringen av markstöd, kontrollobjekt och tvärstråk i ett skanningsområde på 25*50 km² i Nationell höjdmodell illustreras av Figur C.2.a.



Figur C.2.a. *Principiell placering av markstöd, kontrollobjekt och tvärstråk inom ett skanningsområde (Källa: Nationella höjdmodellen, Lantmäteriet).*

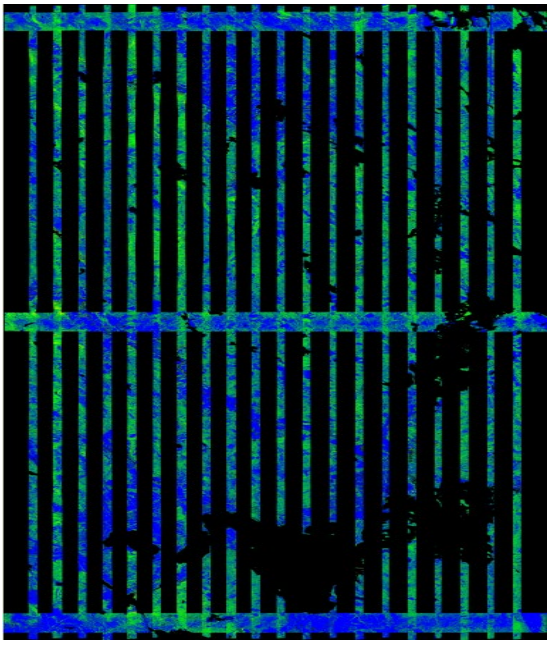
d.2) Stråkutjämning – analys av avvikelser i stråkövertäckningszoner

Analys av avvikelser – primärt vad avser höjdläget – mellan överlappande flygstråk ger möjlighet att upptäcka systematiska och grova fel samt att förbättra de separata stråkberäkningarna genom *stråkutjämning*, se avsnitt 3.3.3.

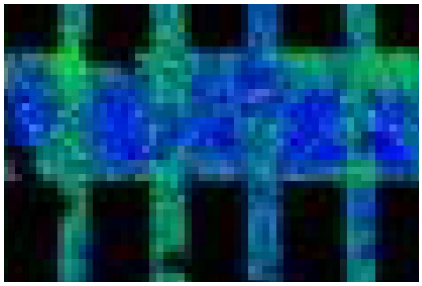
De beskrivna redovisnings- och kontrollprinciperna har två syften:

- De är avsedda att hjälpa **utföraren** att upptäcka eventuella problem, såväl före som efter stråkutjämningen.
- Därefter, och när eventuella förbättringsåtgärder är vidtagna, kan de även användas som verifikation till **beställaren** på att kraven är uppfyllda.

I Figur C.2.b ges ett exempel på grafisk redovisning enligt färgskalan i Tabell 2.4.7.a. I Tabell C.2.c ges en ”tolkningsnyckel” till denna skala. Det är i princip samma färgskala som tillämpas i Nationell höjdmodell.



Delutsnitt:



Figur C.2.b. *Bilderna visar höjdavvikelser i övertäckningen mellan stråk enligt färgskalan i Tabell C.2.c och 2.4.7.a (Källa: Nationell höjdmodell, Lantmäteriet)*

Tabell C.2.c. *Tolkningsanvisningar för RMS-värden/avvikelser i höjd i övertäckningszonen mellan stråk enligt Tabell 2.4.7.a.* $\sigma_{höjd}$ *är standardosäkerheten i höjd enligt den tekniska specifikationen. Färgkoderna följer den relativa färgskala som tillämpas i Nationell höjdmodell, men magenta för "grova fel" är ett tillägg. Färgskalan förskjuts mot det gula/röda vid mer kuperad terräng och tätare vegetation*

Färg	Avvikelsen är	Tolkningsanvisning
Blått	mindre än $\sigma_{höjd}$	oproblematiskt; förekommer ofta på öppna, plana och väldefinierade ytor, såsom vägar, grusplaner och åkrar med mindre växtlighet
Grönt	1 – 2 gånger $\sigma_{höjd}$	ligger betryggande inom den specificerade lägesosäkerheten; förekommer oftare vid något kuperad terräng med viss växtlighet
Gult	2- 3 gånger $\sigma_{höjd}$	OK så länge det inte rör sig om stora sammanhängande områden eller regelbundna mönster, vilket indikerar felanhopningar eller systematik; förekommer oftare vid mycket kuperad terräng och tät vegetation
Rött	3 - 5 gånger $\sigma_{höjd}$	indikerar problem och bör endast förekomma slumpvis, i enstaka kontrollrutor - inte som sjok eller mönster
Magenta	större än 5 gånger $\sigma_{höjd}$	"grova fel", som inte bör förekomma annat än slumpmässigt i enstaka rutor
Svart	dolda (maskade) ytor, t.ex. vattenområden	ingår inte i analysen

Om den valda datainsamlingsmetodens standardosäkerhet bedöms vara avsevärt lägre än den specificerade osäkerheten bör istället detta $\sigma_{höjd}$-värde användas för att sätta upp toleranser/gränsvärden, se HMK – Geodatakvalitet 2017, avsnitt 3.3, som (något förkortat) säger:

- Toleranserna för mätningen ska kopplas till den mätmetod som väljs – inte till de krav som ställs på slutprodukten. Kontrollera därför mätningarna mot denna metods "inneboende" mätosäkerhet, det vill säga den mätosäkerhet som den normalt ger.

För analysen delas överlappningszonerna in i ett rutnät med lämplig rutstorlek – förslagsvis enligt Tabell 3.3.1, dvs. mellan 10x10 och 5x5 meter för HMK-standardnivå 1, 2,5x2,5 meter för standardnivå 2 och 2x2 meter för standardnivå 3. I varje kontrollruta beräknas avvikelsen mellan de punkter i respektive stråks lasermoln som klassats som markpunkter – t.ex. i form av ett RMS-värde, enligt följande beskrivning från Nationell höjdmodell.

Exempel C.2 d.2): Höjdvärdet för varje markklassad laserpunkt inom kontrollrutan i det ena stråket jämförs med motsvarande **interpolerade** värde i det andra stråket. Interpoleringen görs med hjälp av kringliggande punkter, t.ex. via ett TIN. Därefter beräknas RMS för skillnaderna mellan höjdvärdena i varje ruta enligt formeln:

$$RMS_{dh} = \sqrt{\sum_{i=1}^{n} \frac{(h_{stråk1} - h_{stråk2})_i^2}{n}} = \sqrt{\sum_{i=1}^{n} \frac{dh_i^2}{n}}$$

där n = antalet punkter som jämförs.

På motsvarande sätt kan ett RMS-värde beräknas för ett helt stråk eller ett skanningsområde. Detta beräkningsförfarande förutsätts i Tabell C.2.c (och även i Tabell C.2.d nedan), men det finns alternativa sätt att skatta avvikelserna.

Bara det faktum att det här är fråga om en **differens** mellan två värden motiverar högre gränsvärden än i Tabell C.2.a. Dessutom kommer flera olika terrängtyper att ingå i analysen. Även det kan medföra en högre beräknad lägesosäkerhet än mot markstöd och kontrollobjekt; de senare väljs ut subjektivt efter sin lämplighet.

Tumregler för kontroll av RMS-värden i höjd – för stråk/skanningsområden respektive enskilda kontrollrutor – redovisas i Tabell C.2.d. Som brukligt är gränsvärdet för ”grova fel” satt till tre gånger högre än det för den genomsnittliga mätosäkerheten, jfr *3 sigma-principen*.

Tabell C.2.d. *”Tumregler” – förslag till gränsvärden för RMS i förhållande till projektets specificerade standardosäkerhet. $\sigma_{höjd}$ är den standardosäkerhet i höjd som beställaren har angett vid sin kravställning.*

Gränsvärde för RMS-värden avseende hela stråk eller skanningsområden	vid stor förekomst av öppna, plana och väldifinierade ytor	1-2 gånger $\sigma_{höjd}$
	vid kuperad terräng och tät vegetation	2-3 gånger $\sigma_{höjd}$
	vid stor förekomst av mycket kuperad terräng och tät vegetation	3-4 gånger $\sigma_{höjd}$
Gränsvärde för RMS-värden/avvikelser i enskilda kontrollrutor, ”grova fel”		3 gånger ovanstående värden

I bebyggda områden kan man även kontrollera avvikelser mellan hustak eller andra distinkta objekt i stråkövertäckningszonerna.

En fördel med det är att markklassningens osäkerhet inte inverkar som vid analys av höjdskillnad mellan markhöjdmodeller, samt att samma objekt kan användas för uppskattning av relativ osäkerhet i både höjd och plan.

En begränsning är att lämpliga objekt bör finnas spridda inom hela området. För kontroll av motsättningar i plan kan även detaljer synliga i intensitetsdata användas.

Det numeriska och grafiska kontrollresultatet redovisas i produktionsdokumentationen, se Bilaga B.3.

d.3) Avvikelse i höjd mellan mörka och ljusa ytor

För att verifiera god korrektion av mätta avstånd baserat på intensitet ska höjdskillnader mellan angränsande mörka och ljusa ytor kontrolleras i laserdata med hög punkttäthet. Större vägmarkeringar på mörk asfalt kan vara lämpliga objekt. En bristfällig korrektion leder normalt till att vägmarkeringar avviker i höjd från omkringliggande asfalt.

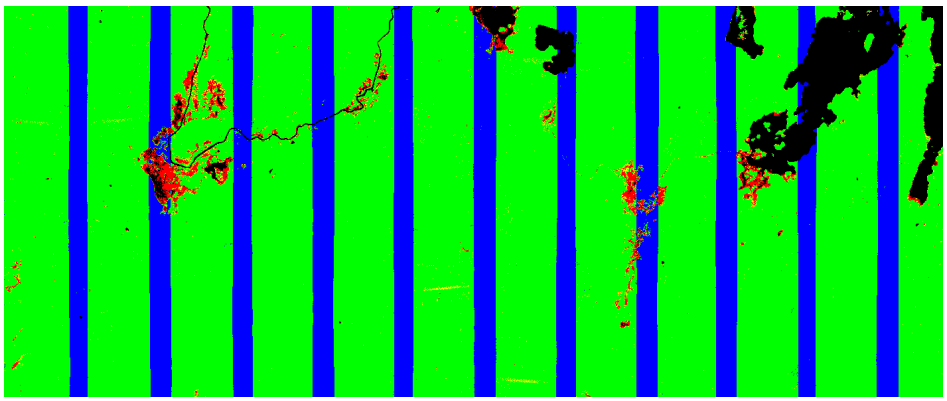
e) Fullständighet

e.1) Punkttäthet och distribution

Punkttätheten kan bli lägre på ytor med låg reflektans i laserns våglängd. Vattenytor eller våta objekt, och mörka ytor som nylagd asfalt, är exempel på ytor med låg reflektans. Mindre avvikelser från den planerade punkttätheten, exempelvis orsakade av mörka ytor eller vatten, kan accepteras så länge inga glipor uppstår mellan stråken. Skanningsmönster och eventuell repetitiv datainsamling beaktas.

Övertäckning mellan stråk och eventuell övertäckning mot angränsande områden måste 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. Det är naturligt med låg punkttäthet på markytan i översvämmade områden och i tät skog.

Exempelkartan i Figur C.2.c är framställd med den relativa skala som definieras i Tabell 2.4.7.b.



Figur C.2.c. *Punkttäthet för enda eller sista retur redovisad i rasterform med relativ färgskala. Blå färg indikerar en täthet som är dubbelt så hög som den efterfrågade och förekommer främst i övertäckningszoner mellan stråk. Grön färg indikerar en täthet ner till den efterfrågade. Gul och röd färg indikerar att tätheten inte uppfyller ställda krav och förekommer i detta fall i anslutning till vattenytor, som visas i svart färg. (Källa: Nationell höjdmodell, Lantmäteriet)*

e.2) Täckning, returer och intensitetsvärden

Kontrollera att laserdata:

- täcker hela kartläggningsområdet
- inga glipor eller hål finns i data som inte är accepterade (vatten och mörka ej reflekterande ytor)
- har multipla returer i område med vegetation.

Intensitet och returinformationen utgör en viktig del av den insamlade datamängden, både som indikatorer på instrumentets funktion och som hjälp vid klassning och kartering. Informationen kan kontrolleras visuellt genom en intensitetsbild respektive en punktäthetskarta för alla returer eller genom statistiska metoder.

f) Tematisk osäkerhet

Genomför visuell kontroll:

- Granska punktmolnet som en skuggmodell (shaded surface), färgsatt höjdintervallsbild och/eller kurvbild för att hitta spikar och andra felaktigheter.
- Betraktning i isometric/front vy ger mer information och kan till exempel visa hur kvarvarande yta ser ut när bro har klassats - var börjar och slutar bron?
- Vegetation i diken kan upptäckas i front vy.
- Skuggmodell kan visa ofullständigt klassade branter och vallar.
- Skuggmodell kan visa ojämnheter på vägyta.
- Skuggmodeller kan också visa felaktig markklassning på altan, husvägg, bilar på parkering, vegetation på myr och åkrar.
- Ortofoto kan hjälpa till att avgöra vattenytors avgränsning mot land (till exempel identifiera vass).

g) Användbarhet

Övriga insamlingsparametrar kontrolleras vi behov:

- punkttätheten, genom att till exempel mäta tätheten på centrala platser i insamlingsområdet
- punktdistributionen, verifiera att avståndet inte överstiger de angivna värdena i längs- och tvärled
- skanningsvinkel
- insamlingsperiod med insamlingsdatum för stråk.

Bilaga C.3 Fördjupad kontroll vid behov

Ytterligare kontroll bör göras om tidigare kontrollsteg har påvisat oklarheter eller eventuella brister. Sådana kontroller ställer dock krav på beställarens kompetens och tillgång till lämpliga programvaror.

h) Kontroll av markytans återgivning (enligt SIS TS 21144:2016)

För att få helhetsbild på lägesosäkerhet på olika typer av markytor i en markhöjdmodell kan kontroll utföras med stöd av olika metoder, t ex jämförelse mot kontrollprofiler, beskrivna i referens [2]. Metoderna bygger på att laserpunktmolnet markklassificeras och att markhöjdmodell tas fram i de områden som ska testas, se HMK – Höjddata 2017.

i) Markstöd och kontrollobjekt

Beräkningsresultaten granskas för att verifiera att:

- erhållen standardosäkerhet vid geodetisk mätning av markstöd och kontrollobjekt överensstämmer med specificerade krav
- använd geodetisk mätmetod ger önskad lägesosäkerhet, se HMK – Kravställning vid geodetisk mätning 2017, kapitel 3.

j) GNSS/INS-data

Beräkningsresultaten granskas för att verifiera att:

- beräknade positionerings- och orienteringsdata inte uppvisar signifikanta brister eller avvikelser.

k) Georeferering

Beräkningsresultatet granskas för att verifiera:

- stråkutjämning
- att antal och placering av markstöd är acceptabelt
- geodetiska utgångspunkter.