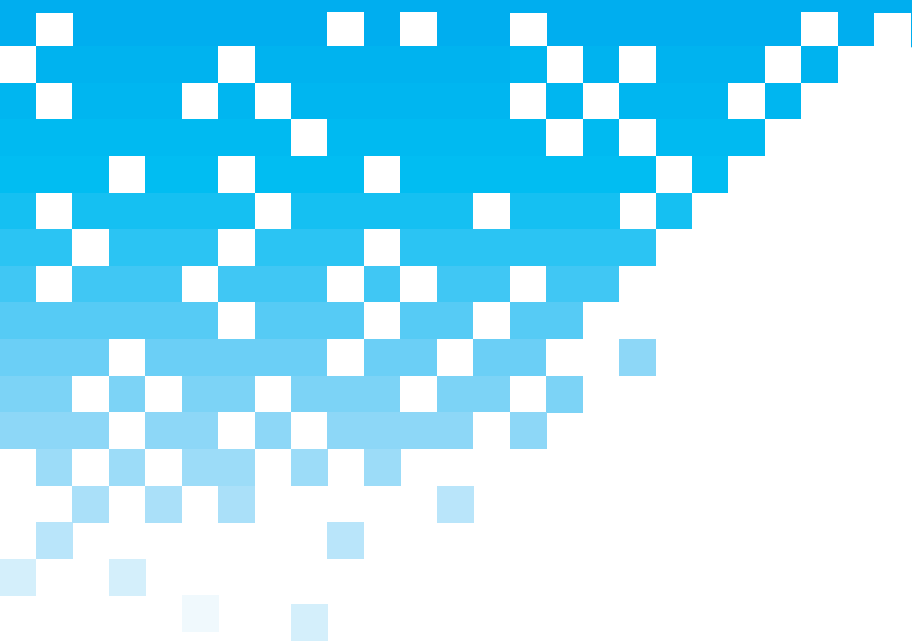


**HMK**  
- handbok i mät- och kartfrågor

# Fordonsburen laserskanning

2017



## Förord 2017

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

Denna version, *HMK – Fordonsburen 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

<b>1</b>	<b>Inledning</b>	<b>5</b>
<b>2</b>	<b>Teknisk specifikation</b>	<b>6</b>
2.1	Allmän beskrivning	6
2.2	Specifikation av utgångsmaterial	6
2.3	Specifikation av produkten	7
2.3.1	HMK-standardnivå	7
2.3.2	Punkttäthet och geometrisk upplösning	8
2.3.3	Lägesosäkerhet	10
2.3.4	Laser- och bildtäckning	11
2.3.5	Följdprodukter	11
2.3.6	Tilläggspecifikation	12
2.4	Specifikation av leverans	14
2.4.1	Referenssystem	14
2.4.2	Markstöd	14
2.4.3	Laserdata	14
2.4.4	Bilddata	15
2.4.5	Positions- och orienteringsdata (GNSS/ INS med mera)	16
2.4.6	Produktionsdokumentation	17
2.4.7	Metadata	17
2.4.8	Tilläggspecifikation av leverans	19
<b>3</b>	<b>Genomförande</b>	<b>20</b>
3.1	Planering av insamling	20
3.1.1	Planering av markstöd	20
3.1.2	Leverans	21
3.2	Signalering och inmätning av markstöd	21
3.2.1	Leverans	23
3.3	Insamling av laser-, bild- och GNSS/INS-data	23
3.3.1	System och utrustning	23
3.3.2	Insamlingsförhållanden	24
3.3.3	Insamling	25
3.3.4	Beräkning av positions- och orienteringsdata (GNSS/INS)	25
3.3.5	Beräkning av punktmoln	26
3.3.6	Leverans	27
<b>4</b>	<b>Beställarens kontroll</b>	<b>28</b>
<b>5</b>	<b>Referenser/Läs mer</b>	<b>29</b>

<b>Bilaga A:</b>	<b>Mall och exempel för upprättande av teknisk specifikation .....</b>	<b>30</b>
Bilaga A.1	Mall för teknisk specifikation .....	30
Bilaga A.2	Exempel på ifylld mall för Trafikverket.....	33
<b>Bilaga B:</b>	<b>Produktionsdokumentation .....</b>	<b>36</b>
Bilaga B.1	Projektplanering .....	36
Bilaga B.2	Signalering och mätning av markstöd .....	37
Bilaga B.3	Insamling av laser- och GNSS/INS-data .....	38
<b>Bilaga C:</b>	<b>Kontroll av laserdata .....</b>	<b>40</b>
Bilaga C.1	Komplett leverans .....	40
Bilaga C.2	Produkt .....	41
Bilaga C.3	Fördjupad kontroll vid behov .....	48

# 1 Inledning

## Information

För eventuella fortlöpande justeringar av detta dokument, se [HMK-loggen](#).

HMK-Fordonsburen laserskanning 2017 behandlar laserdata insamlade genom fordonsburen laserskanning med bilddata som komplement.

Dokumentet stödjer:

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

Följande HMK-standardnivå omfattas, läs mer i [HMK - Geodatakvalitet 2017](#), avsnitt 2.6.

- HMK-standardnivå 3: Projektinriktad mätning och kartläggning för projektering och byggande.

HMK - Fordonsburen laserskanning är i första hand anpassad för detaljprojektering och framtagande av **markhöjdmodeller** enligt standardnivå 3, men kan med mindre modifieringar även användas för andra tillämpningar av fordonsburen laserdatainsamling.

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.

## Avgränsningar

System som endast samlar in bilder och/eller video behandlas inte i HMK-Fordonsburen laserskanning 2017. Flygburen insamling av laserdata för standardnivå 1-3 behandlas i dokumentet [HMK - Flygburen laserskanning 2017](#).

## 2 Teknisk specifikation

### Rekommendation

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

Vid upprättande av *teknisk specifikation* använder beställaren detta avsnitt 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 fordonsburen laserdatainsamling.

För mer information om teknisk specifikation och dataproduktspecifikation, se [HMK - Introduktion 2017](#), avsnitt 2.1, och [HMK - Geodatakvalitet 2017](#), Bilaga B. **Dataproduktspecifikation enligt SS-EN ISO 19 131 benämns *dataspecifikation* på [geodata.se/Inspire](http://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. Om produkten ska användas för tolkning och mätning av objekt bör en lista på aktuella objekttyper bifogas. Viktigt är att klargöra att även objekttyper som korsande broar, kraftledningar och liknande täcks in.

### 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.

### **Insamlingsområde**

Omfattning av datainsamlingen kan anges i en geografisk beskrivning av de *körspår (trajectory)* och eventuella anslutande delar av spår- och väganläggningar som ska ingå.

### **Befintligt material**

Befintligt material, som kan underlätta och effektivisera planering och genomförande av uppdraget, är till exempel stompunkter och befintligt markstöd – med tillhörande metadata och kvalitetsuppgifter. Ska klassning av laserdata genomföras kan även information om vägar, broar, byggnader, vegetation med mera underlätta arbetet.

## **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. I detta dokument beskrivs endast datainsamling enligt standardnivå 3.

Därför redovisar sammanställningen Tabell 2.3.1 parametervärden bara för denna 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.

Standardnivå 3 är lämplig för projekt där målet är en detaljerad **markhöjdmodell** eller detaljerad modellering av objekt ovan mark. Exempel på användningsområden är projektering och modellering av infrastruktur inom väg och järnväg i befintlig sträckning.

Fordonsburen laserskanning kan också med fördel användas i miljöer med stora trafikmängder där terrester mätning skapar trafikstörningar och arbetsmiljörisker.

Fordonsinsamlade laserdata kan kombineras med Nationell höjdmodell eller andra laserdata från flygburen insamling. På så sätt erhålls en hög detaljeringsgrad och samtidigt en bred korridor som även kan täcka in områden med obruten mark.

**Tabell 2.3.1.** Sammanställning av parametrar för standardnivå 3 vid fordonsburen laserskanning.

Parametrar	Standardnivå 3
Punkttäthet, fordonsburen laserdata-insamling (punkter /m <sup>2</sup> ) <sup>I)</sup>	1500
Geometrisk upplösning, bilder (m) <sup>II)</sup>	0,01
Lägesosäkerhet, ideala förhållanden Plan/Höjd (m) <sup>III)</sup>	<0,02/ <0,02

<sup>I)</sup> För definition av punkttäthet i laserdata vid fordonsburen insamling se avsnitt 2.3.2. Angivet värde är ett vanligt förekommande parametervärde. Beställaren väljer ett värde för sitt ändamål.

<sup>II)</sup> För definition av geometrisk upplösning för bilder vid fordonsburen insamling se avsnitt 2.3.2. Angivet värde är ett vanligt förekommande parametervärde. Beställaren väljer ett värde för sitt ändamål.

<sup>III)</sup> Lägesosäkerhet avser **absolut** standardosäkerhet i plan för väldefinierade objekt och i höjd på plana, väldefinierade ytor. Andra värden kan väljas av beställaren, se Tabell 2.3.2.c och avsnitt 2.3.3. I vissa tillämpningar kan separata krav ställas på lokal och absolut lägesosäkerhet.

## 2.3.2 Punkttäthet och geometrisk upplösning

### Rekommendation

- Beställaren ställer krav på punkttäthet för sista eller enda retur.
- Beställaren ställer krav på bildens geometriska upplösning.

Punkttäthet vid fordonsburen laserskanning avser antalet punkter på markytan (sista eller enda retur) per kvadratmeter för kontrolllytor längs med körspåret. En kontrolllyta (för punkttäthet) definieras som en kvadrat med 2 meters sida centrerad över körspåret (*trajectory*).

Med geometrisk upplösning avses avståndet på marken mellan två närliggande pixel-centra i en bild. Geometrisk upplösning för bilder vid fordonsburen laserdatainsamling avser upplösningen på ett avstånd av 10 meter från kameran. 0,01 m är ett rekommenderat värde.

Punkttätheten har stor betydelse vid tolkning av detaljer och företeelser i laserdata. Beställaren kan alternativt välja att specificera vad som ska vara möjligt att tolka i laserdata men överlåta till utföraren att bestämma vilken punkttäthet som krävs för att uppfylla ställda krav.

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

Punkter/m <sup>2</sup>	Punktavstånd (m)
1500	0,025



Punkttätheten kan bli lägre på ytor med låg eller ingen reflektans i lasersens våglängd. Exempel på ytor som kan ge lägre punkttäthet är vattenytor, fuktiga ytor, glastrutor och mörka ytor såsom nylagd asfalt.

Den slutliga punkttätheten påverkas även av topografi och eventuella skymmande objekt såsom plank, tät vegetation, byggnader och höga slänter.

**Tabell 2.3.2.b.** Objekt som är möjliga att identifiera i punktmolnet med punkttäthet enligt standardnivå 3. Definition av klasser framgår av Tabell 2.3.2.c.

Objekt	1500 punkter /m <sup>2</sup> Klass
Väggkant asfalt	2
Väggkant grus	2
Väg målad linje hel	1
Väg målad linje "spärrad"	1
Stödremsekant	3
Kantstöd	1
Broar	1
Spår	1
Byggnad bostad husliv (3 sidor)	2
Uthus och mindre byggnader husliv (3 sidor)	2
Trappa	2
Altan	2
Luftledning	2
Stolpar	2
Trafikskyltar (bärande stolpar)	2
Kraftledningsstolpe	2
Elskåp	2
Hägnader/stängsel	2
Staket	2
Plank	2
Murar	2
Vägräcken	2
Diken	3
Slänter	3
Brunnar	2

**Tabell 2.3.2.c.** Generell klassning av **markhöjdmodell**, enligt Tabell 6 i referens [1]. Medelavvikelse kontrolleras enligt kapitel 10 i referens [1].

Klass	Maximal medelavvikelse 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 byggnadsverk 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 upprättande av bergmodell
4	0,15	Projekteringsunderlag för arbetsplan väg och systemhandling järnväg i jämn terräng
5	0,20	Underlag för arbetsplan väg och systemhandling järnväg i ojäm och kuperad terräng
6	0,30	Översiktlig projektering i jämn terräng. Väg- och järnvägsutredning i och i närheten av samhällen
7	0,50	Översiktlig projektering i ojäm 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

### 2.3.3 Lägesosäkerhet

#### Rekommendation

- a) Beställaren ställer krav på lägesosäkerhet. Om strängare krav ställs på lokal lägesosäkerhet jämfört med absolut lägesosäkerhet ges detta som ett särskilt krav.

Krav på lägesosäkerhet avser primärt "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 och höjd för tydligt identifierbara *kontrollobjekt* på jämna hårdgjorda ytor mätta i punktnolnet –

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.

Krav på lägesosäkerhet ställs utifrån användningen av den beställda produkten (se Tabell 2.3.2.c):

- Krav på standardosäkerheten i höjd för detaljprojektering i klass 1-3 bör inte överstiga 0,10, 0,05 m respektive 0,02 m på öppna plana hårdgjorda ytor.
- Handlingar för byggande (klass 1) kräver vanligen en standardosäkerhet på 20 mm eller bättre i både plan och höjd, vilket ställer särskilda krav på datainsamlingen. En låg lägesosäkerhet är av stor vikt för att få korrekta volymer samt för att undvika motsättningar i relation till andra geodata.
- Det förekommer också, exempelvis vid översiktlig planering, förstudier och lokaliseringsöversikter, höga krav på tolkbarhet medan den absoluta lägesosäkerheten är mindre viktig.
- I vissa tillämpningar ställs separata krav på **lokal** lägesosäkerhet (t.ex. inom ett vägområde) och **absolut** lägesosäkerhet (t.ex. vägens läge i förhållande till sin omgivning), med strängare krav på det förstnämnda.

Läs mer om lägesosäkerhet i referens [5] samt i [HMK - Geodatakvalitet 2017](#), kapitel 1: *Georeferering och lägesosäkerhet*.

#### 2.3.4 Laser- och bildtäckning

##### Rekommendation

Beställaren ställer krav på laser- och bildtäckning i form av:

- a) avstånd i alla riktningar från körspåret till objekt som ska täckas.

Exempelvis kan avståndet avse enbart vägbredden eller vägbredden samt området från vägkant och minst 20 meter utåt.

#### 2.3.5 Följprodukter

##### Information

Följande följdprodukter stöds av andra HMK-dokument:

- klassificerat punktmoln, **markhöjdmodell**, **ythöjdmodell**, höjdkurvor och **höjdpunkt** i [HMK - Höjddata 2017](#).

## 2.3.6 Tilläggspecifikation

### Rekommendation

- a) Beställaren specificerar eventuella övriga krav på genomförandet.

Beställaren bör inte detaljstyra genomförandet, utan så långt som möjligt överlämna det till utföraren enligt beskrivning i kapitel 3.

Nedan ges exempel på några tillägg/avsteg från kraven i kapitel 3 som ändå kan vara aktuella.

### Kontrollprofiler enligt SIS TS 21144:2016

Vid behov av kontrollprofiler enligt [SIS TS 21144:2016](#) specificeras detta av beställaren.

För att få en bild av lägesosäkerheten på olika typer av markytor i en **markhöjdmodell** kan kontroll utföras med stöd av de metoder som beskrivs i kapitel 10 i referens [1]. Metoderna bygger på att laserpunktmolnet markklassificerats och att en **markhöjdmodell** tagits fram.

### Markstöd

Beställaren låter normalt utföraren bestämma antal *markstöd*. Om annan hantering önskas specificeras antalet av beställaren. Signalering och inmätning av markstöd utförs enligt kraven i avsnitt 3.1.1 och 3.2.

Markstöd används för att ansluta mätprojektet till ett referenssystem – i höjd, plan eller 3D – samt för att justera georefereringen. De utgörs av väldefinierade objekt, naturliga eller markerade. Markstöden innehåller en eller flera referenspunkter med kända positioner – vanligen bestämda med geodetiska metoder, t.ex. nätverks-RTK.

Markstöd bör, som minimum, läggas i början och slutet av insamlingsområdet samt i de delar där positioneringen vid datainsamlingen uppvisar brister som överstiger efterfrågad lägesosäkerhet för slutprodukten.

### Kontrollobjekt

Vid behov av särskilda *kontrollobjekt* specificeras antal och placering av beställaren. Vad gäller utformning/signalering och inmätning ställs samma krav som för markstöd, se avsnitt 3.1.1 och 3.2.

Kontrollobjekt används för att kontrollera anslutningen till referenssystemet och verifiera lägesosäkerheten i laserdata. De utformas och positionsbestäms på samma sätt som markstöden men ska vara geografiskt åtskilda från dessa och får inte ingå i anslutningsberäkningen. Även kontrollobjekten kan vara naturliga eller markerade.

### Samtidig insamling av video

Video används som komplement till laser- och bilddata. Vid behov specificeras detta av beställaren som även anger önskad kameravy och riktning.

### Avstånd mellan bilder och kameravy

Beställaren kan välja att specificera krav på önskat avstånd mellan bilder samt kameravy för att säkerställa lämplig nivå på bildmaterialet. Lämpligt avstånd mellan bilder är cirka 10-15 meter och minst en kamera bör vara riktad i körriktningen. Vid färgsättning av punktmoln bör bildintervallet inte överstiga 10-15 m.

### Färgsättning av punktmolnet

Eventuella krav på färgsättning av punktmoln specificeras vid behov av beställaren.

Färg är *radiometrisk information*, som i efterhand kan draperas på punktmolnet med hjälp av positionsbestämda bilder, se Figur 2.3.5. Intensitet och färg underlättar tolkning och digitalisering av objekt i punktmoln. Ett färgsatt punktmoln är också användbart vid till exempel visualisering av befintliga miljöer.

Kvaliteten på färgsättningen beror på vilken typ av kamera som används. Även bildavstånd och rådande ljusförhållanden är avgörande.



**Figur 2.3.5.** Exempel på punktmoln motsvarande standardnivå 3, färgsatt med RGB-värde från bilder.

### Nyckelpunkter

Eventuella krav på nyckelpunkter specificeras vid behov av beställaren.

Efter markklassning glesas då punkterna ut så att endast nyckelpunkter återstår. Det gör det möjligt att behålla en hög detaljeringsgrad och samtidigt minska datamängden.

## 2.4 Specifikation av leverans

Beställaren specificerar vilka produkter som ska levereras, vilka krav som ställs på dessa samt eventuella tilläggskrav på produktionsdokumentationen.

### 2.4.1 Referenssystem

#### Rekommendation

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

Läs mer om Sweref 99 och RH 2000 samt relationer mellan olika referenssystem och projektionszoner i [HMK - Geodetisk infrastruktur 2020](#), kapitel 2.

Om beställaren inte har ett aktuellt transformations samband kan sådant upprättas som en del av uppdraget enligt [HMK - Geodetisk infrastruktur 2020](#), kapitel 2.

### 2.4.2 Markstöd

#### Rekommendation

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

### 2.4.3 Laserdata

#### Rekommendation

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

## Filformat

Punktmoln från laserskanning eller bildmatchning levereras lämpligen i ASPRS LAS-format (referens [3]), 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.

## Filstorlek och geografisk uppdelning

Vid fordonsburen laserskanning delas punktmolnet lämpligtvis upp i segment. Segmentens längd bör väljas så att datamängden blir hanterbar i de programvaror som används vid vidare bearbetning.

Vid datainsamling enligt Standardnivå 3 med cirka 1500 punkter/m<sup>2</sup> bör segmentlängden inte överstiga cirka 600 meter. Segmentets längd ska dock anpassas efter aktuell punkttäthet, vilket bör beaktas exempelvis vid överlappande data.

## Namngivning av filer, stråk/körspår med mera

Namngivning av filer, stråk/körspår med mera bör ske på ett strukturerat sätt och anpassas till beställarens verksamhet.

### 2.4.4 Bilddata

#### Rekommendation

- a) För bilddata och eventuella videodata definierar beställaren:
  - krav på filformat och datakomprimering
  - krav gällande namngivning på filer
  - krav på informationsinnehåll och filformat för bildmetadata.



## Filformat och datakomprimering

Bilddatafiler, i form av färgbilder, levereras lämpligtvis som JPEG och eventuellt rådataformat.

## Namngivning av filer

Namngivning av filer bör ske på ett strukturerat sätt och anpassas till beställarens verksamhet.

## Bildmetadata

**Tabell 2.4.4.** Metadata till bilder i EXIF-format (Referens [4])

<b>Obligatoriska EXIF-attribut[3]:</b>		0x02: GPSLatitude 0x04: GPSLongitude 0x07: GPSTimeStamp 0x1D: GPSDateStamp 0x12: GPSMapDatum (Kordinatsystem)
<b>Attribut som kan förbättra positioneringen av bilden:</b>		0x11: GPSImgDirection, anger riktning för kamera vid fototillfället (heading) vilket kan användas för att detektera riktning på väg samt filtrera troliga vägar 0x0d: GPSSpeed, kan användas för att ignorera import av bilder vid stillastående samt filtrering av möjliga vägar

## 2.4.5 Positions- och orienteringsdata (GNSS/ INS med mera)

### Rekommendation

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

Beställaren anpassar, vid behov, kraven på informationsinnehåll i GNSS/INS-data. Om annan hantering önskas än genomförandekrav enligt 3.3.6 f-h 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 3.1.2 e-f för planering, 3.2.1 e-f för markstöd och/eller 3.3.6 i-j för laserdata m.m, specificeras detta av beställaren.

Exempel på tillägg till genomförandekrav är:

- karta med planerade körspår och markstöd enligt punkt b) i Bilaga B.1, karta med inmätta markstöd enligt punkt c) och skiss/foto enligt punkt d) i Bilaga B.2
- karta med stråk/körspår enligt punkt b) i Bilaga B.3.

#### 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 metadata-tjänster. Kan även utgöra ett komplement till produktionsdokumentationen.

Metadata specificeras av beställaren och bör innehålla:

- Karta över avvikelser i höjd i övertäckningszonen mellan stråk/körspår, se Figur C.2.a.
- Punkttäthetskarta för sista och enda retur, se Figur C.2.b.

Punkttäthetskarta redovisas som en georefererad *tiff*-bild i det koordinatsystem som beställaren specificerat. Kartan/bilden bör ha en upplösning på 2 x 2 meter. Färgskalorna definieras i Tabell 2.4.7.a (avvikelser mellan stråk/körspår) 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 körspår. Färgkoderna följer den färgskala som tillämpas i Nationell höjdmmodell. (En "tolkningsnyckel" till skalan finns i Tabell C.2.b.)

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 standardosäkerheten (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 höjdmmodell.

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.

#### Filformat och namngivning för metadata

Kartorna levereras lämpligen som georefererade *tiff*-bilder, eller liknande. Eventuella projektmetadata levereras i ett öppet filformat, läsbart i texteditor, eller definierat av beställaren.

## 2.4.8 Tilläggspecifikation av leverans

### Rekommendation

- a) Beställaren specificerar eventuella övriga krav på leverans.

### Prov- och delleveranser

Eventuella krav på prov- eller delleveranser, för godkännande av till exempel körplan, laserkvalitet eller orienteringsdata ställs vid behov.

Kör- och stödplaner granskas innan datainsamlingen påbörjas, för att säkerställa att planering genomförts enligt kraven i den tekniska specifikationen.

### Leveransmedia och katalogstruktur

Eventuella krav på leveransmedia och katalogstruktur för leverans av filer och produkter specificeras vid behov.

### Rådatahantering

Eventuella krav på att leverantören ska leverera rådata och/eller delresultat i förädlingskedjan specificeras vid behov.

Alternativt kan eventuella krav på lagring av data för beställarens räkning samt på hur länge data ska finnas tillgängliga hos leverantören ställas.

### Visningsverktyg

Eventuella krav på ett licensfritt visningsverktyg med leveransen ställs vid behov.

## 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

Projektplanering avseende geografisk täckning, markstöd med mera genomförs och dokumenteras.

#### 3.1.1 Planering av markstöd

### Krav

Markstöd ska:

- a) anpassas i antal och geografiskt läge för att uppnå kraven på lägesosäkerhet i slutprodukten
- b) anpassas till den förväntade mätosäkerheten vid datainsamlingen
- c) finnas i början och slutet av insamlingsområdet för att erhålla god kontroll och för att säkerställa lägesosäkerheten.

### 3.1.2 Leverans

#### Krav

Leverans av planerade markstöd ska:

- a) vara kvalitetskontrollerad och komplett
- b) innehålla de planerade markstödens namn och position
- c) levereras i det filformat som anvisats av beställaren enligt avsnitt 2.4.2
- d) levereras med den namngivning som anvisats av beställaren enligt avsnitt 2.4.2.

Leverans av produktionsdokumentation ska:

- e) vara kvalitetskontrollerad och komplett
- f) bestå av rapport enligt punkt a) i Bilaga B.1 om beställaren inte särskilt anger annat.

### 3.2 Signalering och inmätning av markstöd

#### Krav

Signalering och inmätning av markstöd ska:

- a) ske i anslutning till insamlingen för att säkerställa aktualitet.

Markstöd ska till sin utformning:

- b) i första hand signaleras horisontellt
- c) placeras så att de kan identifieras i punktmolnet och i samtliga bilder som innefattar punkten
- d) utgöras av naturligt stöd eller markeras med signal som säkerställer god kontrast mot omkringliggande yta
- e) väljas eller anpassas i form och storlek så att signalernas centra är lätta att mäta.

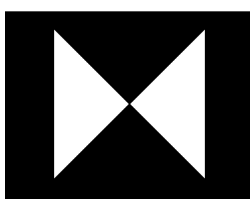
Inmätning av markstöd ska:

- f) ske med en standardosäkerhet, inklusive eventuella utgångspunkters mätosäkerhet, som inte överstiger 1/3 av standardosäkerheten i slutprodukten - enligt den tekniska specifikationen
- g) ske med lämplig geodetisk mätmetod enligt [HMK - Kravställning vid geodetisk mätning 2017](#), kapitel 3. Kontroll kan göras med hjälp av [HMK - Geodatakvalitet 2017](#), Bilaga A.2.

### Signalutformning

Väl synliga naturliga markstöd som vägmarkeringar väljs i första hand som signaler. Om naturliga markstöd saknas ska signaler utformas så att de är enkla att identifiera och mäta i punktmolnet och bilderna. Storleken på signalen anpassas efter punkttätheten och eventuellt bildens upplösning. 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 på signal ska signalens centrum vara lätt att bestämma.



**Figur 3.2.** Exempel på signalutförande, diamant. (Bild: Lantmäteriet)

### Inmätning av markstöd

Mätosäkerheten hos markstöden har stor inverkan på lägesosäkerheten i slutprodukten. Om brister, orsakade av felaktigt utförd mätning eller dåliga inmättningsförhållanden, uppdagas vid beräkning av markstöd, måste punkten mätas om eller ersättas med ett naturligt markstöd där bättre inmättningsförhållanden råder.

Olika felkällor ska tas med i beräkningen när mätosäkerheten för markstöden bedöms. Till exempel är det viktigt att utreda stomnätets kvalitet när en produkt för detaljprojektering med krav på låg osäkerhet skall framställas.

Kravet på standardosäkerhet på  $\leq 1/3$  av laserskanningens mätosäkerhet avser inmätning av ett markstöd. Genom att lägga ut multipla markstöd kan kravet på den enskilda mätningen minska. Standardosäkerheten i bestämningen av en yta bestående av flera inmätta punkter minskar med antalet punkter, 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 i referens [5], eller så väljs en metod, till exempel RUFRIIS med projektanpassad nätverks-RTK, som klarar kraven i sig. Projektanpassad nätverks-RTK kan vara gångbart genom användning av multipla markstöd. Nätverks-RTK mot SWEPOS är inte lämplig för standardnivå 3. Läs mer om kontroll av mätosäkerheten vid mätning med Nätverks-RTK i [HMK - Geodatakvalitet 2017](#), Bilaga A.2.

### 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 (läs mer i [HMK - Geodatakvalitet 2017](#), Bilaga A.8)
- c) ha det filformat som anvisats av beställaren enligt avsnitt 2.4.2
- d) ha den namngivning som anvisats av beställaren enligt avsnitt 2.4.2.

Leverans av produktionsdokumentation ska:

- e) vara kvalitetskontrollerad och komplett
- f) bestå av rapport enligt punkt a) och lista enligt punkt b) i Bilaga B.2 om beställaren inte anger annat.

## 3.3 Insamling av laser-, bild- och GNSS/INS-data

### 3.3.1 System och utrustning

#### Krav

System för fordonsburen insamling ska minst bestå av:

- a) GNSS-mottagare, med stöd för minst två GNSS system
- b) IMU, anpassad för fordonsburen insamling
- c) odometer
- d) kamera anpassad för mätning
- e) minst 2 laserskannrar anpassade för fordonsburen laserskanning
  - laserskannrarna ska kunna registrera flera returer från en utsänd laserpuls, inklusive varje returs intensitet (amplitud)
  - laserskannrarnas relativa mätosäkerhet i avståndsmätning får inte överstiga 1/3 av den förväntade standarosäkerheten i plan och höjd enligt vald standardnivå
  - Vid användning på offentliga platser ska säkerhetsåtgärder vidtas och lasersystemet vara ögonsäkert enligt IEC 60825:2019, en standard som ersätter den tidigare SSMFS 2012:4.

Fordonsburen insamling sker ofta i miljöer med begränsad sikt mot GNSS-satelliter, exempelvis mellan höga byggnader, bland träd eller under broar. För att erhålla en mätning med så många satelliter som möjligt är det därför viktigt att GNSS-mottagarna har stöd för flera navigationssystem, exempelvis GPS, GLONASS eller Galileo.

Förutom en IMU ska ett fordonsburet system vara utrustat med odometer, vanligen monterad på fordonets icke drivande hjul. Odometern används för att mäta hastighet och distans vilket används tillsammans med övriga positionsdata vid positionsberäkning för att minska avdriften i tröghetspositioneringen, exempelvis vid passage genom tunnlar.

Laserskannrar för fordonsburen insamling har vanligtvis en roterande spegel som ger 360 graders täckning och ett spiralförmigt skanningsmönster i insamlingsriktningen. Skanningsmönstret (antal skannrar, skannrarnas placering och riktning) påverkar hur olika objekt återges.

Med en systemhöjd på cirka 2,5-3 meter kan blindzoner undvikas samtidigt som framkomligheten under broar och andra trafik hinder bibehålls.

### 3.3.2 Insamlingsförhållanden

#### Krav

- a) Laserskanning ska inte utföras vid förhållanden som negativt påverkar slutprodukten.

Laserskanning ska inte utföras vid nederbörd, fuktig vägbanan, tjälad mark eller liknande förhållanden som påverkar kvalitén i den slutliga produkten. Tillfälliga hinder såsom parkerade fordon och tät trafik ger oönskade skuggeffekter och ska om möjligt undvikas eller hanteras genom kompletterande datainsamling vid andra tidpunkter.

Tidpunkten för laserskanning ska i möjligaste mån väljas efter tillgången till GNSS-satelliter samt deras inbördes konfiguration. Aktuell satellitprediktion ska redovisas i leveransrapporten.

Ibland kan det vara nödvändigt att arbeta nattetid för att till exempel undvika tät trafik och störande verksamhet. Detta är dock endast lämpligt om bilddata inte ska samlas in.



### 3.3.3 Insamling

#### Krav

Vid fordonsburen laserskanning ska:

- a) systemhöjden vara tillräcklig för att inte oönskade skuggeffekter i innerslänter ska uppstå
- b) intensitet registreras och ingår som attributdata i laserdatafilen.

Skanningsparametrar ska väljas så att:

- c) beställd punkttäthet uppfylls i samtliga kontrolllytor för punkttäthet <sup>D</sup>
- d) laserpunkterna har en homogen fördelning över kontrolllytorna med likartat punktavstånd längs och tvärs insamlingsriktningen
- e) enstaka maxvärden inte överstiger det dubbla punktavståndet.

Vid samtidig bildinsamling ska:

- f) bildtäckningen vara komplett
- g) specificerad geometrisk upplösning eller bättre uppnås, på en yta parallell med sensorn, på ett avstånd av 10 meter från kameran
- h) tidsmärkning, orientering och positionering ha sådan upplösning och kvalitet att bilderna i ett senare skede kan användas för färgsättning av laserdata
- i) avstånd mellan bilder inte överstiga 15 meter
- j) minst en kamera vara riktad i körriktningen om inte 360 graders kamera används.

<sup>D</sup> En kontrolllyta för punkttäthet definieras som en kvadrat med 2 meters sida centrerad över körspåret.

### 3.3.4 Beräkning av positions- och orienteringsdata (GNSS/INS)

#### Krav

- a) GNSS/INS-data ska beräknas enligt rutiner som framgår av [HMK - Geodetisk infrastruktur 2017](#), Bilaga B.6.3

### 3.3.5 Beräkning av punktmoln

#### Krav

- a) Systemberoende korrigeringar ska utföras och redovisas enligt systemleverantörens rekommendationer.
- b) Stråkutjämnning - "matchning" - av körspår ska utföras, för att minimera de återstående felen.
- c) Avvikelse i övertäckningszonerna - före och efter stråkutjämnning - 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.

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 fordonet och i referensstation(er) samt data från odometern.
- Systemberoende korrigeringar ska dokumenteras och redovisas i en produktionsrapport och till viss del i metadatafiler.
- Innan stråkutjämnning - så kallad "matchning" - utförs görs en preliminär markklassning.
- Stråkutjämnning utförs för att få ett mer homogent punktmoln. Vid stråkutjämnningen analyseras överlappande laserdata från angränsande körspår med avseende på avvikelser i höjd och/eller plan. Ur avvikelserna kan korrektioner, som sedan appliceras på hela eller delar av körspåren, beräknas.
- Resultatet redovisas på ett överskådligt sätt - numeriskt och grafiskt, till exempel som avvikelser före och efter stråkutjämnning.
- 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.

### 3.3.6 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 <sup>1)</sup>
- c) göras i det filformat, med den punkttäthet och namngivning som anvisats av beställaren samt följa den geografiska indelning som tillhandahållits av beställaren.

Leverans av bilder/video ska:

- d) vara granskad avseende täckning och kvalitet
- e) innehålla eventuella bildmetadata enligt beställarens specifikation i avsnitt 2.4.4.

Leverans av GNSS/INS-data ska:

- f) vara kvalitetskontrollerad och komplett
- g) göras i form av en fil som för samtliga bilder innehåller bild-id, Heading, Roll, Pitch och GPS-tid, samt övrigt innehåll som har anvisats av beställaren enligt avsnitt 2.4.5
- h) göras i det filformat och med den namngivning som anvisats av beställaren enligt avsnitt 2.4.5.

Leverans av produktionsdokumentation ska:

- i) vara kvalitetskontrollerad och komplett
- j) bestå av rapport enligt punkt a) i Bilaga B.3 om beställaren inte anger annat.

Leverans av eventuell metadata ska:

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

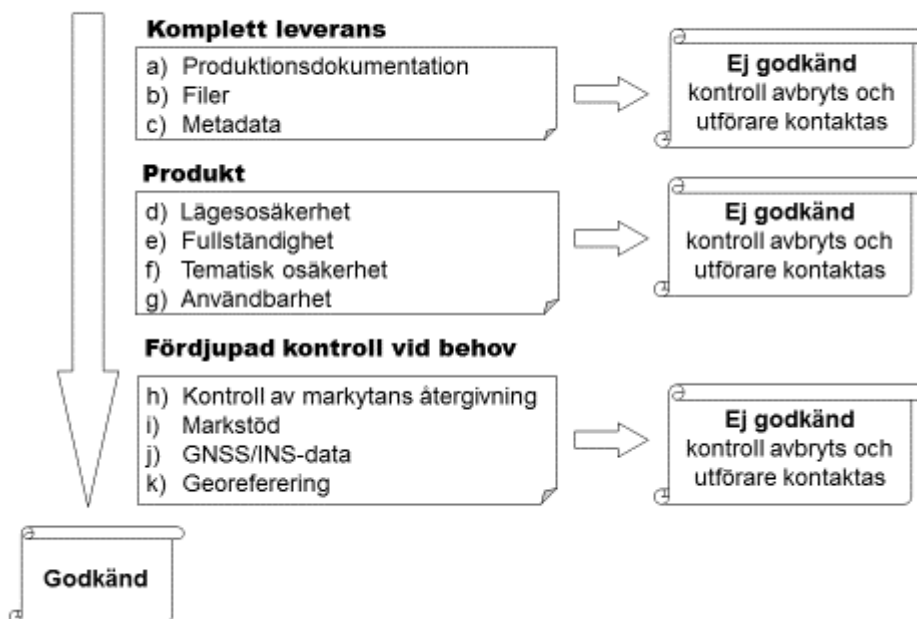
<sup>1)</sup> Läs mer i [HMK – Geodatakvalitet 2017](#), Bilaga A.8, om varför man ska vara generös med siffrorna under beräkningsgången och inte avrunda till ungefär en tiondel av lägesosäkerheten förrän i slutprodukten.

## 4 Beställarens kontroll

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

I Figur 4 redovisas ett kontrollflöde i syfte att identifiera felaktigheter i leveransen. Först genomförs kontroll av komplett leverans och slutprodukts kvalitet och 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.

Bilaga C redovisar 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] SIS (2016): [Byggmätning – Specifikationer vid framställning och kontroll av digitala markmodeller](#) (Teknisk specifikation SIS-TS 21144:2016).
- [2] Milan Horemuz & Patric Jansson, KTH (2013): [Utveckling mobil datafångst: Evaluation of testing methods for positioning modules](#). Trafikverket, Rapport 2014:055, FOI-projekt 5148.
- [3] ASPRS LAS file format, i olika versioner, finns på [ASPRS hemsida](#).
- [4] [Exchangeable image file format for digital still cameras: EXIF Version 2.2](#) (2002).
- [5] Persson, C-G m.fl. (2014): [Kontroll av lägesosäkerheten i laserdata](#). HMK – Teknisk rapport 2014:1.

# Bilaga A: Mall och exempel för upprättande av teknisk specifikation

## Bilaga A.1 Mall för teknisk specifikation

### 0 Teknisk specifikation

Planering, genomförande och leverans ska göras enligt denna tekniska specifikation och kraven i kapitel 3 i HMK – Fordonsburen laserskanning 2017. Definitioner av krav och termer framgår av HMK – Fordonsburen laserskanning 2017 och [HMK-Ordlista](#), senaste version.

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

Ingående tjänster:.....  
Aktuella produkter:.....  
Produkternas användning:.....  
Vilka objekttyper som ska kunna tolkas:.....

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

Insamlingsområde inklusive format och referenssystem:.....  
Övrigt utgångsmaterial inklusive egenskaper:.....

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

Krav på HMK-standardnivå: .....

Krav på punkttäthet:.....

Krav på bildens geometriska upplösning: .....

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

Särskilt krav på **lokal** standardosäkerhet i plan/höjd: .....

Krav på laser- och bildtäckning (avstånd från körspåret):.....

Krav på följdprodukter:.....

Krav på tilläggs-specifikationer: (*exempelvis kontrollprofiler enligt [SIS TS 21144:2016](#), markstöd, kontrollobjekt, samtidig insamling av video, avstånd mellan bilder och kameravy, färgsättning av punktmolnet, nyckelpunkter,*)

.....

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

#### Referenssystem

Krav på referenssystem i plan:.....  
Krav på referenssystem i höjd:.....

## Markstöd

Krav på format:.....

Krav på namngivning:.....

## Laserdata

Krav på format och ev. version:.....

Krav på datakomprimering:.....

Krav på filstorlek och geografisk uppdelning:.....

Krav på namngivning:.....

## Bilddata

Krav på format:.....

Krav på datakomprimering:.....

Krav på namngivning:.....

Krav på informationsinnehåll i bildmetadata: .....

Krav på filformat för bildmetadata: .....

## Positions- och orienteringsdata (GNSS/INS med mera)

Krav på format:.....

Krav på namngivning:.....

Tilläggskrav på informationsinnehåll:.....

## Produktionsdokumentation

Tilläggskrav på produktionsdokumentation: .....

## Metadata

Krav på innehåll i metadata:.....

Krav på format för metadata:.....

## Tilläggspecifikationer av leverans

Tilläggspecifikation av leverans (*exempelvis krav på prov- och delleveranser, leveransmedia och katalogstruktur, rådata, visningsverktyg*): .....

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

Krav 3 a-b i HMK-Fordonsburen laserskanning 2017 gäller

Rekommendation 3 c i HMK-Fordonsburen laserskanning 2017 gäller

Krav 3.1.1 a-c i HMK-Fordonsburen laserskanning 2017 gäller

Krav 3.1.2 a-f i HMK-Fordonsburen laserskanning 2017 gäller

Krav 3.2 a-g i HMK-Fordonsburen laserskanning 2017 gäller

Krav 3.2.1 a-f i HMK-Fordonsburen laserskanning 2017 gäller

Krav 3.3.1 a-e i HMK-Fordonsburen laserskanning 2017 gäller

Krav 3.3.2 a i HMK-Fordonsburen laserskanning 2017 gäller  
Krav 3.3.3 a-j i HMK-Fordonsburen laserskanning 2017 gäller  
Krav 3.3.4 a i HMK-Fordonsburen laserskanning 2017 gäller  
Krav 3.3.5 a-e i HMK-Fordonsburen laserskanning 2017 gäller  
Krav 3.3.6 a-l i HMK-Fordonsburen laserskanning 2017 gäller

**Kommentar till mallen:**

- I mallens avsnitt 5 ges hänvisningar till vilka krav i HMK-Fordonsburen 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 Trafikverket

### 0 Teknisk specifikation

Planering, genomförande och leverans ska göras enligt denna tekniska specifikation och kraven i kapitel 3 i HMK – Fordonsburen laserskanning 2017. Definitioner av krav och termer framgår av HMK – Fordonsburen laserskanning 2017 och [HMK-Ordlista](#), senaste version.

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

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

**Aktuella produkter:** Markhöjdmodell samt 360-bilder i licensfritt visningsverktyg.

**Produkternas användning:** Laserskanningen ska användas som underlag för framställande av markhöjdmodell vilken användes som underlag i projekteringen för framtagande av vägplan.

Vilka objekttyper som ska kunna tolkas: Enligt Tabell 2.3.2 b

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

**Insamlingsområde inklusive filformat och referenssystem:** Aktuellt karteringsområde (KML-fil). Levereras i SWEREF 99 projektionszon 1800

**Övrigt utgångsmaterial inklusive egenskaper:**

Följande levereras i Sweref 99 projektionszon 1800:

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

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

Krav på HMK-standardnivå: 3

Krav på punkttäthet: 1500 pkt/ m<sup>2</sup>

Krav på bildens geometriska upplösning: 1 cm pixelstorlek på 10 m avstånd från kameran sensorn.

Krav på standardosäkerhet i plan/höjd: 20/20 mm

Särskilt krav på lokal standardosäkerhet i plan/höjd: -

Krav på laser- och bildtäckning (avstånd från körspåret): Lasertäckning 20 m från körspåret.

Krav på följdprodukter: Krav på klassning av punktmoln samt framtagande av höjdmodell enligt särskild specifikation upprättad med hjälp av HMK-Höjddata 2017.

Krav på tilläggspecifikationer:

Krav på punktdistribution:

- medelpunktavstånd max 0,03 m
- max-avstånd 0,06 m

Samtidig bildinsamling med 360 graders bildtäckning

## **4 Specifikation av leverans (HMK – Fordonsburen laserskanning 2017, avsnitt 2.4)**

### **Referenssystem**

Krav på referenssystem i plan: Sweref 99, projektionszon 1800

Krav på referenssystem i höjd: höjdsystem RH 2000. Geoidmodell SWEN 08 ska användas för beräkning av höjder

### **Markstöd**

Krav på format: ASCII-fil

Krav på namngivning: Överenskomms efter avtalstecknande

### **Laserdata**

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

Krav på datakomprimering: Ingen

Krav på filstorlek och geografisk uppdelning: Max 18 miljoner pktr/block

Krav på namngivning: Överenskomms efter avtalstecknande

### **Bilddata**

Krav på filformat: JPEG och råformat

Krav på datakomprimering: Ingen

Krav på namngivning: Överenskomms efter avtalstecknande

Krav på informationsinnehåll i metadata: Enligt tabell 2.4.4

Krav på filformat för metadata: EXIF direkt i JPEG

### **Positions- och orienteringsdata (GNSS/INS med mera)**

Krav på format: Överenskomms efter avtalstecknande

Krav på namngivning: Överenskomms efter avtalstecknande

Krav på informationsinnehåll: -

## Produktionsdokumentation

Tilläggskrav på produktionsdokumentation: -

### Metadata

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

Krav på format för metadata: Punkttäthetskartor och avvikelser i höjd mellan körspår levereras som en georefererad tiff-bild med 2x2 meters upplösning.

### Tilläggspecifikationer av leverans

Krav på leveransmedia: Hårddisk av typen USB 3.0

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

Krav på visningsverktyg: Licensfritt visningsverktyg ska medfölja leveransen

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

Krav 3 a-b i HMK-Fordonsburen laserskanning 2017 gäller  
Rekommendation 3 c i HMK-Fordonsburen laserskanning 2017 gäller  
Krav 3.1.1 a-c i HMK-Fordonsburen laserskanning 2017 gäller  
Krav 3.1.2 e-f i HMK-Fordonsburen laserskanning 2017 gäller  
Krav 3.2 a-g i HMK-Fordonsburen laserskanning 2017 gäller  
Krav 3.2.1 a-f i HMK-Fordonsburen laserskanning 2017 gäller  
Krav 3.3.1 a-e i HMK-Fordonsburen laserskanning 2017 gäller  
Krav 3.3.2 a i HMK-Fordonsburen laserskanning 2017 gäller  
Krav 3.3.3 a-j i HMK-Fordonsburen laserskanning 2017 gäller  
Krav 3.3.4 a i HMK-Fordonsburen laserskanning 2017 gäller  
Krav 3.3.5 a-e i HMK-Fordonsburen laserskanning 2017 gäller  
Krav 3.3.6 a-l i HMK-Fordonsburen laserskanning 2017 gäller

Kommentar till Trafikverksexemplet:

- Krav 3.1.2 a-d finns inte med i exemplet eftersom beställaren inte önskar digital leverans av planerade markstöd.
- Kraven på klassning av punkmoln och framtagande höjdmoddell är inte med i exemplet. För utformning av krav, se [HMK – Höjddata 2017](#).

## **Bilaga B: Produktionsdokumentation**

Produktionsdokumentationen ska redovisa:

- a) uppdraget (inklusive datafångstdatum)
- b) uppdragsorganisation, det vill säga utförare och beställare
- c) förteckning över levererat material inklusive filer/produkter.

### **Bilaga B.1 Projektplanering**

Produktionsdokumentationen ska redovisa:

- a) rapport, i PDF-format om inte annat anges, som redovisar:
  - referenssystem i plan och höjd
  - satellitprediktering
  - punkttäthet
  - övertäckning mellan stråk/körspår
  - antal körspår
  - antal markstöd
  - markstödens principiella lägen
  - markstödens planerade storlek, form och färg
  - systembeskrivning
  - egenkontroll vid planering
  - särskilda överväganden vid planering.

Produktionsdokumentationen ska redovisa följande om beställaren begär det:

- b) karta, i PDF-format om inte annat anges, där planerade körspår och markstöd med namn liksom insamlingsområdet tydligt framgår.

## **Bilaga B.2      Signalering och mätning av markstöd**

Produktionsdokumentationen ska redovisa:

- a) rapport, i PDF-format om inte annat anges, som redovisar:
  - inmättningsdatum
  - referenssystem i plan och höjd
  - geoidmodell
  - eventuella transformationssamband
  - referensstationer
  - antal markstöd
  - markstödens storlek, form, färg och signaltyp (signaltyp = exempelvis skiva, målad på marken)
  - mätutrustning
  - mätmetod
  - programvara vid beräkning
  - särskilda överväganden vid inmätning och beräkning
  - egenkontroll vid inmätning och beräkning.
- b) lista, i ASCII-format om inte annat anges, för 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-format om inte annat anges, där inmätta markstöd liksom insamlingsområdet och planerade körspår tydligt framgår
- d) skiss över signal och signalens läge, alternativt digitalt foto av varje signal och dess omgivning.

### **Kontrollprofiler enligt SIS TS 21144:2016**

Om kontrollprofiler är beställda ska produktionsdokumentationen redovisa:

- e) karta där planerade kontrollprofiler med namn liksom insamlingsområdet tydligt framgår
- f) rapport, i PDF-format om inte annat anges, som redovisar:
  - den utrustning, mätmetod och programvara som använts vid inmätning och beräkning av kontrollprofiler
  - kalibreringsrutiner för geodetisk mätutrustning
  - beräkningsresultat och egenkontroll av beräkningsresultatet
  - lista med koordinat- och höjduppgifter, kvalitetsuppgift och datum då inmätningen utfördes.
  - karta där realiserade kontrollprofiler liksom insamlingsområdet tydligt framgår.

## Bilaga B.3      Insamling av laser- och GNSS/INS-data

Produktionsdokumentationen ska redovisa:

- a) rapport, i PDF-format om inte annat anges, som redovisar:
  - referenssystem i plan och höjd
  - punkttäthet
  - geografisk täckning
  - antal stråk/körspår
  - väderförhållanden
  - GNSS/INS-system
  - systemhöjd
  - antenn-offset
  - systemkalibrering
  - kalibreringsrutiner för skanner och GNSS/INS-system
  - programvara för framkallning av punkter
  - programvara vid GNSS/INS-beräkning
  - referensstation
  - eventuell geoidmodell och eventuella transformations samband
  - uppgift om typ av GPS-tid (veckotid/absolut GPS-tid)
  - grafer eller motsvarande som redovisar kvalitetsmått som PDOP, antal satelliter, RMS av positioneringslösningen med mera
  - punkttätheten grafiskt redovisad med lämplig färgskala, så att områden där punkttätheten inte motsvarar ställda krav tydligt framgår
  - beräkningsresultat från inpassning på givna markstöd samt ev. kontroll mot kontrollobjekt – Bilaga C.2 d.1), särskilt Tabell C.2.a – eller kontrollprofiler enligt [SIS TS 21144:2016](#)
  - beräkningsresultat och grafisk redovisning från analys av överlappande körspår och stråkutjämnning (så kallad "matchning") enligt exempelkartan i Figur C.2.a 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 markeras tydligt; orsaken till avvikelser ska redovisas
  - punkttäthetskarta för sista eller enda retur grafiskt redovisad enligt exempelkartan i Figur C.2.b 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-format om inte annat anges, där stråk/körspår med namn liksom insamlingsområdet tydligt framgår.

## **Bilaga C: Kontroll av laserdata**

### **Bilaga C.1 Komplet 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 av lägesosäkerhet med markstöd och kontrollobjekt

Den **absoluta** lägesosäkerheten kontrolleras genom jämförelse mellan laserpunktmolnet, efter beräkning enligt avsnitt 3.3.5 och ytor/objekt med kända positioner.

Denna kontroll baseras på (se avsnitt 2.3.6):

- *Markstöd* 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* – 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 f-g.

Nedanstående kontrollförfarande baseras på en metod i [HMK – Geodakvalitet 2017](#), Bilaga A.2. Andra kontrollmetoder beskrivs i Bilagorna A.3-A.5 samt C.4 i samma dokument och i dess 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:

$$\Delta\bar{N} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \Delta N_i \quad \Delta\bar{E} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \Delta E_i \quad \Delta\bar{H} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \Delta H_i \quad (\text{skift})$$
$$\Delta\bar{R} = \sqrt{\Delta\bar{N}^2 + \Delta\bar{E}^2} \quad (\text{radiellt off-set})$$

där  $\Delta$  avser avvikelsen mellan bildmätningen 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  $\Delta$ -värden indikerar *grovt fel* och bör inte förekomma.

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

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

Dessa storheter granskas för att verifiera att erhållen *lägesosäkerhet* överensstämmer med ställda krav:

- Medelavvikelserna kontrolleras med formlerna:

$$\Delta \bar{R} \leq \frac{2 \cdot \sigma_{plan}}{\sqrt{n}} \quad |\Delta \bar{H}| \leq \frac{2 \cdot \sigma_{höjd}}{\sqrt{n}}$$

där  $\sigma$ -värdena är de standardosäkerheter beställaren har specificerat.

- Antalet

$$\Delta \bar{R}_i > 3 \cdot \sigma_{plan} \quad \text{respektive} \quad |\Delta \bar{H}_i| > 3 \cdot \sigma_{höjd}$$

räknas; bör vara = 0 (noll).

- RMS-värdena kontrolleras med formlerna:

$$RMS_{plan} \leq \sigma_{plan} \cdot (0,96 + n^{-0,4}) \quad RMS_{höjd} \leq \sigma_{höjd} \cdot (0,96 + n^{-0,4})$$

För få kontrollobjekt ger inte särskilt effektiva kontroller – fler jämförelseobjekt innebär hårdare krav och säkrare bedömningar. I Tabell C.2.a ges ett exempel på tillämpningen av denna metod och ett förslag på hur redovisningen kan utformas.

**Tabell C.2.a.** Exempel på redovisning av kontroll av **absolut** lägesosäkerhet vid fordonsburen laserskanning. **Gula fält** fylls i. En rimlig tolkning av resultatet är att det inte finns någon systematik, att lägesosäkerheten i höjd är extremt låg men att ett enstaka grovt fel i plan gör att motsvarande standardosäkerhet blir något för hög. Resultatet bör kunna godkännas, men det grova felet bör följas upp.

<b>Kontroll, absolut lägesosäkerhet</b>	Avser:	Kontrollobjekt	Antal (n) =	48	
HMK-Standardnivå:	3	Specificerade standardosäkerheter			
	Plan ( $\sigma_{plan}$ ) =	20 mm	Höjd ( $\sigma_{höjd}$ ) =	20 mm	
<b>Test:</b>		<b>Beräknade värden:</b>			
<b>Typ av kontroll</b>	<b>Teststorhet</b>	<b>Erhållet</b>	<b>Tic</b>	<b>Tolerans</b>	<b>OK?</b>
Systematik, plan	$\Delta \bar{R} \leq \frac{2 \cdot \sigma_{plan}}{\sqrt{n}}$	1 mm	<	5.8 mm	Ja
Systematik, höjd	$\Delta \bar{H} \leq \frac{2 \cdot \sigma_{höjd}}{\sqrt{n}}$	0 mm	<	5.8 mm	Ja
Grova fel, plan	antal $\Delta R_i > 3 \cdot \sigma_{plan}$	1 st	>	60 mm	Ja (1 st 62 mm)
Grova fel, höjd	antal $ \Delta H_i  > 3 \cdot \sigma_{höjd}$	0 st	>	60 mm	Ja
Lägesosäkerhet, plan	$RMS_{plan} \leq \sigma_{plan} \cdot (0,96 + n^{-0,4})$	24 mm	>	23.5 mm	Något för stort
Lägesosäkerhet, höjd	$RMS_{höjd} \leq \sigma_{höjd} \cdot (0,96 + n^{-0,4})$	8	<	23.5 mm	Ja

Följande kontroller kan genomföras för att täcka större områden än enskilda kontrollobjekt:

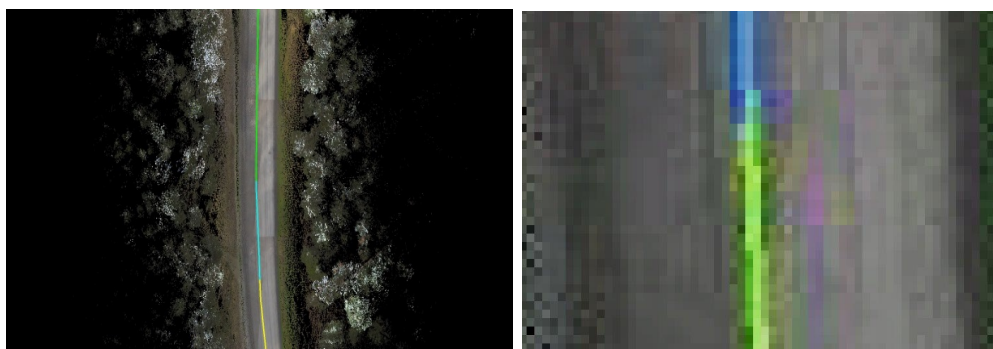
*d.2) Stråkutjämnning – analys av avvikelser mellan körspår*

Analys av avvikelser – primärt vad avser höjdläget – mellan överlappande körspår ger möjlighet att upptäcka systematiska och grova fel samt att förbättra de separata beräkningarna av körspåren genom *stråkutjämnning (matchning)*, se avsnitt 3.3.5. Det är alltså fråga om en kontroll av den relativa lägesosäkerheten mellan körspåren – i syfte att förbättra den **lokala** lägesosäkerheten.

De beskrivna redovisnings- och kontrollprinciperna har två syften:

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

I Figur C.2.a ges ett exempel på grafisk redovisning enligt färgskalan i Tabell 2.4.7.a.



**Figur C.2.a.** Bilderna illustrerar höjdavvikelser i övertäckningen mellan två körspår enligt färgskalan i Tabell C.2.b och 2.4.7.a. Den högra bilden är ett detaljutsnitt ur den vänstra.

I Tabell C.2.b ges en "tolkningsnyckel" till denna skala. Det är i princip samma färgskala som tillämpas i Nationell höjdmodell.

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.

**Tabell C.2.b.** Tolkningsanvisningar för RMS-värden/avvikelser i höjd i övertäckningszonen mellan stråk/körspår.  $\sigma_{höjd}$  är standardosäkerheten i höjd enligt den tekniska specifikationen. Om strängare krav ställs på den lokala än på den absoluta standardosäkerheten så ska det förstnämnda användas som  $\sigma_{höjd}$  - värde.

Färgkoderna följer den relativa färgskala som tillämpas i Nationell Höjdmodell. Färgskalan förskjuts mot gult/rött 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 sjuk 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

För analysen delas överlappningszonerna in i ett rutnät med lämplig rutstorlek för HMK-standardnivå 3, förslagsvis 2x2 meter. I varje kontrollruta beräknas avvikelsen mellan de punkter i respektive körspårs lasermoln som klassats som markpunkter – t.ex. som ett RMS-värde.

Exempel C.2 d.2): Höjdvärdet för varje markklassad laserpunkt inom kontrollrutorna i det ena körspåret jämförs med motsvarande **interpolerade** värde i det andra spåret. 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 körspår.

Detta beräkningsförfarande förutsätts i Tabell C.2.b och C.2.c, men det finns alternativa sätta att skatta avvikelserna.

Bara det faktum att det här är fråga om en **differens** mellan två värden motiverar högre gränsvärden än vid jämförelse mot markstöd och kontrollpunkter – se föregående avsnitt, C.2 d.1). Dessutom kommer flera olika terrängtyper att ingå i analysen, och även det kan medföra en högre beräknad lägesosäkerhet än mot markstöd/kontrollobjekt; de senare ju väljs ut subjektivt efter sin lämplighet.

Tumregler för RMS-värden i höjd – för hela körspår respektive enskilda kontrollrutor – redovisas i Tabell C.2.c. Som brukligt är gränsvärdet för "grova fel" satt ca tre gånger högre än den genomsnittliga mät osäkerheten, jfr 3 *sigma*-principen.

**Tabell C.2.c.** "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. Siffrorna inom parentes är beräknade med  $\sigma_{höjd} = 20$  mm enligt Tabell 2.3.1.

Gränsvärde för RMS-värden avseende hela stråk eller skanningsområden	vid stor förekomst av öppna, plana och väldifinierade ytor	1-2 gånger $\sigma_{höjd}$ (20-40 mm)
	vid kuperad terräng och tät vegetation	2-3 gånger $\sigma_{höjd}$ (40-60 mm)
	vid stor förekomst av mycket kuperad terräng och tät vegetation	3-4 gånger $\sigma_{höjd}$ (60-80 mm)
Gränsvärde för RMS-värden/avvikelser i enskilda kontrollrutor, "grova fel"		3 gånger ovanstående värden

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

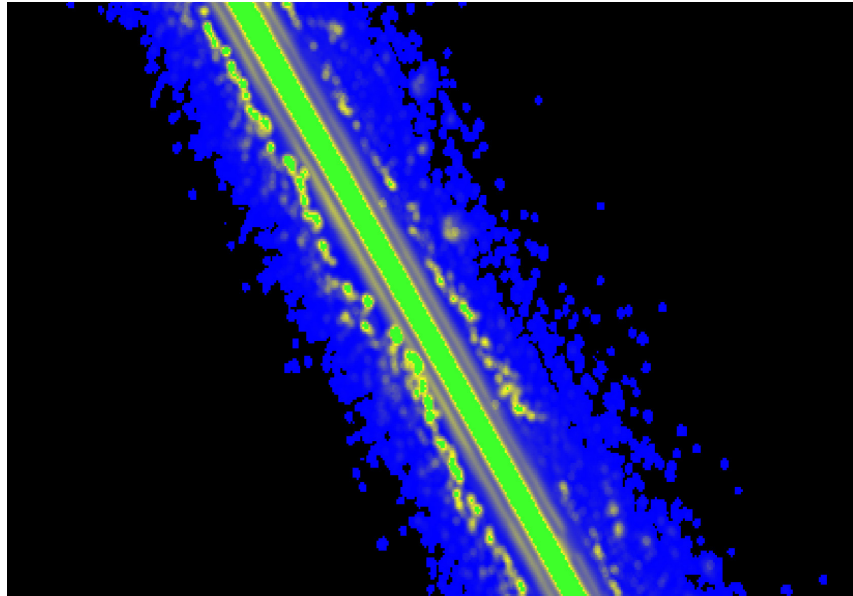
## e) Fullständighet

### e.1) Punkttäthet och distribution

Innan markklassning sker kontrolleras att hela området täcks av laserdata med täthet och punktavstånd som motsvarar ställda krav. Även skanningsmönster beaktas. Eventuella brister är viktiga att upptäcka i ett tidigt skede så att komplettering kan utföras så snart som möjligt.

Även övertäckning mellan stråk/körspår och eventuell övertäckning mot angränsande områden måste kontrolleras. Mindre avvikelser från den planerade övertäckningen, exempelvis orsakade av trafik eller oplanerade hinder, kan accepteras så länge inga glipor uppstår mellan stråken.

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



**Figur C.2.b.** Punkttäthet för samtliga punkter redovisad i rasterform. Blå färg indikerar en täthet som är dubbelt så hög som den efterfrågade och förekommer främst i överlapp mellan stråk/körspår. 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 (liksom områden utan retur) visas i svart färg.

#### e.2) Täckning, retur och intensitetsvärden

Kontrollera att laserdata:

- täcker hela kartläggningsområdet
- inte har glipor eller hål som inte är accepterade (vatten och mörka ej reflekterande ytor).

#### 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.
- Beträktning 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 sektions 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).

Kontrollera att eventuella metadatafiler är korrekt ifyllda.

#### **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 längs- och tvärs körriktningen
- övertäckning inom och mellan körspår.

## 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

Jämförelse mot kontrollprofiler enligt [SIS TS 21144:2016](#).

För att få en bättre helhetsbild av lägesosäkerheten på olika typer av markytor i en **markhöjdmodell** kan kontroll utföras med stöd av olika metoder beskrivna i referens [1]. Metoderna bygger på att laserpunktmolnet markklassificerats och att **markhöjdmodell** tagits fram.

### i) Markstöd

Beräkningsresultaten granskas för att verifiera att:

- erhållen standardosäkerhet i geodetisk mätning av markstöd och kontrollobjekt överensstämmer med specificerade krav
- nyttjad geodetisk mätmetod ger önskad lägesosäkerhet, se [HMK - Kravställning vid geodetisk mätning 2017](#), kapitel 3. Om GNSS-baserad metod används så kan kontroll göras enligt [HMK - Geodatakvalitet 2017](#), Bilaga A.2; kontrollera även detta dokumentets Bilaga A.8.

### 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:

- kontroll av utgångspunkter
- matchningsresultat
- antal och placering av markstöd
- antal bilder som använda markstöd och kontrollobjekt är mätbara i
- resultatet av eventuell självkalibrering.