

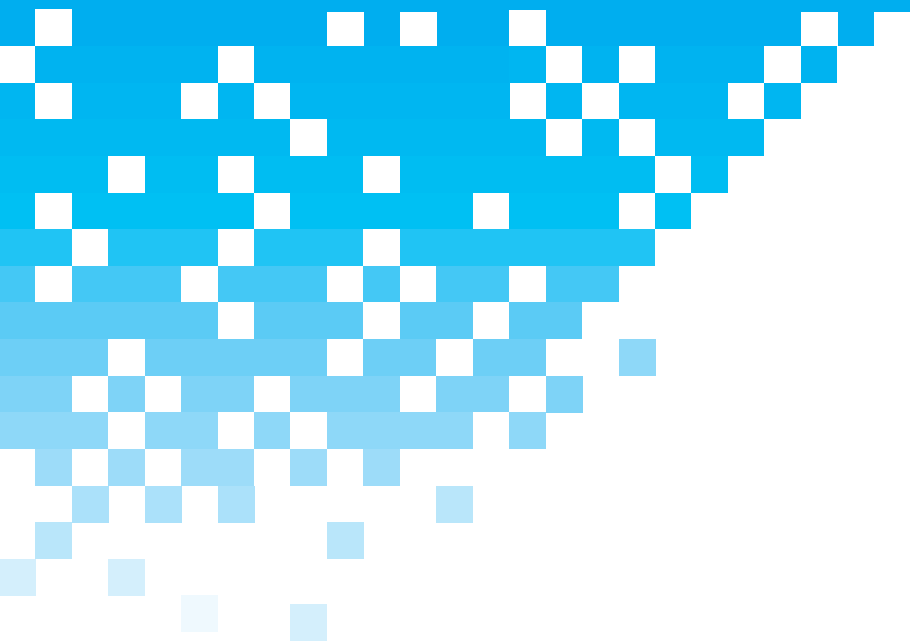
HMK

- handbok i mät- och kartfrågor

Teknisk rapport 2016:3

Lägesosäkerheten i geodata – likheter och olikheter

Thomas Lithén & Clas-Göran Persson



Författarnas kontaktuppgifter

Thomas Lithén

Lantmäteriet
SE - 801 82 Gävle
thomas.lithen@lm.se
+46-26-63 34 44

Clas-Göran Persson

Lantmäteriet
SE - 801 82 Gävle
clas-goran.persson@lm.se
+46-70-557 6037

eller

Skansstigen 3 C
SE - 832 51 Frösön
clasgoran.persson@gmail.com
+46-70-557 6037

Förord

Serien "Tekniska rapporter" är ett komplement till övriga HMK-dokument. Här redovisas bakgrundsinformation, detaljbeskrivningar, analyser m.m. som inte passar in i en handbokstext.

Huvudsyftet är att säkerställa och visa att handböckerna ligger i linje med metod- och teknikutvecklingen samt med de krav och riktlinjer som finns i branschen i övrigt – nationellt och internationellt.

Denna rapport har utarbetats av undertecknade. Den innehåller bl.a. ett antal förslag till förbättringar av texterna i handböckerna om Geodatainsamling – med adress HMK:s förvaltningsansvariga.

Rapporten är föranledd av frågor om detta från Åsa Sehlstedt, Lantmäteriet i Luleå. Ett stort tack till Åsa för gott samarbete i framtagningen av rapporten. Lika stort tack till Milan Horemuz, KTH, för granskning av – framför allt – texterna om Terrester laserskanning.

Gävle/Östersund, Julafton 2016

/ Thomas Lithén & Clas-Göran Persson, Lantmäteriet

Innehållsförteckning

1	Inledning	5
1.1	Bakgrund, syfte och referenser	5
1.2	Disposition	6
2	Modern teknik för geodatainsamling	7
2.1	Kvalitetskontroll i HMK	7
2.2	Teknikerna för geodatainsamling	7
2.3	Likheter och olikheter	9
2.4	Olika typer av mät- och lägesosäkerhet	10
3	Hanteringen av lägesosäkerhet	11
3.1	Bilddata	12
3.2	Laserdata	13
3.3	Fordonsburen laserdatainsamling	14
3.4	Terrester laserskanning	15
3.5	Höjddata	15
3.6	Ortofoto	17
3.7	Fotogrammetrisk detaljmätning	17
3.8	Kontentan av frågeställningarna	19
4	Slutord	20
	Bilaga: Förändringsförslag	22
	HMK – Bilddata (HMK-Flygfotografering)	22
	HMK – Laserdata (HMK-Flygburen laserskanning)	25
	HMK – Fordonsburen laserdatainsamling (HMK-Fordons- buren laserskanning)	28
	HMK – Terrester laserskanning	30
	HMK – Höjddata	33
	HMK – Ortofoto	36
	HMK – Fotogrammetrisk detaljmätning	39

1 Inledning

1.1 Bakgrund, syfte och referenser

Det primära syftet med denna tekniska rapport är att visa hur – och varför – hanteringen av *lägesosäkerhet* varierar mellan olika HMK-dokument. En del omotiverade skillnader finns dock, inte minst i rapportstrukturerna och vad gäller terminologin. Därför ger vi även förslag på konkreta förändringar och förtydliganden i befintliga dokument för att få större enhetlighet vad gäller såväl innehåll som struktur.

De dokument som främst berörs är

- *HMK – Bilddata 2015*
- *HMK – Laserdata 2015*
- *HMK – Fordonsburen laserdatainsamling 2015*
- *HMK – Terrester laserskanning 2015*
- *HMK – Höjddata 2015*
- *HMK – Ortofoto 2015*
- *HMK – Fotogrammetrisk detaljmätning 2015*

men i viss mån även

- *HMK – Geodatakvalitet 2015*
- *HMK – Geodesi: Terrester detaljmätning 2015*
- *HMK – Ordlista och förkortningar, juni 2015.*

Samtliga HMK-dokument – även de äldre från 1990-talet samt ett antal andra tekniska rapporter – nås via HMK:s hemsida:

www.lantmateriet.se/HMK

Ett viktigt komplement till HMK är det s.k.

[Mätningstekniska kompendiet](#)

Det har tagits fram gemensamt av KTH, universiteten i Gävle och Lund samt Lantmäteriet – som utbildningsmaterial för högskolestudier i mätningsteknik. Kartografiska sällskapet har medverkat i finansieringen.

OBS att referensnummer av typen [1], [2] etc. (och även tabellnummer) i rapportens bilaga hänför sig till **originaldokumenten**. Detta för att underlätta förändringar i dessa om/när sådana beslutas. De explicita referenserna redovisas inte i denna rapport, utan den som vill veta mer om dem, och deras innehåll, hänvisas till originaltexterna.

1.2 Disposition

Rapporten disponeras på följande sätt:

- I Kapitel 2 redovisas och jämförs de moderna teknikerna för geodatainsamling.
- I Kapitel 3 beskrivs hanteringen av lägesosäkerhet i de olika HMK-dokumenterna, och de skillnader som finns. Det är delvis skrivet som en dialog mellan Åsa Sehlstedt, Lantmäteriet i Luleå, och författarna.
- Rapportens slutord återfinns i Kapitel 4 och ett komplett förändringsförslag är med som Bilaga.

2 Modern teknik för geodatainsamling

I detta kapitel redovisas dagsläget vad gäller teknik för *insamling av geodata*. De olika teknikernas likheter och olikheter analyseras. Fokus ligger på lägesosäkerhet och kapitlet ger grunderna för den fortsatta analysen.

2.1 Kvalitetskontroll i HMK

Kvalitet och kvalitetskontroll i HMK hanteras på följande sätt:

- Välj en lämplig standardnivå för den tillämpning som avses.
- Välj en teknik som rekommenderas (uppfyller kraven) inom den standardnivån.
- Relatera kvalitetskontrollen till den teknik som valts.

Inom en och samma HMK-standardnivå kan man alltså välja olika tekniker och teknikvalet kan styras av sådant som tillgänglig utrustning, kompetens etc. Men toleranserna kopplas alltså till **tekniken**, inte **tillämpningen**, så det är teknikvalet som ger tillämpningen dess kvalitetspotential.

Det som komplicerar det hela är att det i dag är vanligt att olika tekniker blandas i ett och samma projekt, t.ex. att en byggnad har planläge från geodetisk detaljmätning medan höjduppgifterna härrör från en flygburen laserskanning.

2.2 Teknikerna för geodatainsamling

I Tabell 2.2 beskrivs vad som kännetecknar de olika produkterna/teknikerna och vad som därför kan motivera skillnader i hanteringen i motsvarande HMK-dokument ¹⁾. Dessutom beskrivs hur – och varför – lägesosäkerheten varierar.

I Figur 2.2 illustreras några av teknikerna.

¹⁾ Tabellen skulle kunna ingå i HMK-Introduktion eller HMK-Geodatainsamling.

Tabell 2.2. Karaktäristik av och relationer mellan olika tekniker/tillämpningar för geodätainsamling – med fokus på lägesosäkerhet.

HMK – Bilddata	Framtagning av lodbilder från flygfotografering genom att passivt registrera ljusets färger. Lägesosäkerheten beror främst på bildernas geometriska upplösning och därmed – indirekt, i viss mån – på flyghöjden.
HMK – Laserdata	Flygburen laserskanning med en svepande skanner som aktivt skickar ut laserstrålar och registrerar returnerna. Opererar nära lodlinjen. Har en homogen mätosäkerhet eftersom avstånden är ungefär lika för alla mätpunkter.
HMK – Fordonsburen laserdatainsamling	Skanning från en skanner placerad i ett fordon i rörelse på marken. Har en avståndsberoende mätosäkerhet p.g.a. osäkerhet i vinkelmätningen. Osäkerheten är lägre än den för flygburen skanning eftersom hastigheten är lägre och avståndet mellan skannern och marken är kortare.
HMK – Terrester laserskanning	Skanning från en markbaserad skanner. Har en avståndsberoende mätosäkerhet p.g.a. osäkerhet i vinkelmätningen. Osäkerheten är lägre än för flyg- och fordonsburen skanning eftersom skannern står stilla.
HMK – Höjddata	Integration av data från ovanstående tekniker. Lägesosäkerheten beror på teknikvalet och underlaget.
HMK – Ortofoto	Baserat på lodbilder från flygfotografering och någon typ av höjdmodell. Lägesosäkerheten beror på teknikvalet och underlaget.
HMK – Fotogrammetrisk detaljmätning	Baserat på lodbilder från flygfotografering eller ortofoto + höjdmodell. Lägesosäkerheten beror på teknikvalet och underlaget.



Figur 2.2. Ortofoto samt flygburen, terrester resp. fordonsburen laser-skanning. Foto: Lantmäteriet, Wikipedia, WSP.

2.3 Likheter och olikheter

Orsakerna är flera till att det finns skillnader mellan olika tekniker och – därför – mellan olika dokument. Beträffande hanteringen av *lägesosäkerhet* kan vi se bl.a. följande skillnader:

- En skiljelinje är om det rör sig om *mätningar* (t.ex. laser-skanning) eller en *grundprodukt* – och ena sidan – eller om *derivat/bearbetningar* av sådana (t.ex. en höjdmodell).
- En distinktion måste även göras mellan *osäkerhet i diskreta punkter* och *genomsnittlig osäkerhet över en yta* av varierande beskaffenhet (olika objekttyper) ²⁾.

²⁾ Teknikerna har vanligen utvärderats under ideala förhållanden (väldefinierade punkter, där det är som bäst) – utom höjdmodeller som avser ett genomsnitt inom modellen.

- I det första fallet är det fråga om *mätosäkerhet*. I det andra rör det sig om *representativitet*, dvs. hur väl en modell representerar en yta i naturen. Representationen beror mer på *punkttätheten* än på mätosäkerheten.
- En modell kan t.ex. innehålla osäkerheter på grund av den *interpolation* det normalt blir fråga om när en kontinuerlig yta ska beskrivas av värden i diskreta punkter.
- Sedan finns det förstås även *teknikberoende skillnader*, t.ex. laserskanning vs. mätning i bilder.

En annan frågeställning som kommit upp är varför parametrarna ibland redovisas som ett *intervall* och ibland som ett enda *enskilt värde*. Intervallen – t.ex. "10-20 cm" – kan även ha olika innebörd i olika sammanhang.

Ett intervall kan t.ex. avse

- en *naturlig variation* på värden
- en *osäker uppgift* (ett "konfidensintervall")
- *vanligt förekommande värden*; ett *spelrum* inom vilket värdet på en parameter vanligtvis ligger
- *parametervärden som följer värdet på en annan storhet* (t.ex. bildupplösning vs. lägesosäkerhet); om den första parametern ges som ett intervall så måste även den *beroende parametern* redovisas på detta sätt.

Dessutom är egentligen uttryck av typen $x \leq y$ också ett intervall om x är en positiv storhet, t.ex. ett osäkerhetsmått; dvs. värdet x ska ligga mellan noll och y .

Allt detta skapar naturligtvis osäkerhet och måste förtydligas. Men vi kan redan nu se att det även finns vissa naturliga skillnader mellan teknikerna och dokumenten.

2.4 Olika typer av mät- och lägesosäkerhet

I olika HMK-dokument – de nya liksom de äldre från 1990-talet – finns det vissa diskrepanser i terminologin rörande *lokal*, *regional*, *relativ* samt *absolut* mät- och lägesosäkerhet. Det påtalade vi redan i den tekniska rapporten HMK-TR 2016:1 "*Hantering av lägesosäkerheten i geodata – igår och idag*", men när man nu läser ett stort antal dokument parallellt så blir bilden än (o)tydligare.

I Tabell 2.4 redovisas ett förslag till förtydligande, baserat på en kombination av skrivningarna i nyss nämnda rapport och de som finns i HMK-Geodesi: *Terrester detaljmätning*, kapitel 8. Det bör ingå i HMK-Geodatakvalitet och HMK-Ordlista.

I HMK – Terrester laserskanning används termen *georeferering*. Denna term finns inte i HMK-Ordlista, men den vanligaste betydelsen är ungefär ”att mäta eller beräkna positioner i ett officiellt referenssystem (t.ex. Sweref99/RH2000) – direkt eller genom transformation från ett lokalt system”.

Vi använder den tolkningen i bilagan till denna rapport och föreslår att ett förtydligande görs i ordlistan. Det innebär att koordinatsättning i helt lokala system, t.ex. ett bygplatsnät, **inte** benämns georeferering.

Tabell 2.4. Olika typer av lägesosäkerhet – förslag till definitioner. Osäkerheterna anges normalt som ”standardosäkerhet”.

Typ	Definition	Exempel
Mätosäkerhet (vid inmätning av geografiska objekt)	Osäkerheten i själva mätoperationen – i plan, höjd eller 3D – utan anslutning till något referenssystem.	Osäkerheten vid terrester detaljmätning eller laserskanning från <u>en</u> instrumentuppställning – med koordinater/höjder i ”instrumentets koordinatsystem”. Aktuella avstånd är vanligen ≤ 100 meter
Lokal lägesosäkerhet	Osäkerhet mellan närliggande stompunkter, mellan objekt i en geodatabas eller mellan byggnadsdetaljer i en anläggning	Lägesosäkerheten i ett lokalt referenssystem, t.ex. ett bygplatsnät – efter sammanräkning av flera instrumentuppställningar. Aktuella avstånd är max något 100-tal meter.
Regional lägesosäkerhet (vid georeferering)	Lägesosäkerhet inom ett större område	Lägesosäkerheten inom en kommun eller ett infrastrukturprojekt. Avstånd i storleksordningen km eller mil.
Absolut lägesosäkerhet (vid georeferering)	Osäkerhet relativt ett överordnat, officiellt referenssystem (inom Sverige, Europa eller globalt).	Lägesosäkerhet vid GNSS-mätning med Nätverks-RTK mot SWEPOS. Avstånden kan vara 100-tals mil.
Relativ lägesosäkerhet	Skillnad mellan olika bestämningar av samma position; ev. koppling till överordnat referenssystem försvinner i differensbildningen.	Skillnaden vid återbesök i samband med GNSS-mätning eller mellan längs- och tvärstråk vid flygfotografering/flygburen laserskanning. Avstånd ungefär som vid <i>regional</i> lägesosäkerhet.

Regional lägesosäkerhet utgör en mellanform mellan *lokal* och *absolut lägesosäkerhet*. Den är mest av historiskt intresse och hänför sig till terrester mätningsteknik och konventionella geodetiska nät (höjdnät, polygonnät, triangelnät etc.). I relation till dagens GNSS- och RTK-dominerade teknik saknar termen betydelse eftersom den regionala och den absoluta lägesosäkerheten blir i stort sett lika.

3 Hanteringen av lägesosäkerhet

Utgångspunkten i varje avsnitt i detta kapitel är den tabell i HMK-dokumenterna där lägesosäkerhet i plan och höjd, geometrisk upplösning, punkttäthet etc. behandlas (vanligen med nummer 2.3 eller 2.3.1). Analysen bygger – förutom på tabellerna som sådana – även på det resonemang som förs i den anslutande handbokstexten i respektive dokument.

Strukturen är av typen fråga/svar, dvs. Åsa Sehlstedts frågor och våra svar.

3.1 Bilddata

Tabell 2.3.1 i HMK-Bilddata. Sammanställning av parametrar per HMK-standardnivå, för flygburen insamling av lodbilder för stereokartering, ortofoton och höjdmodeller.

Parametrar	HMK-standard-nivå 1	HMK-standard-nivå 2	HMK-standard-nivå 3
Geometrisk upplösning, GSD (m) i bildens samtliga delar	0,20 - 0,50	0,08 - 0,12	0,02 - 0,05
Standardosäkerhet i plan (m) för tydligt identifierbart objekt i stereomodell	0,20 - 0,50	0,08 - 0,12	0,02 - 0,05
Standardosäkerhet i höjd (m) för tydligt identifierbart objekt i stereomodell	0,30 - 0,75	0,12 - 0,18	0,03 - 0,07 *
Övertäckning i/mellan stråk (%)	60/30		**
Bildkvalitet	≥2		≥1 ***
Solvinkel (grader)	≥30		****
Fotograferingsperiod	Snöfri	Snö- och lövfri	*****

* handlingar för byggande kräver vanligen en standardosäkerhet på 20 mm eller bättre i både plan och höjd vilket ställer särskilda krav på datainsamlingen – ofta används en kombination av flygfotografering och laserskanning. Planläget mäts genom fotogrammetrisk detaljmätning och höjdläget tolkas från höjdmodell

(fotnoterna **, ***, **** och ***** är ej med i utdraget)

Frågor, svar och kommentarer

Åsa: Det är samma värden för standardosäkerhet som i *HMK-Ortofoto* och *HMK-Fotogrammetrisk detaljmätning*.

Svar: Det beror på att de georefererade bilderna från Bilddata används för att göra ortofoton och utföra fotogrammetrisk detaljmätning, dvs kvaliteten i bildernas georeferering styr lägesosäkerheten i följdprodukten ortofoto och vid mätning i ortofoton eller stereokartering.

Kommentar: Intervallet för geometrisk upplösning avser ett spelrum inom vilket värdet vanligtvis ligger för det avsedda ändamålet, dvs beställaren bestämmer aktuellt värde.

Om inte beställaren väljer annat så beräknas standardosäkerheten vanligtvis som en funktion av vald upplösning: plan = upplösningen, höjd = 1,5 ggr upplösningen. Den geometriska upplösningen och standardosäkerheten i plan följer alltså varandra 1:1. Observera att standardosäkerheten avser "fotogrammetrisk detaljmätning genom stereokartering i plan och höjd för väldefinierade objekt".

Vi hänvisar till [det mätningstekniska kompendiet](#), avsnitt 14.3, för en mer komplett genomgång av felkällor.

Vi ser att terminologin under "parametrar" kan skilja mellan olika tabeller och att det är otydligt vad de olika intervallen avser, se nytt förslag i bilagan.

3.2 Laserdata

Tabell 2.3.1 i HMK-Laserdata. Sammanställning av parametrar per HMK-standardnivå för flygburen laserskanning. Standardosäkerhet avser väldefinierade kontrollobjekt.

Parametrar	HMK-standardnivå 1	HMK-standardnivå 2	HMK-standardnivå 3
Punkttäthet (punkter/m ²) 2D - sista eller enda retur	0,5 - 2	6 - 12	20 - 30
Standardosäkerhet i höjd, på plana och väldefinierade ytor (m)	0,10	0,05	0,02
Standardosäkerhet i plan på väldefinierade objekt (m)	0,30	0,15	0,05 *
Maximal skanningsvinkel (grader)	± 20°	± 20°	**

* handlingar för byggande kräver vanligen en standardosäkerhet på 20 mm eller bättre i både plan och höjd vilket ställer särskilda krav på datainsamlingen. Ofta används en kombination av laserskanning och flygfotografering där höjdläget tolkas från en höjdmodell och planläget mäts genom fotogrammetrisk detaljmätning

** (ingår ej i detta utdrag)

Frågor, svar och kommentarer

Åsa: Till skillnad från andra höjddata finns det här inga intervall för standardosäkerhet. Dessutom ligger värdena utanför (är bättre än) dem i Bild, Ortofoto, Fotogrammetrisk detaljmätning och Höjddata.

Svar: Standardosäkerheten vid laserskanning kan inte direkt jämföras med den för bildbaserade tekniker.

Fotogrammetrisk mätning – i bilder – sker genom 3-dimensionell *avskärning* (riktningsmätning). Lägesosäkerheten följer därför den *geometriska upplösningen* ganska väl och plan blir bättre än höjd. Laserskanning, å andra sidan, är i princip en *polär* mätmetod (riktning + avstånd) och höjd blir bättre än plan.

I vårt förslag i bilagan vad avser HMK-Laserdata har vi lagt in en informationsruta där ovanstående utvecklas något.

Kommentar: Intervallet för punkttäthet i Tabell 2.3.1 avser ett spelrum inom vilket värdet vanligtvis ligger beroende på ändamålet, dvs beställaren bestämmer aktuellt värde.

Standardosäkerheten i höjd beror främst på avståndet mellan flygplan och mark, som är ganska konstant vid flygburen insamling. Avståndet (flyghöjden) bestäms av vald punkttäthet och på vilken typ av flygskanner som har använts. Men eftersom avståndsberoendet inte är särskilt stort inom de valda intervallen för punkttäthet så har ett fixt värde för standardosäkerhet valts för varje standardnivå.

Vi hänvisar till [det mätningstekniska kompendiet](#), avsnitt 16.3.4, för en mer komplett genomgång av felkällor.

Vi ser att terminologin under "parametrar" kan skilja mellan olika tabeller och att det är otydligt vad de olika intervallen avser, se nytt förslag i bilagan.

3.3 Fordonsburen laserdatainsamling

Tabell 2.3 i HMK – Fordonsburen laserdatainsamling. Sammanställning av parametrar för standardnivå 3 vid fordonsburen insamling. Standardosäkerhet avser väldefinierade kontrollobjekt som är verifierade i slutlig produkt-/modell på jämna hårdgjorda ytor i insamlingsområdet.

Parametrar	Standardnivå 3
Punkttäthet för sista eller enda retur (Punkter/m ²) i 2D	1500
Geometrisk upplösning för bilddata (m)	0,01
Standardosäkerhet i plan på väldefinierade objekt (m)	<0,02
Standardosäkerhet i höjd på plana och väldefinierade ytor (m)	<0,02

Frågor, svar och kommentarer

Åsa: Här finns bara standardnivå 3, och standardosäkerheterna är lägre än för standardnivå 3 i övriga dokument.

Svar: Att bara standardnivå 3 hanteras beror på att tekniken idag huvudsakligen används för projekteringsändamål, dvs – just – standardnivå 3.

Fordonsburen insamling ger lägre lägesosäkerhet än flygburen laserskanning av olika skäl: t.ex. lägre hastighet på fordon på marken jämfört med flygplan/helikopter och kortare avstånd mellan skanner och marken, se Tabell 2.2 och nästa avsnitt.

Kommentar: Vi ser att terminologin under "parametrar" kan skilja mellan olika tabeller, se nytt förslag i bilagan.

3.4 Terrester laserskanning

I HMK – Terrester laserskanning redovisas inte kraven i tabellform utan i den löpande texten.

Frågor, svar och kommentarer

Åsa: Terrester laserskanning verkar bättre än både flygburen och fordonsburen laserskanning.

Svar: Att stå still med en skanner ger möjlighet till lägre lägesosäkerhet jämfört med skanning i rörelse, som bygger på kinematisk positionering av skannern med GPS och gyron. Vi hänvisar till det [mätningstekniska kompendiet](#), avsnitt 16.6 - 16.8, för en mer komplett genomgång av felkällor.

Kommentar: I bilagan har vi gjort en tabell även till detta dokument, som motsvarar den tabell som finns i de övriga.

3.5 Højddata

Tabell 2.3.1 i HMK-Højddata. Lämpliga mätmetoder och lägesosäkerhet i färdig højmodell samt lämpliga parametrar för olika standardniveåer.

Parametrar	HMK-standardnivå 1	HMK-standardnivå 2	HMK-standardnivå 3
Lämpliga mätmetoder	- Laserskanning - Bildmatchning	- Laserskanning - Bildmatchning - Fotogrammetrisk detaljmätning av brytlinjer	- Laserskanning - Fotogrammetrisk eller geodetisk detaljmätning av brytlinjer
Standardosäkerhet i høj i färdig højmodell, laserskanning *	0,25 – 0,50 m	0,10 – 0,25 m	0,02 – 0,10 m **

Standardosäkerhet i plan på distinkta objekt i färdig höjddmodell, laserskanning*	0,30 m	0,15 m	0,05 m ***
Standardosäkerhet i höjd i färdig höjddmodell, mätning i flygbilder*	0,50 - 1,00 m	0,20 - 0,50 m	-
Standardosäkerhet i plan på distinkta objekt i färdig höjddmodell, mätning i flygbilder*	0,25 - 0,50 m	0,10 - 0,25 m	0,02 - 0,10 ***
Ungefärlig presentationsskala i kartografiska produkter	1:10 000	1:2 000	1:400
Datastrukturer	- Grid - Punktmoln + brytlinjer	- Grid - Punktmoln + brytlinjer	- TIN - Punktmoln + brytlinjer
Upplösning i grid	1,0 m	0,50 m	0,25 m ****
Ekvidistans i höjdkurvor	0,5 - 1,0 m	0,25 - 0,50 m	0,10 - 0,25 m ****

* standardosäkerhet avser ett ungefärligt riktvärde för en färdig höjddmodell framtagen i ett område med flera olika terrängtyper, se avsnitt 2.3.3

** för specifikation av markmodell för bygghandling

*** handlingar för byggande kräver vanligen en standardosäkerhet på 20 mm eller bättre i både plan och höjd vilket ställer särskilda krav på datainsamlingen – ofta används en kombination av laserskanning och fotogrammetrisk detaljmätning

**** ej vanlig datastruktur för HMK-standardnivå 3. Oftast används TIN eller punkter och brytlinjer

Frågor, svar och kommentarer

Åsa: Skillnader finns gentemot Fotogrammetrisk detaljmätning vad gäller standardosäkerhet. Det är olika standardosäkerhet för olika typer av höjddata, såsom laserskanning och mätning i bilder. Till skillnad från övriga tabeller finns inga "glapp" mellan intervallen.

Svar: Tabellen är tvetydig och behöver ses över, se nytt förslag i Bilagan. Att olika tekniker ger olika standardosäkerhet förklaras i avsnitt 2.

Kommentar: Vi ser att terminologin under "parametrar" kan skilja mellan olika tabeller samt att det är otydligt vad de olika intervallen avser, se nytt förslag i bilagan.

3.6 Ortofoto

Tabell 2.3.1 i HMK-Ortofoto. Parametrar för ortofoto per HMK-standardnivå.

Parametrar	HMK-standardnivå 1	HMK-standardnivå 2	HMK-standardnivå 3
Geometrisk upplösning på marken (m)	0,20 - 0,50	0,08 - 0,12	0,02 - 0,05
Standardosäkerhet i plan i ortofoto (m)	0,20 - 0,50	0,08 - 0,12	0,02 - 0,05

Frågor, svar och kommentarer

Åsa: Som tidigare har sagts är det samma värden för standardosäkerhet som i Bilddata och Fotogrammetrisk detaljmätning.

Svar: Se svar i avsnitt 3.1 beträffande likheterna, med följande tillägg vad avser Ortofoto.

Lägesosäkerheten bygger på bilder framtagna ur Bilddata enligt ovan samt en rektifieringsmodell (höjdmodell) av tillräckligt god kvalitet. Lägesosäkerhet i plan avser väldefinierade objekt som ingår i rektifieringsmodellen vid ortofotoberäkningen.

- Om en *markmodell* har använts som rektifieringsmodell kommer inte objekt som sticker upp från marken (hus, träd etc.) att ha rätt position utan endast objekt **på** markytan.
- Om en *ytmodell* har använts som rektifieringsmodell – dvs. en höjdmodell där hus och andra uppstickande objekt ingår – kommer även dessa att ligga i korrekt position, så kallat *sant ortofoto*.

Kommentar: Vi ser att terminologin under "parametrar" kan skilja mellan olika tabeller samt att det är otydligt vad de olika intervallen avser, se nytt förslag i bilagan.

3.7 Fotogrammetrisk detaljmätning

Tabell 2.3 i HMK – Fotogrammetriska detaljmätning. Parametrar för fotogrammetrisk detaljmätning per standardnivå.

Parametrar	HMK-Standardnivå 1	HMK-Standardnivå 2	HMK-Standardnivå 3
Geometrisk upplösning i flygbilden (m)	0,20 - 0,50	0,08 - 0,12	0,02 - 0,05

Lägesosäkerhet avseende standardosäkerhet vid mätning i stereomodell Plan/Höjd (m)	0,20 - 0,50/ 0,30 - 0,75	0,08 - 0,12/ 0,12 - 0,18	0,02 - 0,05/ 0,03 - 0,07
Lägesosäkerhet avseende standardosäkerhet vid mätning i ortofoto tillsammans med markmodell Plan/Höjd (m)	0,20 - 0,50/ 0,10 *	0,08 - 0,12/ 0,05 *	0,02 - 0,05/ 0,02 - 0,05 ***
Lägesosäkerhet avser standardosäkerhet i mätning i sant ortofoto tillsammans med ytmodell Plan/Höjd (m)	0,20 - 0,50/ 0,5 - 1,00 **	0,08 - 0,12/ 0,20 **	0,02 - 0,05/ 0,02 - 0,05 ***

* standardosäkerhet i höjd avser öppna plana hårdgjorda ytor i en markmodell framtagen med flygburen laserskanning enligt resp. HMK-Standardnivå

** standardosäkerhet i höjd avser ytmodell framtagen genom matchning i flygbilder med "normal" övertäckning enligt resp. HMK-Standardnivå

*** standardosäkerhet i höjd avser mark- och ytmodell vid samtidig flygfotografering och laserskanning enligt HMK-Standardnivå 3

Frågor, svar och kommentarer

Åsa: Skillnader finns mot dokumentet Höjddata med avseende på standardosäkerhet – men, som sagts, värdena är desamma som i Bilddata och Ortofoto.

Svar: Tabellen är tvetydig och skiljer sig dessutom mot Höjddata. Den behöver ses över, se nytt förslag i bilagan. Att olika tekniker ger olika standardosäkerhet förklaras i kapitel 2 och att lägesosäkerheten är densamma som i Bilddata och Ortofoto framgår av svaret i avsnitt 3.1.

Kommentar: Vi ser att terminologin under "parametrar" kan skilja mellan olika tabeller samt att det är otydligt vad de olika intervallen avser, se nytt förslag i bilagan.

3.8 Kontentan av frågeställningarna

Åsas slutkommentar:

1. Bilddata, Ortofoto och Fotogrammetrisk detaljmätning följs åt med exakt samma intervall.
2. Laserskanning har bättre lägesosäkerhet utan intervall. Fordonsburen och Terrester laserskanning är mer detaljerade än andra metoder och behöver inte kommenteras.
3. Höjddata har något annorlunda intervall som tangerar varandra – inga glapp. Där finns en indelning i olika metoder med olika lägesosäkerhet för höjdmodeller för laserskanning och mätning i flygbilder. Dessa värden skiljer sig även från tabellerna från dokumenten om Laserskanning och Fotogrammetrisk detaljmätning. Är tanken med detta att lägesosäkerheten försämras med bearbetning? I så fall bör det förklaras eftersom standardnivåerna refererar till användningsområde och ska hjälpa till att välja insamlingsmetod efter behov.

Svar:

1. Ja, det beror på att de alla bygger på kvaliteten i bildernas georeferering, se svar i avsnitt 3.1.
2. Ja, det beror på att Laserskanning är en annan teknik med en annan karaktär på lägesosäkerheten jämfört med bildbaserad insamling, se avsnitt 2.2 och 3.2.
3. Höjddatatabellen är tvetydig och det är otydligt vad de olika intervallen avser. Den något annorlunda intervallindelningen beror på att man avser blandade snarare än ideala förhållanden. Genomgående gäller även att terminologin under "parametrar" kan skilja mellan olika tabeller, se nytt förslag i bilagan.

4 Slutord

Det går att förklara de skillnader som finns mellan olika HMK-dokument beträffande lägesosäkerhet och tillhörande kvalitetsparametrar. Det som står är inte fel, men ibland blir det litet ologiskt om man jämför likartade storheter mellan dokumenten. En viss likriktning – även strukturellt – bör därför eftersträvas och eventuella kvarstående olikheter måste förklaras och motiveras bättre.

Även terminologin bör ses över och göras mer strikt och enhetlig; se särskilt avsnitt 2.4 där vissa förändringar föreslås även i HMK-Geodatakvalitet och HMK-Ordlista.

Ett fullständigt förändringsförslag vad avser dessa frågor redovisas i dokumentbilagan. I förslaget har hänsyn tagits till de frågeställningar och brister som tagits upp i kapitel 2 och 3.

Det finns några förändringar som vi tycker bör göras men som inte har införts i förslaget på grund av att de medför en annorlunda avsnitts- och tabellnumrering. Sådana förändringar skulle innebära att hänvisningar inom och mellan dokumenten inte längre skulle bli korrekta vid kravställning, i specifikationer etc. Detta gäller främst *Terrester laserskanning*.

En annan större förändring, som får beslutas i särskild ordning, är förslagen till ändrade namn på vissa dokument. De nya namnförslagen framgår av rubrikerna i bilagan.

Vi anser att förändringarna bör genomföras vid nästa dokumentöversyn, som är planerad till halvårsskiftet 2017- samtidigt för samtliga berörda dokument, för att få bättre konsistens dem emellan. Tills dess får denna rapport tjänstgöra som komplement till handböckerna vid användning av HMK i samband med upphandling etc. Förhoppningsvis minskar behovet av rapporten med tiden.

Avslutningsvis några kommentarer rörande teknikutvecklingen:

- Ny teknik kan skapa nya, förändrade och utökade behov av HMK-stöd.
- Helt nya HMK-dokument kan behöva tas fram – kanske om *drönare (UAV:er)*?
- Nya kvalitetsmått – eller underlag för kvalitetsmått (lägesosäkerhet m.fl.) – kan behöva utvecklas. Eventuellt tillkommer t.ex. *stabilitet* vid karaktäristik av just UAV:er.

- Det kan krävas fler empiriska försök för att kunna göra uttalanden i kvalitetsfrågor, exempelvis om mätosäkerheten. Ett tydligt exempel är flygburen, fordonsburen och terrester laserskanning i HMK-standardnivå 3.
- Terminologin kan också behöva modifieras. Bl.a. får *geometrisk upplösning* en annan innebörd om det gäller snedbilder i stället för lodbilder.

Bilaga: Förändringsförslag

I denna bilaga redovisas förslagen till förändringar i de olika geodattainsamlingsdokumenten – för att göra presentationerna tydligare och mer enhetliga. Huvuddelen av analysen kretsar kring den serie tabeller som benämns Tabell 2.3 eller 2.3.1 i de flesta av dokumenten – samt de fotnoter och undertexter som hör till denna tabell.

OBS alltså att tabellnumren hänför sig till **originaldokumenten**, liksom referensnummer av typen [1], [2] etc.

Den föreslagna, nya lydelsen redovisas utan kommentarer. I originaldokumenten finns det i vissa fall mer text – och ibland fler tabeller – än vad som har redigerats här. Sådana passager markeras med fortsättningspunkter.....

HMK – Bilddata (HMK-Flygfotografering)

Tabell 2.3.1 i HMK-Bilddata. Sammanställning av parametrar per HMK-standardnivå för flygburen insamling av lodbilder för stereokartering, ortofoton och höjdd modeller.

Parametrar	HMK-standardnivå 1	HMK-standardnivå 2	HMK-standardnivå 3
Geometrisk upplösning, flygbild (m) *	0,20 - 0,50	0,08 - 0,12	0,02 - 0,05
Lägesosäkerhet, ideala förhållanden Plan/Höjd (m) **	0,20 - 0,50/ 0,30 - 0,75	0,08 - 0,12/ 0,12 - 0,18	0,02-0,05/ 0,03-0,07
Övertäckning, i/mellan stråk (%) ***	60/30		-
Bildkvalitet ****	≥2		≥1
Solvinkel (grader) *****	≥30		-
Fotograferingsperiod *****	Snöfri	Snö- och lövfri	-

* För definition av geometrisk upplösning i flygbilder se avsnitt 2.3.2. Intervallavser ett spelrum inom vilket värdet på geometrisk upplösning vanligtvis ligger. Beställaren väljer ett värde för sitt ändamål.

** Lägesosäkerhet avser standardosäkerhet för tydligt identifierbara objekt vid mätning i stereomodell. Intervallavser parametervärden som följer det värde som valts på geometrisk upplösning. Andra värden kan väljas av beställaren, se avsnitt 2.3.3.

*** Vanligt förekommande värden, se rekommendation i avsnitt 2.3.4.

**** Vanligt förekommande värden, se rekommendation i avsnitt 2.3.5.

***** Vanligt förekommande värde, se rekommendation i avsnitt 2.3.6.

***** Vanligt förekommande värden, se rekommendation i avsnitt 2.3.7.

2.3.2 Geometrisk upplösning

Rekommendation

- a) Beställaren ställer krav på geometrisk upplösning

Med geometrisk upplösning i en digital flygbild (*Ground Sample Distance - GSD*) avses avståndet på marken mellan två närliggande pixel-centra. Det som anges är max-värdet inom en bild, dvs. ingen bilddel har ett större pixel-avstånd än detta GSD-värde.

Den geometriska upplösningen påverkar, tillsammans med bildkvaliteten, vilka objekt som går att tolka och mäta i bilderna. Läs mer om tolkningsmöjligheter för olika geometriska upplösningar i Tabell 2.3.2. och referens [1].

Det bör observeras att tabellen bygger på stereokartering. Vissa objekt kan vara svårare att tolka i ortofoton. I HMK-standardnivå 3, vid kartering i väg- och järnvägsmiljö, har det bland annat visat sig svårt att i ortofoto tolka skyltar, mindre belysningsstolpar, räcken och staket, komplett stödremsa, komplett kantsten, brunnar och ventiler samt distansstolpar för dessa, el- och telestolpar samt distansstolpar för el och telekablar, se referens [2].

Ortofoton ska som regel inte framställas med högre upplösning än flygbildens geometriska upplösning. Upplösningen påverkar även vilken lägesosäkerhet som är möjlig att uppnå. I vissa fall får lägesosäkerheten vara styrande för val av upplösning snarare än tolkbarheten.

Beställaren kan välja att specificera vad som ska

2.3.3 Lägesosäkerhet

Rekommendation

- a) Beställaren ställer krav på lägesosäkerhet

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 och höjd för tydligt identifierbara (signalerade) objekt - mätta i stereomodell efter blocktriangulering.

Observera att standardosäkerheten kan bli avsevärt högre för andra typer av objekt. Osäkerheten varierar mellan olika objekttyper beroende dels på hur väl objekten i sig är definierade, dels på hur väl operatören kan identifiera och mäta dessa i bilderna.

"Gamla" HMK-Fotogrammetri anger att standardosäkerheten för relativt väldefinierade punkter, såsom takhörn, kan förväntas bli 1.5 - 2.5 gånger högre än värdena i tabell 2.3.1; för mindre väldefinierade objekt upp till 5 gånger högre.

Krav på lägesosäkerhet ställs utifrån användningen av den beställda produkten. Följande tumregel gäller för HMK-standardnivå 1 och 2:

- Krav på standardosäkerhet i plan bör inte överstiga flygbildens geometriska upplösning (GSD).
- Krav på standardosäkerhet i höjd bör inte överstiga flygbildens geometriska upplösning (GSD) med mer än en faktor 1,5.

Läs mer om mätosäkerhet vid stereokartering i referens [2] och [4].

Det är möjligt att uppnå en lägre standardosäkerhet än tumregeln ovan. Det kan dock ställa krav på större övertäckning i och mellan flygstråk, tvärstråk eller fler stödpunkter.

Flygburen laserskanning ger tillgång till många markstödpunkter i höjd på öppna, plana och hårdgjorda ytor. Med hjälp av sådana stödpunkter kan standardosäkerheten i höjd sänkas till 1 pixel eller bättre för HMK-standardnivå 1 och 2.

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.

För att uppnå efterfrågad lägesosäkerhet och tolkbarhet (i HMK-standardnivå 3) kan beställaren välja att överlåta till leverantören att bestämma lämplig geometrisk upplösning, övertäckning med mera.

Det förekommer också, exempelvis vid inventering i ortofoton, höga krav på tolkbarhet medan lägesosäkerheten är mindre viktig. I sådana fall kan kraven på bland annat övertäckning och antalet stödpunkter sänkas eller överlåtas till leverantören att bestämma.

Standardosäkerheten vid bildmatchning i flygbilder påverkas av ett flertal faktorer, exempelvis ytans struktur, bildernas inbördes kvalitet, vegetation samt övertäckning i och mellan stråk. Läs mer om bildmatchning i avsnitt 2.3.4 och referens [5].

HMK – Laserdata (HMK-Flygburen laserskanning)

Tabell 2.3.1 i HMK-Laserdata. 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 /m ²) *	0,5 - 2	6 - 12	20 - 30
Lägesosäkerhet, ideala förhållanden Plan/Höjd (m) **	0,30/ 0,10	0,15/ 0,05	0,05/ 0,02
Maximal skanningsvinkel (grader) ***	± 20°	± 20°	-

* 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.

** 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. <avsnittet heter felaktigt 2.3.4 i HMK-Laserdata 2015>

*** Vanligt förekommande värde, se rekommendation i avsnitt 2.3.4. <avsnittet heter felaktigt 2.3.5 i HMK-Laserdata 2015>

2.3.2 Punkttäthet

Rekommendation

- Beställaren ställer direkt eller indirekt krav på punkttäthet för sista eller enda retur

Punkttäthet vid flygburen laserskanning avser antalet träffpunkter 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

2.3.3 Lägesosäkerhet <avsnittet heter felaktigt 2.3.4 i HMK-Laserdata 2015>

Rekommendation

- 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 *geometrisk* *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 stöd.

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 m 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 stödpunkter, 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.

HMK – Fordonsburen laserdatainsamling (HMK-Fordonsburen laserskanning)

Tabell 2.3 i HMK – Fordonsburen laserdatainsamling. Sammanställning av parametrar för standardnivå 3 vid fordonsburen laserdatainsamling.

Parametrar	Standardnivå 3
Punkttäthet, fordonsburen laserdatainsamling (punkter /m ²) *	1500
Geometrisk upplösning, bilder (m) **	0,01
Lägesosäkerhet, ideala förhållanden Plan/Höjd (m) ***	<0,02/ <0,02

* För definition av punkttäthet i laserdata vid fordonsburen insamling se avsnitt 2.3.1. Angivet värde är ett vanligt förekommande parametervärde. Beställaren väljer ett värde för sitt ändamål.

** För definition av geometrisk upplösning för bilder vid fordonsburen insamling se avsnitt 2.3.1. Angivet värde är ett vanligt förekommande parametervärde. Beställaren väljer ett värde för sitt ändamål.

*** Lägesosäkerhet avser standardosäkerhet i plan för väldefinierade objekt och i höjd på plana, väldefinierade ytor. Andra värden kan väljas av beställaren, se Tabell 2.3.1.c och avsnitt 2.3.2.

2.3.1 Punkttäthet och geometrisk upplösning

Rekommendation

- b) Beställaren ställer krav på punkttäthet för sista eller enda retur
- c) Beställaren ställer krav på bildens geometriska upplösning

Punkttäthet vid fordonsburen laserskanning avser antalet träffpunkter på markytan (sista eller enda retur) per kvadratmeter för kontroll- ytor längs med körspåret. En kontroll- yta 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 förete- elser 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 de ställda kraven.

Punkttätheten kan bli lägre på ytor.....

2.3.2 Lägesosäkerhet

Rekommendation

- a) Beställaren ställer krav på lägesosäkerhet

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 och höjd för tydligt identifierbara kontrollobjekt på jämna hårdgjorda ytor mätta i punktmolnet – efter stråkutjämnning och inpassning på stöd. 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 2.3.1.c):

- Krav på standardosäkerheten i höjd bör inte överstiga 0,10, 0,05 m respektive 0,02 m på öppna plana hårdgjorda ytor.
- 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. 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 lägesosäkerheten är mindre viktig.

Läs mer om lägesosäkerhet i referens [x]³⁾.

[x] Milan Horemuz & Patric Jansson, KTH (2013): *Utveckling mobil datafångst: Evaluation of testing methods for positioning modules*. Trafikverket, Rapport 2014:055, FOI-projekt 5148.

³⁾ Bör läggas till som referens i originaldokumentet.

HMK – Terrester laserskanning

2.4 Specifikation av produkten

Rekommendation

a) Beställaren anger HMK-standardnivå för slutprodukten.

Vald HMK-standardnivå, utifrån tänkt användning, blir styrande för genomförandet. I tabell 2.4 redovisas en sammanställning av parametervärden för respektive HMK-standardnivå. Värdena ska ses som rekommendationer och beställaren kan justera dessa vid behov. Det bör dock noteras att eventuella justeringar kan innebära påverkan både på slutprodukten användbarhet och på priset för genomförandet av uppdraget.

I detta dokument beskrivs endast insamling enligt standardnivå 3. Standardnivå 3 är lämplig för projekt där målet är detaljerad modellering av olika objekt. Exempel på användningsområden är projektering och modellering av byggnader utvändigt och invändigt. Terrester laserskanning kan också, med fördel, användas i miljöer med stora trafikmängder där traditionell terrester detaljmätning skapar trafikstörningar och arbetsmiljörisker.

Produkten som detta dokument hanterar är ett registrerat och i förekommande fall *georefererat* ⁴⁾ punktmoln som representerar det objekt eller område som har skannats. Punktmolnet kan bearbetas vidare till andra produkter som inte tas upp här, till exempel 3D-modeller, sektioner, 2D-ritningar och animationer.

Tabell 2.4 i HMK – Terrester laserskanning. Sammanställning av parametrar för standardnivå 3 vid terrester laserskanning ⁵⁾. <Ny tabell, nytt nummer>

Parametrar	Standardnivå 3
Detaljeringsgrad, punkttäthet i punktmoln*	Ges indirekt via krav på minsta objektstorlek som ska kunna tolkas i punktmolnet (detaljnivå)
Absolut lägesosäkerhet, ideala förhållanden Plan/Höjd (m) **	<0,02/ <0,02
Lokal lägesosäkerhet Plan/Höjd (m) ***	<0,005/ <0,005

* Beställaren väljer ett värde för sitt ändamål.

** Absolut lägesosäkerhet avser absolut standardosäkerhet för väldefinierade objekt. Andra värden kan förekomma, se avsnitt 2.4.2.

*** Lokal lägesosäkerhet avser lokal standardosäkerhet för väldefinierade objekt. Andra värden kan förekomma, se avsnitt 2.4.2.

⁴⁾ Beträffande "georeferering" och "lokal/absolut lägesosäkerhet", se avsnitt 2.4 i denna tekniska rapport.

⁵⁾ Siffrorna för lägesosäkerhet ska ses som ett förslag som eventuellt måste verifieras.

Terrestra laserdata kan kombineras med den nationella höjdmodellen eller andra laserdata från flygburen och fordonsburen insamling. På så sätt erhålls en hög detaljeringsgrad över enskilda objekt eller områden och samtidigt en översiktlig bild över omgivningen, inklusive områden med obruten mark.

2.4.1 Detaljeringsgrad

Rekommendation

- a) Beställaren ställer krav på minsta objektstorlek som ska kunna tolkas i punktmolnet (detaljnivå)

Beställaren specificerar vad som ska vara möjligt att tolka i laserdata och överlåter till utföraren att bestämma vilken punkttäthet som krävs för att uppfylla de ställda kraven.

Punkttätheten har stor betydelse vid tolkning av detaljer och företeelser i laserdata. Punkttätheten uttrycks som antalet punkter per kvadratmeter eller som avståndet mellan intilliggande punkter på ett specifikt avstånd från skannern. Vid terrester laserskanning kan punkttätheten vara större än 10 000 punkter/kvadratmeter, vilket motsvarar ett punktavstånd under 10 mm.

Det är dock svårt att specificera detaljnivå genom att endast ange punkttätheten vid terrester laserskanning. Detaljnivån i ett punktmoln beror på både punkttätheten och träffbildens storlek på objektets yta (HMK-Geodatakvalitet 2015, avsnitt 2.8). Detaljnivån kan variera i olika delar av objektet beroende på dess storlek och/eller beskaffenhet. Punkttätheten varierar dessutom med avståndet till skannern.

Observera att hög detaljnivå kräver högre punkttäthet och, som följd, längre tid för skanning. Därför ska behovet av detaljnivån övervägas nog innan kravet formuleras, eventuellt i samråd med utföraren.

2.4.2 Lägesosäkerhet

Rekommendation

- a) Beställaren ställer krav på absolut eller lokal mätosäkerhet

Om laserdata är georefererade avser krav på lägesosäkerhet den "absoluta" lägesosäkerheten i de nationella referenssystemen Sweref99 och RH2000 – eller annat referenssystem som beställaren anger, se avsnitt 2.5.1. Som mått används då den *absoluta standardosäkerheten* i plan och höjd för tydligt identifierbara objekt.

För laserdata som inte är georefererade, dvs. inte anslutna till ett överordnat referenssystem utan ligger i ett helt lokalt system, t.ex. ett byggplatsnät, används i stället *lokal standardosäkerhet* som mått.

Idag är det möjligt att uppnå en standardosäkerhet i laserdata som är mindre än 10 mm (referenser [6, 8]). Lägesosäkerheten beror dock på många olika faktorer, av vilka en är anslutningen till ett referenssystem. Terrester laserskanning har ofta en standardosäkerhet i själva mätningen som ligger på millimeternivå. Det sätt på vilket stöd-/anslutningspunkterna är bestämda avgör om den osäkerhetsnivån kan uppnås även efter anslutning/transformation till ett referenssystem – oavsett om detta är ett lokalt eller ett officiellt system.

Koordinater på stödpunkter inmätta med en totalstation och bestämda i en minsta-kvadratutjämning – t.ex. i ett byggplatsnät – har ofta en standardosäkerhet på 1 mm eller mindre. I sådana fall påverkas lägesosäkerheten i slutprodukten – **lokalt** på byggplatsen – väldigt lite av koordinatanslutningen.

Med *georeferering* avses anslutning till ett officiellt referenssystem, t.ex. Sweref99/RH2000. Det kan exempelvis ske genom inpassning på stödpunkter vars koordinater bestämts med nätverks-RTK – en metod som har en standardosäkerhet på någon centimeter. Då kan den (absoluta) lägesosäkerheten i slutprodukten komma att påverkas väsentligt av georefereringen, och den absoluta standardosäkerheten är normalt högre än den lokala.

HMK – Höjddata

Tabell 2.3.1 i HMK-Höjddata. Lämpliga mätmetoder och lägesosäkerhet i färdig höjdmmodell samt sammanställning av parametrar per HMK-standardnivå.

Parametrar	HMK-standardnivå 1	HMK-standardnivå 2	HMK-standardnivå 3
Detaljeringsgrad, vanlig upplösning i grid (m) *	1,0	0,50	0,25
Detaljeringsgrad, vanlig ekvidistans i höjdkurvor (m) *	0,5 - 1,0	0,25 - 0,50	0,10 - 0,25
<i>Höjdmmodell från flygburen laserskanning</i>			
Detaljeringsgrad, punkttäthet i punktmoln (punkter/m ²) **	0,5 - 2	6 - 12	20 - 30
Lägesosäkerhet, ideala förhållanden; Plan/Höjd (m) **	0,30/ 0,10	0,15/ 0,05	0,05/ 0,02
Lägesosäkerhet, blandade förhållanden; Höjd (m) ***	0,25 - 0,50	0,10 - 0,25	0,02 - 0,10
Höjdmmodellstyp	Mark- och/eller ytmodell, se avsnitt 2.3.4		
<i>Höjdmmodell från flygbilder (Bildmatchning)</i>			
Detaljeringsgrad, punkttäthet i punktmoln (m) ****	0,40 - 1,00	0,16 - 0,24	0,02 - 0,05
Lägesosäkerhet, ideala förhållanden; Plan/Höjd (m) *****	0,20 - 0,50/ 0,30 - 0,75	0,08 - 0,12/ 0,12 - 0,18	0,02 - 0,05/ 0,03 - 0,07
Lägesosäkerhet, blandade förhållanden; Höjd (m) ***	0,50 - 1,00	0,20 - 0,50	-
Höjdmmodellstyp	Ytmodell, se avsnitt 2.3.4		
<i>Övrigt</i>			
Vanlig datastruktur *****	- Grid - Punktmoln + brytlinjer	- Grid - Punktmoln + brytlinjer	- TIN - Punktmoln + brytlinjer
Ungefärlig presentationsskala i kartografiska produkter	1:10 000	1:2 000	1:400

* Detaljeringsgrad kan avse punkttäthet i punktmoln, grid eller ekvidistans i höjdkurvor, se avsnitt 2.3.2.

** Punkttäthet och lägesosäkerhet, ideala förhållanden, enligt HMK-Laserdata 2015, tabell 2.3.1 och avsnitt 2.3.2 - 2.3.3.

*** Beroende på terrängtypen varierar standardosäkerheten i höjd i olika delar av en höjdmmodell, se avsnitt 2.3.3

**** Vanligt värde för punkttäthet mätt som avstånd mellan punkter, se avsnitt 2.3.2. Baserat på geometrisk upplösning och övertäckning enligt HMK-Bilddata 2015, tabell 2.3.1.

***** Lägesosäkerhet, ideala förhållanden, enligt HMK-Bilddata 2015, tabell 2.3.1 och avsnitt 2.3.3

***** Vanligt förekommande värde, se avsnitt 2.3.5.

2.3.2 Detaljeringsgrad

Rekommendation

a) Beställaren ställer krav på detaljeringsgrad

Kraven ställs genom att ange punkttäthet i punktmoln eller geometrisk upplösning i grid – alternativt ekvidistans för höjdkurvor.

Punkttäthet i punktmoln

Punkttätheten i ett punktmoln anges vanligen som antalet punkter per kvadratmeter i plan men även avståndet mellan punkter på marken förekommer som täthetsmått. Punkttätheten har stor betydelse vid tolkning av detaljer.

- För punktmoln från flygburen laserskanning avses sista eller enda retur, se HMK-Laserdata 2015, avsnitt 2.3.2.
- För punktmoln från bildmatchning i flygbilder avses avståndet mellan punkter. En tumregel är att välja punktavståndet lika med bildens geometriska upplösning vid en övertäckning på 80%/60%, i och mellan stråk, och det dubbla värdet av bildens geometriska upplösning vid övertäckningen 60%/30%. I tabell 2.3.1 har det för HMK-standardnivå 3 förutsatts den högre graden av övertäckning och för HMK-standardnivå 1 och 2 den lägre graden av övertäckning. Se även HMK-Bilddata 2015, avsnitt 2.3.3 - 2.3.4.

Vid samtidig beställning av insamling av laser- eller bilddata och framtagande av höjdmodell kan beställaren alternativt välja att specificera vad som ska vara möjligt att tolka men överlåta till utföraren att bestämma vilken mätmetod och punkttäthet som krävs för att uppfylla kraven.

Geometrisk upplösning i grid

Med geometrisk upplösning i ett regelbundet grid avses avståndet på marken mellan två närliggande gridpunkter. Grid framställt ur punktmoln ska inte framställas med högre geometrisk upplösning än punktmolnets genomsnittliga punktavstånd.

Den geometriska upplösningen påverkar vilka detaljer som går att urskilja i höjddata. Den geometriska upplösningen påverkar även vilken lägesosäkerhet som är möjlig att uppnå i höjdmodellen eftersom höjder mellan gridpunkterna måste interpoleras fram. Lämplig geometrisk upplösning i grid för respektive standardnivå, baserat på punkttäthet i laserdata, framgår av tabell 2.3.1.

Ekvidistans

Ekvidistansen anger höjdavståndet mellan två intilliggande höjdkurvor.

Lämplig ekvidistans är två gånger standardosäkerheten i höjd i den underliggande höjdmodellen. Lämplig ekvidistans för respektive standardnivå, baserat på punkttäthet i laserdata, framgår av tabell 2.3.1.

2.3.3 Lägesosäkerhet

Rekommendation

a) Beställaren ställer krav på lägesosäkerhet

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 och höjd.

Kraven ställs antingen på den färdiga höjdmodellen – som oftast innehåller flera olika terrängtyper – eller på standardosäkerheten för väldefinierade objekt som ska representeras i höjddata, exempelvis plana ytor i höjd.

Rekommenderade krav på standardosäkerhet för en färdig höjdmodell per metod och HMK-standardnivå framgår av tabell 2.3.1. Observera att angiven standardosäkerhet avser ett ungefärligt riktvärde för en färdig höjdmodell framtagen i ett område med flera olika terrängtyper.

Beroende på terrängtypen varierar standardosäkerheten i höjd i olika delar av en höjdmodell. Exempelvis ger plana och hårdgjorda ytor utan vegetation normalt en lägre standardosäkerhet än kuperad skogsterräng (referens [2] och [3]).

Standardosäkerheten i höjd i höjddata påverkas även av mätmotoden och dess standardosäkerhet:

- För punktmoln från flygburen laserdatainsamling, se HMK-Laserdata 2015, tabell 2.3.1 och avsnitt 2.3.2 – 2.3.3, för mer information om punkttäthet per standardnivå, lägesosäkerhet på plana hårdgjorda och andra typer av ytor med mera.
- För mätning i flygbilder se HMK-Bilddata 2015, tabell 2.3.1 och avsnitt 2.3.2 - 2.3.4 för mer information om geometrisk upplösning per standardnivå, lägesosäkerhet samt övertäckning i och mellan stråk med mera. Se även HMK-Fotogrammetrisk detaljmätning juni 2015, avsnitt 2.3.2.

Handlingar för byggande (HMK-standardnivå 3) kräver vanligen en standardosäkerhet på 20 mm eller bättre i både plan och höjd vilket ställer särskilda krav på datainsamlingen – ofta används då en kombination av laserskanning och fotogrammetrisk detaljmätning.

HMK – Ortofoto

Tabell 2.3.1 i HMK-Ortofoto. Sammanställning av parametrar per HMK-standardnivå för ortofoton.

Parametrar	HMK-standardnivå 1	HMK-standardnivå 2	HMK-standardnivå 3
Geometrisk upplösning, ortofoto (m) *	0,20 - 0,50	0,08 - 0,12	0,02 - 0,05
Lägesosäkerhet, ideala förhållanden Plan (m) **	0,20 - 0,50	0,08 - 0,12	0,02 - 0,05

* För definition av geometrisk upplösning i ortofoton se avsnitt 2.3.2. Intervallavser ett spelrum inom vilket värdet på geometrisk upplösning vanligtvis ligger. Beställaren väljer ett värde för sitt ändamål.

** Lägesosäkerhet avser standardosäkerhet i plan för tydligt identifierbara objekt i ortofoto. Intervallavser parametervärden som följer det värde som valts på geometrisk upplösning. Andra värden kan väljas av beställaren, se avsnitt 2.3.3.

2.3.2 Geometrisk upplösning

Rekommendation

- a) Beställaren ställer krav på geometrisk upplösning

Med geometrisk upplösning avses avståndet på marken mellan två närliggande pixel-centra i ortofotot.

Den geometriska upplösningen påverkar, tillsammans med bildkvaliteten, vilka objekt som går att tolka och mäta i ortofotot (se HMK-Bilddata 2015, avsnitt 2.3.2). Upplösningen påverkar även vilken lägesosäkerhet som är möjlig att uppnå.

Ortofoton ska inte framställas med högre upplösning än flygbildens geometriska upplösning.

Vid samtidig beställning av bilddata och ortofoto

2.3.3 Lägesosäkerhet

Rekommendation

- a) Beställaren ställer krav på lägesosäkerhet

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 i ortofotot.

Ortofotots lägesosäkerhet påverkas av flygbildernas lägesosäkerhet i plan och höjd samt av kvalitén i rektifieringsmodellen, det vill säga den höjdmodell som använts för ortorektifieringen.

Kraven ställs utifrån användningen av den beställda produkten.

Bilddata

Se HMK-Bilddata 2015, avsnitt 2.3.3 för mer information om lägesosäkerhet i flygbilder.

Höjdmodell för rektifiering av ortofoto

Höjddata i form av punkter och brytlinjer som representerar mark inklusive broar, dammkonstruktioner och planskilda korsningar utgör grunden för den rektifieringsmodell som används vid ortofotorektifiering. Vid framställning av byggnadsortofoto eller sant ortofoto måste höjddata kompletteras (avsnitt 2.3.4, under rubriken Rektifieringsmodell).

Vanligtvis anges inga direkta krav på kvalitén i höjddata eftersom kravet indirekt redan definierats av kravet på lägesosäkerhet i ortofotot, och vid val av ortofototyp. Det är alltså upp till utföraren att säkerställa att kvalitén i höjddata är tillräckligt hög för att uppnå kravet på lägesosäkerhet i ortofotot. Om existerande höjddata ska användas, kan det finnas behov av kompletterande mätningar för att uppnå kravet på lägesosäkerhet i ortofotot.

Tabell 2.3.3. *Krav på kvaliteten i höjddata vid framtagning av ortofoto för olika HMK-standardnivåer.*

	HMK-standard-nivå 1	HMK-standard-nivå 2	HMK-standard-nivå 3
Geometrisk upplösning, ortofoto (m) *	0,20 - 0,50	0,08 - 0,12	0,02 - 0,05
Punktavstånd i höjddata (m) *	8 - 24	2	0,5
Lägesosäkerhet, blandade förhållanden; Höjd (m)	0,50 - 1	0,10 - 0,25	0,02 - 0,10
Förtätning av höjddata, t.ex. med brytlinjer ** Graden av förtätning anpassas till slutprodukens geometriska upplösning.	Större konstruktioner modelleras, t.ex. <ul style="list-style-type: none">- Broar- Planskilda korsningar- dammar	I tillägg till HMK-standardnivå 1 modelleras medelstora konstruktioner, t.ex. <ul style="list-style-type: none">- avsatser i stadsmiljö- diken- branter och liknande formationer i terrängen	I tillägg till HMK-standardnivå 1 och 2 modelleras mindre konstruktioner, t.ex. <ul style="list-style-type: none">- mindre diken och avsatser

* Punktavståndet anger lämplig upplösning i höjddata vid normal, oexploaterad terräng.

** Behovet av brytlinjer är beroende av områdets karaktär och bedöms från fall till fall.

Standardosäkerheten i höjd tillsammans med punktavståndet påverkar kvalitén i den slutliga produkten. Det rekommenderas att standardosäkerheten i höjd i höjddata ligger på ett värde som motsvarar ortofotots dubbla geometriska upplösning eller bättre. Fel i höjddata påverkar geometrin i ortofotot, mest i flygbildens kanter och minst i mitten av flygbilden.

I Tabell 2.3.3 redovisas rekommenderade värden på höjddata för att uppnå geometriska krav på slutprodukten, det vill säga ortofotot.

HMK – Fotogrammetrisk detaljmätning

Tabell 2.3.1 i HMK – Fotogrammetrisk detaljmätning. Sammanställning av parametrar per HMK-standardnivå för fotogrammetrisk detaljmätning.

Parametrar	HMK-Standardnivå 1	HMK-Standardnivå 2	HMK-Standardnivå 3
<i>Mätning i stereomodell</i>			
Geometrisk upplösning, flygbild (m)*	0,20 - 0,50	0,08 - 0,12	0,02 - 0,05
Lägesosäkerhet, ideala förhållanden Plan/Höjd (m)*	0,20 - 0,50/ 0,30 - 0,75	0,08 - 0,12/ 0,12 - 0,18	0,02 - 0,05/ 0,03 - 0,07
<i>Mätning i plan i ortofoto med interpolerade höjder ur höjddata</i>			
Geometrisk upplösning, ortofoto (m)**	0,20 - 0,50	0,08 - 0,12	0,02 - 0,05
Lägesosäkerhet, ideala förhållanden Plan (m)**	0,20 - 0,50	0,08 - 0,12	0,02 - 0,05
Lägesosäkerhet, ideala förhållanden, höjddata från laserskanning Höjd (m)***	0,10	0,05	0,02
Lägesosäkerhet, ideala förhållanden, ytmodell från flygbilder Höjd (m)***	0,30 - 0,75	0,12 - 0,18	0,03 - 0,07
<i>Övrigt</i>			
Objekttypskatalog och mätanvisningar****	Lista på objekttyper, attributtyp och geometrityp samt mätanvisningar per objekttyp		
Datakvalitet*****	Krav på lägesosäkerhet, fullständighet, tematisk osäkerhet och logisk konsistens		

* Geometrisk upplösning och lägesosäkerhet, ideala förhållanden, enligt HMK-Bilddata 2015, tabell 2.3.1 och avsnitt 2.3.2 – 2.3.3.

** Geometrisk upplösning och lägesosäkerhet i plan, ideala förhållanden, enligt HMK-Ortofoto 2015, tabell 2.3.1 och avsnitt 2.3.2 – 2.3.3.

*** Lägesosäkerhet i höjd, ideala förhållanden, enligt HMK-Höjddata 2015, tabell 2.3.1 och avsnitt 2.3.3. Se samma tabell och avsnitt för lägesosäkerhet i höjd vid blandade förhållanden.

**** Läs mer i avsnitt 2.3.3.

***** Se avsnitt 2.3.4 och tabell 2.3.4 för vanliga värden

2.3.2 Lägesosäkerhet ⁶⁾

Rekommendation

a) Beställaren ställer krav på lägesosäkerhet

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 och höjd för väldefinierade objekt.

Den lägesosäkerhet som kan uppnås beror främst på utgångsmaterialet - i form av flygbilder, ortofoton och höjdmodeller - som används. Läs mer i HMK-Bilddata 2015, avsnitt 2.3.2, eller i HMK-Laserdata, avsnitt 2.3.2, om laserskannad höjdmodell används.

Lägesosäkerheten påverkas också av hur tydliga och väldefinierade de olika företeelserna är (se HMK-Bilddata 2015, avsnitt 2.3.3).

Krav på lägesosäkerhet ställs utifrån användningen av den beställda produkten.

⁶⁾ Detta HMK-dokument har ingen rubrik för geometrisk upplösning eftersom det förutsätts att utgångsmaterial finns.