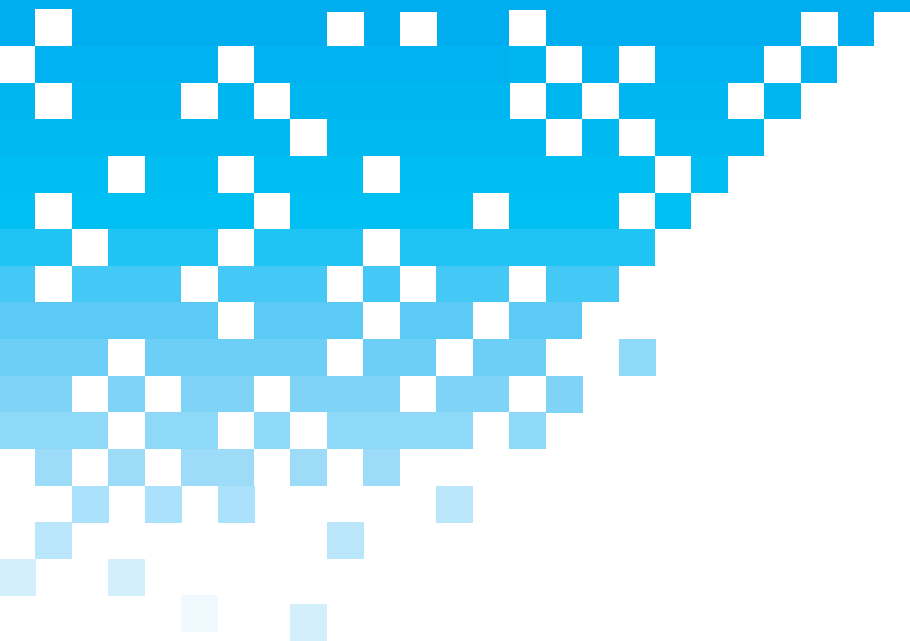


Teknisk rapport 2016:1

Hantering av läges- osäkerheten i geodata - igår och idag

Inklusive en jämförelse mellan HMK och en ny
amerikansk standard för geodatakvalitet

Clas-Göran Persson & Thomas Lithén



Författarnas kontaktuppgifter

Clas-Göran Persson

Lantmäteriet

SE - 801 82 Gävle

clas-goran.persson@lm.se

+46-70-557 6037

Thomas Lithén

Lantmäteriet

SE - 801 82 Gävle

thomas.lithen@lm.se

+46-26-63 34 44

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.

Det viktigaste syftet 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.

Östersund/Gävle, Midsommarafton 2016

/Clas-Göran Persson & Thomas Lithén, Lantmäteriet

[Samlade förord](#)

Innehållsförteckning

| | | |
|----------|---|-----------|
| 1 | Inledning..... | 5 |
| 1.1 | Programförklaring | 5 |
| 1.2 | Disposition | 5 |
| 2 | Tekniska förutsättningar för HMK – förr och nu .. | 6 |
| 2.1 | ”Gamla HMK” | 6 |
| 2.2 | ”Nya HMK” | 8 |
| 2.3 | Jämförelse mellan förr och nu | 10 |
| 2.4 | Upphandling vs. egenregiverksamhet..... | 11 |
| 3 | ASPRS-standarden ”Positional Accuracy Standards for Digital Geospatial Data” | 13 |
| 3.1 | Akronymer..... | 13 |
| 3.2 | Noggrannhet och noggrannhetsmått..... | 14 |
| 4 | Likheter och olikheter mellan ASPRS-standarden och HMK | 16 |
| 4.1 | Jämförelse..... | 17 |
| 4.2 | Vad bör vi överväga att anamma? | 20 |
| 4.2.1 | <i>Vegetated vs. Non-Vegetated Terrain</i> | 21 |
| 4.2.2 | <i>Low Confidence Areas</i> | 22 |
| 4.2.3 | <i>Standardiserad redovisning</i> | 22 |
| 4.2.4 | <i>Hantering av kontrollpunkter</i> | 23 |
| 4.2.5 | <i>Några termer och begrepp</i> | 25 |
| 5 | Referenser..... | 26 |
| 6 | Epilog | 27 |
| A | Empirisk beräkning av 95%-percentiler | 28 |
| | Grundläggande formler | 28 |
| | Beräkningsexempel..... | 28 |

1 Inledning

1.1 Programförklaring

I denna rapport beskrivs och analyseras hanteringen av *lägesosäkerhet* i HMK – samt dess utveckling från den ursprungliga dokumentserien från mitten av 1990-talet fram till dagens "Nya HMK". Även några andra kvalitetsaspekter tas upp och allt relateras till den tekniska utveckling som skett under perioden.

Framställningen kompletteras med en jämförelse mellan HMK och den amerikanska standarden *Positional Accuracy Standards for Digital Geospatial Data*, som har tagits fram av *American Society for Photogrammetry and Remote Sensing (ASPRS)*.

I huvudsak används GUM:s terminologi beträffande *mätosäkerhet*, se *HMK – Ordlista och förkortningar*, juni 2015, kapitel 1 och 2.

1.2 Disposition

Rapportens huvudtext disponeras på följande sätt:

- Kapitel 2 redovisar en "historisk" resumé över HMK:s tekniska förutsättningar och deras förändring över tid,
- Kapitel 3 innehåller en kort beskrivning av ASPRS-standarden,
- Kapitel 4 utgör en jämförelse mellan denna standard och dagens HMK,
- Kapitel 5 innehåller referenser till de dokument som ingått i rapportens analyser och den avslutas med en epilog i Kapitel 6.

Ett utförligt beräkningsexempel finns i Bilaga A.

2 Tekniska förutsättningar för HMK – förr och nu

Inledningsvis beskrivs de tekniska förutsättningarna för HMK – dels i de äldre handböckerna från 1993-95, dels i den nya dokumentserie som nu är under utveckling.

2.1 "Gamla HMK"

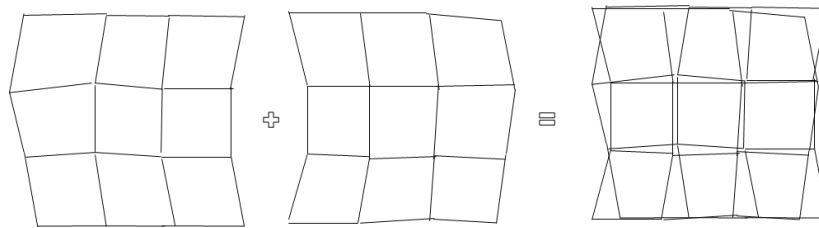
Förutsättningarna för "Gamla HMK" var bl.a. följande:

- Datorkapaciteten var fortfarande begränsad; mini- och stor-datorer dominerade men persondatorer blev allt vanligare. TV-spelen flyttade över till datorn, men datorspelet var relativt enkla – typ Super Mario.
- I geodatabranschen skedde en övergång från analog till digital karthantering, inkl. omfattande digitaliseringsprojekt. Därför fanns det en särskild HMK-Digitalisering. Fortfarande dominerade ett "karttänk" i verksamheten, varför GIS-analyserna var ganska rudimentära, t.ex. *overlay* i 2D.
- Ritningsorienterade CAD-system (*Computer Aided Design*) användes mer och mer inom byggindustrin.
- Mycket av mätningen skedde i fält, vilket krävde ett flertal mätlag på vardera 2-3 personer. Man var under denna period huvudsakligen hänvisad till *relativa* mätningar, t.ex. höjdskillnader, vinklar och avstånd. GPS-/GNSS-tekniken hade introducerats, men även där var det fråga om relativmätningar, s.k. *baslinjer*.
- För att beräkna *absoluta* positioner konstruerades geodetiska nät genom en kombination av sådana mätningar och tidigare bestämda, "kända" punkter. Plan och höjd hanterades vanligen var för sig vid *geodetisk mätning* – mer integrerat vid *fotogrammetrisk mätning*.
- Referenssystemen var *nationella* och inte anpassade till satellittekniken. Myndigheter och kommuner jobbade ofta i olika realiseringar av referenssystemen, eller i helt *lokala* system.
- Systemen var *passiva* och bestod av markerade punkter i terrängen – inte sällan svåråtkomliga uppe på bergstoppar. De var också *statiska* eftersom ingen hänsyn togs till *landhöjningen* och andra *tektoniska rörelser*.
- GNSS-positionerna bestämdes genom *efterberäkning*; höjdmätning var särskilt komplicerad.

- Fotogrammetrin var analog och flygfotografering krävde ett omfattande markstöd, särskilt i höjd. Signalering var därför en arbetskrävande fältaktivitet. Laserskanning hade börjat användas – men inte för den typ av kartläggning som Lantmäteriet och kommunerna utför.

Den relativa mätmetodiken innebar att även uppgifterna om lägesosäkerheten i allt väsentligt var relativa. Visserligen beräknades s.k. *punktmedelfel*, men dessa var inte absoluta utan relaterade till närliggande stompunkter. I det stora hela låg fokus på just den *relativa lägesosäkerheten*. Det primära var att närliggande geografiska objekt stämde överens inbördes. Även kontrollmetoderna var i huvudsak relativa.

Kunskap om den relativa lägesosäkerheten räcker dock inte för att bedöma olika geodamängders *kombinerbarhet*. Att båda datamängderna har en låg relativ lägesosäkerhet är ingen garanti för att en sambearbetning av dem blir lyckad, se Figur 2.1.



Figur 2.1. Trots att de två bilderna som ska adderas har en låg **relativ** lägesosäkerhet – var för sig – så blir inte resultatet av en *over-lay* särskilt bra. För detta krävs att även den **absoluta** lägesosäkerheten är låg.

Detta blir särskilt viktigt om man ska studera förändringar över tid, t.ex. genom att jämföra en äldre karta med en nyare. Då kan skillnader kartorna emellan bero på geometriska "skavanker" i data snarare än på verkliga förändringar mellan de två tidpunkterna.

Eftersom absolut lägesbestämning inte var möjlig var det dock svårt att ställa krav på den absoluta lägesosäkerheten. Därför blev det än viktigare att *successivt* kontrollera de olika stegen i mätprocessen.

Denna stegvisa kontroll var filosofin i "gamla HMK" vid formuleringen av felgränser/toleranser. Kraven formulerades formellt på ungefär följande sätt:

$$\text{relativ mättolerans} = a \cdot \text{specificerad mätosäkerhet}$$

där a är ett tal ≥ 1 . Det talet ger toleransen en "säkerhetsmarginal" gentemot specifikationen, som beror på den valda *signifikansnivån*.

Exempel 2.1: Nedanstående tabell är ett utdrag ur Tabell A.7 i HMK-Stommätning. Den avser test av *grundmedelfel* (viktsenhetens standardosäkerhet) vid utjämnning av geodetiska nät. Under vissa förutsättningar ger denna storhet ett kvitto på om den faktiska mätosäkerheten överensstämmer med den specificerade.

Ett värde ≤ 1 indikerar att så är fallet medan ett värde > 1 är en indikation på att mätosäkerhetskraven inte är uppfyllda.

Tabellen anger vad som är en **signifikant** avvikelse (från 1) för olika antal frihetsgrader/överbestämningar, på 95%-nivån. För exempelvis 20 överbestämningar så måste överskridandet vara minst 25% (1,25) för att vara "statistiskt säkerställt".

| Antal överbestämningar | Maximalt grundmedelfel |
|------------------------|------------------------|
| 1 | 1,96 |
| 2 | 1,73 |
| 5 | 1,49 |
| 10 | 1,35 |
| 20 | 1,25 |
| 50 | 1,16 |
| 100 | 1,11 |
| 200 | 1,08 |
| 500 | 1,05 |
| ∞ | 1,00 |

Det fanns dock ingen direkt koppling mellan de **relativa** toleranserna och slutprodukten **absoluta** lägesosäkerhet – åtminstone inte *kvantitativt*, i siffror. Sambandet mellan krav och användbarhet var mer *kvalitativt*: "Om toleranserna klaras så uppfylls kraven från den och den tillämpningen" (t.ex. som bruksnät, anslutningsnät etc.).

2.2 "Nya HMK"

I dag är läget annorlunda:

- Det har skett en exponentiell utveckling av datorernas *prestanda och minneskapacitet*. I dag har var och en betydligt mer datorkraft på skrivbordet än vad en hel kommun hade för 20-25 år sedan.
- *Smart phones* och *GPS-navigatörer* är vardagsteknik och den penningstarka spelindustrin – *Virtual Reality (VR)* – har börjat samarbeta med "the real world", dvs. geodatabranschen.

- Sambearbetning av *kombinerbara geodata i 3D* från olika källor är nu allt viktigare, i t.ex. svenska geodatasamverkans och Inspire:s anda. *Crowdsourcing* – allmänhetens bidrag till uppdateringen av geodata, t.ex. via sina *smart phones* – börjar bli en realitet att fortsättningsvis räkna med.
- *GIS-analyserna* blir alltmer *avancerade* i takt med dator- och programvaruutvecklingen. *3D-visualisering* är ett viktigt inslag i t.ex. plan- och byggprocessen.
- *BIM (Building Information Modelling)*, med mer *objektorienterade data*, är på väg att ta över från rena CAD-ritningar inom byggindustrin. BIM närmar sig därmed GIS i detta avseende, men det finns fortfarande skillnader vad gäller sättet att modellera, hantera referenssystem, geometrimodell, kodningsprinciper, terminologi m.m.
- Fältarbetet är numera ett *ensamarbete* – oavsett om det gäller traditionell mätning (*one-man-totalstations*) eller GNSS-mätning. Ett slagkraftigt alternativ är "*mätning på kontoret*", dvs. 3D-mätning i en datormodell i stället för att gå ut i fält.
- *Absolut lägesbestämning* är i dag möjlig – i 3D via *nätverks-RTK*. Detta gäller såväl produktions- som kontrollmätningen, som båda kan genomföras direkt i *referenssystemet*.
- Referenssystemen är *globala* och anpassade till GNSS-tekniken. De flesta aktörer jobbar i samma system.
- Systemen är såväl *aktiva* som *dynamiska*. Korrektioner sänds ut från *referensstationer* och tektoniska rörelser monitoreras bl.a. via en *landhöjningsmodell*.
- Satellitpositionering på centimeternivå i *realtid* är möjlig, såväl i plan som höjd. Det senare genom utnyttjande av en *geoidmodell*.
- GNSS-stödd flygfotografering och laserskanning är standardteknik. Det innebär färre markstöd och därför mindre fältarbete. Fotogrammetrin är digital.

Absoluta osäkerhetsmått kan nu beräknas, vilket möjliggör kravställning och kontroll av slutproduktens absoluta lägesosäkerhet¹. De moderna geodastandarderna rekommenderar dock kontroll av

¹) Fortfarande är den *relativa osäkerheten* mest central då det gäller *precisionsmätning i samband med bygg- och anläggningsverksamhet*. Där är det viktigare att *konstruktionsdetaljerna ligger rätt i förhållande till varandra* än att *anläggningen som sådan placeras korrekt i koordinatsystemet*.

både delprocesser och slutprodukt, för att kunna sätta in förbättringsåtgärder i ett tidigt skede.

Absolut lägesbestämning och absoluta osäkerhetsmått har också underlättat analysen vid sambearbetning av geodata.

Det finns nu en tydlig **kvantitativ** koppling mellan toleranserna och den specificerade lägesosäkerheten:

$$\text{absolut kontrolltolerans} = a \cdot \text{specificerad lägesosäkerhet}$$

Även här är a ett tal ≥ 1 , som ger en "säkerhetsmarginal" mot specifikationen beroende på den valda *signifikansnivån*. Logiken är: "För att med angiven signifikansnivå uppnå standardosäkerheten X bör toleransen vara $Y = aX$ " eller omvänt "Att klara toleransen Y innebär att standardosäkerheten kan uppskattas till $X = \frac{1}{a} Y$ ".

[Exempel 2.2:](#) Även här kan tabellen i Exempel 2.1 användas för att bestämma ett signifikant a -värde. T.ex. bör ett RMS (se Kapitel 3) från en kontrollmätning av 20 punkter inte överskrida den specificerade standardosäkerheten med mer än 25% ($a = 1,25$).

Toleranserna i "nya HMK" baseras sammantaget på följande faktorer:

- *Beställarens krav* på produktens (maximala) lägesosäkerhet.
- *Produktionsmetoden* och dess mätosäkerhet.
- *Det funktionella sambandet* mellan mätningar och sökta storheter, t.ex. avvägd höjdskillnad vs. beräknad höjd.
- *Kontrollerbarheten*, det s.k. k -talet som bl.a. grundas på antalet överbestämningar.
- *Kontrollmetoden* och dess mätosäkerhet.
- *Vald signifikansnivå*, t.ex. 95%.

2.3 Jämförelse mellan förr och nu

Utvecklingen under 20-årsperioden sammanfattas i Tabell 2.3.

Tabell 2.3. De tekniska förutsättningarna för HMK – förr och nu.

| Gamla HMK | Nya HMK |
|--------------------------|---|
| Begränsad datorkapacitet | Exponentiell utveckling av datorprestanda och minneskapacitet |
| Internet tar över | Smart phones och GPS-navigatorer är vardagsteknik |
| Enklare datorspel | VR samarbetar med "the real world" |

| | |
|---|--|
| Övergång från analog till digital karthantering, men fortfarande ett "karttänk" | Sambearbetning av kombinerbara geodata i 3D från olika källor; Crowdsourcing |
| Rudimentära GIS-analyser, a la "overlay" i 2D | Avancerade GIS-analyser och 3D-visualisering |
| CAD användes inom byggindustrin | BIM, med mer objektorienterade data, tar över från CAD och närmar sig GIS |
| Omfattande fältarbete och många mätlag | Ensamarbete i fält alternativt 3D-mätning "på kontoret" |
| Relativa mätningar; absoluta positioner via geodetiska nät; separat fältmätning i plan och höjd | Absolut lägesbestämning i fält - i 3D - via nätverks-RTK |
| En flora av olika referenssystem - som inte var anpassade till satellit-teknik; systemen var passiva och statiska | Globala, enhetliga referenssystem - anpassade till GNSS-tekniken; systemen är aktiva och dynamiska |
| GNSS-positionerna bestämdes genom efterberäkning; höjdmätning var särskilt komplicerad | Satellitpositionering på centimeternivå i realtid - såväl i plan som höjd |
| Flygfotografering krävde omfattande markstöd; laserskanning användes inte för kartläggningsändamål | GNSS-stödd flygfotografering och laserskanning, med färre markstöd |
| Analog fotogrammetri | Digital fotogrammetri |
| Relativa osäkerhetsmått i förhållande till närliggande objekt | Absoluta osäkerhetsmått |
| Successiv kvalitetskontroll i mätprocessen | Kontroll både av delprocesser och slutprodukt |
| Ingen kvantitativ koppling mellan toleranser och krav | Tydlig koppling mellan toleranser och krav |

2.4 Upphandling vs. egenregiverksamhet

Det finns även en skillnad mellan förr och nu vad gäller om mätuppdrag upphandlas eller bedrivs i egen regi. Där är dock inte skillnaderna lika tydliga och utvecklingen inte lika strömlinjeformad som i Tabell 2.3.

Den äldre handboksserien riktade sig direkt till *utföraren* - oavsett om denne tillhörde den egna organisationen eller var en konsult som var upphandlad för mätuppdraget i fråga. Det fanns inget HMK-stöd för själva upphandlingen, men i många verksamheter upphandlades i princip allt.

Det tydligaste exemplet är fotogrammetri, inkl. flygfotografering. Det svenska utbudet av fotogrammetrikonsulter var på den tiden stort och kommunerna anlidade dessa fullt ut.

Den nya dokumentserien har ett mer renodlat *beställar-/utförarfokus*, eftersom upphandling av alla typer av tjänster i dag är betydligt vanligare. Ofta har – därför – den egna organisationens mätverksamhet reducerats kraftigt och ibland kommit att bli en ren *beställarfunktion*. Då ökar behovet av stöd i HMK för sådant som upphandling, kravformulering, kontroll etc.

Det är dock inte allt som upphandlas. Beträffande just fotogrammetri så finns nu en trend att exempelvis kommunerna "tar tillbaka" sådant som tidigare har upphandlats. Det beror främst på att denna teknik inte längre kräver (dyra) specialinstrument och specialkompetens utan kan utföras på en vanlig PC, av den egna personalen.

Hur som helst så finns det fördelar med att ha tydliga tekniska specifikationer. Detta oavsett om det gäller upphandling externt, hantering inom ramen för ett internt köp-/säljkoncept eller ren egenregiverksamhet. Där för passar "Nya HMK" även i de två senare sammanhangen.

3 ASPRS-standarden "Positional Accuracy Standards for Digital Geospatial Data"

Standarden *Positional Accuracy Standards for Digital Geospatial Data* är avsedd att ersätta ett antal äldre, amerikanska standarder rörande ortofoto, digitala geodata och höjdmodeller. Den är daterad November 2014.

ASPRS-standarden är ganska översiktlig. Den är mer inriktad på presentation av kvalitet än på kvalitetskrav och överlåter mycket av detaljerna till beställare och utförare – t.ex. att formulera dessa krav. I appendix finns dock flera jämförelsetabeller och numeriska exempel som är förhållandesvis konkreta och direkt tillämpbara. De delar av appendix som innehåller referenser bakåt till tidigare standarder är dock mest av historiskt intresse (i USA).

ASPRS betraktar sitt dokument som början på ett mer omfattande arbete och bedömer att flera kompletterande standarder måste tas fram. I dagsläget är ASPRS-standarden fristående från motsvarande internationella standarder och inge referenser till sådana finns. En ambition finns dock att närma sig dessa i framtiden.

3.1 Akronymer

De viktigaste akronymerna i standarden redovisas i Tabell 3.1. (I analogi med amerikansk standard så används *decimalpunkt* som decimalavskiljare.)

Tabell 3.1. Några centrala förkortningar – akronymer – i ASPRS-standarden.

| | | |
|------|---------------------------------|---|
| NVA | Non-vegetated Vertical Accuracy | Höjdnoggrannhet i obevuxen terräng |
| VVA | Vegetated Vertical Accuracy | Höjdnoggrannhet i bevuxen terräng |
| RMSE | root-mean-square-error | RMS av skillnaden mellan produktions- och kontrollmätning $\text{RMSE} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (p_i - k_i)^2} =$ $= \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \epsilon_i^2}$ |

| | | |
|-------------------|--|--|
| RMSE _x | horizontal RMS in X direction (Easting) | RMS i Easting ¹⁾ |
| RMSE _y | horizontal RMS in Y direction (Northing) | RMS i Northing ¹⁾ |
| RMSE _r | horizontal, linear RMSE in the radial direction: $\text{RMSE}_r = \sqrt{\text{RMSE}_x^2 + \text{RMSE}_y^2}$ | (radiellt) RMS i plan |
| RMSE _z | vertical, linear RMSE in the Z direction (Elevation) | RMS i höjd |
| ACC _r | Horizontal (radial) accuracy at the 95% confidence level | ACC _r = 1.73 · RMSE _r |
| ACC _z | Vertical linear accuracy at the 95% confidence level | ACC _z = 1.96 · RMSE _z |
| \bar{x} | mean error, for x | $\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (p_i - k_i) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \varepsilon_i$ dvs. "genomsnittligt fel" (avvikelse vid kontrollmätning) ²⁾ |
| NPD | Nominal Point Density | Nominell punkttäthet |
| NPS | Nominal Point Spacing | Nominellt punktavstånd |
| GSD | Ground Sample Distance | Geometrisk upplösning (avstånd mellan pixelcentra) på marken hos rasterdata |

¹⁾ Observera att X är Easting och Y är Northing

²⁾ Inte att förväxla med "medelfel", som är av kvadratisk natur.

3.2 Noggrannhet och noggrannhetsmått

Standarden nämner *mätosäkerhet* (*uncertainty in measurement*) i inledningen och ger en GUM-liknande förklaring till begreppet – dock utan att explicit nämna GUM och utan att GUM finns med i referenslistan. *Standardosäkerhet* (*standard uncertainty*) definieras som *standardavvikelse* (*standard deviation*).

I övrigt används i huvudsak *noggrannhet* (*accuracy*)². Ofta uttrycks noggrannheten som 2 *sigma* (95%) snarare än 1 *sigma*, dvs. *medelfel*

²⁾ För att underlätta direkt jämförelse med ASPRS-standarderna används ibland *noggrannhet* i stället för GUM:s/HMK:s *mätosäkerhet* i kapitel 3 och 4.

(*standard error*). *Lägesnoggrannhet (positional accuracy)* anges i förhållande till ett angivet datum/referenssystem – i plan (*horizontal*) eller höjd (*vertical*).

RMSE är det vanligast förekommande kontrollmåttet i standarden. Dock används *RMSD (root-mean-square difference)* vid beräkning av relativ noggrannhet.

I HMK använder den kortare akronymen *RMS*. Det senare följer praxis inom geodesi och fotogrammetri i Sverige. Samtidigt undviks därigenom termen *RMSE*, som strider mot grundvalarna i GUM där begreppen fel/error undviks. På så sätt slipper vi även klumpiga akronymer med fyra, ja ibland t.o.m. fem bokstäver.

RMS/RMSE, se Tabell 3.1, kommer in i bilden vid analys av kvalitetskontroll via storheten

$$\varepsilon_i = p_i - k_i$$

där ε_i är skillnaden mellan den ursprungliga *produktionsmätningen* p_i och den separata *kontrollmätningen* k_i . Den senare ska härröra "...from an independent source of higher accuracy for identical points".

Följande exempel får utgöra "språknyckel" vid översättning mellan HMK:s och ASPRS-standardens språk och beteckningar:

- HMK skriver "kontrollmätningens RMS i plan" i stället för $RMSE_p$, och
- "RMS från kontrollmätning i höjd" i stället för $RMSE_z$.

En mer ingående diskussion kring begreppet *RMS* finns i HMK-TR 2015-1: *Terminologi, principer och trender inom geodatakvalitet*, avsnitt 2.10 och Bilaga A.

4 Likheter och olikheter mellan ASPRS-standarden och HMK

Det amerikanska konceptet ter sig alltså mer inriktat mot intern verksamhet – att ge riktlinjer för egen produktion inom den nationella kartmyndigheten. Kvalitetskraven är i många delar lägre än de som finns i HMK och konstruktionen verkar inte särskilt väl lämpad för en beställar-/utförarrelation. Toleranserna är mer pragmatiska än stringenta.

Som tidigare antytts så tillämpar den amerikanska standarden i princip endast ett kontrollmått, RMSE. Måttet används både för att redovisa faktisk/erhållen lägesosäkerhet och för att kontrollera om i förväg ställda krav är uppfyllda. Det är alltså det beräknade RMSE-värdet som är det primära. Någon bakomliggande koppling till krav på lägesosäkerheten finns inte. Man specificerar dock ett antal parametervärden, som gör det möjligt att klara kravet på RMSE, t.ex. flyghöjd, pixelstorlek, NPD, NPS och GSD.

I Tabell 4 redovisas några klasser för noggrannheten i plan. Benämningen på respektive klass bygger på beräknade RMSE per koordinat ($RMSE_x$ resp. $RMSE_y$). $RMSE_p = \sqrt{2} \cdot RMSE_x$ eller $\sqrt{2} \cdot RMSE_y$.

Tabell 4. Noggrannhetsklasser i plan i ASPRS-standarden (utdrag).

| Plannoggrannhetsklass, $RMSE_x$ och $RMSE_y$ (Horizontal Accuracy Class) | $RMSE_p$ (mm) |
|--|------------------|
| 0.63 cm | ≤ 9 |
| 1.25 cm | 18 |
| 2.5 cm | 35 |
| 5.0 cm | 71 |
| 7.5 cm | 106 |
| 10.0 cm | 141 |
| 12.5 cm | 177 |
| 15.0 cm | 212 |
| 17.5 cm | 247 |
| 20.0 cm | 283 |
| 22.5 cm | 318 |
| 25.0 cm | 354 |
| 27.5 cm | 389 |
| 30.0 cm | 424 |

I ASPRS-standarden sätter man alltså

tolerans = specificerad standardosäkerhet

dvs. utan den "säkerhetsmarginal" som normalt tillämpas inom statistiken, jfr. Exempel 2.1 och 2.2.

4.1 Jämförelse

I Tabell 4.1 jämförs ASPRS-standarden med HMK punkt för punkt. Rubrikerna i denna "jämförelsematris" är hämtade från kapitelindelningen i den amerikanska standardens huvudtext.

På så sätt blir tabellen även en kort introduktion för den som vill tränga djupare in i ASPRS-dokumentet. Huvudtexten innehåller också referenser till bilagorna (A-D), som ger mer detaljerade beskrivningar i form av t.ex. tabeller och exempel.

Tabell 4.1. Jämförelse mellan ASPRS och HMK. I ASPRS-kolumnen används termen "noggrannhet" (Accuracy) medan "(läges)osäkerhet" används beträffande HMK. (Avsnittsnummer enligt ASPRS.)

| Avsnittsnummer | ASPRS | HMK |
|-----------------------------|--|---|
| 1 PURPOSE | Ersätter ett antal äldre standarder som teknikutvecklingen gjort omöjliga. | Ersätter ett antal äldre handböcker som teknikutvecklingen gjort omöjliga; är ej en formell standard. |
| 1.1 Scope and Applicability | Fokus på lägesnoggrannhet för ortofoto samt digitala geodata i plan och höjd; inga detaljerade teknik- eller metodikbeskrivningar. | Belyser flera olika kvalitetsaspekter och produkter; inkluderar beskrivningar av teknik/metodik för att uppnå kraven. |
| 1.2 Limitations | Utgör starten på ett långsiktigt kvalitetsarbete. | Mer komplett i sin första publicering, men måste ajourhållas kontinuerligt. |
| 1.3 Structure and Format | Huvudtext + detaljer i bilagor; ett kortfattat dokument. | Huvudtext + detaljer i bilagor; ett - ganska omfattande - dokument per teknikområde. |
| 2 CONFORMANCE | Man deklarerar att "No conformance requirements are established for this standard", vilket betyder att det inte finns några formella krav på hur man (be)visar att man följt standarden. | Beställaren gör en teknisk specifikation utifrån ett antal rekommenderade - men valbara - rubriker/parametrar; bl.a. specificeras dokumentationskraven. Se Exempel 4.1.a. |

| | | |
|---|--|---|
| 3 REFERENCES | Inga referenser till internationella standarder. | Följer de internationella geodatastandarderna ganska väl. |
| 4 AUTHORITY | Branschen – genom ASPRS – har ansvaret. | Lantmäteriet har det formella ansvaret, men branschen medverkar. |
| 5 TERMS AND DEFINITIONS | En kort ordlista med de viktigaste termerna ingår... | Komplett ordlista i ett separat dokument (HMK-Ordlista),... |
| 6 SYMBOLS, ABBREVIATED TERMS, AND NOTATIONS | ... liksom en kort förteckning över använda akronymer. | ... i vilken även förekommande akronymer ingår. |
| 7.1 <i>Statistical Assessment of Horizontal and Vertical Accuracies</i> | Noggrannhetsredovisning och kontroll bygger primärt på <i>root-mean-square-errors</i> , RMSE, i plan och höjd samt på <i>konfidensintervall</i> . | Redovisning och kontroll av <i>lägesosäkerhet</i> baseras på <i>systematisk avvikelse</i> , <i>standardosäkerhet</i> , <i>RMS</i> och <i>konfidensintervall</i> ; därutöver testas: <i>fullständighet</i> , <i>logisk konsistens</i> , <i>tematisk</i> och <i>temporal osäkerhet</i> samt <i>användbarhet</i> . |
| 7.2 <i>Assumptions Regarding Systematic Errors and Acceptable Mean Errors</i> | <i>Systematik</i> och <i>grova fel</i> ska vara eliminerade så att data kan förutsättas vara <i>normalfördelade</i> ; toleransen för <i>skift</i> är $\leq 1/4$ av motsvarande RMSE och grova fel får vara max $3 \cdot \text{RMSE}$. | Ungefär samma betraktelsesätt, men skift hanteras mer situationsanpassat och toleransen beror på den aktuella tillämpningen. |
| 7.3 <i>Horizontal Accuracy Standards for Geospatial Data</i> | RMSE utgör grund för indelningen i <i>noggrannhetsklasser</i> , se Tabell 4 ovan; det finns en viss koppling mellan dessa klasser och <i>kartskala</i> , <i>bildupplösning</i> etc. | HMK har fyra <i>standardnivåer</i> beroende på tillämpning. En koppling finns mellan dessa och <i>standardosäkerhet</i> , <i>bildupplösning</i> , <i>punkttäthet</i> samt <i>övertäckning</i> inom och mellan stråk. |
| 7.4 <i>Vertical Accuracy Standards for Elevation Data</i> | I höjd skiljer man på <i>obevuxen (non-vegetated)</i> och <i>bevuxen (vegetated)</i> terräng vid kravställning och kvalitetsredovisning; olika teststorheter och toleranser används i de två fallen. | Krav enbart på tydligt definierade ytor eller signaler – inte på t.ex. vegetationsytor. Se Exempel 4.1.b. |

| | | |
|---|---|--|
| 7.5 <i>Horizontal Accuracy Requirements for Elevation Data</i> | Noggrannheten i plan ska skattas även för höjddata; formler och tabeller tillhandahålls för denna skattning. | Krav enbart på tydligt definierade ytor, signaler eller objekt. Se Exempel 4.1.b. |
| 7.6 <i>Low Confidence Areas for Elevation Data</i> | Otillförlitliga områden (<i>Low Confidence Areas</i>) – t.ex. vid tät vegetation – ska redovisas med hjälp av en polygon. | Krav finns på punkttäthetskartor. Se Exempel 4.1.c. |
| 7.7 <i>Accuracy Requirements for Aerial Triangulation and INS-based Sensor Orientation of Digital Imagery</i> | Fotogrammetrisk geodatainsamling föregås av blocktriangulering eller orientering av kameran/sensorn direkt i fält med GNSS-/tröghetsnavigering; kraven på detta försteg relateras till kraven på noggrannheten i slutprodukten. | De flesta kraven är mer av typen processkrav än siffermässig detaljstyrning Se Exempel 4.1.d. |
| 7.8 <i>Accuracy Requirements for Ground Control Used for Aerial Triangulation</i> | Markstödpunkter ska ha en lägesnoggrannhet som är åtminstone fyra (4) gånger bättre än den produkt som testas | Stödpunkters lägesosäkerhet ska vara $\leq 1/3$ av den som specificerats för produkten. |
| 7.9 <i>Checkpoint Accuracy and Placement Requirements</i> | Kontrollpunkter ska ha en lägesnoggrannhet som är minst tre (3) gånger bättre än den produkt som testas. | Även kontrollpunkternas lägesosäkerhet ska vara $\leq 1/3$ av produktspecifikationen (samma krav som i ASPRS) |
| 7.10 <i>Checkpoint Density and Distribution</i> | Minst 20 kontrollpunkter krävs generellt; i Bilaga C ges ytterligare detaljanvisningar. | Kombination av riktlinjer och val som beställaren gör. Samma krav på kontroll- och stödpunkter. |
| 7.11 <i>Relative Accuracy of Lidar and IFSAR Data</i> | Kompletterande tester rekommenderas för laserdata: <i>Relative accuracy between and within swaths.</i> | Rasterkarta med avvikelser mellan stråk – samt RMS-värden – föreslås ingå i dokumentationen. |
| 7.12 <i>Reporting</i> | Sättet att rapportera kvalitet är standardiserat – med färdiga, enhetliga formuleringar. | Förslag till kvalitetsrapportering finns, som beställaren kan välja valda delar av och/eller göra egna tillägg till. |

Exempel 4.1.a: I HMK gör beställaren en egen teknisk specifikation, beroende på vald standardnivå. Det sker med hjälp av val i kapitel 2 och förslag på genomförandekrav i kapitel 3 i varje tekniskt dokument (enhetlig kapitelnumrering). Ett av valen avser vilken dokumentation som ska följa med leveransen – utifrån förslag i en bilaga – för att bevisa att produkten håller ”måttet”.

Exempel 4.1.b: I HMK finns krav på lägesosäkerheten i höjd endast för tydligt definierade ytor eller signaler. Inga krav finns för t.ex. vegetationsytor, men det nämns att resultatet kan bli avsevärt sämre på lutande ytor eller ytor med vegetation. Krav på lägesosäkerheten i plan finns för tydligt definierade ytor, signaler eller objekt.

Se HMK-Bilddata 2015, avsnitt 2.3.3 och HMK-Laserdata 2015, avsnitt 2.3.4. Det finns även hänvisningar till SIS TS 21144:2013 avseende kontroll av markytans återgivning.

Exempel 4.1.c: I HMK rekommenderas att ställa krav på leverans av punkttäthetskartor för markklassade punkter samt ”sista och enda retur” – som metadata och som produktionsdokumentation. Se HMK-Laserdata 2015, avsnitt 2.4.4 och Bilaga A.1.3.

Exempel 4.1.d: Kraven i HMK vad gäller blocktriangulering är i huvudsak *processkrav*. Det finns dock även två mer siffermässiga krav:

- på *grundmedelfelet (viktsenhetens standardosäkerhet)* vid blocktriangulering (HMK-Bilddata 2015, krav 3.4.2d), och
- på att fotogrammetrisk detaljmätning i 3D ska vara möjlig med högst den lägesosäkerhet som specificerats i beställningen (HMK-Bilddata 2015, krav 3.4a).

Om kontroll via särskilda kontrollpunkter ingår i beställningen så finns en beskrivning av hur dessa bör hanteras i HMK-Bilddata, Bilaga A.3.2.d.1. Sådan kontroll kan utföras av såväl beställaren som utföraren.

4.2 Vad bör vi överväga att anamma?

Det finns ett antal saker i den amerikanska standarden som vi bör analysera och eventuellt anamma i kommande HMK-versioner. Vi vill framför allt lyfta fram följande delar:

- *Vegetated vs. non-vegetated terrain*
- *Ev. Low Confidence Areas*
- Standardiserad redovisning
- Hantering av kontrollpunkter.

Dessutom finns det några enstaka termer vars definition och användning vi måste titta närmare på:

- Absolut, relativ och lokal noggrannhet/mätosäkerhet
- Ground Sample Distance (GSD).

4.2.1 Vegetated vs. Non-Vegetated Terrain

En intressant del av standarden är uppdelningen i *bevuxen (vegetated)* och *obevoxen (non-vegetated)* terräng vid kontroll och redovisning av noggrannheten i höjd. I Tabell 4.2.1 redovisas standardens klassindelning (ASPRS avsnitt 7.4 och Bilaga D.2-D.3). I kolumn 3, anges toleranserna för bevuxen terräng (VVA, *Vegetated Vertical Accuracy*). Dessa relaterar till 95%-percentilerna, beräknade enligt den metod som beskrivs i föreliggande rapports Bilaga A, $VVA=1.96 \cdot NVA$.

Tabell 4.2.1. Terrängklasser för noggrannheten i höjd

| | | |
|--------------------------|---------------------------|-----|
| Open Terrain | Öppen terräng | NVA |
| Urban Terrain | Tätort, betong och asfalt | |
| Weeds & Crops | Högt gräs och gröda | VVA |
| Brush Lands | Snårskog, ris | |
| Fully Forested | Skogbevuxen terräng | |

I Tabell 4.2.2 redovisas några av klasserna för noggrannheten i höjd (ASPRS, Bilaga B.4). I kolumn 2 anges toleranserna för obevoxen terräng (NVA, *Non-vegetated Vertical Accuracy*). Dessa relaterar direkt till beräknade $RMSE_z$. I kolumn 4-5 redovisas rekommenderad punkttäthet i laserdata för att erhålla en viss höjdnoggrannhet i slutprodukten. Täthetsmått är *NPD (Nominal Point Density)* och *NPS (Nominal Point Spacing)*, se Tabell 3.1. Dessa två mått förhåller sig till varandra som

$$NPD = 1 / NPS^2$$

dvs. de är utbytbara, och man väljer normalt det mått som ger så få decimaler som möjligt.

Tabell 4.2.2. Noggrannhet i höjddata vs. punkttätheten i laserdata (urval).

| Höjdnoggrannhetsklass (Vertical Accuracy Class) | Noggrannhet | | Rekommendation | |
|--|--|--------------------------------------|-----------------------------------|----------------|
| | RMSE _z (Non-Vegetated) (mm) | 95%-percentil (Vegetated) (mm) | min NPD (pls/ m ²) | max NPS (m) |
| 1 cm | ≤ 10 | ≤ 20 | ≥ 20 | ≤ 0.22 |
| 2.5 cm | 25 | 49 | 16 | 0.25 |
| 5 cm | 50 | 98 | 8 | 0.35 |
| 10 cm | 100 | 196 | 2 | 0.71 |

| | | | | |
|---------|------|------|------|-----|
| 15 cm | 150 | 294 | 1 | 1.0 |
| 20 cm | 200 | 392 | 0.5 | 1.4 |
| 33.3 cm | 333 | 653 | 0.25 | 2.0 |
| 66.7 cm | 667 | 1307 | 0.1 | 3.2 |
| 100 cm | 1000 | 1960 | 0.05 | 4.5 |

4.2.2 Low Confidence Areas

ASPRS anger att områden med otillförlitliga höjdvärden – t.ex. på grund av vegetation – bör ringas in med en polygon och förklaras i metadata. Dessa polygoner är den digitala världens motsvarighet till streckade höjdkurvor, som länge har använts för att markera sådan osäkerhet på analoga kartor. Ev. finns det något för HMK att "låna" här.

Definitionen av dessa *Low Confidence Areas* vid laserskanning baseras på följande parametrar (ASPRS, avsnitt 7.6 och Bilaga C.8):

- Erhållen punkttäthet på marken (i förhållande till den specificerade)
- Pixelstorleken eller sökradien vid beräkning av denna punkttäthet
- Definierad minsta storlek på polygoner för Low Confidence.

4.2.3 Standardiserad redovisning

I avsnitt 7.12 i ASPRS finns några exempel på standardiserade kvalitetsredovisningar. OBS att man skiljer på "tested to meet" och "produced to meet". I det första fallet har man genom kvalitetskontroll verifierat att det verkligen är så. I det andra har man använt teknik och metoder som bedöms ge en viss kvalitet. Vi väljer att återge texterna i sin helhet, på originalspråket:

Exempel 4.2.3.a: The horizontal accuracy of digital orthoimagery, planimetric data, and elevation data sets shall be documented in the metadata in one of the following manners:

- This data set was tested to meet ASPRS Positional Accuracy Standards for Digital Geospatial Data (2014) for a _____ cm $RMSE_x / RMSE_y$ Horizontal Accuracy Class. Actual positional accuracy was found to be $RMSE_x =$ _____ cm and $RMSE_y =$ _____ cm, which equates to Positional Horizontal Accuracy = +/- _____ cm at a 95% confidence level.
- This data set was produced to meet ASPRS Positional Accuracy Standards for Digital Geospatial Data (2014) for a _____

cm $RMSE_x / RMSE_y$ Horizontal Accuracy Class, which equates to Positional Horizontal Accuracy = +/- _____ cm at a 95% confidence level.

Exempel 4.2.3.b: The vertical accuracy of elevation data sets shall be documented in the metadata in one of the following manners:

- This data set was tested to meet ASPRS Positional Accuracy Standards for Digital Geospatial Data (2014) for a _____ cm $RMSE_z$ Vertical Accuracy Class. Actual NVA accuracy was found to be $RMSE_z =$ _____ cm, equating to +/- _____ cm at a 95% confidence level. Actual VVA accuracy was found to be +/- _____ cm at the 95th percentile.
- This data set was produced to meet ASPRS Positional Accuracy Standards for Digital Geospatial Data (2014) for a _____ cm $RMSE_z$ Vertical Accuracy Class, equating to NVA = +/- _____ cm at a 95% confidence level and VVA = +/- _____ cm at the 95th percentile.

I föreliggande rapports Bilaga A redovisas hur "the 95th percentile" (95%-percentilen) beräknas.

4.2.4 Hantering av kontrollpunkter

ASPRS-standarden hänvisar till att kontrollpunkternas täthet och fördelning är något som måste överenskommas mellan beställare och utförare.

Förutom den allmänna principen att "checkpoints should be three times more accurate than the required accuracy of the data set being tested" ges dock några ytterligare rättesnören i standardens, mycket utförliga, Bilaga C. Dessa avser antal punkter samt deras placering, utformning, lägesosäkerhet etc.

T.ex. anges villkoren för att utesluta en kontrollpunkt från fortsatta beräkningarna på grund av stora avvikelser. Dessa är:

- att det går att visa att den var olämpligt placerad redan från början
- att det går att visa att terrängen har förändrats mellan inmätningen av kontrollpunkten och själva datafångsten
- att det går att visa att rimliga åtgärder för att förklara avvikelsen har vidtagits samt att borttagandet dokumenteras och rapporteras.

Att bara hänvisa till att avvikelsen i kontrollpunkten är större än tre gånger standardavvikelsen – utan att analysera orsaken – är inte en tillräcklig förklaring!

Ibland måste planläget för datapunkterna i en höjdmodell interpoleras – t.ex. med hjälp av ett TIN (*Triangulated Irregular Network*) för att kunna jämföras med motsvarande kontrollpunkt. Punktavstånden bör då vara sådana att interpolationsfelen minimeras. ASPRS rekommendation är att kontrollpunkter i höjd inte bör placeras på ytor som lutar mer än 10 %.

Standardens rekommenderade antal kontrollpunkter i förhållande till projektarean redovisas i Tabell 4.2.4. Minst 20 % av kontrollpunkterna ska placeras i varje kvadrant av projektområdet.

Tabell 4.2.4. Rekommenderat antal kontrollpunkter i förhållande till projektets area. Punkterna bör fördelas proportionellt i de olika terrängklasser, enligt Tabell 4.2.1, som förekommer i projektet.

| Projektarea (km^2) | Kontroll av noggrannheten i plan för ortofoto och planbild | Kontroll av höjdmodeller i plan och höjd | | |
|----------------------------|--|---|--|---------------------------------|
| | Totalt antal (väldefinierade) kontrollpunkter i 2D/3D | Antal 3D-kontrollpunkter i obevuxen terräng (NVA) ¹⁾ | Antal 3D-kontrollpunkter i bevuxen terräng (VVA) | Antal 3D-kontrollpunkter totalt |
| ≤ 500 | 20 | 20 ²⁾ | 5 | 25 |
| 501-750 | 25 | 20 | 10 | 30 |
| 751-1000 | 30 | 25 | 15 | 40 |
| 1001-1250 | 35 | 30 | 20 | 50 |
| 1251-1500 | 40 | 35 | 25 | 60 |
| 1501-1750 | 45 | 40 | 30 | 70 |
| 1751-2000 | 50 | 45 | 35 | 80 |
| 2001-2250 | 55 | 50 | 40 | 90 |
| 2251-2500 ³⁾ | 60 | 55 | 45 | 100 |

¹⁾ Antalet kontrollpunkter i ett projekt bör aldrig understiga 20 st.

²⁾ Vid kontroll av laserskanning bör ungefär hälften av alla kontrollpunkter i obevuxen terräng vara ändpunkter på de vitmålade strecken i en körbana – eller andra objekt som kan definieras i plan med hjälp radarreturernas intensitetsvärden.

³⁾ För kontroll av höjdnoggrannheten i projektareor större än 2500 km^2 ska fem kontrollpunkter per 500 km^2 läggas ut – tre i obevuxen och två i bevuxen terräng.

4.2.5 Några termer och begrepp

I ASPRS-standarden skiljer man på tre typer av noggrannhet:

- *Absolut noggrannhet*; i förhållande till "sant" värde.
- *Relativ noggrannhet*; skillnaden mellan två olika bestämningar av ett och samma värde, t.ex. mellan två stråk över samma område vid flygfotografering eller laserskanning – utan att något "sant värde", t.ex. i form av markstöd, ingår i uppskattningen.
- *Lokal noggrannhet*; överensstämmelsen mellan närliggande punkter, t.ex. mellan hushörnen på ett och samma hus.

Det är nog något vi bör anamma i HMK också.

Definitionen av *GSD* – för bild- och laserdata – är ganska lika i ASPRS-standarden och i HMK. Vi hämtar den från HMK-Ordlista, juni 2015:

- *GSD, Ground Sample Distance*. Geometrisk upplösning (avstånd mellan pixelcentra) på marken hos rasterdata. Liktydig med den i HMK använda termen *geometrisk upplösning*.

Begreppen tillämpas emellertid på litet olika sätt. Därför får även kravformuleringarna olika innebörd, vilket följande exempel visar.

Exempel 4.2.5: Anta att ett krav har formulerats som "GSD ska vara ≤ 1 meter". I ASPRS-standarden betyder det att den geometriska upplösningen i genomsnitt som sämst ska vara 1 meter. I HMK skulle samma formulering betyda att upplösningen i samtliga delar av en bild eller ett projektområde – i varje pixel – ska vara 1 meter eller bättre.

När HMK skrevs diskuterades denna fråga men valet föll på den senare innebörden, som bl.a. följer svensk praxis för punkttätheten i laserdata inom projektet *Nationell Höjdmmodell*.

5 Referenser

Den amerikanska standarden

- *ASPRS (2013): Accuracy Standards for Digital Geospatial Data* avser i första hand att ersätta standarderna
- *ASPRS (1990): Interim Accuracy Standards for Large Scale Maps*
- *ASPRS (2004): Guidelines, Vertical Accuracy Reporting for Lidar Data.*

Se hemsidan www.asprs.org/Standards-Activities.html.

Därutöver refereras till flera äldre amerikanska standarder. I ett senare skede kan det finnas anledning att titta närmare även på dessa, även om de nu är på väg att fasas ut.

Motsvarande HMK-dokument är i första hand

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

men även

- *Geodatakvalitet 2015*
- *Ordlista och förkortningar, juni 2015*

berörs. Dessutom finns överlappningar med några av HMK:s tekniska rapporter, t.ex:

- *HMK-TR 2013-3: Lägesosäkerhet vid fotogrammetrisk detaljmätning i 3D*
- *HMK-TR 2014-1: Kontroll av lägesosäkerheten i laserdata*
- *HMK-TR 2015-1: Terminologi, principer och trender inom geodatakvalitet*

Samtliga HMK-dokument – även de äldre från 1990-talet – nås via HMK:s hemsida:

www.lantmateriet.se/HMK

Nuvarande version av GUM-dokumentet [JCGM 100:2008](#) förvaltas av konsortiet *Joint Committee for Guides in Metrology (JCGM)*.

6 Epilog

Från början var tanken med denna rapport att presentera och analysera den nya ASPRS-standarderna, samt att jämföra den med HMK. Under detta analysarbete blev vi dock mer och mer klara över hur de tekniska förutsättningarna för denna typ av riktlinjer har förändrats under de senaste decennierna. Det är t.ex. stor skillnad mellan förutsättningarna i mitten på 1990-talet, då den ursprungliga HMK-serien togs fram, och förutsättningarna för Nya HMK i dag.

Vi fann denna utveckling så pass intressant att vi vill förmedla den vidare till dem som ska ansvara för HMK framöver. Den viktigaste insikten är kanske att HMK alltid måste förhålla sig till den tekniska utveckling som råder vid varje given tidpunkt. Bara det nödvändiggör anpassningar och andra förvaltningsinsatser över tid.

Därför kom ASPRS-standarderna att bli sekundär i sammanhanget, men några passager därifrån har ändå lyfts fram som så något man bör överväga att anamma även i HMK.

A Empirisk beräkning av 95%-percentiler

Vid kontroll av höjdosäkerheten i bevuxen terräng (VVA) används i ASPRS-standardens en speciell metod för kontrollstorheten, den empiriska 95%-percentilen. Det beror på att data då inte kan betraktas som normalfördelade. Följande beräkning är direkt hämtat från standardens Appendix D.3

Grundläggande formler

Beräkningen baseras på två formler.

Först beräknas ordningstalet i det aktuella datasetet för den önskade percentilen:

$$n = \left(\left(\left(\frac{P}{100} \right) * (N - 1) \right) + 1 \right) \quad (\text{A.1})$$

där n är ordningstalet för den observation som innehåller percentilen, P är andelen (av 100) för vilken percentilen ska beräknas (t.ex. 95 för 95%-percentilen) och N är antalet observationer i datasetet.

Sedan kan percentilen (Q_p) interpoleras fram med hjälp av följande ekvation:

$$Q_p = \left(A[n_w] + \left(n_d * \left(A[n_w + 1] - A[n_w] \right) \right) \right) \quad (\text{A.2})$$

där Q_p är percentilen (värdet för ordningstalet n), A är en vektor innehållande absolutvärdena på datasetets observationer, sorterade ökande från 1 till N . $A[i]$ är observationsvärdet för index i , där i måste vara ett heltal mellan 1 och N . n är ordningsnumret för den observation som innehåller P %-percentilen; n_w innehåller heltalsdelen och n_d decimaldelen (t.ex. 0.14 i talet 3.14).

Beräkningsexempel

Vi utgår från:

$\{7, -33, -9, 5, -16, 22, 36, 37, 39, -11, 45, 28, 45, 19, -46, 10, 48, 44, 51, -27\}$

och ska beräkna 95%-percentilen för detta dataset ($N=20$).

Lösning

Först beräknas absolutvärdena:

$\{7, 33, 9, 5, 16, 22, 36, 37, 39, 11, 45, 28, 45, 19, 46, 10, 48, 44, 51, 27\}$

som sedan ordnas stigande

{5,7,9,10,11,16,19,22,27,28,33,36,37,37,44,45,45,46,48,51}

Beräkna därefter ordningstalet n för $P=95\%$ med formel A.1

$$n = \left(\left(\left(\frac{P}{100} \right) * (N-1) \right) + 1 \right) = \left(\left(\left(\frac{95}{100} \right) * (20-1) \right) + 1 \right) = 19.05$$

vilket ger $n_w = 19$ och $n_d = 0.05$, dvs. - enligt formel A.2

$$\begin{aligned} Q_p &= \left(A[n_w] + (n_d * (A[n_w + 1] - A[n_w])) \right) = \left(A[19] + (0.05 * (A[20] - A[19])) \right) = \\ &= \left(48 + (0.05 * (51 - 48)) \right) = 48.15 \end{aligned}$$

Datasetets 95%-percentil är alltså 48.15.