

PM
Noggrannhet

2011-04-06
Dnr

Höjdmodellens noggrannhet

Bakgrund

Inom Lantmäteriet byggs en rikstäckande höjdmodell upp med hjälp av flygbu-
ren laserskanning. Som ett led i kvalitetskontrollen har flera undersökningar av
modellens geometriska noggrannhet utförts. Här redovisas en sammanfattning
av de kontroller som hittills gjorts.

Noggrannhet i höjd

Höjdmodellens noggrannhet i höjd kan relativt enkelt kontrolleras genom jämförelser med andra höjddata. De flesta jämförelser nedan är gjorda mot markklassade punkter med hjälp av interpolering i ett TIN (Triangulated Irregular Network). Kontrollpunkter i stark lutning eller långt ifrån markklassade laserpunkter har normalt uteslutits. Det samma gäller kraftigt avvikande punkter som av någon anledning inte verkar representera dagens markyta.

Överlapp mellan stråk och skanningsområden

Ett viktigt steg i bearbetningen av laserdata är stråkutjämnningen, som skall säkerställa en god intern överensstämmelse mellan stråken. Efter stråkutjämnningen görs en jämförelse av markklassade punkter i överlappet mellan stråken. Resultat från stråköverlapp inom hittills 122 bearbetade skanningsområden:

Genomsnittligt RMS 0.09 m

Inpassningen mot stödytor (se nedan) skall också säkerställa en sömlös höjdmodell där angränsande skanningsområden passar väl mot varandra. För att kontrollera detta görs en jämförelse av markklassade punkter i överlappet mellan områdena. Resultat från hittills 49 jämförda områden:

Genomsnittligt RMS 0.09 m

Dessa resultat tyder på att den nya höjdmodellen har en mycket homogen noggrannhet.

Stöd- och kontrolltytor

I samband med laserskanningen utförs även inmätning av stöd- och kontrolltytor på marken. Dessa mäts oftast in med nätverks-RTK och bör alltså ha en

Andreas Rönnberg

Lantmäteriet Informationsförsörjning

Tel. växel: 0771-63 63 63 Fax:

E-post: andreas.ronnberg@lm.se Internet: www.lantmateriet.se

noggrannhet på några centimeter i både plan och höjd. Både stöd- och kontrolltytor består av sammanhållna rutnät om minst 6×6 punkter placerade i plana öppna områden som vägkorsningar och liknande. Inom varje skanningsområde finns normalt 6 sådana stödytor och 9 kontrolltytor.

Efter stråkutjämnning görs en inpassning av punktmolnet på stödytorna. Om en signifikant avvikelse hittas, korrigeras hela punktmolnet med motsvarande värde. Resultat från hittills 122 bearbetade skanningsområden:

Genomsnittlig korrektion -0.08 m

Därefter passas punktmolnet in på kontrolltytorna, för att verifiera att korrektionen gav ett bra resultat. Resultat från kontrolltytor inom hittills 122 bearbetade skanningsområden:

Medelavvikelse 0.00 m

Genomsnittligt RMS 0.05 m

Geodetiska mätningar från kommuner

Kungsbacka kommuns stomnät i höjd utjämnades 2006 i RH 2000 med bra resultat. Nätet består av cirka 900 fixpunkter, varav cirka 650 punkter valdes ut för jämförelse mot laserdata från de två skanningsområden som täcker kommunen. Resultat:

Medelavvikelse +0.01 m

RMS 0.24 m

95 % absolutvärden 0.53 m

Detta resultat ger en bra bild av vad man i allmänhet kan vänta sig av höjdmodellen i varierande terräng. Fixpunkterna i jämförelsen representerar vitt skilda terrängtyper, i ett starkt kuperat landskap med många gånger tät vegetation.

Inom området Lövåsen i Sandvikens kommun finns drygt 3500 punkter inmätta med nätverks-RTK och totalstation. Punkterna mättes in av Hedda Bring under ett examensarbete vid Högskolan i Gävle 2007. Inför jämförelsen med laserdata var det nödvändigt att transformera höjdvärdena från RH 70 till RH 2000. Resultat från jämförelse mot cirka 3200 av punkterna:

Medelavvikelse +0.06 m

RMS 0.29 m

95 % absolutvärden 0.61 m

Lövåsen är relativt kuperad och till viss del skogklädd. En hel del bebyggelse förekommer. Resultatet stämmer väl överens med det från Kungsbacka kommun.

Examensarbete vid Högskolan i Gävle

I ett examensarbete utfört av Jonas Lundgren och Pär Owemyr vid Högskolan i Gävle 2010, undersöktes noggrannheten hos markklassade punkter i skilda terrängtyper. De miljöer som undersöktes var asfalt, barrskog, gräs, kalhygge, lövskog, mosse och äng. Resultat från samtliga terrängtyper (totalt över 600 punkter):

Medelavvikelse	+0.05 m
RMS	0.10 m
95 % absolutvärden	0.19 m

De lägsta avvikelserna fanns som väntat inom ytor med asfalt och gräs (RMS ca 0.03 m), medan de högsta fanns inom kalhygge och lövskog (RMS ca 0.15 m). De mycket goda resultaten beror troligen på att alla mätningar gjordes i relativt plan terräng, vilket var en medveten strategi för att kunna isolera olika vegetationstypers inverkan på noggrannheten.

Geodetiska mätningar i Abisko

Sveriges lantbruksuniversitet (SLU) har mätt in 104 testpunkter i närheten av Abisko. Punkterna är noggrant inmätta med nätverks-RTK och terrängtypen vid varje punkt är dokumenterad med fotografier. Resultat vid jämförelse mot samtliga punkter:

Medelavvikelse	+0.13 m
RMS	0.17 m
95 % absolutvärden	0.34 m

Detta resultat har den hittills största observerade medelavvikelsen. Det beror troligen på att området till stor del täcks av tät låg vegetation som dvärgbjörk och nordkråkbär.

Noggrannhet i grid

När höjdmodellen representeras som ett grid med 2 meters upplösning borde resultaten bli sämre, eftersom detaljeringsgraden kan minska något. För att kontrollera hur stor försämringen blir i praktiken jämfördes Kungsbacka kommuns stomnät i höjd samt punkter inmätta vid examensarbetet vid Högskolan i Gävle 2010 med höjdmodellen i form av ett grid.

Resultaten försämrades i båda fallen med cirka 20 %. Mot punkterna från examensarbetet varierade försämringen mellan olika terrängtyper och var som störst i lövskog (ca 30 %), vilket också var den mest kuperade terrängtypen.

Jämförelserna gjordes som en ren överlagring mellan grid och punkter, utan interpolering.

Detta resultat är väntat. Griden skapas i detta fall genom interpolering i ett TIN, vilket är en metod som mycket väl bevarar detaljer i det ursprungliga punktmolnet. Det gör att skillnaderna mellan dataseten blir små, men också att de enstaka grova fel som finns i punktmolnet även finns troget återgivna i griden.

Dubbla laserskanningar

För att möjliggöra jämförelser är två skanningsområden som täcker bland annat Sandviken insamlade med ett överlapp om 625 km². Den första skanningen utfördes i slutet av maj 2009 med en Leica ALS50-II och den andra i slutet av juni 2010 med en Optech ALTM Gemini.

Rent lägesmässigt bör punktmolnen vara jämförbara eftersom de är inpassade mot samma stödpunkter och bearbetade på samma sätt. De finns dock en mängd faktorer som gör att resultaten från de två skanningstillfällena skiljer sig åt.

De kanske främsta faktorerna är förstas naturliga förändringar i terrängen under tiden mellan skanningstillfällena, liksom skillnader i vegetationens karaktär vid de olika årstiderna. Men en viktig faktor kan också vara skillnader i systemkonfiguration (typ av laserskanner, skanningsriktning, etcetera).

Genom att subtrahera de färdiga höjdmodellerna (i form av grid) från varandra kan man få en uppfattning om noggrannheten i modellerna, och dessutom om hur felen är fördelade i landskapet (se bilden nedan). Resultat från jämförelsen:

Medelavvikelse +0.04 m

RMS 0.19 m

Om man antar att den ena modellen är felfri skulle detta RMS kunna ses som ett bra mått på den andra modellens noggrannhet. Tyvärr kan det vara så att båda modellerna är felaktiga på samma plats, och därför bör den sanna noggrannheten vara något sämre, troligen i linje med resultaten från jämförelser mot geodetiska mätningar från kommuner (se ovan).



Figur 1 Den övre bilden visar differensen mellan två höjdmodeller skannade vid olika tidpunkter. Bilden är grön vid 0 och blir helt röd respektive blå vid ± 0.4 meters avvikelse. Notera det allmänna bruset i skogsmark, samt hur odlad mark påverkas av gröda och årstid. Den nedre bilden är ett ortofoto med samma utsnitt.

Noggrannhet i plan

Att mäta noggrannheten i plan för laserdata är betydligt svårare än att mäta noggrannheten i höjd. Anledningen är att det är svårt att hitta tydliga objekt att utföra inpassningen mot. Medelfelet i skattningen blir därför ofta högre än värdet på de sökta parametrarna (förskjutning i x- och y-led).

Höjdprofiler för stöd- och kontroll

I samband med laserskanningen utförs även inmätning av höjdprofiler eller hustak för stöd- och kontroll i plan. Dessa mäts oftast in med nätverks-RTK och bör alltså ha en noggrannhet på några centimeter i både plan och höjd. En höjdprofil består av punkter på linje lagda över markanta lutningar i terrängen, exempelvis tvärs en väg med diken. Ibland används i stället kant eller nock på hustak.

Eftersom varje höjdprofil endast kan passas in i en dimension krävs två profiler med olika orientering per lokal för att låsa läget i plan. Inom varje skanningsområde finns normalt 6 sådana lokaler för stöd och 6 för kontroll.

Efter stråkutjämning görs en inpassning av punktmolnet på stödytorna. Om en signifikant avvikelse hittas, korrigeras hela punktmolnet med motsvarande värden. Ännu har ingen signifikant avvikelse hittats och därför har heller ingen korrektion gjorts. Resultat från kontrolltytor inom hittills 122 bearbetade skanningsområden:

Genomsnittligt RMS	0.23 m
--------------------	--------

Jämförelse mot flygbilder

Inom tre skanningsområden har totalt drygt 500 taknockar mätts in i laserdata. Samma nockar har sedan mätts in fotogrammetriskt i flygbilder från 4800 meters höjd, varefter avståndet mellan de två inmätningarna har analyserats. Resultat från de tre skanningsområdena:

Medelavvikelse	0.36 m
----------------	--------

RMS	0.47 m
-----	--------

Här får man tänka på att noggrannheten i plan i bilder från denna flyghöjd ungefär motsvarar noggrannheten i laserdata.

Inom Malmö och Karlstad har totalt cirka 560 taknockar mätts in i laserdata. Samma nockar har sedan mätts in fotogrammetriskt i flygbilder från 2500 meters höjd, varefter avståndet mellan de två inmätningarna har analyserats. Resultat från de två städerna:

Medelavvikelse 0.24 m

RMS 0.30 m

Även här får man tänka på att felet i bilderna ger ett visst tillskott till resultatet, som därför stämmer väl överens med det något bättre resultatet från inpassning mot höjdprofiler (se ovan).

Sammanfattning

Resultat

Resultat från ett flertal undersökningar tyder på att noggrannheten i höjd på öppna plana och väldefinierade ytor ligger på cirka 0.05 meter, medan noggrannheten i mer varierad terräng ligger på runt 0.2 meter. I alla jämförelser är medelavvikelsen positiv, vilket är naturligt då laserpulserna inte alltid lyckas tränga helt ner till markytan.

Skillnaden i noggrannhet mellan laserpunkter och grid med 2 meters upplösning verkar i varierad terräng vara cirka 20 %. Detta skulle ge en faktisk försämring från exempelvis 0.25 till 0.30 meter, vilket får anses försumbart för de flesta tillämpningar.

I plan är noggrannheten svårare att mäta, men de undersökningar som gjorts tyder på att den ligger på runt 0.25 meter. Noggrannheten i plan kan ha en ganska stor lokal variation.

Var finns felen?

Felen i höjdmodellen är inte jämt fördelade i landskapet. Dels finns skillnader kopplade till själva laserskanningen, dels finns skillnader som beror på terrängtyp och årstid. Bilden ovan från jämförelsen av dubbla laserskanningar ger en uppfattning om hur felen kan vara spridda i landskapet.

Det är främst två orsaker till att noggrannheten försämras i terräng med vegetation: dels att laserpulserna inte alltid når ner till markytan, dels felaktig klassning av tät låg vegetation. I starkt lutande terräng börjar också den lägre noggrannheten i plan att inverka på noggrannheten i höjd.