

LANTMÄTERIETS ARBETE MED KOMMUNALA PLAN- OCH HÖJDSYSTEM

av Christina Kempe och Per-Ola Eriksson

Lantmäteriet har tagit på sig en stor och viktig rådgivningsroll i införandeprocessen av SWEREF 99 och RH 2000 lokalt. I denna rådgivningsroll genomför Lantmäteriet en rad analyser av de befintliga systemen och ger rekommendationer. Föredraget redovisar hur Lantmäteriet jobbar med de kommunala data.

Bakgrund

Kommunala stornät har anlagts i både plan och höjd sedan början av 1900-talet, och under åren har stornät av varierande omfattning anlagts i så gott som alla bebyggda områden som underlag bl.a. för kartläggning. I dag finns i nästan varje kommun ett eller flera lokala stornät i plan och höjd, oftast anlagda i mer eller mindre lokala system.

Beroende på hur dessa stornät har etablerats är många av dem deformerade på något sätt. Orsaken till detta är ofta bristande kvalitet i de punkter som har använts som utgångspunkter, vilket gäller både för plana nät och för höjdnät. Deformationer i de plana näten kan också ha orsakats av nätutformning och mätmetodik. När man mäter på traditionellt sätt från närmaste stompunkt, påverkar deformationerna inte mätningarna märkbart, men när man använder GNSS är det viktigt att känna till var deformationerna finns och att kunna hantera dem.

Under 2003 togs ett beslut att ersätta det nationella referenssystemet RT 90 med det globalt anpassade SWEREF 99. Bytet gjordes i januari 2007, då alla Lantmäteriets databaser transformerades till SWEREF 99. Produktionen av alla allmänna kartor kommer också att successivt ske i SWEREF 99 från 2007.

Det nya nationella höjdsystemet RH 2000 lanserades på våren 2005, och ersätter det tidigare systemet RH 70. Det nya systemet är betydligt starkare och mera homogent än RH 70, och är också väl anpassat både till våra grannländer och till det europeiska höjdsystemet (se Lantmäteriets infobladd n:o 3). Med hjälp av geoidmodellen SWEN05_RH2000 kan GNSS-teknik även användas vid höjdbestämmning i RH 2000 för vissa tillämpningar.

Arbete på nationell och lokal nivå

Ett nationellt referenssystem måste uppfylla ett antal kriterier: Det ska kunna användas för positionsbestämning med moderna tekniker i plan och/eller höjd utan att den goda mätnoggrannheten påverkas negativt. Det ska möjliggöra enkelt och effektivt datautbyte med inhemska användare såväl som med andra länder, vilket betyder att förhållandet till andra nationers referenssystem måste vara väl känt, alternativt att vi måste arbeta i samma system. Varken RT 90 eller RH 70 har ett sådant väl bestämt förhållande till referenssystemen i vår omvärld.

Lantmäteriet rekommenderar de lokala myndigheterna att skapa samband mellan de lokala referenssystemen i plan och höjd och de nya nationella systemen SWEREF 99 och RH 2000, eller ännu hellre byta ut de lokala referenssystemen mot de nationella.

Åtgärder vid byte av referenssystem i en kommun

I samband med lanseringen av de nya nationella referenssystemen SWEREF 99 och RH 2000 har Lantmäteriverket (LMV) utvecklat rutiner för att kunna ge råd och stöd till kommuner och andra nätägare samt utföra vissa åtgärder inför bytet till de nya referenssystemen på lokal nivå.

När det gäller de plana systemen kan Lantmäteriet på uppdrag av – och i samarbete med – nätägare utföra stornätsanalyser och ta fram restfelsmodeller för att rätta upp bristfälliga geometrier. Kommunen måste bistå med sin kunskap om stornätens uppbyggnad, kännedom om punkters historia och mätning av restfelspunkter. Den första stornätsanalysen gör Lantmäteriet som rådgivning, men därpå följande analyser och framtagande av restfelsmodell görs som uppdragsverksamhet.

Motsvarande åtgärder som LMV kan utföra för de lokala höjdnäten är framförallt analys och utjämning av de lokala höjdnäten. Nedan beskrivs generellt de olika åtgärder som behöver vidtas. Kommunens kostnader för

arbetet utgörs framförallt av egen arbetstid, dels för att tillhandahålla mätdata till LMV, dels för mätning av eventuellt kompletterande anslutningar och kontrollmätningar.

Eftersom förutsättningarna varierar kraftigt mellan olika kommuner varierar också arbetsinsatsen som krävs från kommun till kommun. Tidplanen för arbetet bestäms av tillgången på resurser i respektive kommun, men det är viktigt att frågan lyfts upp på agendan i verksamheten.

Efter beslut om att byta ut det/de lokala systemet/systemen till SWEREF 99 och/eller RH 2000 tillkommer arbetsinsatser för transformation av databaser och andra datakällor i all verksamhet, information och samråd med övriga förvaltningar och externa användare av kommunens data. Kostnaderna för alla dessa insatser varierar och är svåra att uppskatta.

Många av de förslagna åtgärderna är desamma för byte av referenssystem i både plan och höjd, medan andra skiljer sig åt. För att övergången till de nya referenssystemen – vare sig det är i plan eller höjd – ska bli lyckad krävs att alla berörda informeras och engageras i god tid, så att man får möjlighet att anpassa sina rutiner. Den tekniska delen av arbetet skiljer däremot åt. När det gäller de plana systemen handlar mycket om att mäta in befintliga stompunkter med GNSS-teknik för att erhålla SWEREF 99-koordinater, medan det i arbetet med höjdnäten främst gäller att leta fram och lista äldre mätningar för analys och nyberäkning.

Information och samråd

När beslut har tagits om att byta referenssystem är det mycket viktigt att så fort som möjligt informera andra förvaltningar och övriga användare, både interna och externa, om beslutet. Lägesbunden information hanteras av många förvaltningar i kommunen, och det är mycket viktigt att gemensamt kartlägga var och hur dessa uppgifter används, så att databaser och andra källor kan uppdateras i alla förvaltningar, samtidigt som man förhindrar att äldre uppgifter används och sprids.

För detta ändamål kan det vara lämpligt att skapa en samrådsgrupp med representanter från de berörda förvaltningarna. Det är också viktigt att en noggrann plan upprättas angående när själva bytet ska genomföras och hur det ska gå till i detalj. För en lyckad övergång krävs att allt är noga genomtänkt och förberett i förväg och att alla berörda är informerade i god tid.

Införandestrategi

Kommunen bör upprätta en strategi för arbetet, med tillhörande handlingsplan och tidplan. Övergången måste genomföras så att alla inblandade, både producenter och användare hinner anpassa sina system och arbetsrutiner.

Kostnadsbilden för arbetet måste också grovt bedömas. Genom att upprätta en införandestrategi kan kostnaderna ofta hanteras i huvudsak inom de inblandades ordinarie verksamhet. Arbetet med teknikförändringen vad gäller metoder och system för datainsamling, lagring och bearbetning genomgår för närvarande en stor förändring och genom en långsiktig anpassning kan kostnaderna hållas nere och rationaliseringsvinsterna börja tas hem under införandeperioden.

Åtgärder vid analys av plansystem i en kommun

Restfelspunkter

För att analysera de lokala plansystemen inför upprättning och övergång till SWEREF 99 behövs SWEREF 99-koordinater på punkter i det lokala nätet. Dessa koordinater transformeras och jämförs sedan med de "sanna" lokala koordinaterna och en analys av restfelen kan genomföras.

Restfelen från RIX 95-beräkningen kan ligga till grund för den första stomnätsanalysen, men eftersom punkterna inte är så tätt belägna behöver man oftast komplettera med ytterligare punkter. Kompletteringsmätningar för en restfelsmodell bör göras i de områden där man vill kunna räta upp befintligt system och eventuellt byta system. För att få en bra triangelbildning i restfelsmodellen är det viktigt att man omringar stomnätsdelarna med restfelspunkter, så att deformationerna i en stomnätsdel inte påverkar korrektionen i närliggande delar. Restfelsmodellen utförs som en Delaunay-triangulering där man strävar efter att skapa så liksidiga trianglar som möjligt. Där det finns många detaljer är det bra om restfelspunkterna kan väljas så att trianglarna inte blir alltför spetsiga. I områden utan stomnät, där det inte heller finns så många inmätta detaljer, får man acceptera att avlånga trianglar kan förekomma. Man bör välja för stomnätet representativa punkter, som är någorlunda stabila och utnyttjade vid inmätning.

I de mindre tätorterna bör det finnas minst 3-6 restfelspunkter. Lämpligen mäts några punkter som omger stomnätet och några till inom stomnätet. I större tätorter behöver vanligtvis fler punkter mätas, jämnt fördelade över ytan. Ett riktmärke kan vara att punktavståndet inom områden med stomnät och primärkarta inte bör vara större än 500-700 m. Till en början kan punktavståndet vara större, och efter kompletteringsförslag från Lantmäteriet kan man gå vidare i de områden där deformationerna ännu inte bedöms vara tillräckligt väl kartlagda.

Om man redan känner till var deformationer finns mäts förslagsvis någon/några extra punkt/-er i detta område, så att deformationerna kartläggs och en eventuell begränsning av dem kan bestämmas.

Att mäta restfelspunkter

Inmätning av restfelspunkter görs för att erhålla SWEREF 99-koordinater på punkter i det lokala stornätet. Det är i huvudsak två metoder som är lämpade för inmätning av restfelspunkter; nämligen RTK och statisk mätning.

Med RTK görs inmätningen av en restfelspunkt lämpligast som tio på varandra följande mätningar med ny initialisering (bestämning av periodobekanta) mellan varje. Ytterligare en sådan mätserie görs på punkten under annan tid på dygnet för att erhålla mätningar vid en annan satellitkonstellation. Närmare instruktioner för inmätning av restfelspunkter finns i *Att ta fram en restfelsmodell* (2006). Används nätverks-RTK rekommenderas att mätning även sker på en eller två RIX 95-punkter för att verifiera att inte några extraordinära skillnader i realiseringen av SWEREF 99 föreligger gentemot SWEPOS. Om man i stället använder RTK med egen referensstation måste referensstationen vara korrekt inmätt och ansluten till SWEREF 99. Exempelvis kan en RIX 95-punkt användas. Om t.ex. en kommunal fast referensstation används bör den vara bestämd enligt instruktionerna i Lantmäteriets infoblad n:o 4.

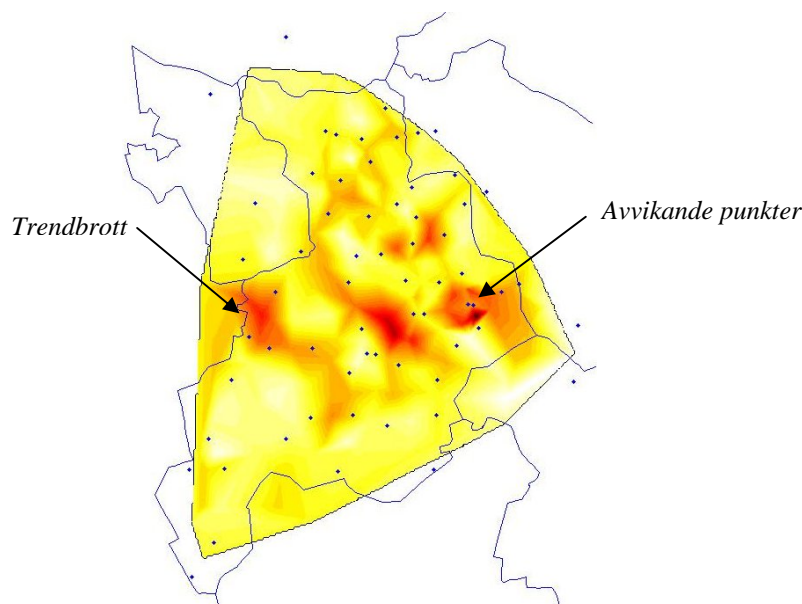
Även snabb statisk mätning kan användas för bestämning av restfelspunkter. Som utgångspunkter vid mätning används punkter som är kända i SWEREF 99, t.ex. RIX 95-punkter. För statistiska metoder krävs tillgång till efterberäkningsprogramvara med möjlighet till både baslinjeberäkning och nätutjämning, samt naturligtvis kunskap att hantera denna.

Möjligen kan statistiska mätmetoder ge något högre noggrannhet i plan än RTK-metoderna, men valet av metod styrs för de flesta i högre grad av tillgången på resurser.

Stornätsanalys

De ”sanna” lokala koordinaterna på restfelspunkterna jämförs med de som transformerats från SWEREF 99 och restfelens variationer över kommunen analyseras för att se var man eventuellt behöver kartlägga deformationerna ytterligare. En närmare beskrivning av hur analysen går till finns att läsa i *Att ta fram en restfelsmodell* (2006). För att enklare kunna analysera deformationerna i det lokala referenssystemet använder Lantmäteriet variationsbilder som beskriver deformationernas variationer.

Den infärgade bilden skall tolkas så att i ljusa områden är det små variationer och i röda-svarta områden är det stora variationer som man bör titta närmare på. **Se figur 1** för illustration av två vanliga deformationsvariationer.



Figur 1 : Bilden visar ett exempel på variationsbild över en kommun. I västra delen finns ett trendbrott, d.v.s. man kan se gränsen mellan två stornätsdelar. I det här fallet fanns en naturlig gräns (t.ex. ett berg, en sjö eller en skog) som gjorde att områdena inte var anslutna till varandra. I östra delen finns två punkter som avviker från omgivningen och därför är omringade av rött. Inbördes stämmer de ganska väl överens och man kan ana att det är ljusare mellan de två punkterna.

Variationsbilden levereras ofta tillsammans med förslag på kompletteringsmätningar med de områden markerade, där analysen visar på behov av ytterligare förtättningsmätningar. Stomnätsanalysen utförs vanligen som en iterativ process med analys och kompletteringsmätning tills man anser att kartläggningen av stomnätsvariationer är kartlagda på ett tillfredsställande sätt.

Upprättningsmetod

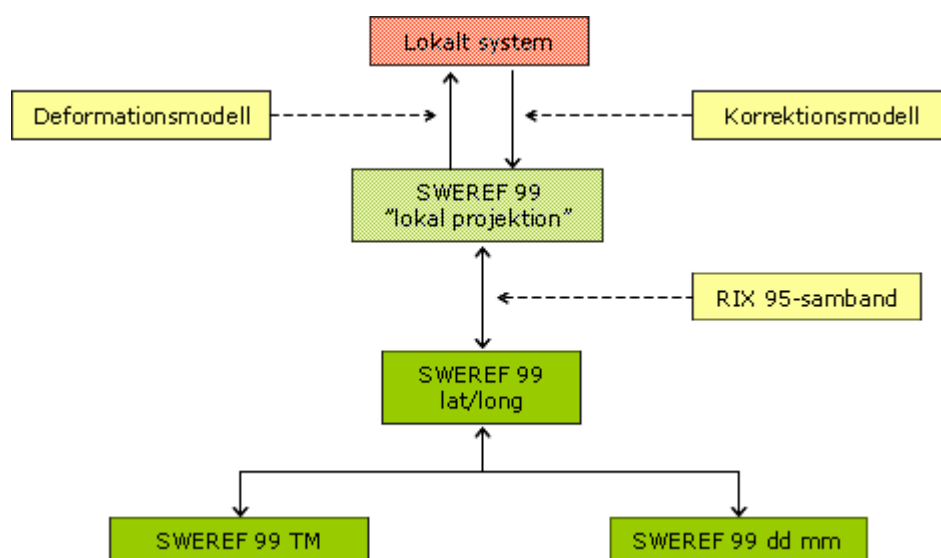
Studier har genomförts (Svanholm, 2000; Alfredsson, 2002) av olika upprättningsmetoder att reducera deformationerna i lokala koordinatsystem. Fyra metoder har testats och testresultaten visade att restfelsinterpolation i trianglar gav det bästa resultatet, varför Lantmäteriet har valt att använda denna variant av gummidukstransformation för upprätning av lokala system.

Restfelsmodell

Restfelsmodellen skapas i Lantmäteriets transformationsprogramvara GTRANS och är en triangelmodell för dess TRIAD-modul. Interpolationen i modellen sker genom en affin transformation baserad på de tre restfelspunkterna som bildar hörnen i den aktuella triangeln.

TRIAD-basen kan, förutom i GTRANS, användas i AutoKa-PC eller som underlag för gummidukstransformation i ArcCadastre. Även andra programvaror kan använda GTRANS' korrektionsmodell, men för programvaror som använder andra gummidukstransformationer kan underlaget till TRIAD-basen levereras. Det kan då användas som grund för annan upprättningsmetod.

Korrektionsmodellen används i kombination med RIX 95-sambandet, se **figur 2**.



Figur 2 : Schema för transformation mellan lokalt system och SWEREF 99. Notera att alla transformationssteg går att utföra i båda riktningarna..

Deformationsmodell

Deformationsmodellen i triangelform kan räknas om till en rutnätsmodell. Den går då att använda direkt i GNSS-mottagare för att deformera den goda SWEREF-geometrin så att mätningarna passar bättre in i det lokala systemet. Det här sättet att använda en deformationsmodell kan ses som ett mellansteg innan kommunen byter till ett SWEREF 99-baserat system.

Om man vid GNSS-mätning av detaljpunkter ibland använder deformationsmodellen i kombination med transformationssambandet från SWEREF 99 till det lokala systemet och ibland enbart använder transformationssambandet bör mätningarna märkas i databasen så att man vid behov kan skilja dem åt. Vid en upprätning av det lokala referenssystemet bör de punkter som transformerats från SWEREF 99 med transformationssamband och deformationsmodell rätas upp på samma sätt som de detaljer som mätts terrestert, d.v.s. med korrektionsmodell och invers transformation, medan de detaljer som transformerats från SWEREF 99 med enbart transformationssambandet – och som fortfarande har samma goda geometri som SWEREF 99 – förs över till SWEREF 99 med enbart den inversa transformationen.

Åtgärder vid analys av höjdsystem i en kommun

Här nedan redovisas de åtgärder som behöver vidtas i t.ex. en kommun för att i första hand rätta upp och ansluta de lokala höjdnäten till RH 2000 för att skapa en bild av eventuella deformationer, och beroende på utfallet av den följande analysen eventuellt byta ut det/de lokala höjdsystemet/höjdsystemen mot RH 2000. Alternativt skapas ett starkt samband mellan de lokala systemen och RH 2000.

1. Inventering

En tydlig bild bör finnas av de lokala punkternas status. Kanske har många punkter försvunnit sedan nätet anlades. Eventuellt kan man genom att inventera alla punkter erhålla en uppdatering av den aktuella situationen på marken. Om många punkter har försvunnit eller av andra skäl är obrukbara kanske en komplettering av nätet är nödvändig. Behovet av sådana kompletteringar är bra att känna till i ett tidigt skede.

2. Sammanställning av material

I kommunala höjdnät har mätningarna oftast utförts med hög noggrannhet, även i äldre nät. Däremot har man sällan haft tillgång till goda anslutningspunkter, utan har vid anslutning till rikets system tvingats att använda undermåliga anslutningspunkter, vilket i många fall har medfört att de goda mätningarna har deformerats. Många lokala höjdsystem är av äldre datum och har på något sätt ursprung i rikets höjdsystem RH 00. I vissa fall har man på grund av den bristande kvaliteten i anslutningspunkterna tvingats att endast ansluta till en punkt för att minska spänningarna i det lokala nätet. Beroende på hur representativ den valda anslutningspunkten är för höjdsystemet har man därigenom fått en nivå på det lokala systemet mer eller mindre nära rikets system i olika områden, (se Lantmäteriets infoblad n:o 7).

Eftersom de lokala mätningarna tillsammans med de tidigare använda utgångshöjderna definierar de lokala höjdsystemen är det nödvändigt att kunna använda dem i analysarbetet och vid nyberäkning.

För analys av de lokala höjdnäten krävs att en ny utjämning görs av de lokala mätningarna, anslutna till punkter i den tredje precisionsavvägningen (Riksavvägningen). För LMV:s åtagande gäller därför att de lokala mätningarna kan listas upp i ett överenskommet format. Beroende på hur materialet är lagrat krävs en mer eller mindre stor arbetsinsats för att lista materialet. Förutom mätningarna krävs bl.a. koordinater och lokala höjder på alla lokala punkter. De uppgifter som behövs finns redovisade i speciella mallar. Materialet levereras därefter till LMV.

3. Utvärdering och analys av det lokala höjdnätet

Materialet lagras i en databas vid LMV, varefter analysarbetet kan påbörjas. Nätet ritas upp och felsöks. Därefter utreds vilka punkter som är gemensamma med punkter från Riksavvägningen, för att identifiera nya anslutningspunkter. Genom att lokala punkter har använts i stor utsträckning vid uppbyggnaden av Riksavvägningen finns ofta redan från början ett antal gemensamma punkter.

Om ytterligare anslutningspunkter bedöms krävas, eller om felsökningen visar på brister i nätet (trappsteg el. dyl.) informeras kommunen om detta och kan välja att utföra sådana kompletterande mätningar för att uppnå ett optimalt resultat. I detta sammanhang är det lämpligt att också utföra de eventuellt kompletterande mätningar som av kommunen har bedömts vara önskvärda efter den tidigare inventeringen.

Det kan också visa sig att det i kommunen finns "isolerade" höjdnät som saknar anslutningsmöjlighet till RH 2000. I dessa fall kan LMV under vissa förutsättningar utan kostnad för kommunen förtäta riksnätet så att även sådana nät blir anslutna.

4. Kompletterande mätning

De kompletterande fältinsatserna utförs. LMV markerar och mäter eventuella förtätningståg. Kommunen markerar och mäter de eventuella kompletteringar som tillsammans med eventuella kontrollmätningar anses vara behövliga, varefter materialet levereras till LMV.

5. Ny analys och utjämning av det lokala höjdnätet

De kompletterande mätningarna infogas i databasen och nätet felsöks på nytt. När felsökningen är avslutad utjämnas nätet med de gemensamma anslutningspunkterna från Riksavvägningen som utgångspunkter. Därigenom erhålls höjder i system RH 2000 på alla lokala punkter.

6. Utvärdering och leverans av resultat samt beslut om byte av höjdsystem

De nya höjderna i RH 2000 jämförs med de lokala höjderna, och en felvektorkarta ritas upp som grafiskt visar systemskillnaden i alla punkter. Härigenom skapas en tydlig bild av eventuella deformationer i det lokala höjdsystemet. LMV levererar allt arbetsmaterial till kommunen; databaser, kartskikt, utjämnings- och felvektorer, samt en redogörelse för arbetet.

Med resultatet av jämförelsen som underlag tar kommunen i samråd med LMV ställning till hur man går vidare, se även *Byte av höjdsystem i en kommun* (2006). Om nätet kan anses vara deformationsfritt kan man välja att fortsätta att arbeta i det lokala systemet, nu med en känd och stark relation till RH 2000. Av andra skäl kan man ändå välja att byta höjdsystem.

Om nätet däremot visar sig vara behäftat med deformationer finns inga skäl att bibehålla det lokala höjdsystemet. På sikt kommer situationen i detta fall att bli ohållbar, och ett systembyte blir troligen oundvikligt.

7. Omberäkning av lokala detaljnät och databaser

Om kommunen beslutar att byta höjdsystem vidtar arbetet med att konvertera all höjdinformation som hanteras i kommunen. Detaljnät och höjdbestämda polygonnät räknas i förekommande fall om till RH 2000. Även databaser och andra datakällor i kommunens förvaltningar som innehåller höjdinformation konverteras eller räknas om till RH 2000. Till de kommuner som väljer att byta höjdsystem levereras vid behov också kostnadsfritt en lokal höjdkorrektionsmodell baserad på den gjorda analysen, för konvertering av sådana lokala höjddata till RH 2000.

Effekter av analysarbete och referenssystemsbyte

I och med analysarbetet får man en kvalitetssäkring av de lokala referenssystemen, vilket ger god kännedom om de brister som finns. Det kan resultera i en deformationsmodell som deformerar GNSS-mätningar till att passa i det lokala systemet, vilket kan möjliggöra GNSS-mätning i fler tillämpningar. Notera dock att detta medför att man inte tar tillvara den goda geometrin i sina GNSS-mätningar utan förvränger dessa så att de passar i det lokala, deformerade systemet. Det innebär också att man går miste om de fördelar det innebär att arbeta i ett nationellt, homogent system.

Om man väljer att byta till SWEREF 99 och/eller RH 2000 får man fler fördelar, såsom samma system i alla kommundelar och man minskar risken för sammanblandning av olika system. Dessutom blir data i ett känt system mer intressanta för externa användare som arbetar i det nationella systemet och datautbyte mellan aktörer underlättas.

REFERENSER

Alfredsson A (2002), *Studier av deformationer vid byte av koordinatsystem*, LMV-rapport, Rapportserie Geodesi och Geografiska informationssystem, 2002:5, Gävle, Lantmäteriet

Att ta fram en restfelsmodell, PM (2006). Lantmäteriet, Gävle (www.lantmateriet.se/refsys)

Byte av höjdsystem i en kommun, PM (2006). Lantmäteriet, Gävle (www.lantmateriet.se/refsys)

Enhetligt geodetiskt referenssystem, Infoblad n:o 3 *Nytt höjdsystem* (2005). Lantmäteriet, Gävle (www.lantmateriet.se/refsys)

Enhetligt geodetiskt referenssystem, Infoblad n:o 4 *Fasta lokala referensstationer* (2003). Lantmäteriet, Gävle (www.lantmateriet.se/refsys)

Enhetligt geodetiskt referenssystem, Infoblad n:o 7 *Höjder i olika höjdsystem* (2005). Lantmäteriet, Gävle (www.lantmateriet.se/refsys)

Kempe T (2006), *Restfelsmodeller för lokala system*, artikel i SINUS nr 4/2006

Svanholm N (2000) *Jämförelse av olika metoder att föra över kartdetaljer till ett nytt referenssystem*, LMV-rapport, Rapportserie Geodesi och Geografiska informationssystem, 2000:4, Lantmäteriet, Gävle