

Redogörelse för stomnätsanalys och framtagande av restfelsmodell – Luleå kommun

Denna omleverans görs efter att kommunen kompletterat punktunderlaget för Luleå lokalt (RT 38), då kvaliteten på den tidigare restfelsmodellen bedömdes vara otillräcklig i några områden.

Restfelsmodellen för Luleå lokala har också uppdaterats så att de data som kommunen har i RT R12 kan räknas över till Luleå lokalt som en förberedelse för övergången till SWEREF 99.

I denna leverans har restfelsmodellen för Luleå lokala uppdaterats jämfört med leveransen som gjordes 2008-05-12, men restfelsmodellen för RT R12 är oförändrad.

Inledning

Inför övergången till SWEREF 99 har Lantmäteriet upprättat rutiner för att hjälpa kommuner och andra nätägare med analys och upprätning av de lokala referenssystemen. Genom att åtgärda bristande geometrier och ansluta de lokala näten till SWEREF 99 skapas en större enhetlighet angående kommunernas geografiska data. Möjligheterna att utbyta data med andra aktörer ökar och dessutom skapas förutsättningar för att på bästa sätt tillgodogöra sig modern mätteknik såsom GNSS-mätning.

Lantmäteriet har på uppdrag av och i samverkan med Luleå kommun, via Markus Wasara-Hammare på Lantmäteriet, analyserat deformationerna i kommunens stomnät och tagit fram restfelsmodeller för de lokala systemen.

De befintliga referenssystemen i Luleå kommun är RT R12 5 gon O 72:-1 i Niemisel och Vitån samt Luleå lokala (RT 38 5 gon O 72:-1) i större delen av övriga kommunen.

Beräkningen av RIX 95-sambanden har utförts av Bengt Andersson. Stomnätsanalysen och restfelsmodellerna har gjorts av Tina Kempe.

Tina Kempe

Stomnätsanalys

Till grund för stomnätsanalysen ligger dels kommunens "sanna" lokala koordinater på använda punkter, dels de koordinater som erhållits genom GNSS-mätning och transformation med RIX 95-sambandet.

Luleå lokalt

För stomnätsanalysen har RIX 95-punkter inom kommunen använts, liksom restfelpunkter som förtättningsmätts med nätverks-RTK genom kommunens försorg.

Mätning med nätverks-RTK har gjorts med två mätserier à 10 mätningar på varje punkt, med initialisering mellan varje mätning. Det har kontrollerats att mätvärdena från RTK-mätningen är sammanhållna och inga s.k. utstickare (outliers) förekommer. Mätvärden som avviker mer än 40 mm i plan från mätseriens medelvärde stryks och positionsmedelvärdena för de två mätserierna på en punkt bör inte skilja mer än 40 mm från varandra i plan.

De fyra restfelpunkter som lagts till i och med denna komplettering av restfelsmodellen har dock mätts i endast en mätserie om 10 mätvärden.

I den resulterande restfelsmodellen ingår 23 RIX 95-punkter inklusive beställningspunkter, och 201 restfelpunkter som mätts med nätverks-RTK.

För punkterna 251281_lulea, 72231, 40132 och 75405 som mätts med nätverks-RTK skilde de två medelvärdena från resp. mätserie strax över 40 mm, men dessa punkter behölls ändå i arbetet. Punkterna 4488 och 283 ingick också i arbetet med stomnätsanalysen men ströks innan skapande av restfelsmodellen, eftersom de mistänktes vara rubbade.

Därefter lades 11 fiktiva punkter till för att utöka restfelsmodellens täckning till hela det område där man idag använder systemet Luleå lokalt. Dessa punkters restfel extrapolerades från de närmast belägna restfelpunkterna.

I Sundom lades en fiktiv punkt till, som gavs samma restfel som punkt 75062. Fem områden med avvikande restfel omringades med en "barriär" för att denna deformation inte ska extrapoleras utåt. Barriären består av fiktiva restfelpunkter som är parvis placerade så att de inre och de yttre punkterna tillsammans bildar en "dubbel ram" med ungefär en meters bredd (ca 2,5 meters bredd i Lulnäset). Barriärerna är placerade längs de begränsningslinjer som Markus Wasara-Hammare levererat. De fem områdena är belägna i Bensbyn (9 punktpar), Bälinge (13 punktpar), Kvarnträsket (11 punktpar), Jaktviken (6 punktpar) och Lulnäset (22 punktpar).

Slutligen utökades restfelsmodellens täckningsområde till hela kommunen för att man ska kunna använda restfelsmodellen för att transformera data i RT R12 till Luleå lokala utan att behöva extrapolera. Det gjordes med sex fiktiva punkter som tilldelades nollrestfel.

Totalt ingår alltså 364 punkter i restfelsmodellen.

Transformation av SWEREF 99-koordinaterna på de 224 restfelspunkterna (exklusive de fiktiva punkterna) för Luleå lokalt med enbart RIX 95-sambandet ger ett RMS på 232 mm och största restfel är 1,42 m i förhållande till de "sanna" lokala koordinaterna.

I de centrala delarna av Luleå är deformationernas variationer mellan närliggande restfelspunkter vanligen mindre än ca 5 cm, men det finns områden där restfelen varierar med upp till ca 10 cm. På många andra håll är det vanligare att deformationerna mellan närliggande restfelspunkter varierar betydligt mer, i synnerhet i utkanten av respektive stomnät. I t.ex. Lulnäset, Bälänge, Hindersön och Klöverträsk förekommer mycket stora restfel.

Ytterligare kompletteringsmätningar har föreslagits i de områden där deformationsvariationerna är stora, men i kommunen har man tagit beslutet att inte genomföra dessa eftersom det inte finns primärkarta i dessa områden och stomnäten inte längre används.

RT R12

För stomnätsanalysen har RIX 95-punkter inom kommunen använts, liksom restfelspunkter som förtättningsmätts med nätverks-RTK genom kommunens försorg.

Mätning med nätverks-RTK har gjorts med två mätserier à 10 mätningar på varje punkt, med initialisering mellan varje mätning. Det har kontrollerats att mätvärdena från RTK-mätningen är sammanhållna och inga s.k. utstickare (outliers) förekommer. Mätvärden som avviker mer än 40 mm i plan från mätseriens medelvärde stryks och positionsmedelvärdena för de två mätserierna på en punkt bör inte skilja mer än 40 mm från varandra i plan.

I den resulterande restfelsmodellen ingår 43 RIX 95-punkter inklusive beställningspunkter, och 6 restfelspunkter som mätts med nätverks-RTK.

Slutligen lades ytterligare 33 riksnätspunkter runt om kommunen till de ovan nämnda punkterna för att restfelsmodellen skulle få täckning över hela kommunen. Totalt ingår alltså 82 punkter i den resulterande restfelsmodellen.

Transformation av SWEREF 99-koordinaterna på de 82 restfelspunkterna för RT R12 med enbart RIX 95-sambandet ger ett RMS på

35 mm och största restfel är 200 mm i förhållande till de "sanna" lokala koordinaterna.

I Niemisel är deformationernas variationer små, medan deformationernas variationer mellan närliggande restfelspunkter i Vitån uppgår till ca 10 cm inom samhället och ca 20 cm gentemot närliggande riksnätspunkter.

Leverans av data

Redovisningen av Lantmäteriets arbete sker helt digitalt, och innehållet i leveransen beskrivs här nedan.

Variationsbilder

Mappen **Bilder** innehåller bilder som beskriver stomnät deformationernas variationer.

Normalt används den variationsbild där variationerna är viktade omvänt proportionellt mot roten ur punktavståndet, men i vissa fall behöver den kompletteras med en bild som visar absoluta differenser i deformationerna.

De fall där de absoluta differenserna ger en bättre bild är i huvudsak följande:

- ◆ Där det är relativt långt mellan punkterna ser variationen i deformationerna väldigt liten ut i den viktade bilden, trots att den kan vara så stor att den behöver tas om hand med ytterligare förtättningsmätning. Det kontrolleras då med en bild på de absoluta differenserna.
- ◆ Där det är mycket kort avstånd mellan punkterna ser variationen i deformationerna i den viktade bilden mycket större ut än den egentligen är. Med de absoluta differenserna får man i detta fall en bättre bild av läget.

De blå punkterna i variationsbilderna är de punkter som ligger till grund för restfelsmodellen och de mindre, svarta punkterna är kommunens stomnätspunkter.

Följande bilder levereras:

Luleå lokalt

luleå_restfel_variation_viktad_2008-11-11_zoom.jpg	Variationsbild över Luleå lokalt, där viktsättningen av deformationernas variationer är omvänt proportionell mot roten ur punktavståndet.
luleå_restfel_norra_abs_2008-11-11.jpg luleå_restfel_södra_abs_2008-11-11.jpg	Variationsbild av Luleå lokalt, där viktsättningen av deformationernas variationer inte är viktade på punktavståndet. Förstoringar av olika kommundelar.
Swe99_lokalt-Luleå_lokalt-KDIFF.GIF IF	Resultat från inpassning av restfelspunkternas transformerade koordinater på de "sanna" lokala koordinaterna i Luleå lokalt. Bilden visar också begränsningslinjerna för de fem områden som avgränsats med fiktiva punkter i en "barriär".

RT R12

restfel_rtr12_variation_viktad_2008-05-09.jpg	Variationsbild över RT R12, där viktsättningen av deformationernas variationer är omvänt proportionell mot roten ur punktavståndet.
restfel_rtr12_zoom_abs_2008-05-09.jpg	Variationsbild av RT R12, där viktsättningen av deformationernas variationer inte är viktade på punktavståndet. Förstoring av Niemisel och Vitån.
Swe99_lokalt-Rtr12-KDIFF.GIF	Resultat från inpassning av restfelspunkternas transformerade koordinater på de "sanna" lokala koordinaterna i RT R12.

Legend_rotenur.jpg	Teckenförklaring för variationsbilder där viktsättningen av deformationernas variationer är omvänt proportionell mot roten ur punktavståndet.
Legend_direktdiff.jpg	Teckenförklaring för absoluta variationsbilder där deformationernas variationer inte är viktade på punktavståndet.

Inpassningen av restfelspunkternas transformerade koordinater på de "sanna" lokala koordinaterna redovisas som koordinatdifferenser, och visar alltså de restfel som kvarstår efter transformation av SWEREF 99-koordinater med RIX 95-sambandet.

I ovanstående bilder ingår *inte* de fiktiva restfelspunkterna kring de fem områdena Bensbyn, Bälinge, Kvarnträsket, Jaktviken och Lulnäset.

Restfelsmodell

I mappen **Restfelsmodell** finns restfelsmodeller - TRIAD-baser - för Gtrans. Transformationssambanden, som anropar restfelsmodellerna, kan användas för transformation av kartdata och går hela vägen från det deformerade lokala systemet till aktuell SWEREF 99-projektion.

Innan restfelsmodellerna används för ett referenssystemsbyte bör de testas på andra punkter än de som har legat till grund för modellen.

Luleå lokalt

lulea_lokalt_sweref992145.tf lulea_lok_korr.tr1	Transformation från Luleå lokalt system till SWEREF 99 21 45.
lulea_lokalt_sweref992145.tfi lulea_lok_korr.tr2	Transformation från SWEREF 99 21 45 till Luleå lokalt.

RT R12

lulea_rtr12_sweref992145.tf lulea_rtr12_korr.tr1	Transformation från RT R12 till SWEREF 99 21 45.
lulea_rtr12_sweref992145.tfi lulea_rtr12_korr.tr2	Transformation från SWEREF 99 21 45 till RT R12.

För att få bästa möjliga resultat av upprättningen av databaserna bör de data som har sitt ursprung i stomnätet rätas upp med ovanstående restfelsmodeller. Data som har sitt ursprung i SWEREF 99 genom nätverks-RTK-mätning bör återföras till SWEREF 99 med samma transformations samband som de en gång transformerades till lokalt system med.

Till den första kategorin hör även data som mätts in med nätverks-RTK, men där man gjort lokal inpassning eller använt deformationsmodell för att få detaljerna att passa bättre med befintliga data. Om man däremot enbart har använt t.ex. RIX 95-sambandet i GNSS-mottagaren bör data alltså transformeras tillbaka med inversen till samma RIX 95-samband.

Transformation av RT R12 till Luleå lokalt

Man har från kommunen önskat kunna transformera data som nu ligger i RT R12 till Luleå lokalt som en tillfällig lösning för att kunna lagra alla data i en gemensam databas, innan bytet till SWEREF 99 sker.

Transformationen sker i två steg, med ovan nämnda transformationskedjor och restfelsmodeller, via SWEREF 99. Transformation görs från RT R12 till SWEREF 99 med restfelsmodell och sedan vidare till Luleå lokalt, även det med restfelsmodell. I mappen **rtr12_rt38** finns färdiga transformations samband som kan användas för att räkna om RT R12 till Luleå lokalt:

lulea_rtr12_rt38.tf lulea_rtr12_korr.tr1 lulea_lok_korr.tr2	Transformation från RT R12 till Luleå lokalt (RT 38).
lulea_rtr12_rt38.tfi lulea_lok_korr.tr1 lulea_rtr12_korr.tr2	Transformation från Luleå lokalt (RT 38) till RT R12.

När data har räknats över från RT R12 till Luleå lokalt ska enbart restfelsmodellen för Luleå lokalt (lulea_lokalt_sweref992145.tf) användas för transformation till SWEREF 99 21 45. Man kommer då vid övergången till SWEREF 99 att ha tagit hand om deformationerna i såväl Luleå lokalt som RT R12.

Så länge man arbetar kvar i Luleå lokalt kommer man dock fortfarande att ha deformationer även i det f.d. RT R12-området och först när man genomför övergången till SWEREF 99 kommer dessa att tas omhand. Vid GPS-mätning bör därför deformationsmodell för Luleå lokalt användas i mottagaren för att anpassa mätdata till stomnätet och andra data som har sitt ursprung i stomnätet.

Transformationssamband

Mappen **Transformationssamband** innehåller RIX 95-samband mellan de Luleå lokalt och SWEREF 99.

Luleå lokalt

Lulea_lokalt_S1_1.tf	Transformationsfil för Gtrans, från SWEREF 99 lat/long till Luleå lokalt (RT 38).
Lulea_lokalt_S1_1.tfi	Invers transformationsfil för Gtrans, från Luleå lokalt (RT 38) till SWEREF 99 lat/long.
Lulea_lokalt_S1_1_passfel.doc	Resultat från inpassning av restfels-punkternas transformerade koordinater på de "sanna" lokala koordinaterna i Luleå lokalt (RT 38).

Transformationssambandet är en direktprojektion från SWEREF 99 lat/long till det lokala systemet. Vid transformation från SWEREF 99 erhålls koordinater i en lokal projektion av SWEREF 99 med koordinatvärden som liknar det lokala systemets, men utan den inhomogena geometrin i det lokala systemet. Transformationssambandet kan användas i GNSS-mottagaren för att komma till det lokala systemet, eventuellt kombinerat med en deformationsmodell.

Deformationsmodell för GNSS-mottagare

Mappen **Deformationsmodell_gnssmottagare** innehåller deformationsmodell i rutnätsformat för GNSS-mottagare.

rt38_def.CSC	Deformationsmodell för Luleå lokalt i gridformat, anpassad för GNSS-mottagare av fabrikat Leica.
--------------	--

Deformationsmodellen för Leica är baserad på den deformationsmodell för Luleå lokalt som tagits fram i TRIAD.

Rutnätet som skapades har begränsningarna x_{\min} : 40000, x_{\max} : 156000, y_{\min} : 42000 och y_{\max} : 121000. Delningen är 200 meter i både x och y ; totalt 230076 punkter. Modellen skall användas i kombination med RIX 95-sambandet Lulea_lokalt_S1_1.tf.

För att testa transformationsresultatet i deformationsmodellen lades RIX 95sambandet och modellen in i Leica GeoOffice som transformerade de restfelspunkter som ligger till grund för restfelsmodellen. Transformationen gjordes från SWEREF 99 lat/long till det lokala systemet.

Vid jämförelsen mellan transformerade och "sanna" koordinater i det lokala systemet erhöles avvikelser på 1 cm eller större på 50 av de 303 restfelspunkterna belägna inom rutnätet (exklusive fiktiva punkter). För 18 av punkterna var avvikelsen 2 cm eller större, och den största avvikelsen var 199 mm. Skillnaden kommer av att beräkningen sker på olika sätt när gridpunkterna interpoleras i TRIAD-modellen och när restfelspunkterna beräknas i gridet. De största avvikelserna finns i områden där restfelspunkterna ligger tätt, alltså där gridet (med en täthet på 200 m) inte klarar av att modellera alla variationer i stomnätets deformationer.

Det är bra om deformationsmodellen kan testas i fält för att bedöma om kvaliteten är godtagbar innan den börjar användas. Den test som har utförts på Lantmäteriet är begränsad till de punkter som ligger till grund för modellen.