

Anslutning av lokala höjdnät till RH 2000 med GNSS-stommätning

Sammanställd av

Per-Ola Eriksson

Gävle 2010

L A N T M Ä T E R I E T





Copyright ©

2010-03-31

Författare Per-Ola Eriksson

Typografi och layout Rainer Hertel

Totalt antal sidor 48

Projektrapport – ISSN 280-5731

Anslutning av lokala höjdnät till RH 2000 med GNSS-stommätning

LANTMÄTERIET



Förord

Föreliggande rapport redovisar resultaten från ett delprojekt inom det övergripande projektet Höjdmätning med GNSS, vilket har pågått under större delen av 2009 med avsikt att klarlägga förutsättningarna för att använda GNSS-teknik för höjdmätning vid olika mätsituationer. I detta delprojekt har främst studerats möjligheterna att ansluta lokala höjdnät till RH 2000 med statisk GNSS-mätning, där rimliga anslutningsmöjligheter med avvägning saknas.

Projektet har initierats och huvudsakligen drivits internt på Geodesienheten vid Lantmäteriets division Informationsförsörjning.

Styrgruppen har bestått av Bo Jonsson, Mikael Lilje och Peter Wiklund, med Bo Jonsson som beställare. Per-Ola Eriksson har varit delprojektledare.

Under olika delar av arbetet har flera personer vid Geodesienheten medverkat. En stor del av det omfattande beräkningsarbete som har krävts för utvärderingen av detta delprojekt har utförts av Ke Liu.

En översiktlig redovisning resultatet från hela projektet ges i **LMV-rapport 2010:4**, *Höjdmätning med GNSS - vägledning för olika mätsituationer*.

Utförligare redovisningar av övriga delprojekt finns i följande LMV-rapporter:

LMV-rapport 2010:6 *Punktbestämning i RH 2000 - Statisk GNSS-mätning mot SWEPOS*

LMV-rapport 2010:2 *Studie av noggrannhet och tidskorrelationer vid mätning med nätverks-RTK.*

Gävle april 2010

1 Sammanfattning

GNSS är ett effektivt verktyg för att utföra positionsbestämning där det är långa avstånd till punkter i referensnäten. Idag går det att anpassa metoden för GNSS-mätningen så att huvuddelen av kraven på positionsnoggrannhet i plan kan uppnås med nätverks-RTK, RTK eller statisk mätning med olika längd på observationstiden. Höjdmätning med GNSS-teknik är däremot inte lika bra anpassad för produktionsmätning, dels för att det behöver undersökas vilken noggrannhetsnivå som över huvud taget är möjlig att uppnå, dels beroende på att en del frågeställningar kring metoderna att uppfylla olika noggrannhetskrav i olika situationer behöver klarläggas. En sådan situation är anslutning av lokala höjdnät till RH 2000 där rimliga anslutningsmöjligheter med avvägning saknas. Lantmäteriet genomförde därför under 2008 ett omfattande program med testmätningar för att få en bild av vilken noggrannhetsnivå som under optimala förhållanden kan uppnås vid anslutning av lokala höjdnät.

I denna rapport beskrivs testmätningarna och en detaljerad utvärdering av resultaten från olika beräkningar. Som en särskild del har studerats hur noggrannhetsnivån påverkas om mätinsatsen görs med mera begränsade resurser (t.ex. antal mottagare). De testmätningar som har utförts är mycket omfattande, och det vore önskvärt att tillräcklig noggrannhet kunde uppnås även med en något mindre insats. I de fall Lantmäteriet inte åtar sig att tillhandahålla anslutningar får kommunerna själva ombesörja dessa mätningar. I de flesta kommuner är tillgången till GNSS-mottagare begränsad, och mätningen måste anpassas därefter.

Resultaten visar att i ett praktiskt fall, med tillgång till 6 mottagare och med en observationstid på minst 2 men helst 3 timmar, kan ett lokalt höjdnät passas in i RH 2000 med en osäkerhet på c:a 10 mm (1 σ). Under dessa förutsättningar torde man däremot inte kunna nå en osäkerhetsnivå på 5 mm, vilket antyds av resultatet från inpassningen av det fria nätet på omkringliggande kända riksavvägningpunkter. Nivån 10 mm torde dock i de flesta fall räcka för anslutning av ett isolerat lokalt höjdnät där inte närsamband krävs eller kommer att krävas med andra nät. Anslutning med avvägning ger dock ett starkare samband, och bör användas där så rimligen kan ske.

Beräkning och utvärdering av testmätningarna har utförts under 2009 och har ingått som ett delprojekt inom ramen för projektet *Höjdmätning med GNSS* som pågick under 2009. Projektet var uppdelat i tre delprojekt. I delprojekt 2 har metoder vid etablering av punkter i RH 2000 genom statisk mätning med en GNSS-mottagare och beräkning i SWEPOS beräkningstjänst utvärderats, med

testmätningarna som underlag. I delprojekt 3 har gjorts en fristående studie av mätosäkerhet och metodik vid RTK-mätning

Den metod som beskrivs i delprojekt 2 kan också användas för anslutning av lokala höjdnät till RH 2000. Se rapporten *Punktbestämning i RH 2000 – statistisk GNSS-mätning mot SWEPOS*.

Utifrån erfarenheterna från dels testmätningarna och dels från några andra mätprojekt där lokala höjdnät har anslutits/inpassats till RH 2000 har ett koncept tagits fram, som beskriver hur man praktiskt bör genomföra GNSS-mätningar i dessa situationer för att uppnå bästa resultat. Detta koncept har här sammanställts till en checklista. Listan redovisas som bilaga till denna rapport.

Det är viktigt att komma ihåg att de resultat som presenteras här grundas på test-mätningar som har genomförts vid ett tillfälle i ett område med goda yttre förhållanden under sammanlagt fyra dygn. Resultaten ger ändå någon uppfattning om vilken noggrannhetsnivå som skulle kunna förväntas vid motsvarande mätning i ett annat område med motsvarande goda yttre förhållanden.

Innehåll

Förord	3
1 Sammanfattning	5
Innehåll	7
2 Inledning	8
3 Anslutningstest Uppsalaslingan 2008	10
3.1 Val av område	10
3.2 Val av mätmetod	10
3.3 Rekognoscering	11
3.4 Om mätning och stabilitet i antennhöjder	13
3.5 Om GPS-analysen	15
3.5.1 Analys genomförd i två omgångar	15
4 Resultat	17
4.1 Förklaring till hur resultaten beräknats	17
4.2 Analys av resultaten	25
4.2.1 Jämförelse mellan dag 1 och 2 resp. 3 och 4	25
4.2.2 Jämförelse mellan beräkning på L1 och Lc	28
4.2.3 Uppdelning av nätet på flera sessioner vid mätning	29
5 Diskussionskapitel	31
6 Slutsatser och behov av ytterligare studier	32
7 Referenser	34
Appendix 1. Checklista - Anslutning av lokala höjdnät till RH 2000 med GNSS-stommätning	I
Beskrivning till checklistan	III
Appendix 2 - Plottar av enskilda punkters höjdfel	I

2 Inledning

Ett viktigt syfte bakom beslutet att genomföra den tredje precisionsavvägningen (1979-2003), kallad Riksavvägningen (RA), var att skapa möjligheter att ansluta kommunala/lokala höjdnät till ett homogent och starkt nationellt höjdsystem. Mätningarna i de äldre höjdsystemen RH 00 och RH 70 syftade främst till att skapa höjdstöd för den allmänna kartläggningen, och noggrannheten i mätningarna anpassades därefter. Detta innebar att lokala höjdnät i de flesta fall saknade goda anslutningsmöjligheter, och därmed skapades i praktiken en mängd mer eller mindre lokala höjdsystem.

Vid utformningen av det nya höjdnätet planerades tågsträckningarna i nära samråd med kommuner och andra nätägare för att tågen i möjligaste mån skulle förläggas så att anslutningsmöjligheterna kunde optimeras. Samplaneringen gjordes ända ner till detaljnivå, för att lokala punkter under vissa förutsättningar skulle kunna användas som riksnätspunkter.

Då vissa begränsningar ändå fanns för nätets omfattning, kunde inte alla tätorter nås med RA. Tanken var att vid behov förtäta riksnätet för att även nå sådana tätorter när det nya höjdsystemet hade lanserats.

Det nya nationella höjdsystemet RH 2000 lanserades 2005, och Lantmäteriet hade då skapat rutiner för att hjälpa kommuner och andra nätägare med att utjämna de lokala höjdnäten i system RH 2000, för att man skulle kunna byta ut de lokala höjdsystemen och övergå till att arbeta i ett system som såväl lokalt som regionalt och nationellt är betydligt starkare än de äldre systemen RH 00 och RH 70.

Fördelarna med detta är stora. I många kommuner insåg man snabbt dessa fördelar, och arbetet kunde påbörjas. Fram tills nu har således ett stort antal kommuner fått sina höjdnät anslutna till RH 2000. I några av dessa kommuner har funnits tätorter med höjdnät som saknar rimliga anslutningsmöjligheter till RH 2000. I en kommun som vill byta ut de lokala höjdsystemen mot RH 2000 bör detta kunna göras i all verksamhet och i hela kommunen. Lantmäteriet kan i dessa fall under vissa förutsättningar anlägga förtätningståg för att nå de tätorter där för kommunen rimliga anslutningsmöjligheter saknas med avvägning.

Förtätningstågen blir i allmänhet 15 - 25 km långa, och då avvägningen utförs som precisionsavvägning blir kostnaden för ett sådant tåg tämligen hög. För att Lantmäteriet ska anlägga ett sådant tåg krävs därför en viss omfattning på det/de lokala nät som ska

Inledning

anslutas. Om så inte är fallet får anslutning ske genom kommunens försorg. Ett alternativ både för Lantmäteriet och för kommunerna i dessa fall skulle kunna vara anslutning med GNSS-teknik.

Det har vid några tillfällen rapporterats att anslutning av mätningar gjorts till RH 2000 med GNSS teknik med synbarligen lovande resultat. I det arbete som redovisas i denna delrapport har ambitionen varit att genom kontrollerade testmätningar och analys förbättra vår kunskap om potentialen i GNSS för höjdbestämmning, och om och i så fall hur tekniken bör användas för att ansluta lokala avvägningsnät till RH 2000.

3 Anslutningstest Uppsalaslingan 2008

Mot ovanstående bakgrund genomförde Lantmäteriet under våren 2008 omfattande testmätningar som ett försök att se vilken noggrannhet som är möjlig att uppnå vid inpassning av ett lokalt höjdnät i RH 2000 med GNSS-teknik.

3.1 Val av område

För att uppnå ett optimalt resultat av testmätningarna fanns några grundläggande krav vid valet av testområde.

- Fixpunkterna i området skulle vara stabilt markerade, helst i berg, för att inte rörelser i punkterna skulle påverka resultatet.
- Terrängen i området skulle vara så öppen som möjligt, då erfarenheten har visat att höjdmätning med GNSS är särskilt känslig för störningar orsakade av sikthinder.
- Området skulle vara tämligen flackt så att variationerna i geoiden på bästa sätt skulle kunna hanteras i geoidmodellen SWEN05_RH2000 (och dess efterföljare SWEN08_RH2000).

För att kunna verifiera resultaten av testmätningarna beslöts också att välja ett område där ett förtätningståg tidigare hade avvägrats för att ansluta ett lokalt höjdnät till RH 2000.

Det område som sammantaget uppfyllde alla krav på bästa sätt var ett område NO om Uppsala, där ett förtätningståg hade mätts för att ansluta några samhällen inför kommunens övergång till RH 2000. Här finns gott om bergpunkter, terrängen är relativt öppen med mycket åkermark, och hela området är förhållandevis flackt. Osäkerheten i geoidmodellen bedöms för testområdet, liksom för stora delar av landet i övrigt, vara liten. I fjälltrakterna, i kustnära områden och vid de stora sjöarna bedöms dock osäkerheten vara något större.

3.2 Val av mätmetod

Mätningen genomfördes som två st 24-timmars kampanjer, med omcentrering efter första dygnet. I den omgivande slingan i riksnätet mättes 15 passpunkter, och i det lokala nätet mättes samtidigt 5 punkter. De omgivande punkterna valdes ut med c:a 5 km avstånd, och avståndet mellan de lokala punkterna var 1 – 2 km.

Genom denna kraftfulla mätinsats skulle man få ett besked om vilken noggrannhetsnivå som är möjlig att uppnå när förhållandena även i övrigt rimligen är de bästa tänkbara. Geoidens variationer kan antas vara små i området, och sårbarheten för eventuella "outliers" minskar. Ur 24-timmarssessionerna skulle man kunna utvärdera lösningar med andra observationstider, t ex förmiddag kontra eftermiddag. Även antalet passpunkter skulle kunna varieras i olika beräkningar. Därigenom skulle man kanske också kunna finna en metod mera anpassad för praktisk mätning.

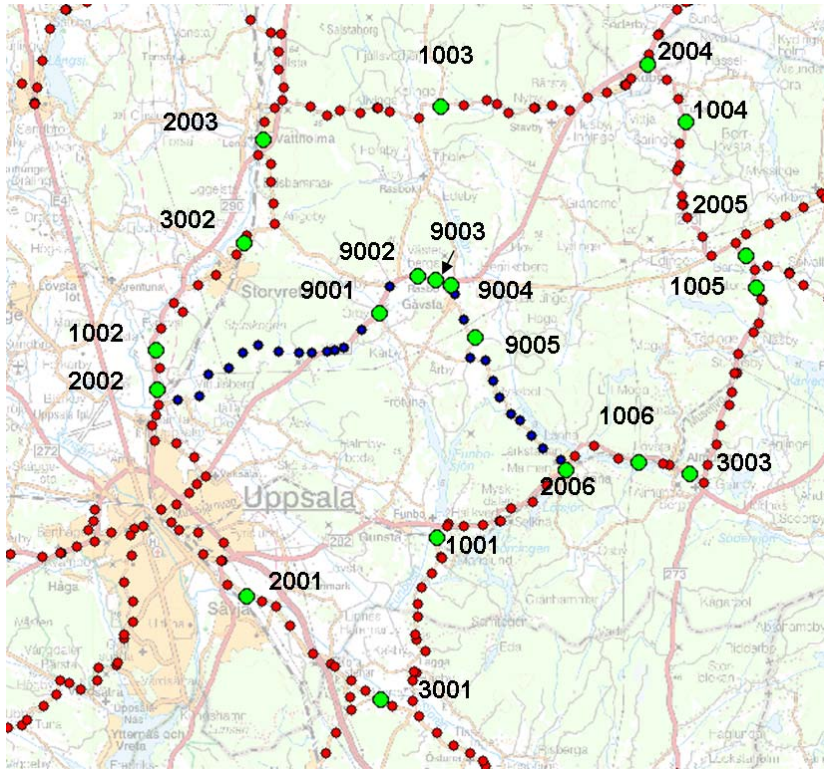
Förutom dessa mätningar, som utfördes med moderna standardantennor (i detta fall Leica-antennor typ AX1202 GG), genomfördes en motsvarande mätning med "precisionsantennor" (chokering-antennor med Dorne Margolin antennelement) för att se om chokering-antennorna kunde förbättra resultaten. Av denna typ fanns 11 antenner tillgängliga, och mätningen utfördes därför på 6 av de tidigare mätta passpunkterna och alla de tidigare mätta lokala punkterna. Även denna mätning genomfördes som två st 24-timmars kampanjer, med omcentrering efter första dygnet.

Ett annat syfte med testmätningarna var att etablera punkter i RH 2000 genom statisk mätning med en GNSS-mottagare och beräkning med SWEPOS beräkningstjänst. Resultaten från dessa beräkningar redovisas i delprojekt 2 i projekt "Höjdmätning med GNSS".

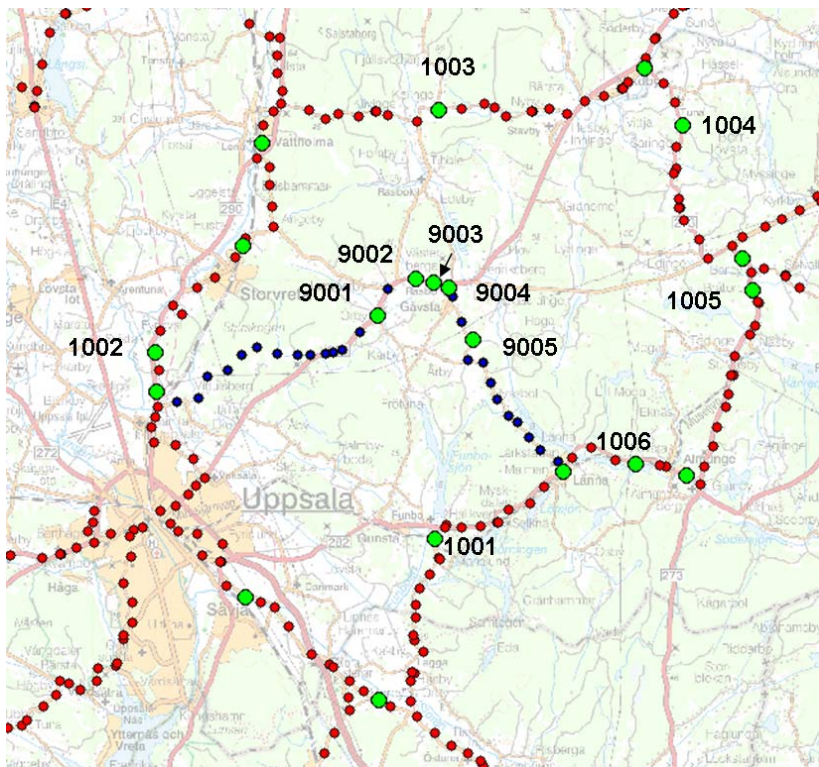
3.3 Rekognoscering

Innan mätningarna påbörjades gjordes en rekognoscering för att välja ut de punkter som var bäst lämpade att använda, i första hand punkter markerade i berg, i öppen terräng och jämnt fördelade i området. Trots att området generellt sett är förhållandevis öppet och med god tillgång till bergpunkter visade det sig vara svårt att hitta punkter som i alla avseenden uppfyllde kraven. Således kom 10 av passpunkterna att vara markerade i berg, och 4 av de lokala punkterna. Övriga punkter var ändå markerade i stabilt underlag. För 8 av passpunkterna krävdes excentrisk uppställning för att få tillräckligt fri sikt, liksom på 3 av de lokala punkterna. Alla excentriciteter var kortare än 100 m, (se figur 1 och 2).

Anslutningstest Uppsalaslingan 2008



Figur 1: Röda punkter visar riksnätet i området, blå punkter visar förtätningståget och nummerade gröna punkter visar de valda mätpunkterna i den första mätkampanjen, (18-20 februari 2008).



Figur 2: Röda punkter visar riksnätet i området, blå punkter visar förtätningståget och nummerade gröna punkter visar de valda mätpunkterna i den andra mätkampanjen, (17-21 mars 2008).

3.4 Om mätning och stabilitet i antennhöjder

Vid mätning har antennhöjder mätts före och efter varje uppställning. Dessutom har oberoende uppställningar (omcentrering) gjorts för varje mätdygn. För drygt hälften av punkterna har excentrisk uppställning tillgripits för att åstadkomma så bra förhållanden för GNSS observationer som möjligt.

Vid excentrisk uppställning har uppställningspunkten markerats tillfälligt med en "jord-dubb" som slagits ned i marken. Denna har avvägs från höjdfixen och sedan har antennhöjdsättning genomförts på vanligt sätt från jord-dubb till antenn.

I tabell 1 och 2 redovisas de punkter där excentrisk uppställning har använts, samt skillnaden mellan mätning av antennhöjd före och efter varje mätdygn för alla punkter. Oftast har uppställningen varit stabil, men det bör noteras att i några fall har GNSS-antennen sjunkit 4-5 mm under dygnet. Denna bristande stabilitet har inte beaktats i den fortsatta analysen.

Tabell 1. Antennhöjder dag 1.

Antennhöjder Dagnr 49 (2008 - 02 - 18_19)				
Löpnr	Punktnr	Excentrisk uppställning och avvägd	Antenn höjd över fix (m)	Diff mellan stopp o start (m)
1001	1187310	avvägd	1,3110	0,000
1002	1189012		1,4541	-0,001
1003	1281305		1,5077	0,000
1004	1281507		1,4336	0,000
1005	1189507	avvägd	0,8745	0,000
1006	1188406		1,5097	0,000
2001	1187114	avvägd	2,2150	-0,001
2002	1189013	avvägd	0,5070	0,001
2003	1281111	avvägd	0,8335	-0,005
2004	1281413		1,4726	0,000
2005	1280510	avvägd	1,3570	-0,001
2006	1188404	avvägd	1,0090	-0,002
3001	1186202		0,9700	-0,001
3002	1280110		0,7253	0,000
3003	1188513	avvägd	2,3515	-0,002
9001	1189211	avvägd	0,1370	-0,002
9002	1280205	avvägd	-0,1395	-0,004
9003	1189311		1,3965	0,000
9004	1189317	avvägd	0,2800	-0,004
9005	1189314		0,9740	-0,001

Tabell 2. Antennhöjder dag 2.

Antennhöjder Dagnr 50 (2008 - 02 - 19_20)				
Löpnr	Punkt nr	Excentrisk uppställning och avvägd	Antenn höjd över fix (m)	Diff mellan stopp o start (m)
1001	1187310	avvägd	1,2450	0,000
1002	1189012		1,4125	0,000
1003	1281305		1,4917	0,000
1004	1281507		1,3715	0,000
1005	1189507	avvägd	0,8195	0,000
1006	1188406		1,5688	0,000
2001	1187114	avvägd	2,1635	0,000
2002	1189013	avvägd	0,4090	0,000
2003	1281111	avvägd	0,8170	-0,001
2004	1281413		1,4910	-0,001
2005	1280510	avvägd	1,3525	0,000
2006	1188404	avvägd	1,0555	-0,002
3001	1186202		0,9293	-0,004
3002	1280110		0,7455	0,000
3003	1188513	avvägd	2,3895	0,000
9001	1189211	avvägd	0,1980	0,000
9002	1280205	avvägd	-0,0935	0,000
9003	1189311		1,4446	0,000
9004	1189317	avvägd	0,3195	0,001
9005	1189314		0,9910	0,001

Tabell 3. Antennhöjder dag 3.

Antennhöjder Dagnr 77 (2008 - 03 - 17_18)				
Löpnr	Punkt nr	Excentrisk uppställning och avvägd	Antenn höjd över fix	Diff mellan stopp o start
1001	1187310	avvägd	1.2467	0.000
1002	1189012		1.4239	0.000
1003	1281305		1.4350	0.000
1004	1281507		1.3760	-0.001
1005	1189507	avvägd	0.9027	0.000
1006	1188406		1.5700	0.000
9001	1189211	avvägd	0.3562	0.000
9002	1280205	avvägd	-0.2498	0.000
9003	1189311		1.3564	0.000
9004	1189317	avvägd	0.2967	0.000
9005	1189314		0.9980	0.000

Tabell 4. Antennhöjder dag 4.

Antennhöjder Dagnr 78 (2008 - 03 - 18_20)				
Löpnr	Punktnr	Excentrisk uppställning och avvägd	Antenn höjd över fix	Diff mellan stopp o start
1001	1187310	avvägd	1.2297	0.000
1002	1189012		1.4174	0.001
1003	1281305		1.4184	0.001
1004	1281507		1.3695	0.000
1005	1189507	avvägd	0.8717	0.000
1006	1188406		1.5398	0.000
9001	1189211	avvägd	0.3352	0.000
9002	1280205	avvägd	-0.2678	0.000
9003	1189311		1.3786	0.000
9004	1189317	avvägd	0.3107	0.000
9005	1189314		0.9776	0.000

3.5 Om GPS-analysen

Syftet med försöket Uppsalaslingan är att studera om GNSS-teknik kan användas för att ansluta ett lokalt höjdnät till RH 2000.

För att avgöra om GPS/GNSS-teknik kan användas för att ansluta lokala höjdnät är det många aspekter som måste beaktas. I försöket har mätning genomförts i 2 + 2 st 24-timmars-sessioner. Dessa har sedan delats upp i sessioner om 1, 2, 3 och 6 timmar. Sessionerna har beräknats oberoende av varandra och det lokala höjdnätet har passats in i vertikalled (translaterats) för att passa så bra som möjligt på de med GPS-teknik bestämda höjderna. GPS-nätet har anslutits på kringliggande höjdfixar i riksnätet i höjd, dels genom fast utjämning och dels genom fri nätutjämning och inpassning (med lutande plan). För omräkning mellan höjd över ellipsoiden i SWEREF 99 och höjder i RH 2000 har den för tillfället bästa geoidmodellen använts.

3.5.1 Analys genomförd i två omgångar

Arbetet med att analysera de insamlade mätningarna har genomförts i två omgångar. Dels under våren 2008, och dels under 2009.

Resultaten från den första omgången med analyser redovisas i främst tabell 5 och 6. Vid denna analys har GPS-beräkning gjorts i programvaran GeoGenius från Terrasat GmbH. Beräkningarna gjordes baserade på s.k. "broadcast ephemeris" för satellitbanorna,

och vid transformationerna har geoidmodellen SWEN05_RH2000 använts.

GPS-mätningarna har genomförts med loggning av observationer var 5:e sekund. Vid den första analysen genomfördes GPS-beräkningarna på 5-sekundersdata, men för 3 timmars och 6 timmars sessioner har beräkning gjorts också med data utglesat till 15 resp. 30 sekunder.

I den andra analysomgången har GPS-beräkning genomförts i programvaran TTC från Trimble, och den nyare geoidmodellen SWEN08_RH2000 användes för transformation mellan höjd över ellipsoiden till höjd över geoiden. I GPS-beräkningen användes efterberäknade satellit-banddata ("precise ephemeris"), beräkning gjordes med data utglesat till 15 s loggningsintervall. De flesta beräkningarna är genomförd utifrån fas-observationer på GPS L1-frekvensen, men som jämförelse har en del beräkningar också genomförts på s.k. jonosfärfri linjärkombination (oftast benämnd L3 eller Lc) av observationerna på L1 och L2. Resultaten från denna andra analysomgång finns redovisad i främst tabell 7.

Skillnaden i slutresultat mellan att använda geoidmodellen SWEN05 eller den nya SWEN08 har för just det här området bedömts vara ringa.

(Vid en mindre undersökning visade det sig att skillnaden i GPS-bestämda koordinater för punkt 9001-9005 skulle ha fått ca 2 mm högre höjdvärde efter inpassning eller fast utjämning mot 1001-3003 om den nya geoidmodellen SWEN08_RH2000 använts i stället för SWEN05_RH2000. Det systematiska felet om ca 5 mm (tabell 5) skulle därmed reducerats med dessa ca 2 mm om den nya geoidmodellen SWEN08_RH2000 hade använts i testet.)

4 Resultat

Syftet med testmätningarna är att ge underlag för att med en rimlig säkerhet besvara frågan om hur bra ett lokalt höjdnät kan anslutas till RH 2000 med användande av GNSS-teknik.

Testmätningarna i Uppsalaområdet har legat till grund för ett omfattande beräkningsarbete som har syftat till att utarbeta metoder för anslutning av lokala höjdnät genom traditionell stommätning med GNSS-teknik. Här redovisas resultat och statistik från de beräkningar som har gjorts i detta syfte.

4.1 Förklaring till hur resultaten beräknats

Statistik över hur bra det har gått att ansluta det lokala nätet till RH 2000 genom den tillämpade mät- och beräkningsmetodiken redovisas i tabellerna 5, 6 och 7.

I tabell 5 redovisas resultat för första och andra dygnet då moderna standardantennor (i detta fall från Leica) användes vid mätningarna, och baserade på beräkningar genomförda vid första analysomgången. I tabell 6 redovisas resultat från dygn 3 och 4, då chokring-antennor användes vid mätningarna, och baserade på den första analysomgången. Tabell 7 visar resultat från den andra analysomgången. (Se kap 2.5.1. för skillnader i analys mellan första (tabell 5 och 6), resp. andra analysomgången (tabell 7).)

I tabell 5, 6 och 7 har resultaten från ungefär 700 beräknade GPS-nät komprimerats till ett fåtal rader i tabellerna. Detta gör att en viss förklaring kan behövas trots att tabellerna har likartad uppbyggnad. Som en grund behövs en förståelse för hur analysen gått till.

GPS-beräkning har genomförts på vanligt sätt genom beräkning av baslinjer som sedan utjämnats genom geodetisk nätutjämnning.

Standardmetoden i detta arbete har varit att tillämpa fri nätutjämnning där en punkt (som är relativt bra känd i plan och höjd) hålls fast. Därefter korrigeras (de ungefärliga) höjderna i det fria nätet från höjd över ellipsoiden till höjd över geoiden genom en geoidmodell. Slutligen passas det (geoidkorrigerade) fria GPS-nätet in på kända höjdfixar i omgivande avvägningsslinga (punkt 1001 till 3003 i figur 2) genom ett lutande plan. Standardmetoden är använd i tabell 7 och är benämnd "inpassning" i tabell 5 och 6.

Alternativet till standardmetoden är utjämnning av de beräknade baslinjerna till ett geodetiskt nät med ingående kända höjdfixar i avvägningsslingan som kända, s.k. fast utjämnning. Även här måste

korrektion för geoiden göras, t.ex. genom att först addera geoidhöjd från vald geoidmodell till höjder i RH 2000 på kända fixar, genomföra geodetisk nätutjämning som fast utjämning, och sedan subtrahera geoidhöjden enligt samma modell för alla punkter i nätet. Vid den fasta utjämningen har inga lutnings/rotationsparametrar lösts ut.

Oavsett om standardmetoden (inpassning) eller fast utjämning tillämpats, så är resultatet att höjder i RH 2000 erhållits på nypunkterna. Dessa punkter används slutligen för att transformera det lokala avvägningssnätet till RH 2000 (bara 1 transformationsparameter för den vertikala förflyttningen - inga lutningar eftersom ett avvägningssnät inte antas luta).

De första kolumnerna i tabellerna beskriver vilken typ av beräkning som gjorts, vilket dygn som avses, hur långa mätsessioner som använts i GPS-analysen, och hur många sessioner (hur många beräknade GPS-nät) som materialet för just den raden i tabellen är baserat på.

Då GPS-nätet beräknats och utjämnats som ett fritt nät, passas det sedan in på omkringliggande höjdfixar (punkt 1001 till 3003) med ett lutande plan. RMS av grundmedelfelen i denna inpassning redovisas i sista kolumnen i tabell 5-7. Värdet beskriver hur bra passning som kan förväntas i enskild punkt mellan GPS-bestämd höjd och höjd i RH 2000 för ett område med en utsträckning stor som en vanlig avvägningsslinga (någon/några mil) och ett område där geoiden är som allra bäst. (Vid fast utjämning finns inte motsvarande värde - däremot bör medelfelet i nätutjämningen vid fast utjämning bli stort om passningen är dålig på de kända höjderna i RH 2000.)

Höjdnivån på det lokala nätet efter GPS-anslutning har jämförts med "sanna" höjder i RH 2000. Eftersom det avvägda nätet transformerats på GPS-höjderna genom en translation (ingen tippning), så finns det bara ett värde för det lokala nätets slutliga höjdfel från varje beräkningssession. RMS för dessa höjdfel redovisas.

Höjdfelet enligt ovan innehåller flera komponenter, bl.a. fel från GPS-bestämning, fel i "facit" (det med avvägning bestämda lokala höjdnätet - detta fel bedöms som litet, d.v.s. få mm), och fel från använd geoidmodell. För att bedöma repeterbarhet i GPS-bestämning har därför också standardavvikelse för höjdfel (för de olika sessionernas skattade translationer) beräknats.

Största och minsta avvikelse av translationerna inom varje grupp redovisas också liksom differensen dem emellan.

Vid inpassning av det lokala höjdnätet på GPS-höjderna genom translation, beräknas också ett grundmedelfel i inpassningen. D.v.s.

Resultat

hur bra överensstämmelsen är mellan GPS-bestämda höjder och avvägda höjder för varje punkt i det lokala nätet. RMS av grundmedelfelen redovisas i näst sista kolumnen i tabellerna. Om avvägningen a priori betraktas bättre än GPS-höjderna, ger grundmedelfelet en uppfattning om hur GPS-höjderna varierar mellan punkter inom ett litet område.

Resultat

Tabell 5. Jämförelse mellan olika längd av mätsessioner och olika beräkningsalternativ. Mätningar i februari 2008. Standardantenn (Leica AX1202GG). Första utvärderingsomgången.

Fast utj / inpassning	Dygn Nr	Sess. (h)	Logg intervall (s)	Antal sessioner	Lokala nätets höjdfel (mm)						Grundmedel- fel i inpassning av GPS-nätet (mm) ³
					RMS av höjdfel ¹	Stdav	max	min	Diff max – min	Grundmedelfel i translation ²	
Fast	1	1	5	23	4,6	1,5	-1,4	-7,8	6,4	3,0	
Fast	1	2	5	12	4,2	1,1	-1,9	-5,7	3,8	1,8	
Fast	1	3	5	8	4,5	1,3	-2,9	-6,2	3,3	1,6	
Fast	1	3	15	8	4,1	1,1	-2,9	-6,2	3,3	1,6	
Fast	1	6	5	4	4,5	0,6	-3,8	-5,3	1,5	1,9	
Fast	1	6	15	4	3,9	0,5	-3,4	-4,5	1,1	1,6	
Fast	1	6	30	4	3,9	0,5	-3,3	-4,4	1,2	1,5	
Inpassning	1	1	5	24	5,0	1,4	-2,4	-7,6	5,2	2,4	5,1
Inpassning	1	2	5	12	5,0	1,1	-3,2	-6,2	3,0	2,4	4,8
Inpassning	1	3	5	8	5,3	1,0	-4,0	-6,4	2,4	2,1	4,7
Inpassning	1	3	15	7	4,9	1,0	-3,8	-6,2	2,4	2,2	4,7
Inpassning	1	6	5	4	5,4	0,4	-5,0	-6,0	1,0	2,3	4,8
Inpassning	1	6	15	4	5,0	0,3	-4,6	-5,2	0,6	2,1	4,7
Inpassning	1	6	30	4	4,9	0,3	-4,4	-5,2	0,8	2,1	4,7
Inpassning	2	1	5	24	6,3	1,1	-4,6	-8,4	3,8	2,5	4,4
Inpassning	2	2	5	12	6,1	0,8	-5,0	-7,4	2,4	2,3	4,8
Inpassning	2	3	5	8	6,1	0,3	-5,6	-6,4	0,8	2,0	4,0
Inpassning	2	3	15	8	6,0	0,3	-5,6	-6,4	0,8	2,0	4,0
Inpassning	2	6	5	4	6,4	0,5	-5,8	-6,8	1,0	2,1	4,0
Inpassning	2	6	15	4	6,6	0,2	-6,4	-6,8	0,4	2,1	4,0
Inpassning	2	6	30	4	6,6	0,3	-6,2	-6,8	0,6	2,1	4,0

¹ RMS av höjdfel: RMS av hur mycket det lokala nätet (punkt 9001-9005) translaterats från RH2000 (höjder bestämda med precisionsavvägning) till de GPS-bestämda höjderna för dessa punkter.

² Grundmedelfel i translation: Beräknat som RMS av grundmedelfelen i ingående inpassningar. Även tabell 6 och 7.

³ Inpassning av GPS-nätet: RMS av grundmedelfelen i inpassning av GPS-nätet på kringliggande höjdfixar (punkt 1001-3003)

Resultat

Tabell 6. Jämförelse mellan olika längd av mätsessioner och olika beräkningsalternativ. Mätningar i mars 2008. Dorne Margolin chokering antenner. Första utvärderingsomgången.

Fast utj / inpassning	Dygn Nr	Sess. (h)	Logg intervall (s)	Antal sessioner	Lokala nätets höjdfel (mm)					Grundmedel- fel i inpassning av GPS-nätet (mm) ³	
					RMS av höjdfel ¹	stdav	max	min	Diff max – min		Grundmedelfel i translation ²
Fast	3	1	5	24	8,2	1,7	-5,7	-11,4	5,7	2,4	
Fast	3	2	5	12	7,9	1,4	-5,7	-11,0	5,3	2,3	
Fast	3	3	5	8	7,6	1,0	-5,9	-8,7	2,8	2,2	
Fast	3	3	15	8	7,7	1,0	-6,0	-8,7	2,7	2,2	
Fast	3	6	5	4	7,9	0,7	-6,8	-8,4	1,6	2,2	
Fast	3	6	15	4	7,9	0,7	-6,8	-8,4	1,6	2,2	
Fast	3	6	30	4	7,9	0,7	-6,9	-8,4	1,5	2,3	
Fast	4	1	5	24	8,9	2,8	-4,9	-14,6	9,7	2,5	
Fast	4	2	5	12	8,3	1,9	-5,5	-11,3	5,8	2,3	
Fast	4	3	5	8	8,3	1,5	-5,9	-11,2	5,3	2,2	
Fast	4	3	15	8	8,3	1,5	-5,9	-11,2	5,3	2,3	
Fast	4	6	5	4	8,2	0,6	-7,6	-9,0	1,4	2,3	
Fast	4	6	15	4	8,2	0,6	-7,6	-9,0	1,4	2,3	
Fast	4	6	30	4	8,1	0,6	-7,5	-9,0	1,5	2,3	
Inpassning	3	1	5	24	9,9	1,7	-7,6	-14,2	6,6	3,2	3,3
Inpassning	3	2	5	12	9,7	1,3	-8,4	-13,2	4,8	3,3	2,7
Inpassning	3	3	5	8	9,5	0,8	-8,6	-11,2	2,6	3,0	2,5
Inpassning	3	3	15	7	9,6	0,8	-8,6	-11,2	2,6	3,0	2,6
Inpassning	3	6	5	4	9,7	0,6	-9,0	-10,2	1,2	3,2	2,5
Inpassning	3	6	15	4	9,7	0,5	-9,0	-10,2	1,2	3,1	2,4
Inpassning	3	6	30	3	9,8	0,7	-8,8	-10,4	1,6	3,2	2,5
Inpassning	4	1	5	24	10,9	2,7	-6,4	-16,8	10,4	3,4	3,4
Inpassning	4	2	5	12	10,2	1,7	-6,4	-12,4	6,0	3,2	2,8
Inpassning	4	3	5	8	10,2	1,4	-8,0	-12,4	4,4	3,1	2,4
Inpassning	4	3	15	8	10,2	1,4	-8,0	-12,4	4,4	3,2	2,4
Inpassning	4	6	5	4	10,1	0,8	-9,0	-10,6	1,6	3,2	2,3
Inpassning	4	6	15	4	10,0	0,7	-9,0	-10,6	1,6	3,3	2,3
Inpassning	4	6	30	4	10,1	0,8	-9,0	-10,8	1,8	3,2	2,3

Resultat

¹ RMS av höjdfel: RMS av hur mycket det lokala nätet (punkt 9001-9005) translaterats från RH2000 (höjder bestämda med precisionsavvägning) till de GPS-bestämda höjderna för dessa punkter.

² Grundmedelfel i translation: Beräknat som RMS av grundmedelfel i de ingående inpassningarna.

³ Inpassning av GPS-nätet: RMS av grundmedelfelen i inpassning av GPS-nätet på kringliggande höjdfixar (punkt 1001-3003)

Resultat

Tabell 7. Jämförelse mellan olika längd av mätsessioner och olika beräkningsalternativ. Andra utvärderingsomgången.

	Dygn nr	Sessions längd (h)	Lokala nätets höjdfel (mm)							Grundmedelfel i inpassning av GPS-nätet (mm) ³
			Antal sess.	RMS av höjdfel ¹	Standardavvikelse	Max	Min	Diff max - min	Grundmedelfel i translation ²	
Leica antenner L1 20 punkter (D1_D2)	1	2	12	2,8	1,0	-1,0	-4,0	3,1	2,4	3,9
	1	3	8	2,9	0,9	-1,5	-4,1	2,6	2,3	3,8
	1	6	4	2,7	1,5	-0,6	-4,2	3,7	3,3	4,2
	2	2	12	4,2	1,0	-2,4	-5,7	3,3	2,2	3,5
	2	3	8	4,6	1,3	-2,1	-6,1	4,0	2,3	3,6
	2	6	4	5,1	2,7	-0,6	-6,3	5,7	3,8	6,7
Leica antenner L1 11 punkter (D1_11p)	1	2	12	4,1	1,3	-1,4	-5,8	4,4	2,6	3,4
	1	3	8	4,3	1,0	-2,6	-5,6	3,0	2,5	2,7
	1	6	4	4,4	0,9	-3,6	-5,6	2,0	2,4	2,5
Leica antenner L1 11 punkter (D2_11p)	2	2	12	5,7	1,0	-3,5	-6,9	3,4	2,3	2,2
	2	3	8	5,5	0,7	-4,3	-6,2	1,9	2,3	1,9
	2	6	4	5,3	0,7	-4,4	-5,8	1,4	2,3	1,8
Leica antenner, L1 11 pkter, 6 mottagare	1 + 2	3	15	5,5	4,1	3,2	-11,4	14,6	2,7	7,7
Leica antenner L1 9 pkter, 6 mottagare	1 + 2	3	15	7,0	6,5	10,5	-12,8	23,3	2,8	5,7
Leica antenner L1 11 punkter, 2000 serien	1	3	8	2,7	0,9	-1,5	-4,0	2,5	2,5	6,1
Leica antenner L1 11 punkter, 2000 serien	2	3	8	4,9	1,6	-2,2	-6,9	4,7	2,4	5,7
Leica antenner Lc 11 punkter	1	3	8	4,2	1,2	-2,1	-5,8	3,7	3,3	2,5

Resultat

Leica antenner Lc 11 punkter	2	3	8	5,3	1,0	-4,1	-6,9	2,9	3,9	2,2
Leica antenner Lc 9 pkter, 6 mottagare	1 + 2	3	16	3,9	2,7	3,0	-7,1	10,1	4,2	2,6
DM antenner L1 11 punkter	3	2	12	8,8	1,4	-7,2	-12,5	5,3	4,6	4,9
	3	3	8	8,6	0,9	-7,2	-10,1	2,8	4,6	4,8
	3	6	4	7,0	1,4	-5,0	-8,1	3,1	4,8	4,3
	4	2	12	9,0	1,9	-3,6	-10,6	7,0	4,3	3,4
	4	3	8	9,0	1,8	-5,2	-10,7	5,6	4,2	3,2
DM antenner Lc 11 punkter	4	6	4	6,5	2,5	-3,8	-9,6	5,8	4,5	3,9
	3	3	8	8,0	1,0	-6,1	-9,6	3,6	4,3	4,2
DM antenner Lc 11 punkter	4	3	8	8,5	1,2	-7,2	-10,6	3,5	4,5	3,6

¹ RMS av höjdfel: RMS av hur mycket det lokala nätet (punkt 9001-9005) translaterats från RH2000 (höjder bestämda med precisionsavvägning) till de GPS-bestämda höjderna för dessa punkter.

² Grundmedelfel i translation: Beräknat som RMS av grundmedelfel i de ingående inpassningarna.

³ Inpassning av GPS-nätet: RMS av grundmedelfelen i inpassning av GPS-nätet på kringliggande höjdfixar (punkt 1001-3003)

4.2 Analys av resultaten

En första notering kring resultaten från fältförsök och beräkning av "Uppsalaslingan" är att det lokala höjdnätet har hamnat rätt i höjd på ungefär en cm (1σ). Endast i undantagsfall blir medelfelet i anslutningen sämre än 1 cm. Detta är en första viktig indikation på att GNSS-tekniken har potential att bestämma höjder på 1 cm nivån eller kanske något bättre.

Det kan också noteras att resultaten generellt blir något bättre vid längre observationstid. Framförallt minskar differensen mellan max och min-värde av felet då observationstiden ökas från en timme till två timmar. I den andra utvärderingsomgången har därför sessionslängd om 1 timme inte tagits med.

Möjligen något förvånande visar det sig också att grundmedelfel i inpassning av det fria GPS-nätet på omkringliggande kända riks-avvägningsfixar antyder att anslutningen skulle vara rätt på halvcentimeter-nivå, medan det inpassade nätets höjdfel många gånger blir större än vad inpassningen antyder!

Det bör också beaktas att en av de viktigaste felkällorna vid GPS-mätning är lokala effekter såsom flervägsfel och andra liknande störningar på signalerna. Flervägsfel, eller s k multipath, uppstår när signalerna från satelliterna på vägen till mottagaren reflekteras i träd, väggar, tak, stolpar, markytan mm, och därmed fördröjer signalerna. Dessa effekter är lokala och oberoende mellan olika stationer, och kan också variera på samma station beroende på när mätning görs, vald antenn, antennhöjd etc. För en bra stationsuppställning (inkl. val av antenn) bör detta fel vara ett antal mm i höjd, men kan vid sämre uppställning uppgå till någon cm, och i värsta fall mer. Resultaten från det här genomförda arbetet visar dock att detta fel är av storleksordningen några mm (näst sista kolumnen i tabell 5-7).

De två alternativa metoderna att ansluta nätet, fast utjämning och fri utjämning med efterföljande inpassning av ett lutande plan, gav i det här fallet likartade resultat. Inpassning med lutande plan ger dock bättre möjlighet att suga upp linjära trender i t.ex. troposfären eller brister i geoiden, varför denna metod rekommenderas.

4.2.1 Jämförelse mellan dag 1 och 2 resp. 3 och 4

I tabell 8 jämförs resultat från dag 1 till 4. För att få jämförelsen någorlunda rättvis görs den för det fall då samma 11 punkter ingått i GPS-analysen för dag 1 och 2 resp. 3 och 4.

Tabell 8. Jämförelse av mätning med 11 samtidiga GPS-mottagare, där 6 placerats på kända höjdfixar, och 5 på punkter i det lokala höjdnätet. Beräkning på L1. Värden från den andra analysomgången (tabell 7).

Antenn-typ	Dag	Sessions längd (timmar)	Antal sess	RMS av höjdfel (mm)	Grundmedelfel i translation av lokala nätet (mm)	Grundmedelfel i inpassning av GPS-nätet på kända fixar (mm)
Lecia	1	2	12	4,1	2,6	3,4
Leica	2	2	12	5,7	2,3	2,2
DM	3	2	12	8,8	4,6	4,9
DM	4	2	12	9,0	4,3	3,4
Lecia	1	3	8	4,3	2,5	2,7
Leica	2	3	8	5,5	2,3	1,9
DM	3	3	8	8,6	4,6	4,8
DM	4	3	8	9,0	4,2	3,2

Grundmedelfel i inpassning av GPS-nätet på kända fixar beskriver hur bra det GPS-mätta nätet passar på höjdfixarna i avvägningsslingan (med kända höjder i RH 2000). Om ett lokalt nät skall anslutas till RH 2000 i praktiken genom GPS-mätning enligt den här testade metodiken, är det detta osäkerhetsmått som en användare får ut för att utvärdera om anslutningen ser bra ut. Eftersom den geografiska utbredningen av GPS-nätet är relativt stor (15-30 km) påverkas detta av flera osäkerhetsfaktorer så som osäkerhet i GPS-mätning, variationer i atmosfären, och variation i geoidmodellens fel.

Grundmedelfel i translation av det lokala nätet (inpassning av det lokala nätet på erhållna höjder i RH 2000 efter att GPS-mätningarna passats in på kända höjdfixar i avvägningsslingan), beskriver hur bra den interna osäkerheten i GPS-mätningarna stämmer med avvägning för punkterna i det lokala nätet. Den geografiska utbredningen av det lokala nätet antas relativt liten, kanske några km. Om avvägning antas ha liten osäkerhet över korta avstånd så beskriver därför detta mått den lokala osäkerheten i GPS-bestämningen. Det bör dock noteras att även avvägning bör antas ha en osäkerhet om några mm om den geografiska utbredningen är storleksordningen 3-5 km.

RMS av höjdfel är ett mått på hur rätt det lokala nätet hamnar i RH 2000 med den valda metoden för att ansluta nätet, i princip motsvarande medelfel.

Det kan noteras att det ser ut som om mätningarna med standard-antennerna (i detta fall Leica) ger något bättre resultat än användning av Dorne Margolin chokering antenner. Detta är tvärt emot vad som borde kunna förväntas, och någon riktigt bra förklaring till detta har vi inte idag. Däremot går det att identifiera några faktorer som skulle kunna bidra.

Det som i tabell 8 benämns "DM" är choke-ring antenner med Dorne Margolin antenn-element. Alla använda antenner är olika fabrikats "kopior" av den klassiska AOAD/M_T. De olika antennerna (från

Ashtech och Javad) har modellerats enligt s.k. relativa kalibreringsmodeller för antennernas fascenter-variation. Alltså har variationer mellan antenner från olika leverantörer tagits om hand så bra som är rimligt. Dock kan det vara så att det finns en kvarvarande effekt av att "AOAD/M_T-kopior" av olika typ använts. Denna kvarvarande effekt antas vara av storleksordningen 1-max 3 mm för beräkning på L1, och för jonosfärsfri linjärkombination också några få mm, men i undantagsfall upp mot 5 mm.

En annan möjlighet är att väderförhållandena i mars varit mindre gynnsamma än i februari, vilket i så fall gjort att GPS-signalernas fördröjning genom atmosfären bidragit till att resultaten ser ut som de gör. Detta stämmer i och för sig. Under mätningarna i februari (dag 1 och 2) var vädret stabilt med uppehåll. Vid mätningarna i mars passerade en väderfront med snöfall under natten 18-19 mars. Data för det dygn som benämns dag 3 är därför från 17-18 mars, medan dygn 4 är från 19-20 mars (efter det att den snö som ansamlats på antennerna sopats av).

Traditionellt har troposfären inte betraktats som en speciellt viktig felkälla vid GPS-mätning över mindre till måttliga avstånd (10-20 km) som det ofta är frågan om vid typ klassisk stomnätsmätning med GPS. Hypotesen/teorin är/har varit att atmosfären varit tillräckligt lika över hela området så att felen i stort sett tagit ut varandra. Däremot är det väl känt att troposfären är en av de viktigaste felkällorna vid mätning över stora avstånd (50 km och uppåt), och för den typen av beräkningar modelleras och korrigeras för atmosfärens påverkan.

Vi har idag ingen tydlig kvantifiering av hur stor påverkan är från troposfären på resultatet vid den typ av GPS-mätning som det är frågan om här. Vi kan dock jämföra med utredningen Close-RTK (Emardson et al 2009), där ingående felkällors inverkan på resultatet vid nätverks-RTK kvantifierats.

Tabell 9. Påverkan från några felkällor på mätt höjd med nätverks-RTK beroende på avståndet mellan referensstationerna i nätverks-RTK-nätet, uttryckt som medelfel vid normal inverkan från troposfär, jonosfär resp lokala effekter.

Avstånd mellan referensstationer	troposfär (mm)	Jonosfär (mm)	Lokala effekter (mm)
70 km	21	17	6
35 km	15	12	6
20 km	11	9	6
10 km	7	6	6

Tabell 9 visar hur bra nätverks-RTK bör vara på att reducera inverkan av de viktigaste felkällorna, och är alltså inte direkt tillämplig för statisk mätning med observationstider om någon eller några timmar.

Men om man tittar på hur snabbt felen varierar så är korrelationstiden för inverkan från troposfären ungefär 2 timmar för fallet med 70 km mellan referensstationerna (Emardsson et al 2009, tabell 5). För kortare avstånd minskar korrelationstiden något men är fortfarande relativt lång (typ timme).

Principiellt är det ingen direkt skillnad i hur felen begränsas vid nätverks-RTK jämfört med statisk mätning. En felkälla antas ha korrelation i rummet (vara ungefär lika stor på platser nära varandra) och kan därmed reduceras genom samtidig observation på kringliggande punkter. Skillnaden är dels teknikaliteter som principen för bestämning av s.k. periodobekanta till heltal etc, men framförallt att vid lång observationstid kommer många fel att reduceras genom medeltalsbildning. Slutsatsen bör vara att det torde finnas ett icke försumbart bidrag från troposfären i felbudgeten för anslutning av ett lokalt nät. En rimlig kvantifiering borde vara "några mm", kanske upp till 5 mm i normalfallet.

4.2.2 Jämförelse mellan beräkning på L1 och Lc

I tabell 10 jämförs resultat från beräkning på L1 och beräkning baserad på jonosfärsfri linjärkombination av L1 och L2, här benämnd Lc. Teoretiskt så skall effekten från jonosfären tas bort vid Lc, och ge bättre resultat på främst längre avstånd. Däremot förstärks brusnivån i fasmätningsobservationerna ca 3 ggr genom linjärkombinationen, vilket gör att på korta avstånd bör beräkning på bara L1 vara att föredra. Även antennfel p.g.a. bristande antenmodellering förstärks vid jonosfärsfri linjärkombination.

Tabell 10. Jämförelse av beräkning med L1 och Lc vid mätning med 11 simultana GPS-mottagare, där 6 placerats på kända höjdfixar, och 5 på punkter i det lokala höjdnätet. Värden från den andra analysomgången (tabell 7).

	Dag	Sessions längd (timmar)	Antal sess	RMS av höjdfel (mm)	Grundmedelfel i translation av lokala nätet (mm)	Grundmedelfel i inpassning av GPS-nätet på kända fixar (mm)
L1	1	3	8	4,3	2,5	2,7
L1	2	3	8	5,5	2,3	1,9
L1	3	3	8	8,6	4,6	4,8
L1	4	3	8	9,0	4,2	3,2
Lc	1	3	8	4,2	3,3	2,5
Lc	2	3	8	5,3	3,9	2,2
Lc	3	3	8	8,0	4,3	4,2
Lc	4	3	8	8,5	4,5	3,6

Resultaten i tabell 10 visar att vi i denna studie inte kan se någon markant skillnad mellan beräkning på L1 resp Lc. Detta stämmer inte

riktigt med tidigare rekommendationer där beräkning på bara L1 ansetts vara att föredra för denna typ av tillämpning. Frågan om L1 eller Lc för denna typ av mätning bör därför bli föremål för vidare studier. Vid de här mätningarna har enhetliga antenntyper använts, antingen Leica standardantennar eller Chokeringantennar (de senare har dock varit av några olika varianter). Detta har lett till att förstärkningen av antennfel vid jonosfärsfri linjärkombination (Lc) inte får något större genomslag.

4.2.3 Uppdelning av nätet på flera sessioner vid mätning

I de fall tillgången på mottagare är begränsad, kan en uppdelning av mätningarna i flera sessioner bli nödvändig. Beräkningar har därför gjorts också för det fall där 6 st mottagare har använts vid mätning på 11 punkter, och där mätningarna har delats in i 3 sessioner. I tabell 11 redovisas resultaten av dessa beräkningar. Se även tabell 7.

Tabell 11. Jämförelse av mätning av ett nät med 11 stationer, antingen som samtidig observation med 11 st samtida mottagare, eller som uppdelning i tre sessioner med 6 st mottagare. Beräkning på L1, sessionslängd 3 timmar. Värden från andra analysomgången (tabell 7)

Antal mottagare	Dag	Sessions längd (timmar)	Antal nät	RMS av höjdfel (mm)	Grundmedelfel i translation av lokala nätet (mm)	Grundmedelfel i inpassning av GPS-nätet på kända fixar (mm)
11	1	3	8	4,3	2,5	2,7
11	2	3	8	5,5	2,3	1,9
6	1+2	3	15	5,5	2,7	7,7

Tabell 11 antyder att anslutningen av det lokala höjdnätet till RH 2000 inte påverkas så mycket av att mätningarna delas upp på 3 sessioner (RMS av höjdfel). Men om man tittar på skillnaden mellan största och minsta höjdfel (tabell 7) för samtidig mätning (-2.6-(-6.2)=3.6mm) resp. uppdelning i 3 sessioner (3.2-(-11.4)=14.6mm), så visar denna undersökning att samtidig mätning är att föredra om tillgång på antenner och mottagare gör det möjligt.

Det har också testats att räkna på ett fall där endast 9 punkter mäts med 6 mottagare i 2 sessioner. Av dessa är 6 punkter höjdfixar med kända höjder, 3 punkter ingår i det lokala avväggningsnätet som skall anslutas. Även i detta fall är RMS av lokala nätets höjdfel och grundmedelfel i inpassning på kända höjdfixar måttliga. Men skillnad mellan största och minsta höjdfel är ännu större än ovan (23 mm).

Resultat

Om beräkning görs på L_c i stället för L_1 vid mätning på 9 punkter ser det ut som om spridningen i resultat blir mindre (tabell 7). Detta torde vara något förvånande, men det bör samtidigt noteras att det statistiska underlaget är alltför begränsat för att några vidlyftiga slutsatser ska kunna dras kring detta.

5 Diskussionskapitel

Lokala höjdnät är bärare av de lokala höjdsystemen, och all annan höjdsättning relateras till stomnätet. Vid anslutning av lokala höjdnät till RH 2000 är det därför viktigt att få en så stark relation som möjligt till RH 2000. Kommunala stomnät anläggs normalt genom finavvägning, vilket innebär en kassationsgräns vid mätning på 2 - 4 mm/ $\sqrt{\text{km}}$. De mätningar som krävs för att ansluta ett sådant nät bör alltså utföras med minst motsvarande krav för att inte skapa deformationer eller onödigt stora nivåskillnader mellan olika nät.

Ett 25 km långt avvägningståg utfört som finavvägning med en felgräns på 4 mm/ $\sqrt{\text{km}}$ mellan tur och returmätning ger ett medelfel på 10 mm (1σ) i ändpunkten. Ett 10 km långt tåg ger under samma förutsättningar ett medelfel på 6.3 mm (1σ).

Det är således inte lämpligt att använda GNSS-teknik för att höjdsätta slutpunkten i ett pikétåg i ett lokalt höjdnät som i andra änden är anslutet till RH 2000 genom avvägning.

För den tillämpning som har redovisats här, har egentligen inga motsvarande undersökningar gjorts i Sverige eller i Norden, som kan bekräfta eller motsäga de resultat som har uppnåtts. De kända praktiska mätningar som har gjorts i Sverige i andra sammanhang har inte utförts på ett sådant sätt att det går att kontrollera noggrannheten i bestämningen av nivån på de lokala höjdnäten i RH 2000.

En viktig frågeställning är därför hur tillämpbara resultaten från denna studie är för ett riktigt fall i ett annat område och vid andra yttre omständigheter. En möjlighet skulle då kunna vara att genomföra en motsvarande mätkampanj med den praktiska metoden (färre mottagare och färre punkter) i ett område med tänkta sämre förhållanden.

För att kunna dra riktiga slutsatser från en sådan kampanj krävs dock en bättre kunskap om de yttre faktorer som kan påverka mätningarna. I ett mera kuperat område finns t ex risk för större variationer i geoiden. Dessa variationer kan möjligen analyseras bättre m h a andra beräkningar. Även påverkan från troposfären är ett större problem i kuperade områden. Problemen med sikthinder kan också antas öka i ett mera skogbevuxet område, och här är problemet att veta om och när de faktiskt påverkar mätningarna, och i vilken grad. Flervägsfel liksom olika vädertyper är också felkällor som är svår att uppskatta på förhand. Det är därför osäkert vilket värde en sådan mätkampanj skulle ha.

6 Slutsatser och behov av ytterligare studier

Ett syfte med studien som presenteras i denna rapport har varit att finna en praktisk metod för anslutning av lokala höjdnät till RH 2000 med GNSS-teknik. Resultaten visar att i ett praktiskt fall, med tillgång till 6 mottagare och med en observationstid på 3 timmar, kan ett lokalt höjdnät passas in i RH 2000 med en osäkerhet på c:a 10 mm (1 σ). En osäkerhetsnivå på 5 mm torde dock inte kunna uppnås, vilket resultatet från inpassningen av det fria nätet på omkringliggande kända riksavvägningsspunkter antyder. Nivån 10 mm torde dock i de flesta fall räcka för anslutning av ett isolerat lokalt höjdnät där inte närsamband krävs eller kommer att krävas med andra nät. Anslutning med finavvägning ger ett starkare samband, och bör användas i första hand där det är rimligt.

Geoidens variationer över korta avstånd i mera kuperade områden bör studeras närmare för att ge besked om hur bra geoidmodellen SWEN08_RH2000 kan förväntas passa i sådan terräng. Osäkerheten i geoidmodellen bedöms för testområdet, liksom för stora delar av landet i övrigt, vara liten. I fjälltrakterna, i kustnära områden och vid de stora sjöarna bedöms dock osäkerheten vara något större.

Vid jämförelse av beräkning på L1 och Lc visade det sig att resultaten blev likvärdiga, vilket inte var väntat. Frågan om beräkning ska ske på L1 eller Lc för denna typ av mätning bör därför bli föremål för vidare studier.

Den bifogade checklisten innehåller en del praktiska anvisningar för mätning med denna tillämpning. Listan bygger huvudsakligen på erfarenheter från de redovisade testmätningarna, men även på erfarenheter från några andra kända praktiska mätningar som har utförts för anslutning av lokala höjdnät till RH 2000.

I bilaga 2 redovisas exempel på felen i nypunkterna från beräkningarna i den första utvärderingsomgången (tabell 5 och 6). Felen avser inpassning av GPS-nätet på kända punkter i riksavvägningsslingan (inklusive korrektion med geoidmodell), men före inpassning av det lokala höjdnätet.

Det är viktigt att komma ihåg att de resultat som har uppnåtts här grundas på mätningar som har gjorts i ett område med tänkta goda yttre förhållanden vid ett tillfälle under sammanlagt fyra dygn. Resultaten bör ändå ge någon uppfattning om vilken osäkerhetsnivå som kan förväntas vid motsvarande mätning i ett annat område med motsvarande goda yttre förhållanden. Området är flackt, vilket liksom i stora delar av landet i övrigt bör innebära små variationer i geoiden inom området. Terrängen är förhållandevis öppen, vilket bör innebära minimalt inflytande från sikthinder. Trots detta har excentrisk uppställning fått användas vid ungefär hälften av de

mätta punkterna just för att undvika sikthinder. Problemet med sikthinder torde öka i ett mera skogrikt område.

Ett mindre gynnsamt område kräver också en större arbetsinsats för fältarbetet. Rekognosceringsarbetet blir mera krävande under svårare förhållanden. Långa resvägar mellan punkterna, mer arbete för kontroll av stabiliteten på berörda mätpunkter, fler och längre avvägningar av excentriciteter mm, är arbetsmoment som tar längre tid vid sämre förhållanden. Om mätningen i det aktuella testområdet hade genomförts på 6 + 5 punkter av två personer med 6 mottagare och en observationstid på 3 timmar, bedöms tidsåtgången ha blivit totalt 6 persondagar för rekognoscering och mätning, (3 + 3 persondagar). Under sämre förhållanden bedöms totalt 8 - 10 persondagar krävas för motsvarande insats.

I testområdet hade ett förtätningståg tidigare mätts med den motoriserade avvägningstekniken för att ansluta två lokala höjdnät, vilket innebar att tåget blev längre än om bara det nu aktuella höjdnätet skulle ha anslutits. Förtätningståget innehöll 33 punkter och hade en längd på totalt 31 km. Här krävdes först markering av fixpunkterna på sträckan, och därefter avvägning. Markeringslaget bestod av två personer och mätlaget av fyra personer. Här åtgick 6 persondagar för markeringsarbetet och 24 persondagar för mätningensarbetet. Slutningsfelet vid anslutning av förtätningståget till riksnätet blev 2.5 mm.

Om bara det nu aktuella höjdnätet skulle ha anslutits med avvägning skulle tåglängden ha blivit 19 km. Markeringsarbetet hade då kunnat utföras på två dagar av två personer, och mätningensarbetet hade tagit 3.5 dagar för fyra personer, totalt 18 persondagar.

7 Referenser

Emardson R, Jarlemark P, Bergstrand S, Nilsson T, Johansson J, 2009: Measurement accuracy in Network-RTK. SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut och Chalmers tekniska högskola. SP report 2009:23,

<http://www.sp.se/sv/publications/Sidor/Publikationer.aspx> ,

besökt 2009-11-30.

Lilje C, Engfeldt A, Jivall L,(2007): Introduktion till GNSS

Ågren J, (2009): Beskrivning av de nationella geoidmodellerna SWEN08_RH2000 och SWEN08_RH70

Lilje M, Eriksson P-O, Olsson P-A, Svensson R, Ågren J (2007): RH 2000 och Riksavvägningen

Höjdmätning med GNSS - vägledning för olika mätsituationer. Rapportserie: Geodesi och Geografiska informationssystem, 2010:4, Lantmäteriet, Gävle.

Engfeldt A, Odolinski R: Punktbestämning i RH 2000 - Statisk GNSS-mätning mot SWEPOS. Rapportserie: Geodesi och Geografiska informationssystem, 2010:6, Lantmäteriet, Gävle.

Appendix 1. Checklista – Anslutning av lokala höjdnät till RH 2000 med GNSS-stommätning

I denna checklista redovisas hur GNSS-tekniken bör användas vid anslutning av lokala höjdnät där rimliga anslutningsmöjligheter med avvägning saknas. Listan redovisas först i numrerad punktform, varefter vissa av punkterna beskrivs mera detaljerat. Checklistan baseras huvudsakligen på erfarenheter från genomförda testmätningar, men även på en del andra praktiska fall där lokala höjdnät har anslutits med denna metod.

Checklista

1 Mätmetod

- 1.1 Mätningen utförs som statisk mätning med en observationstid på minst 2 men helst 3 timmar.
- 1.2 Använd minst 6 utgångspunkter i riksnätet och minst 3 punkter i det lokala nätet.
- 1.3 Gör om möjligt alla mätningar i en gemensam session.

2 Val och kontroll av punkter

- 2.1 Gör en grundlig rekognoscering för att välja ut de lämpligaste punkterna och för att hitta eventuella excentriska uppställningsplatser.
- 2.2 Höjdmätning med GNSS är särskilt känslig för sikthinder. Gör därför excentrisk uppställning vid minsta tvekan.
- 2.3 Välj punkter som inte har sikthinder över 12 - 15° elevation (helst fri horisont ned till 10°).
- 2.4 Välj riksnätspunkter väl fördelade runt det lokala nätet, och försök även att fördela punkterna i det lokala nätet så bra som möjligt.
- 2.5 Eftersträva punkter markerade i berg och i öppen terräng.
- 2.6 Kontrollera alla punkter som ska ingå i mätkampanjen så att de inte har rört sig.

3 Val av antenner

- 3.1 Använd samma typ av antenn på alla punkter. Antenner av nyare modell är generellt sett av högre och mera homogen kvalitet än äldre modeller.

4 Mätning av antennhöjder

- 4.1 Mät antennhöjden noga både före och efter mätningen.
- 4.2 Redovisa all avvägning av excentriska punkter och mätta antennhöjder på ett separat protokoll.

5 Mätning

- 5.1 Sätt elevationsmask i mottagaren till 10° eller lägre.
- 5.2 Logga data med 5 eller 15 sekunders intervall.

6 Beräkning

- 6.1 Elevationsmask vid beräkning bör ligga i intervallet 12° - 15°.
- 6.2 Korrigera med geoidmodell från "höjd över ellipsoid" till "höjd över geoid", och gör därefter inpassning av GPS-nätet med ett lutande plan på höjder i RH 2000 (Fri nätutjämning). Ev. kan s.k. "fast utjämning" användas i stället för fri nätutjämning och inpassning.

7 Inpassning av det lokala höjdnätet i RH 2000

- 7.1 Jämför de GNSS-mätta höjderna med de ursprungliga lokala höjderna och beräkna ett medelvärde av skillnaderna.
- 7.2 Applicera detta belopp på en av punkthöjderna i det lokala nätet och gör därefter en fri utjämning av det lokala höjdnätet med denna punkt som utgångspunkt.

Beskrivning till checklistan

1 Mätmetod

I ett lokalt höjdnät är de äldre avvägningarna nästan alltid av bra kvalité, och närsambandet mellan punkterna är starkt. Eftersom det är viktigt att närsambanden bibehålls, handlar det i dessa fall om att hitta en nivå i RH 2000 och förflytta hela nätet till denna nivå, och inte att bestämma höjder i RH 2000 på enskilda punkter.

Avsikten är alltså att passa in det befintliga lokala höjdnätet i RH 2000. Det görs genom samtidig mätning på ett antal omgivande punkter i riksnätet och ett antal punkter i det lokala höjdnätet. För ett tillförlitligt resultat krävs minst 6 utgångspunkter i riksnätet, och minst 3 punkter i det lokala nätet. De omgivande punkterna i riksnätet väljs så att de fördelas jämnt runt det lokala nätet (interpolation). I det lokala nätet väljs också punkter väl fördelade i nätet.

Mätningen utförs som statisk mätning med en observationstid på minst 2 men helst 3 timmar. Loggningsintervallet bör vara 5 eller 15 sekunder.

Det bästa resultatet uppnås om allt kan mätas i samma session, men om inte tillräckligt många mottagare och antenner finns tillgängliga måste mätningen delas upp i flera sessioner, beroende på de resurser som finns. Därvid görs en sessionsindelning enligt HMK-GPS.

2 Val och kontroll av punkter

Liksom vid all mätning kontrolleras de tänkta mätpunkterna, både utgångspunkterna i riksnätet och de lokala punkterna innan mätningen påbörjas, för att fastställa att ingen punkt har rört sig. Punkter markerade i berg rubbas normalt inte, och bör eftersträvas för att minimera kontrollmätningarna. Om bergpunkter inte är tillgängliga görs kontrollmätningar genom att avväga till närmaste punkt i riksnätet resp. det lokala nätet. Eventuellt kan "grannen" till osäkra punkter tas med i GPS-nätet för att på så sätt få en kontroll som alternativ till avvägning. Detta kan då kräva ytterligare en mätsession.

Inför mätningen bör en grundlig rekognoscering göras för att välja ut de lämpligaste punkterna och hitta eventuella excentriska uppställningsplatser. Därigenom underlättas mätningsarbetet. På grund av kravet på öppen terräng är det inte lätt att hitta fixpunkter som är lämpliga att använda direkt som uppställningspunkter. Vid avvägning finns inget krav på öppen terräng utan det viktigaste kravet är då att punkterna är stabilt markerade, och fixpunkterna är därför markerade med detta syfte. Det innebär att de flesta fix-

punkter är olämpliga att använda som centrala uppställningspunkter vid GNSS-mätning.

Erfarenheten har visat att höjdmätning med GNSS är särskilt känslig för sikthinder. Mätpunkterna måste därför ligga i öppen terräng, och ha en fri horisont över 12 - 15° elevation.

3 Val av antenner

Det är viktigt att använda samma typ av antenn på alla punkter, då olika antenntyper har olika egenskaper och kan ge något olika resultat. Äldre antenner av samma typ kan också variera inbördes. Generellt gäller att antenner av nyare modell är av högre och mer enhetlig kvalitet än äldre modeller.

Det kan också rekommenderas att kalibrera de antenner som används, antingen individuellt i ett testnät eller relativt varandra.

Val av mottagare

Mottagare som kan ta emot GPS/GLONASS- signaler är framförallt gynnsamma att använda under förhållanden där sikthinder kan förekomma. Då GNSS-mätning med höga noggrannhetskrav i vertikalled är särskilt känsligt för sikthinder bör sådana förhållanden undvikas. Att använda GLONASS torde därför i detta sammanhang inte ge ett nämnvärt bättre resultat.

Mottagare som mäter på både L1 och L2 bör användas. Detta möjliggör en beräkning på jonosfärsfri linjärkombination (benämnd L3 eller Lc) vid behov.

4 Mätning av antennhöjder

Vid risk för sikthinder bör excentrisk uppställning göras. För att åstadkomma så bra förhållanden som möjligt för GNSS-observationer torde excentrisk markering behöva användas i de flesta fall. Därvid markeras en tillfällig stabil uppställningspunkt med en entydig högsta punkt på lämpligt sätt i närheten av fixpunkten där fri sikt finns, och avvägs från höjdfixen. Därefter görs uppställningen över den tillfälliga markeringen och antennhöjden mäts från denna punkt.

Antennhöjden mäts noggrant före och efter mätningen. Den uppmätta antennhöjden knappas in i mottagaren innan mätningen påbörjas. All avvägning av excentriska punkter och mätta antennhöjder redovisas även separat på lämpligt mätprotokoll.

5 Mätning

Mätning av GPS-nätet bör planeras så att perioder med dålig satellit-tillgänglighet undviks.

6 Beräkning

Beräkning av GPS-nätet görs på liknande sätt som vid ordinarie stommätning med GPS, och bör kunna genomföras i vanligt förekommande programvara för detta. Att speciellt notera är dock:

- En punkt måste vara ungefärligt känd i plan och höjd vid GPS-beräkningen. Om ingen punkt har bra plankoordinater, kan en av punkterna beräknas i SWEPOS automatiska beräknings-tjänst.
- Denna checklista är baserad på erfarenheter där GPS-beräkningarna huvudsakligen är genomförda med enbart L1-observationer. Beräkning på jonosfärsfri linjärkombination (benämnd L3 eller Lc) kan dock rekommenderas som en kontroll och har i detta fall visat sig ge likvärdiga resultat.
- Noggranna satellitbanddata (precise ephemerides) bör användas.

Fast utjämning/inpassning

Vid fast utjämning hålls höjden för kända höjdfixar fast (efter korrektion med geoidmodell), och motsättningar internt mellan beräknade baslinjevektorer och mellan baslinjevektorer och höjdfixar tas upp av minstakvadratmetoden genom att tillföra förbättringar på varje baslinjevektor. Detta innebär att eventuella lutningar/tippningar mellan GPS-beräknade baslinjer och höjdsystemet, korrigerat med en geoidmodell, måste tas om hand i utjämningen där de betraktas som slumpmässiga fel. Liknande tippningar kan orsakas av en icke-homogen atmosfär.

Vid fri nätutjämning och inpassning tas tippningar om hand av den matematiska modellen i form av ett lutande plan, oavsett om tippningen beror på geoidmodell, atmosfär eller något annat. Motsättningar orsakade av tippningar dyker därför inte upp som förbättringar i utjämningen, utan absorberas av den matematiska modellen.

Såvida det inte samtidigt löses för en tippning (lutande plan) i den fasta utjämningen, bör metoden med fri nätutjämning och inpassning vara att föredra. I de genomförda testmätningarna är dock skillnaderna mellan fast utjämning och inpassning små.

7 Inpassning av det lokala höjdnätet i RH 2000

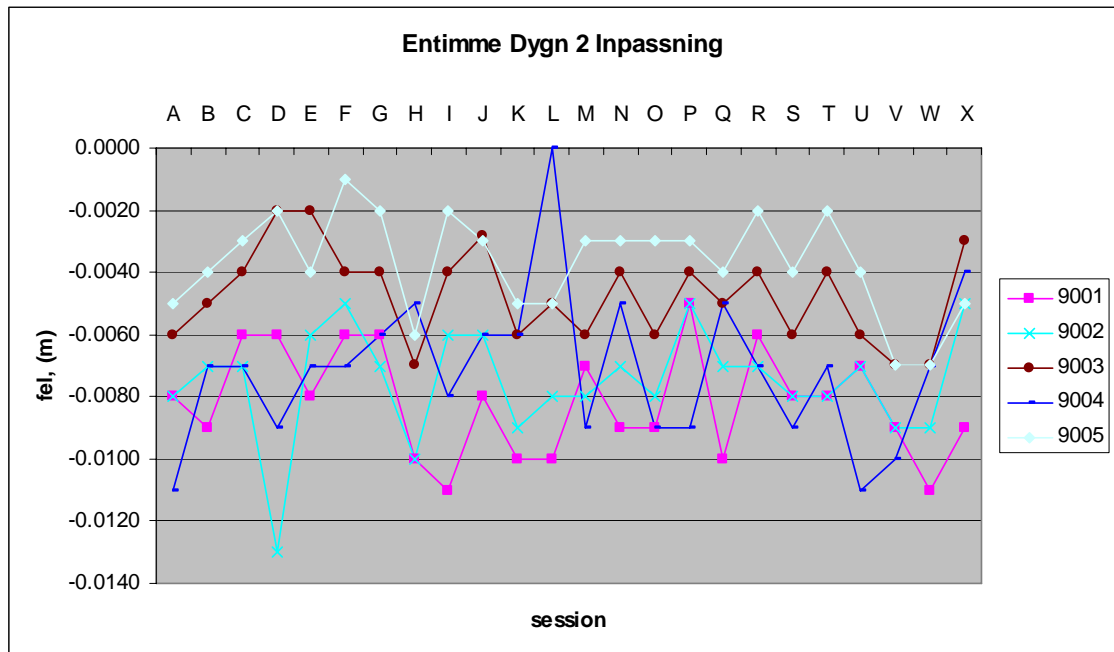
När höjderna på de GNSS-mätta punkterna har beräknats, jämförs de med de ursprungliga lokala höjderna, och ett medelvärde bildas för systemskillnaderna i dessa punkter. Man får därmed en "medelsystemskillnad" mellan det lokala systemet och RH 2000. Detta belopp adderas till den lokala höjden på en av punkterna i nätet, varefter en fri utjämning görs av höjdnätet. Därigenom

Appendix 1. Checklista – Anslutning av lokala höjdnät till RH 2000 med GNSS-stommätning

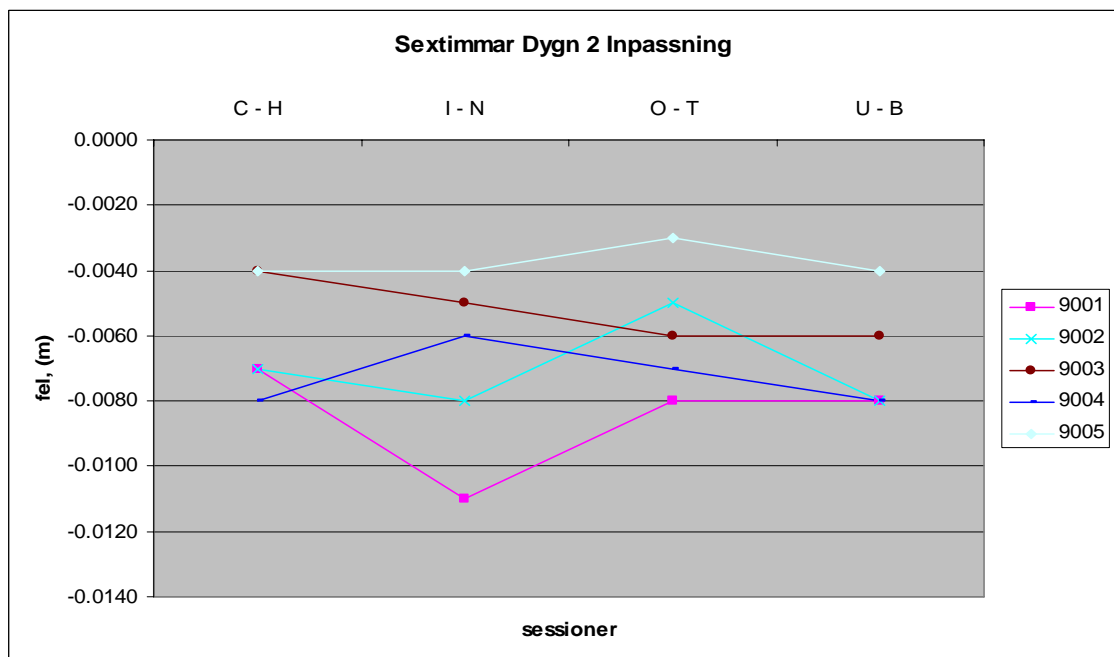
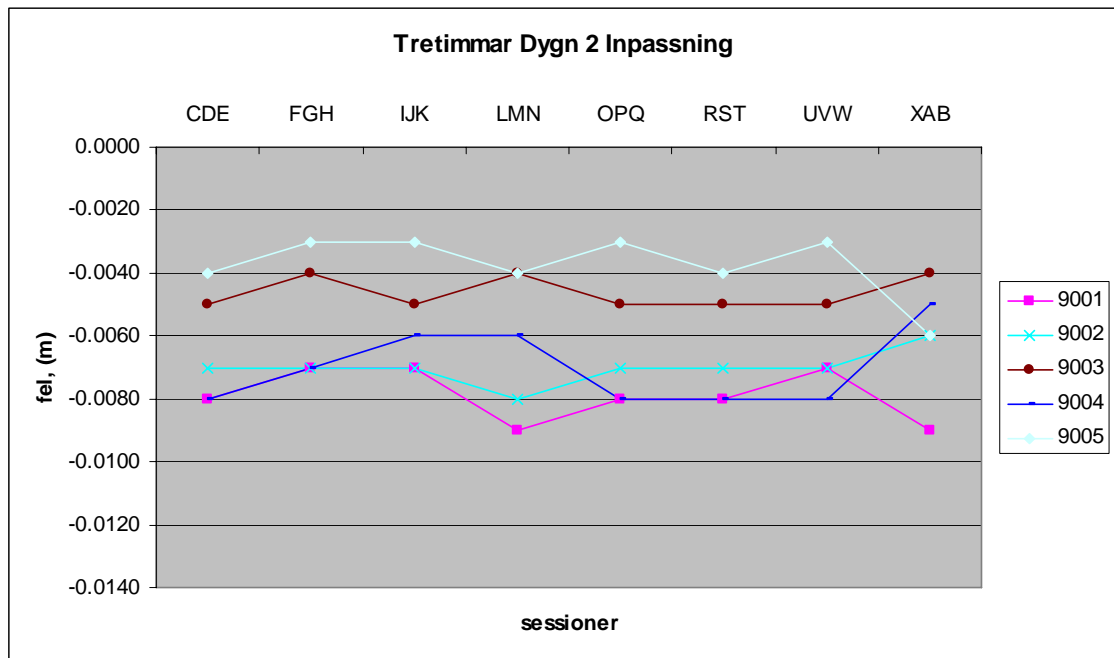
undviks deformationer i nätet beroende av bristfälliga tidigare anslutningspunkter, och endast eventuella brister i avvägningstätningarna återstår. Dessa brister är dock i de allra flesta fall mycket mindre än svagheterna i äldre anslutningspunkter, vilka generellt sett är den största orsaken till deformationer i lokala höjdnät.

Appendix 2 – Plottar av enskilda punkters höjdfel

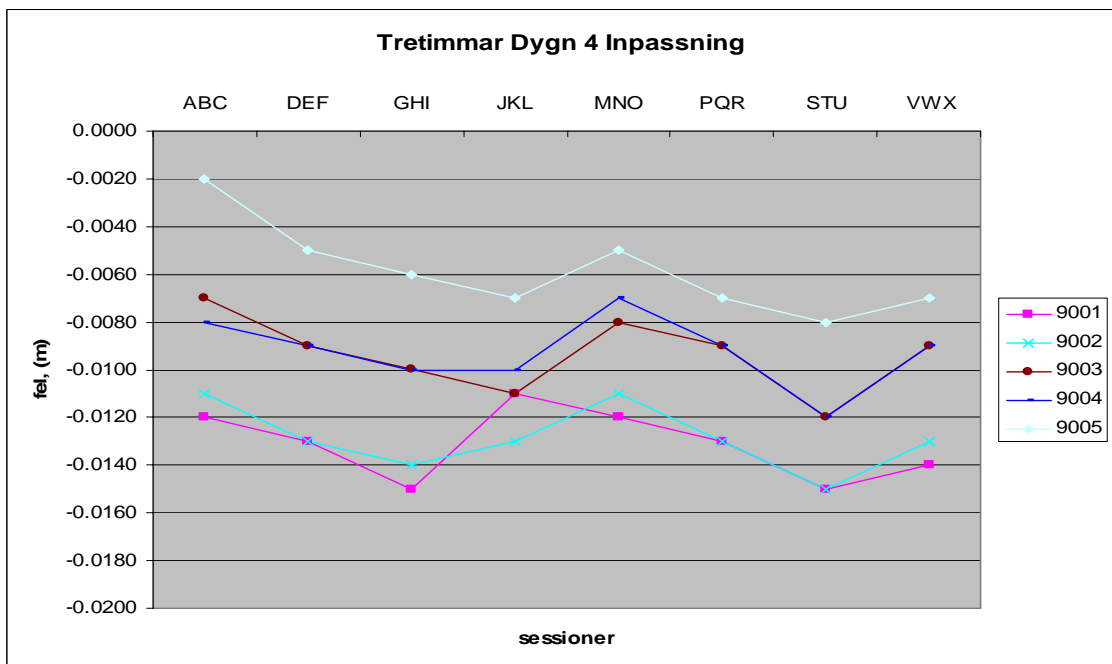
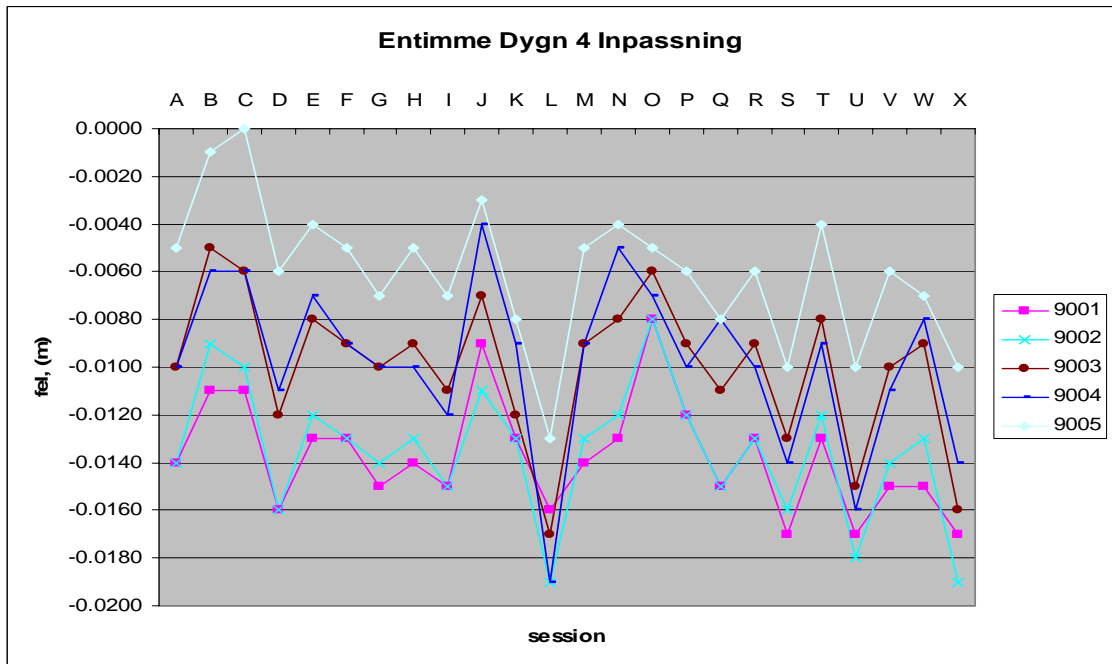
Plottarna nedan visar exempel på felen i nypunkter från beräkningarna i den första utvärderingsomgången (tabell 5 och 6). Felen är efter inpassning av GPS-nätet på kända punkter i riksavvägningsslingan (inklusive korrektion med geoidmodell), men före inpassning av det lokala höjdnätet.



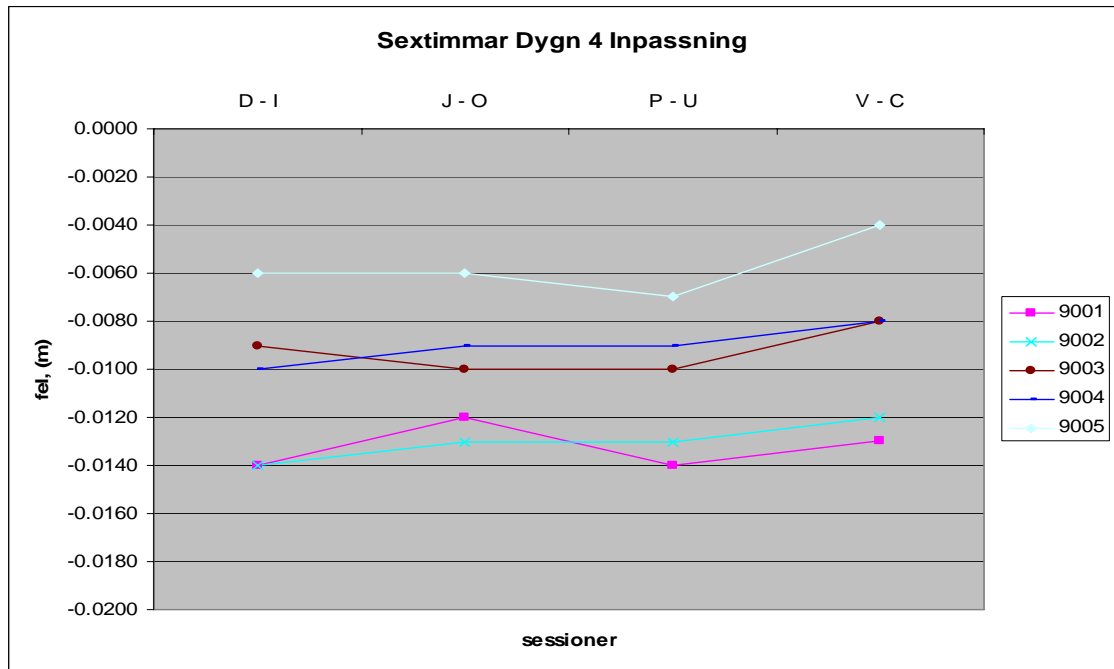
Appendix 2 – Plottar av enskilda punkters höjdfel



Appendix 2 – Plottar av enskilda punkters höjdfel



Appendix 2 – Plottar av enskilda punkters höjdfel



Rapporter i geodesi och geografiska informationssystem från Lantmäteriet

- 2006:9 Shah Assad: Systematiska effekter inom den tredje riksavvägningen.
- 2007:1 Johnsson Fredrik & Wallerström Mattias: En nätverks-RTK-jämförelse mellan GPS och GPS/GLONASS.
- 2007:4 Ågren Jonas & Svensson Runar: Postglacial land uplift model and system definition for the new Swedish height system RH 2000.
- 2007:8 Halvardsson Daniel & Johansson Joakim: Jämförelse av distributionskanaler för projektanpassad nätverks-RTK.
- 2007:10 Lidberg Martin & Lilje Mikael: Evaluation of monument stability in the SWEPOS GNSS network using terrestrial geodetic methods - up to 2003.
- 2007:11 Lilje Christina, Engfeldt Andreas, Jivall Lotti: Introduktion till GNSS.
- 2007:12 Ivarsson Jesper: Test and evaluation of SWEPOS Automated Processing Service.
- 2007:14 Lilje Mikael, Eriksson Per-Ola, Olsson Per-Anders, Svensson Runar, Ågren Jonas: RH 2000 och riksavvägningen.
- 2008:4 Johansson S Daniel & Persson Sören: Kommunikationsalternativ för nätverks-RTK – virtuell referensstation kontra nätverksmeddelande.
- 2009:1 Ågren Jonas: Beskrivning av de nationella geoidmodellerna SWEN08_RH2000 och SWEN08_RH70.
- 2009:2 Odolinski Robert & Sunna Johan: Detaljmätning med nätverks-RTK – en noggrannhetsundersökning.
- 2009:4 Fridén Anders & Persson Ann-Katrin: Realtidsuppdaterad etablering av fri station – ett fälttest med radioutsänd projektanpassad nätverks-RTK.
- 2009:5 Bosrup Susanna & Illersta Jenny: Restfelshantering med Natural Neighbour och TRIAD vid byte av koordinatsystem i plan och höjd.
- 2010:1 Reit Bo-Gunnar: Om geodetiska transformationer.
- 2010:2 Odolinski Robert: Studie av noggrannhet och tidskorrelationer vid mätning med nätverks-RTK.
- 2010:3 Odolinski Robert: Checklista för nätverks-RTK.
- 2010:4 Eriksson Per-Ola (ed.): Höjdmätning med GNSS – vägledning för olika mätsituationer

L A N T M Ä T E R I E T



Vaktmästeriet 801 82 GÄVLE Tfn 026 - 65 29 15 Fax 026 - 68 75 94
Internet: www.lantmateriet.se