

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 satellittillgänglighet 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

undviks deformationer i nätet beroende av bristfälliga tidigare anslutningspunkter, och endast eventuella brister i avvägningmätningarna 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.