

HMK

- handbok i mät- och kartfrågor

GNSS-baserad detalj- mätning

2020



Förord till 2020 års revidering

En gemensam revidering har utförts av de handböcker som tillsammans beskriver geodesitillämpningar, se [avsnitt 1.2](#). De nya versionerna har granskats och godkänts av HMK:s referensgrupp.

Revideringsarbetet har utförts av följande arbetsgrupp:

Ronny Andersson (Sweco)
Matti Horn (Trafikverket)
Clas-Göran Persson (Lantmäteriet)
Kent Ohlsson (Lantmäteriet)
Lars Jämtnäs (Lantmäteriet)

Liselotte Lundgren (då verksam i Lidingö stad) har deltagit i utvärderingen av de befintliga handböckerna inför revideringen.

Dessutom har medarbetare på enheten för geodetisk infrastruktur (Lantmäteriet) på olika sätt bidragit med underlag samt granskning av de nya handböckerna.

Gävle 2020-06-01

Lars Jämtnäs

Innehållsförteckning

1 Inledning	6
1.1 Om dokumentet	6
1.2 Om Handbok i mät- och kartfrågor	8
2 Om GNSS-baserad detaljmätning	10
2.1 Vad är GNSS-baserad detaljmätning?	10
2.2 Mätosäkerhet vid GNSS-baserad detaljmätning	12
2.3 Arbetsprocessen vid detaljmätning	13
3 Planering inför detaljmätning	15
3.1 Mättningsinstruktioner	18
3.2 Den lokala mätmiljön	19
3.3 Satellitförhållanden	21
3.4 Atmosfärs- och väderförhållanden	23
3.4.1 Jonosfärens påverkan	23
3.4.2 Troposfärens påverkan	24
3.5 Användning av geodetisk infrastruktur	25
3.5.1 Vid mätning med nätverks-RTK	26
3.5.2 Vid mätning med enkelstations-RTK	26
3.5.3 Kontrollpunkter för GNSS-mätning	28
3.6 Mätutrustning	29
3.6.1 Användning av antennmodeller	30
3.6.2 Inställningar för datafångst och datafiltrering	32
3.6.3 Instrumentservice och funktionskontroll	35
3.6.4 Tillbehör vid mätning	36
3.7 Förväntad mätosäkerhet	38
4 Genomförande av GNSS-mätning	40
4.1 Innan detaljmätningen inleds	40
4.1.1 Centrerings och höjdbestämmning	40
4.1.2 Anslutning och initialisering	41
4.2 Mätmetodik	42
4.2.1 Registrering och medeltalsbildning	42
4.2.2 Upprepad mätning med tidsseparation	43
4.3 Egenkontroller vid detaljmätning	45
4.3.1 Toleransbaserade kontroller	45
4.3.2 Faktorer att beakta under RTK-mätning	47

4.4	Exempel på tillämpningar	47
4.4.1	Inmätning med varierande krav på lägesosäkerhet	47
4.4.2	Utsättning.....	48
4.4.3	Etablering av totalstation med RTK.....	50
4.4.4	Inpassningstransformationer	52
5	Referenser/Läs mer	55
5.1	Referenser i löptext	55
5.2	Lästips	56
Bilaga A:	Krav och rekommendationer i handboken.....	57
A.1	Krav och rekommendationer	58
A.2	Grundutförande.....	66
Bilaga B:	Uppdragsdokumentation.....	67
B.1	Planering	67
B.2	Genomförande och resultat	69
Bilaga C:	Leveranskontroll	72
C.1	Komplett leverans.....	72
C.2	Produkt	72
C.3	Fördjupad kontroll vid behov	76
Bilaga D:	Mätosäkerhet i SWEPOS.....	77
D.1	Antaganden och förutsättningar	77
D.2	Förtätningsgrader i aktivt referensnät	78
D.3	Schablonvärden på mätosäkerhet	79
D.3.1	Mätosäkerhet i 70 km-nät	79
D.3.2	Mätosäkerhet i 35 km-nät	79
D.3.3	Mätosäkerhet i 10 km-nät	79
Bilaga E:	God mätsed.....	80

1 Inledning

1.1 Om dokumentet

Syfte och avgränsningar

HMK - GNSS-baserad detaljmätning 2020 innehåller riktlinjer för utförande av geodetisk detaljmätning med RTK-teknik. Fokus i handboken ligger på kvalitetssäkring av arbetsprocessen. För beskrivningar av specifika produkter och tjänster hänvisas till manualer, specifikationer etc. från aktuell tillverkare eller tjänsteleverantör.

Handboken beskriver främst "mätning på stång", dvs. sådana tillämpningar som är vanligt förekommande inom kommunal mätnings-teknisk verksamhet, fastighetsbildning och viss bygg- och anläggnings-verksamhet. Mätning från teknikplattformar där GNSS-mottagare finns integrerade (t.ex. jordbruks- och anläggningsmaskiner eller UAV) tas inte upp, även om mycket av innehållet kan vara tillämpligt även i dessa sammanhang.

Disposition

[Kapitel 2](#) ger en översiktlig beskrivning av GNSS-baserad detaljmätning, inklusive terminologi.

[Kapitel 3](#) tar upp olika aspekter som ingår i planering och förberedelser, bl.a. geodetisk infrastruktur och mätutrustning.

[Kapitel 4](#) beskriver själva genomförandet för inmätning och utsättning med GNSS, samt rekommenderade egenkontroller.

[Kapitel 5](#) innehåller referenser och hänvisningar till relevanta dokument utanför HMK-serien.

[Bilaga A](#) innehåller en sammanställning av samtliga krav- och rekommendationsrutor som förekommer i handboken.

[Bilaga B](#) ger riktlinjer för dokumentation vid GNSS-baserad detaljmätning.

[Bilaga C](#) beskriver hur kvalitetskontroll kan utföras i samband med leverans.

[Bilaga D](#) innehåller schablonuppskattningar av förväntad mätosäkerhet vid mätning med nätverks-RTK.

Texttrutor i handboken

Handboksavsnitten innehåller tre typer av inledande texttrutor, enligt följande princip:

- Rosa texttrutor med rubriken "Krav" motsvarar ett utförande som i HMK anses vara **fackmannamässigt**. Nyckelordet är "ska".
- Blåa texttrutor med rubriken "Rekommendation" motsvarar ett utförande som är **önskvärt**, t.ex. för att det underlättar arbetsprocessen. Nyckelordet är "bör".
- Texttrutor i vitt med rubriken "Information" innehåller neutrala påståenden utan orden "ska" eller "bör", vanligen av **sammanfattande** karaktär.

Terminologi och nyckelord

Termer och förkortningar tillämpas enligt följande princip (se även [HMK – Ordlista och förkortningar](#)):

- HMK försöker följa vedertagen terminologi inom berörda områden, men det finns ingen ambition att HMK ska vara generellt normerande.
- Om entydig terminologistandard saknas – t.ex. inom helt nya teknikområden – så tillämpar HMK den vanligast förekommande termen.
- Om det finns motsägelser mellan olika standarder så har det gjorts ett subjektivt val. Detta för att alla HMK-publikationer ska kunna tolkas och användas på ett entydigt sätt.
- GUM-terminologi [1] tillämpas genomgående, men vissa termer har anpassats till geodesi- och geografiområdet (exempelvis "lägesosäkerhet").

Termer och förkortningar som bedömts vara centrala i denna handbok har kursiverats vid första förekomst i löptext. Dessa återfinns också i [HMK – Ordlista och förkortningar](#), senaste version. Följande termer utgör en ämnesmässig sammanfattning av handboken:

<i>detaljmätning</i>	<i>referensstation</i>
<i>GNSS</i>	<i>rover</i>
<i>inmätning</i>	<i>bärvågsmätning</i>
<i>utsättning</i>	<i>fixlösning</i>
<i>nätverks-RTK</i>	<i>baslinje</i>
<i>enkelstations-RTK</i>	<i>förtättningsgrad</i>

<i>mättningsinstruktioner</i>	<i>jonosfär</i>
<i>SWEREF 99</i>	<i>troposfär</i>
<i>projektionszon</i>	<i>fleroägsfel</i>
<i>RH 2000</i>	<i>egenkontroll</i>
<i>geoidmodell</i>	<i>datafiltrering</i>
<i>antennmodell</i>	<i>upprepad mätning</i>
<i>lodstång</i>	<i>tidsseparation</i>

1.2 Om Handbok i mät- och kartfrågor

Information

- Version av HMK-dokument betecknas med årtal.
- För eventuella justeringar av senaste dokumentversion, se [HMK-loggen](#).

Publicering av HMK

HMK – Handbok i mät- och kartfrågor – omfattar en samling handböcker och tekniska rapporter för ämnesfördjupning, omvärldsbevakning m.m.

Samtliga HMK-dokument publiceras i PDF-format och finns tillgängliga avgiftsfritt via lantmateriet.se/hmk.

Målgrupp

Målgruppen för HMK är i första hand yrkesverksamma inom geodata- och samhällsbyggnadsområdet, i roller som kravställare/beställare eller utförare.

Vissa handböcker är skräddarsydda för att stödja utformning av tekniska specifikationer för en särskild typ av geodatainsamling. I övrigt är dock mycket av innehållet i HMK av allmän karaktär och kan exempelvis användas för egna/interna kravspecifikationer, regelverk eller arbetsrutiner.

Vid geodetisk mätning och övrig användning av geodetisk infrastruktur hänvisas till handböcker enligt [Tabell 1.2](#).

Tabell 1.2. Senaste versioner av HMK-handböcker inom geodesi

Fullständigt dokumentnamn	Kortform
HMK – Geodetisk infrastruktur 2020	HMK-GeInfra 2020
HMK – Stommätning 2020	HMK-Stom 2020
HMK – Terrester detaljmätning 2020	HMK-TerDet 2020
HMK – GNSS-baserad detaljmätning 2020	HMK-GnssDet 2020
HMK – Kravställning vid geodetisk mätning 2017 (med senaste aktualitetsbeskrivning från 2020)	HMK-GeKrav 2017
HMK-Geodesi: Markering (publicerad 1996, med senaste aktualitetsbeskrivning från 2020)	HMK-Ge: M

Tillämpning av HMK

De krav och rekommendationer som återfinns i HMK baseras på en allmän/branschgemensam syn på fackmannamässig yrkesutövning. Kraven är dock endast juridiskt bindande i den mån de inkluderas i upphandlingsunderlag eller myndighetsspecifika regelverk, t.ex. genom hänvisning (se även [HMK - Introduktion 2017](#), avsnitt 1.5).

Om HMK används i upphandling eller regelverk ska därför hänvisningsregler enligt [HMK - Introduktion 2017](#), avsnitt 1.7, tillämpas. Generella frågor om upphandling, tillstånd och sekretess behandlas i [HMK - Introduktion 2017](#), kapitel 3.

Förvaltning av HMK

HMK förvaltas av Lantmäteriet, med stöd av olika intressenter inom geodata- och mätningområdet. Den viktigaste samverkansformen för detta är HMK:s referensgrupp. Referensgruppen utför fackgranskning av HMK-dokumenterna inför publicering samt ger förslag till framtida revideringar och nya dokument.

Vid intresse av att delta i HMK:s referensgrupp, skicka e-post till hmk@lm.se.

För att prenumera på nyhetsbrev med aktuell information om HMK, se <https://www.lantmateriet.se/sv/nyheter-och-press/nyhetsbrev/>

2 Om GNSS-baserad detaljmätning

Information

- GNSS-baserad detaljmätning avser inmätning eller utsättning som utförs med GNSS-antenn på lodstång eller stativ.
- Detaljerna lägesbestäms i förhållande till stomnät eller referensstationsnät.
- Tillförlitlig detaljmätning förutsätter att mätmetodiken anpassas till rådande förhållanden och att egenkontroller utförs i samband med mätningen.
- Dokumentation av detaljmätningen anpassas för att underlätta leverans samt framtida uppföljningar, kompletteringar eller kontroller.

2.1 Vad är GNSS-baserad detaljmätning?

GNSS-baserad detaljmätning innebär noggrann lägesbestämning av en rover med hjälp av RTK-teknik. Mätningen sker primärt i förhållande till en GNSS-antenn som antingen placeras på en lodstång eller på ett instrumentstativ. Detaljmätningen utförs som:

- *inmätning*: lägesbestämning av detaljer i ett eller flera referenssystem, eller
- *utsättning*: fysisk inplacering/markering av detaljer i ett referenssystem med hjälp av givna koordinater och/eller höjder.

RTK-mätning förutsätter att samtidig mätning sker vid rovern och på en eller flera referensstationer, dvs. GNSS-mottagare som antingen etableras tillfälligt eller fast/permanent på kända utgångspunkter. Rovers läge bestäms relativt referensstationen genom att referensdata överförs i realtid till rovern via lämplig kommunikationslänk, t.ex. mobilnätverk eller radio. Beräkningen av rovers 3D-position är vanligtvis produktionsanpassad och utförs automatiskt i rovern. Även efterberäkning av mätdata är möjlig, om referensdata inte finns tillgängliga i realtid.

Flera fasta referensstationer över ett större område möjliggör nätverks-RTK, som vanligen tillhandahålls som regionala eller rikstäckande tjänster. Vid mätning med nätverks-RTK används data från referensstationerna för att modellera flera av de osäkerhetskällor som

råder vid mättillfället. Detta medger längre avstånd mellan rover och referensstation än vad som annars skulle vara möjligt. [3] [4]

Om RTK-tjänst används sker *georeferering* rovernätningarna direkt i det referenssystem som realiseras av de fasta referensstationerna. Vid mätning med egen referensstation, *enkelstations-RTK*, sker istället georefereringen indirekt genom att referensstationen ansluts till önskat referenssystem. [Tabell 2.1](#) sammanfattar skillnaderna mellan nätverks-RTK och enkelstations-RTK.

Eftersom lägesbestämningen i normalfallet baseras på *baslinjen* mellan rovern och **en** referensstation är kontrollerbarheten vid enskild RTK-mätning begränsad. Risken för grova fel eller omodellerade systematiska effekter hanteras därför genom lämplig anpassning av mät- och kontrollmetodiken – t.ex. genom längre mättid eller genom *upprepade mätningar* med *tidsseparation*. *Datafiltrering* utförs i realtid eller i efterhand för att upptäcka/undvika RTK-mätningar med lägre kvalitet.

Tabell 2.1. Jämförelse mellan enkelstations-RTK och nätverks-RTK.

RTK-tekniker	Enkelstations-RTK	Nätverks-RTK, baserat på SWEPOS
Förutsättningar	Referensmottagare, fast eller tillfällig, på känd utgångspunkt. Radio- eller mobilförbindelse mellan referens och rover.	Abonnemang på RTK-tjänst. Mobiltäckning inom tjänstens täckningsområde.
Referenssystem för plan- och höjdbestämmning	Koordinater och höjder i de referenssystem som referensstationen ansluts till. Om utgångspunkten inte är bestämd i SWEREF 99 behövs även transformations samband.	3D-koordinater i SWEREF 99, kartografiska koordinater om projektionsparametrar anges. Om lägen ska redovisas i andra referenssystem behövs transformations samband och/eller geoidmodell
Typisk begränsning vid modellering av felkällorna	Avståndet till referensstationen.	Avståndet mellan referensstationerna.
Typisk mättid	Sekunder till minuter, exklusive tiden för att starta rovern och ansluta till referensstationen.	Sekunder till minuter, exklusive tiden för att starta rovern och ansluta till RTK-tjänsten.

2.2 Mätosäkerhet vid GNSS-baserad detaljmätning

RTK-teknik möjliggör lägesbestämning med en *standardosäkerhet* på centimeternivå [11], förutsatt att olika felkällor hanteras på ett korrekt sätt och s.k. *fixlösning* kan bestämmas. Den faktiska *mätosäkerheten* vid detaljmätning är ofta något högre än den specificerade mätosäkerheten för GNSS-mottagaren, eftersom den senare inte inkluderar bidrag från omgivande miljö, centrerings m.m. enligt [Tabell 2.2](#). Mätosäkerheten är vanligen något lägre i plan än i höjd p.g.a. satellitgeometrin. Med användning av stödben eller stativ för centrerings av lodstången kan mätosäkerheten i plan reduceras ytterligare.

Tabell 2.2. Faktorer som påverkar lägesosäkerhet vid detaljmätning med GNSS/RTK.

Mätinstrumentet	GNSS-mottagarens specificerade mätosäkerhet (en konstant plus en avståndsberoende parameter)
	Antennmodellering
	Geoidmodell, projektions-/transformationsparametrar
	Osäkerhet p.g.a. bristande instrumentjustering/kalibrering samt bidrag från osäkerhet i tillbehör som stativ, trefot, optiskt lod, lodstång och libeller.
Satellitssignaler	Antalet satelliter och deras geometri i förhållande till mottagaren
	Lokal mätmiljö, t.ex. sikthinder och reflekterade signaler (flervägsfel)
	Jonosfärsstörningar ("rymdväder")
	Troposfärstörningar ("väder")
Geodetisk infrastruktur	Passivt referensnät: avstånd till referensstation, lägesosäkerhet i utgångspunkt
	Aktivt referensnät: förtätningsgrad och avstånd till närmaste referensstation(er)
	Referensstation: rörelser och mätosäkerhet
	Bortfall eller fördröjning av referensdata till rovern
Mätning	Total mättid och medeltalsbildning
	Tidsseparation vid upprepad mätning
	Centrerings och antennhöjdsbestämning
	Datafiltrering; gränsvärden som tillämpas i realtid eller i efterhand
	Identifieringsosäkerhet; hur väl mätpunkten representerar ett objekt eller del av objekt

Vid mätning med enkelstations-RTK ökar den förväntade mätosäkerheten med baslinjelängden, dvs. avståndet mellan rovern och referensstationen. Detta beror främst på svårigheten att skatta vissa parametrar (t.ex. för atmosfär) som förutsätts vara ungefär lika vid rover och referensstation.

Vid mätning med nätverks-RTK är avståndsberoendet något mindre än vid enkelstations-RTK, förutsatt att mätning utanför stationsnätet undviks (dvs. extrapolering). Det är istället främst *förtätningsgraden*, dvs. medelavstånden mellan närliggande stationer, som avgör hur väl osäkerhetsparametrarna kan modelleras. [3] [4] [10] En skattning av förväntad mätosäkerhet med nätverks-RTK kan göras med stöd av schablonuppgifterna i [Bilaga D](#).

Den totala mätosäkerheten för detaljmätningen anges antingen som *absolut lägesosäkerhet* i referenssystemet eller som *lokal lägesosäkerhet* i förhållande till närliggande detaljer eller stompunkter. Om lägesosäkerheten i de utgångspunkter som används är signifikant i förhållande till mätosäkerheten kan den absoluta (georefererade) lägesosäkerheten vara större än den lokala. I övriga fall kan absolut och lokal lägesosäkerhet betraktas som likvärdiga. [11]

Se [HMK - Geodatakvalitet 2017](#) för en beskrivning av lägesosäkerhet och andra typer av geodatakvalitet.

2.3 Arbetsprocessen vid detaljmätning

Den generella arbetsprocessen vid detaljmätning kan sammanfattas på ungefär följande sätt:

Planering

- Detaljmätningen planeras utifrån kvalitetskraven i den *tekniska specifikationen*.
- Roller, kompetenser, ansvarsförhållanden och tidplan tydliggörs.
- Underlag från beställaren sammanställs och kompletteras vid behov.
- Mätutrustning/mätmetoder väljs och anpassas gentemot ställda krav och uppdragets arbetsmässiga förutsättningar, t.ex. den lokala mätmiljön och den befintliga *geodetiska infrastrukturen*.
- Möjliga uppställningsplatser för egen referensstation rekognoseras och nya stom- och kontrollpunkter markeras.
- Mätutrustningen konfigureras och kontrolleras/justeras.
- *Egenkontroller* specificeras, bl.a. utifrån den förväntade mätosäkerheten.

Mätning

- Centrering och bestämning av antennhöjd sker på lämpligt sätt vid varje detaljpunkt
- Uppkoppling sker mot RTK-tjänst eller mot egen referensstation
- Inmätning eller utsättning, eventuellt kombinerat med annan tillämpning – t.ex. *inpassningstransformation* eller fri etablering av *totalstation* med stöd av RTK.
- Mätmetodik anpassas till kraven på lägesosäkerhet och kontrollerbarhet, t.ex. genom ökad mättid, upprepade mätningar och datafiltrering.
- Egenkontroller med eventuella åtgärder, t.ex. ommätning när *toleranser* överskrids.

Efterbearbetning

- Eventuell efterberäkning utförs, samt ytterligare datafiltrering och kontroller.
- Detaljmätningens lägesosäkerhet skattas och kontrolleras genom upprepade mätningar av detaljpunkter och kontrollpunkter.
- Resultat och genomförda kontroller sammanställs och dokumenteras.

Leverans

- Kartor, 3D-modeller eller annan "slutprodukt" levereras tillsammans med produktionsdokumentation, mätfiler m.m.
- Leveranskontroller utförs av beställare, utförare eller tredje part.
- Leveransen godkänns eller underkänns av beställare. Eventuellt kompletterande fältarbete/leverans.

Efterbearbetning och leverans får ingen utförlig beskrivning i detta dokument eftersom det i stor utsträckning styrs av förutsättningarna för det specifika uppdraget.

3 Planering inför detaljmätning

Krav

- a) Planeringen av ett detaljmätningssuppdrag ska utgå från specificerade krav.

Rekommendation

- b) Ansvaret för detaljmätningssuppdraget bör ligga hos, eller stämmas av med, en person med grundläggande mätningsteknisk färdighet.
- c) Kontroller och dokumentation bör anpassas till uppdragets komplexitet, omfattning och kvalitetskrav.

En väl genomförd planering ger förutsättningar att utföra detaljmätningen på ett fackmannamässigt och resurseffektivt sätt. Detta kapitel tar specifikt upp:

- mätning sinstruktioner – [avsnitt 3.1](#)
- lokal mätmiljö – [avsnitt 3.2](#)
- satellitgeometri – [avsnitt 3.3](#)
- atmosfärsförhållanden – [avsnitt 3.4](#)
- geodetisk infrastruktur – [avsnitt 3.5](#)
- mätutrustning – [avsnitt 3.6](#)
- förväntad mätosäkerhet – [avsnitt 3.7](#).

Inledningsvis är det dock viktigt att nämna några allmänna planeringsaspekter eftersom de påverkar hela arbetsprocessen:

- kravbild och planeringsunderlag
- mätningsteknisk bedömning
- ansvars- och kompetensfrågor
- behovet av kontroller
- behovet av dokumentation.

Kravbild och planeringsunderlag

För att göra det lättare att planera och genomföra detaljmätningen med önskad kvalitet ska kraven på slutprodukten (dvs. de inmätta/utsatta detaljerna med attributdata) finnas dokumenterade, t.ex. i en *teknisk specifikation*. Detta gäller oavsett om mätningen utförs på beställning eller i egen regi. Hädanefter används därför begreppet teknisk specifikation för att skilja faktiskt formulerade krav från mer "mjuka" eller outtalade önskemål från beställaren.

Förutom den tekniska specifikationen kan det finnas övrigt planeringsunderlag från beställaren som underlättar arbetsprocessen. Detta underlag kompletteras efter behov med egna undersökningar, fältrekognosering, uppgifter från stamnätsförvaltare m.m. för att få en komplett bild av befintlig geodetisk infrastruktur och övriga förutsättningar för genomförandet.

Mätningsteknisk bedömning

Bedömningen av huruvida RTK är en lämplig mätteknik för uppdraget baseras bl.a. på vilka typer av detaljer som ska mätas in eller sättas ut, och var dessa är belägna i detaljmätningområdet. Vid behov av "beröringsfri" mätning är RTK mindre lämplig. Mätmetodiken behöver också kunna anpassas på ett rationellt sätt till rådande mätförhållanden, t.ex. förekomst av sikthinder och atmosfärsstörningar.

Vid mätning med enkelstations-RTK krävs två GNSS-mottagare, varav den ena konfigureras som rover och den andra som referens. Både enkelstations-RTK och nätverks-RTK förutsätter fungerande dataöverföring via mobilnät eller radio. Mätutrustning som möjliggör kombinerad mätning med GNSS-rover och totalstation kan förenkla detaljmätningen, se [avsnitt 4.4.3](#) samt [HMK - Terrester detaljmätning 2020](#), avsnitt 4.3.3.

Vid tillgång till rikstäckande RTK-tjänst är direkt *georeferering* i *SWEREF 99* möjlig. Nätverks-RTK är således ett bra val när den lokala lägesosäkerheten inte behöver vara mindre än den absoluta lägesosäkerheten i referenssystemet.

Ansvars- och kompetensfrågor

Utföraren har ansvaret för att detaljmätningen genomförs på ett fackmannamässigt sätt. I HMK motsvaras detta av samtliga krav i handboken, dvs. ett *grundutförande* enligt [Bilaga A.2](#). Om HMK används förväntas utföraren tillämpa grundutförandet såvida inga tillägg/justeringar anges i den tekniska specifikationen; se [HMK - Kravställning vid geodetisk mätning 2017](#), med senaste aktualitetsbeskrivning. Beställare och utförare bör också vara överens om hur eventuella avvikelser från grundutförandet ska hanteras inom ramen för uppdraget.

Arbetsprocessen bör kvalitetssäkras av en person i utförarorganisationen med grundläggande mätningsteknisk färdighet eller motsvarande kompetens, se [HMK-Introduktion 2017](#), avsnitt 3.1. Kvalitetssäkring avser i detta fall ansvar för att planering, genomförande och leverans sker i överensstämmelse med den tekniska specifikationen.

Behovet av egenkontroller

Det är viktigt att avsätta tillräcklig tid för *egenkontroller* under hela arbetsprocessen – från planering till slutleverans – både som del av goda arbetsrutiner och för att kunna kvalitetssäkra och redovisa produktionsresultatet:

- **Före detaljmätningen** kontrolleras bl.a. rovers funktionalitet och prestanda, samt överföringen av referensdata från RTK-tjänst eller egen referensmottagare.
- **Under detaljmätningen** kontrolleras förväntad kvalitet, t.ex. genom upprepade mätningar med tidsseparation. Egenkontroller inkluderar även allmän "vaksamhet" för att minska risken för försämrad mätosäkerhet eller grova fel, t.ex. att iakta yttre förhållanden och information från rovern. Se vidare [avsnitt 4.3](#).
- **Efter detaljmätningen** kontrolleras att detaljmätningarna uppfyller kvalitetskraven med avseende på lägesosäkerhet, fullständighet, tematisk osäkerhet m.m. och att leveransen till beställaren innehåller nödvändiga data och tillräcklig dokumentation.

Egenkontrollerna kan alltså vara integrerade i arbetsprocessen eller utgöra separata moment som utförs vid annat tillfälle. Krav på egenkontroller och hur de ska redovisas kan även ingå i den tekniska specifikationen. Ett exempel kan vara leveranskontroller med stickprov på större datamängder, i den mån detta inte utförs av beställaren eller av oberoende part. Hur beställaren kontrollerar det levererade arbetet-/produkten beskrivs mer utförligt i [HMK – Geodatakvalitet 2017](#).

Behovet av dokumentation

Dokumentation utförs fortlöpande under arbetsprocessen för att uppfylla leveranskraven, samt för egen kvalitetssäkring och spårbarhet.

Dokumentationen anpassas till tekniska specifikationen och uppdragets omfattning och komplexitet, på ett sätt som underlättar uppföljning och kompletteringar. T.ex. kan dokumentation som inte ingår i leveransen bestå av checklistor eller information som underlättar felsökning. [Bilaga B](#) ger rekommendationer för vad som kan ingå i dokumentationen.

3.1 Mätninginstruktioner

Krav

- a) Objektgeometrier och punktkodning ska vara specificerade innan detaljmätning inleds.

Rekommendation

- b) Detaljeringsnivå eller skala bör specificeras om flera objektgeometrier är möjliga.

För att geografiska objekt ska kunna redovisas på ett korrekt sätt i i en databas eller på en karta förutsätts att detaljmätningen sker på ett enhetligt och entydigt sätt för respektive objekttyp (byggnader, vägar, träd, gränsmarkeringar m.m.). Det är därför viktigt att på förhand besluta om de *objektgeometrier* och den *punktkodning* som ska tillämpas vid detaljmätningen, se exempel i [Figur 3.1](#).

- Objektgeometri avser den digitala representationen av det geografiska objektets geometri – dvs. vilka punkter (detaljer) på objektet som mäts in och vilka linjer eller ytor som eventuellt ska bildas av punkterna.
- Punktkodning avser de koder, attribut m.m. som definierar objekttypen och som lagras tillsammans med punkternas koordinater och höjder för att ge den fullständiga beskrivningen av objektet.

Mätninginstruktioner för objektgeometrier och punktkodning kan ingå i den tekniska specifikationen för uppdraget eller specificeras och redovisas av utföraren i uppdragsdokumentationen. I båda fallen är det möjligt att helt eller delvis hänvisa till befintliga specifikationer eller riktlinjer, t.ex. de s.k. "mätninganvisningar" som tagits fram som stöd för de nationella specifikationerna för geodata [2]. Vid ofullständiga eller tvetydiga mätninginstruktioner i den tekniska specifikationen sker återkoppling till beställaren innan detaljmätningen påbörjas.

Om ett visst geografiskt objekt kan ha flera möjliga geometrier bör även den tänkta detaljeringsnivån eller skalintervallet vara specificerat för den aktuella objekttypen. Detta kan exempelvis anges som *HMK-standardnivå*, se [HMK – Geodatakvalitet 2017](#), avsnitt 2.6.

Figur 3.1. Exempel på mätningsanvisningar [2]. Av anvisningarna framgår att objekttypen "kantsten" ska mätas in som en linje bildad av två (eller flera) punkter där höjden på objektet anges relativ underkant.



3.2 Den lokala mätmiljön

Rekommendation

- a) Den lokala mätmiljön bör rekognoseras inför eller i samband med detaljmätningen.
- b) Rekognoseringen bör inkludera sikthinder, reflekterande ytor och andra faktorer som kan störa mottagningen av GNSS-signaler.

Den lokala mätmiljön begränsar hur detaljmätningen kan genomföras och kontrolleras på ett acceptabelt sätt. Följande faktorer kan försvåra mätning och/eller öka risken för försämrade mätosäkerhet och grova fel:

- **Flervägsfel och sikthinder:** I miljöer med större objekt och fasader (särskilt i metall eller glas) eller plana ytor (t.ex. asfalt och vatten) kan satellitsignalerna reflekteras innan de når rovermottagaren. *Flervägsfel* kan medföra ökad mätosäkerhet och i vissa fall grova fel i lägesbestämningen. Höga byggnader, skog eller topografi kan helt eller delvis hindra satellitsignalerna från att nå GNSS-mottagaren.
- **Säsongsberoende störningar:** GNSS-antennen ska hållas fri från snö. Vid förekomst av vegetation som kan störa mätning kan röjningsinsatser vara aktuella. Notera om markförhållanden e.d. riskerar att påverkas av variationer i fukt eller temperatur.
- **Elektromagnetiska störningar:** Moderna mätinstrument är

vanligtvis robusta mot vissa elektromagnetiska störningar. Förekomst av kraftledningar, mobilmaster, radarstationer m.m. bör dock beaktas i samband med genomförandet, eftersom detta även kan påverka datakommunikationen.

- **Datakommunikation:** Rovern kräver kontinuerlig överföring av referensdata. Mobiltäckning i arbetsområdet bör säkerställas, antingen via egenkontroll eller via information från tjänsteleverantörer. Vid radioutsändning verifieras mottagningsförhållanden på motsvarande sätt.

Faktorerna ovan kartläggs innan detaljmätningen påbörjas. Motsvarande bedömning görs även vid etablering av egen referensstation, se [avsnitt 3.5.2](#). Vid mätning i aktiva referensnät ansvarar förvaltare eller tjänsteleverantör för att upprätthålla en god mätmiljö vid referensstationerna.

Kategorierna i [Tabell 3.2](#) kan användas för att göra en schablonmässig bedömning av hur lämpad den aktuella mätmiljön är för GNSS-mätning. Dessa kan exempelvis utgöra attribut vid ajourhållning av detaljpunkter, utgångspunkter eller kontrollpunkter. De fyra kategorierna är klassificerade från A ("lätt mätmiljö") till D ("mycket svår mätmiljö") och motsvarar en samlad bedömning av begränsningar och riskfaktorer i hela eller delar av arbetsområdet. Kategorierna kan antingen anges ytäckande eller för enstaka detaljer.

Tabell 3.2. Miljö kategorier i samband med GNSS-mätning.

<p>A = Lätt mätmiljö</p>	<p>I stort sett fri sikt i alla riktningar och satellitelevationer över 15 grader, vilket garanterar god satellitgeometri. Inga reflekterande objekt eller ytor i närheten, dvs. liten risk för flervägsfel.</p>
<p>B = Normal mätmiljö</p>	<p>Rimligt god sikt, eventuellt sikthinder upp till maximalt 25 graders satellitelevation i någon kvadrant. Inga särskilda åtgärder behöver vidtas för att garantera god satellitgeometri. Förekomst av enstaka reflekterande objekt och ytor medför måttlig risk för flervägsfel.</p>
<p>C = Svår mätmiljö</p>	<p>Begränsad sikt upp till mellan 25–50 graders satellitelevation i en eller två kvadranter. Reflekterande objekt och ytor kan förekomma i flera riktningar. Sammantaget finns förhöjd risk för flervägsfel, korta signalavbrott och dålig satellitgeometri.</p>
<p>D = Mycket svår mätmiljö</p>	<p>Mycket begränsad sikt i två eller fler kvadranter p.g.a. höga byggnader eller skymmande vegetation. Reflekterande ytor och objekt förekommer i alla riktningar. Mycket hög risk för flervägsfel, signalavbrott och dålig satellitgeometri.</p>

I samband med mer komplexa eller tidskrävande uppdrag kan det vara önskvärt att rekognosera mätmiljön i fält innan detaljmätningen inleds. I övriga fall görs bedömningen via "skrivbordsrekognosering" eller i samband med genomförandet.

3.3 Satellitförhållanden

Krav

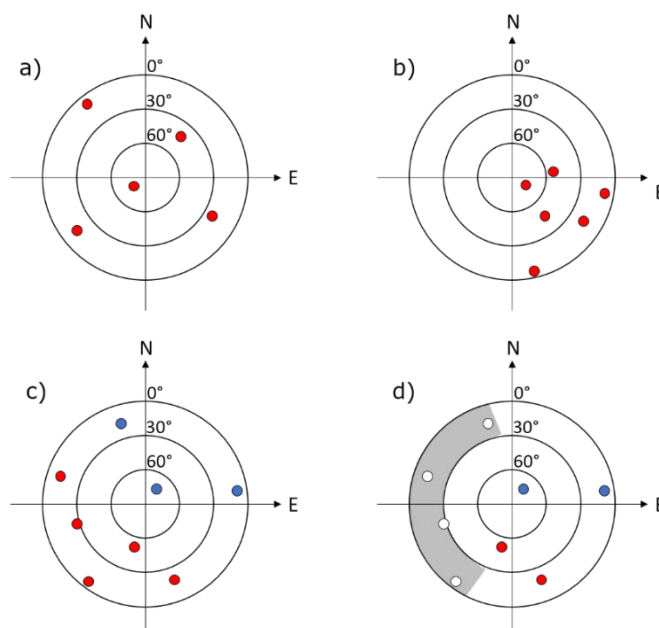
- En övre gräns för DOP-tal ska tillämpas och redovisas.
- En undre gräns för satellitelevation ska tillämpas och redovisas.
- Detalj­mätningen ska om möjligt planeras till en tidpunkt med god satellitgeometri.

Rekommendation

- Fler satellitsystem bör utnyttjas för att förbättra satellitgeometrin i svåra mätmiljöer.

Ett minimum av 5 satelliter krävs för att erhålla fixlösning vid GNSS-mätning, men fler bör eftersträvas för att erhålla god satellitgeometri i förhållande till rovern. Se exempel i [Figur 3.3](#).

Figur 3.3. Olika exempel på satellitgeometri: **a)** god geometri trots relativt få satelliter, **b)** dålig geometri trots fler satelliter än i a), **c)** bra geometri tack vare ytterligare satellitsystem (blå); **d)** dålig geometri på grund av sikthinder upp till 30 graders elevation.



Tabell 3.3. Riktmärken för acceptabla mätförhållanden med avseende på tillgängliga satelliter och satellitgeometri.

Antal satelliter	Minst 6 stycken satelliter under hela mättiden.
Satellitgeometri, DOP-tal	PDOP < 4 under hela mättiden.

God satellitgeometri ökar sannolikheten för en tillförlitlig lägesbestämning. Satellitgeometrins styrka kan kvantifieras med ett *DOP-tal*, ofta *PDOP* eller *GDOP*. Ett högt DOP-tal innebär att satellitgeometrin ger ett relativt stort bidrag till den totala mätosäkerheten. Ett lågt DOP-tal är därför önskvärt vid mätningen. Riktmärken för antal satelliter och DOP-tal vid mätning anges i [Tabell 3.3](#).

Med satelliter på låga elevationer ökar risken att signalerna störs p.g.a. marknära objekt eller den relativt långa signalgången genom atmosfären. För att undvika mätningar av sämre kvalitet behöver därför den övre gränsen för DOP-tal och den undre gränsen för satellitelevation balanseras på lämpligt sätt. Med många satelliter och god geometri kan exempelvis elevationsgränsen höjas. Se [avsnitt 3.6.2](#) för rekommenderade inställningar i rovern.

Mätningar som baseras på få satelliter eller dålig satellitgeometri kan även tas bort vid efterbearbetningen av inmätta data. Detta alternativ förutsätter dock att antalet satelliter och DOP-tal lagras tillsammans med mätningen.

Med fler satellitsystem – t.ex. *GPS* kompletterat med *GLONASS*, *Galileo* eller *BeiDou* – ökar möjligheten att mäta vid begränsade siktförhållanden och satellitgeometri. I normalfallet behövs minst två satelliter från respektive satellitsystem för att kunna kombinera dessa. Mätning med flera satellitsystem förutsätter också att systemspecifika parametrar hanteras på ett korrekt sätt i rovern. T.ex. kräver kodobservationer med *GLONASS* att referensdata innehåller korrekt information om referensstationens mottagartyp.

För att optimera tidpunkten för mätningen kan planeringsverktyg i programvara eller webb-tjänst användas. Indata till planeringen är ungefärlig tid och plats för mätningen, eventuellt även bandatafil. I vissa planeringsverktyg kan även elevationsgräns och sikthinder anges för att få en mer realistisk bedömning med avseende på den tänkta mätmiljön. Utdata från planeringen är en tabell eller graf som visar antalet tillgängliga satelliter, DOP-tal m.m. för det aktuella tidsintervallet.

3.4 Atmosfärs- och väderförhållanden

Rekommendation

- a) Atmosfärsförhållandena bör bedömas inför eller i samband med detaljmätningen.
- b) Redovisningen av atmosfärsförhållandena bör inkludera uppgift om informationskälla och aktuell tidpunkt.

Vid stora variationer i jonosfärs- och troposfärsaktiviteten ökar risken för hög mätosäkerhet och grova fel i samband med GNSS-mätning. *Jonosfärens* och *troposfärens* förväntade bidrag till den totala mätosäkerheten ökar med avståndet mellan rover och referensstationen. Detsamma gäller vid glesare avstånd mellan referensstationerna i en RTK-tjänst. [\[10\]](#)

För att underlätta lämplig anpassning av mätmetodiken rekommenderas åtminstone en grov kartläggning av aktuella jonosfärs- och troposfärsförhållanden inför mätningen, se [Tabell 3.4](#). Kartläggningen kan också vara ett stöd vid felsökning eller utvärdering av detaljmätningen, förutsatt att det framgår hur informationen tagits fram och vilket tidsintervall som avses.

Tabell 3.4. Riktmärken för justering av mättid vid förhöjd jonosfärs- och troposfärsaktivitet.

Vid förhöjd jonosfärsvariabilitet	För baslinjer över 10 km ökas mättiden med ca 10% per ytterligare km.
Vid förhöjd troposfärsvariabilitet	Mättiden ökas med: ca 25% för baslinjer 5-10 km, ca 50% för baslinjer >10 km.
Vid förekomst av åskfronter eller kraftiga vindbyar i mätområdet	Mätning bör undvikas.

3.4.1 Jonosfärens påverkan

Jonosfärsstörningar kan yttra sig genom:

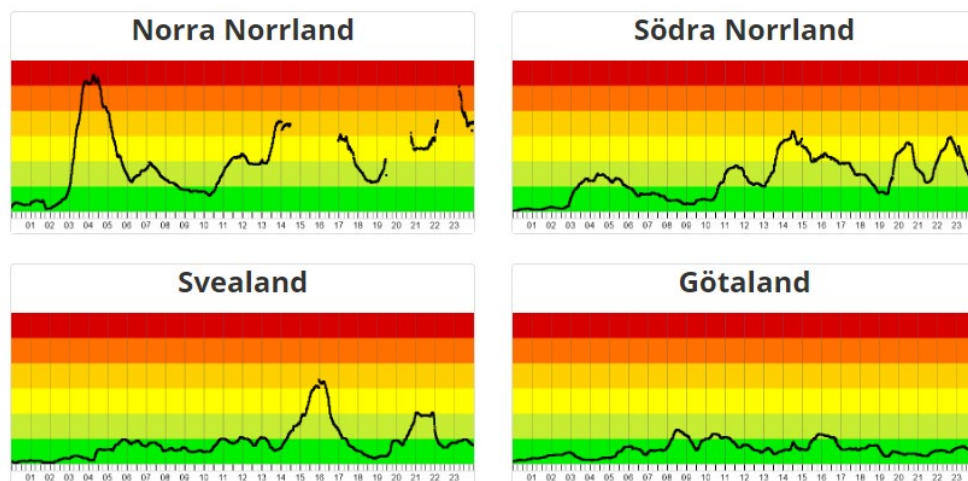
- signalbortfall eller tappad bärvågslåsning
- svårighet att beräkna fixlösning
- högre mätosäkerhet, framför allt vid höjdbestämning
- försvårad radio- och satellitkommunikation.

Jonosfären varierar med rådande solaktivitet samt tid och plats på jorden (latitud, årstid, och tid på dygnet). Vid GNSS-mätning kan effekten av jonosfärspåverkan delvis reduceras via *relativ mätning* på fler frekvenser.

Korta avstånd mellan rover och referensstationen minskar jonosfärens förväntade bidrag till den totala mätosäkerheten. Jonosfärspåverkan kan även modelleras och reduceras över större områden med hjälp av data från flera fasta referensstationer, vilket sker vid mätning med nätverks-RTK.

Med stöd av webbtjänster och mobilapplikationer, t.ex. [SWEPOS jonosfärsmonitor](#), finns det möjlighet att redovisa jonosfärens påverkan i samband med detaljmätningen. Se exempel i [Figur 3.4.1](#).

Figur 3.4.1. SWEPOS jonosfärsmonitor är ett stöd för att kunna uppskatta jonosfärens påverkan vid RTK-mätning. Monitoreringen sker i nära realtid, men även tidigare tidpunkter finns tillgängliga (här dygnet 27 mars 2017).



3.4.2 Troposfärens påverkan

Troposfärsstörningar kan yttra sig genom:

- signalbortfall eller tappad bärvågslåsning
- svårighet att beräkna fixlösning
- högre mätosäkerhet, framför allt vid höjdbestämning

Troposfären varierar med lufttryck, luftfuktighet och temperatur. Kalla, torra högtryck medför en mindre variabel troposfär. Varma, fuktiga lågtryck medför en mer variabel troposfär.

För att minimera inverkan från troposfären bör, om möjligt, mätning ske när det råder likartade väderförhållanden vid rover och referensstation. Om förhållandena skiljer sig mycket åt, t.ex. vid åskväder eller fronts system som rör sig i närområdet bör mätning undvikas.

Troposfärsfördröjningen varierar också med höjd över havet, motsvarande ca 10 mm för varje 50 meters höjdskillnad mellan rover och referensstation. I normalfallet hanteras denna skillnad automatiskt i rovern, men stora höjdskillnader över korta avstånd kan medföra en signifikant ökad mätosäkerhet. Detta gäller särskilt vid mätning med enkelstations-RTK.

Troposfärens sammansättning och variation gör den svår att skilja från mätbrus. Genom att dokumentera rådande väderförhållanden – gärna temperatur och luftfuktighet – i samband med detaljmätningen kan dock utföraren skapa sig en grov bild av troposfärens påverkan vid GNSS-mätningen.

3.5 Användning av geodetisk infrastruktur

Rekommendation

- a) Tillgången till aktiva och passiva referensnät bör klargöras inför detaljmätningen.

Detaljmätningen sker antingen relativt fasta referensstationer, t.ex. i en RTK-tjänst, eller relativt en egen referensstation som etableras tillfälligt för uppdraget. Innan detaljmätningen påbörjas bör befintlig *geodetisk infrastruktur* kartläggas, dvs. vilka aktiva eller passiva *referensnät* som finns tillgängliga, vilka referenssystem som de realiserar och huruvida någon form av transformation behövs. Vid behov kartläggs även möjliga *kontrollpunkter* för GNSS-mätning.

Om stompunkter utnyttjas som utgångspunkter eller kontrollpunkter hämtas aktuella läges- och kvalitetsuppgifter från stomnätförvaltaren. Komplettering av utgångspunkter kan ske med lämplig metod enligt [HMK – Stommätning 2020](#), avsnitt 3.2.5.

Mätning med nätverks-RTK respektive enkelstations-RTK kräver korrekta inställningar i rover- och referensmottagare. Detta verifieras lämpligen genom funktionskontroll enligt [avsnitt 3.6.3](#).

3.5.1 Vid mätning med nätverks-RTK

Krav

- a) Den RTK-tjänst som används ska redovisas i produktionsdokumentationen.

Rekommendation

Innan RTK-tjänst används

- b) bör ungefärlig förtätningsgrad och avstånd till närmaste referensstation dokumenteras
- c) bör aktuell driftsinformation hämtas via tjänsteleverantören.
- d) bör mobiltäckningen kontrolleras i arbetsområdet.
- e) bör möjligheten att efterberäkna RTK-data undersökas.

Nätverks-RTK förutsätter tillgång till ett aktivt referensnät, vanligtvis via en RTK-tjänst.

När en RTK-tjänst används kontrolleras att abonnemang, mobiltelefoni m.m. fungerar. Aktuell driftsstatus och annan viktig information om referensstationerna och RTK-tjänsten kan erhållas via tjänsteleverantören. Ungefärlig förtätningsgrad och avstånd till närmaste fysiska referensstation (ej VRS) dokumenteras för att kunna bedöma den förväntade mätosäkerheten i detaljmätningsområdet; se [avsnitt 3.7](#).

Vid användning av en RTK-tjänst som baseras på det *aktiva referensnätet SWEPOS* sker lägesbestämningen direkt i *SWEREF 99*. Omvandling från *ellipsoidhöjder* i *SWEREF 99* till *normalhöjder* i *RH 2000* sker med hjälp av en *geoidmodell*, se [avsnitt 3.6.2](#). Lägesbestämningen utförs i realtid – eller i efterhand, om tjänsteleverantören tillhandahåller *virtuell RINEX*. Eftersom nätverksmodellering, referensstationer m.m. kan skilja något mellan olika tjänsteleverantörer är det viktigt att redovisa vilken RTK-tjänst och vilka referensstationer som används.

3.5.2 Vid mätning med enkelstations-RTK

Krav

- a) Om egen referensstation inte etableras på stompunkt ska tillfällig markering utföras.
- b) Centrerings och horisontering av egen referensstation ska ske med stativ, trefot och optiskt lod.
- c) Referensstationens antennhöjd ska mätas före och efter genomförd detaljmätning.

Rekommendation

- d) Egen referensstation bör etableras på, eller anslutas mot, närliggande stompunkt med för ändamålet tillräcklig kvalitet.
- e) Referensstationens GNSS-antenn bör placeras med fri sikt mot satelliter över 10-15 graders elevation.
- f) Referensstationens GNSS-antenn bör placeras eller monteras på stabilt underlag.
- g) Vid fast etablering av referensstation bör monitorering eller kontrollmätning ske fortlöpande under uppdragstiden.

Enkelstations-RTK innebär att rovernottagaren lägesbestäms i förhållande till en lokal referensstation. Etablering av en lokal referensstation kan antingen vara fast eller tillfällig.

Vid etablering av egen (tillfällig) referensstation behöver utföraren beakta sådana aspekter som kan tänkas påverka detaljmätningen, t.ex.

- att referensstationen placeras på en säker plats, med liten risk för markvibrationer, sabotage m.m.
- att referensmottagaren konfigureras enligt tillverkarens riktlinjer samt anpassas till uppdragskraven
- att referensdata kan överföras störningsfritt till rovern
- att GNSS-antennen centreras och höjdbestäms före detaljmätningen och att detta verifieras efter detaljmätningen

Vid placering av referensstation bör god mätmiljö prioriteras. Exempelvis bör GNSS-antennen ha fri sikt mot satelliter över 10-15 graders elevation och vara placerad/monterad på stabilt underlag.

Fast etablering kräver större arbetsinsats och sker framför allt i samband med uppdrag som sträcker sig över längre tid (veckor till år), medan tillfällig etablering sker för kortvariga ändamål. Vid fast etablering utreds och dokumenteras därför placeringsalternativ och drifrutiner i större omfattning än vid tillfällig etablering. Vid tillfälligt etablerad referensstation kan fler uppställningar göras för att prioritera korta avstånd till referensstationen och goda mätförhållanden.

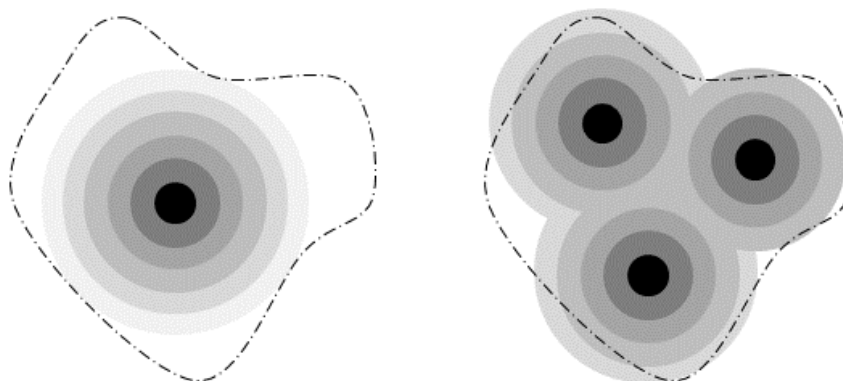
Om *stompunkter* med tillräckligt välbestämda koordinater eller höjder finns tillgängliga i uppdragsområdet kan dessa användas för referens. Alternativt bestäms referensstationens läge i referenssystemet via lämplig mätmetod, se [HMK – Stommätning 2020](#). Om referensstationen inte etableras på befintlig stompunkt ska tillfällig markering utföras så att stationsuppställningen kan verifieras efter genomförd detaljmätning.

Information om genomförda stornätsberäkningar, transformationer m.m. redovisas i produktionsdokumentationen. Vid behov kan även följande inkluderas:

- utvärdering av placeringsalternativ
- vilken mätutrustning som används
- hur montering och georeferering av GNSS-antenn utförs
- vilken mätosäkerhet som kan förväntas i arbetsområdet

Genom att göra en preliminär skattning av förväntad mätosäkerhet i olika delar av arbetsområdet kan utföraren bedöma olika placeringsalternativ för referensstationen. En sådan utvärdering kan baseras på mätutrustningens specificerade osäkerhet, vanligen uttryckt som en konstant plus en avståndsberoende del. Se exempel i [Figur 3.5.2](#).

Figur 3.5.2. Exempel på två olika alternativ för placering av referensstationer i uppdragsområdet: en eller tre stationer ska täcka detaljmätningområdet. Den förväntade mätosäkerheten är avståndsberoende, vilket visas med koncentriska cirklar baserade på GNSS-mottagarens specificerade mätosäkerhet.



Upprepad mätning av detaljer eller mätning på kontrollpunkter – gärna med alternativa referensstationer – ökar kontrollerbarheten och minskar risken för grova fel.

3.5.3 Kontrollpunkter för GNSS-mätning

Krav

- Kontrollpunkter som används i samband med detaljmätningen ska vara väldefinierade och lämpade för GNSS-mätning.
- Kontrollpunkternas lägesosäkerheter ska beaktas.

Rekommendation

- c) Lämpliga kontrollpunkter bör identifieras/etableras i eller nära uppdragsområdet.

Kontrollpunkter kan utnyttjas i olika steg av detaljmätningsprocessen:

- Vid funktionskontroll före mätning, se [avsnitt 3.6.3](#).
- Vid behov av felsökning eller oberoende lägeskontroll under detaljmätningen, se [avsnitt 4.3](#).
- Vid kvalitetsutvärderingar, se t.ex. leveranskontroll enligt [Bilaga C](#). Kontrollpunkter bör däremot inte användas för att verifiera kvalitet i enskilda detaljmätningar; sådana kontroller bör istället baseras uppprepade mätningar enligt [avsnitt 4.2](#).

Kontrollpunkter för GNSS kan antingen vara stompunkter eller väldefinierade detaljer som mätts in tidigare. Kontrollpunkter kan också nyetableras. För att minska mätosäkerheten och risken för grova fel vid kontrollmätning ska den lokala mätmiljön vara gynnsam för GNSS-mätning, vilket motsvarar kategorierna A eller B i [Tabell 3.2](#).

För att möjliggöra oberoende funktions- eller lägeskontroll ska kontrollpunktens koordinater/höjder vara kända i de referenssystem som detaljmätningen utförs i. Om kontrollpunktens lägesosäkerhet i plan eller höjd bedöms vara signifikant i förhållande till den mätmetod som ska kontrolleras så ska denna lägesosäkerhet beaktas vid kontrollen. Ett lämpligt riktmärke är ca en tredjedel av måttet på den förväntade mätosäkerheten.

Väldefinierade detaljer utan kända koordinater/höjder (eller med mycket osäker status/kvalitet) betraktas inte som kontrollpunkter. Sådana detaljer kan dock användas för egenkontroll i samband med själva detaljmätningen, t.ex. genom upprepad mätning.

3.6 Mätutrustning

Krav

De GNSS-mottagare som används vid detaljmätning

- a) ska vara specificerade för RTK-mätning.
- b) ska redovisas med serienummer eller motsvarande.

Rekommendation

- c) Roverns uppdateringsfrekvens bör vara ca 1 Hz.
- d) Roverns minneskapacitet och strömförsörjning bör anpassas

till den planerade mätningen.

Den rover som används vid detaljmätning ska kunna hantera kod- och bärvågsobservationer på minst två frekvenser, samt referensdata i RTCM-format om RTK-tjänst ska användas. Uppdateringsfrekvensen bör vara ca 1 Hz, vilket innebär att en ny 3D-position beräknas varje sekund.

Behovet av minneskapacitet, batterier m.m. bedöms och säkerställs före mätningen, t.ex. genom att förbereda extra minneskort, batterier eller annan strömförsörjning. Manualer, specifikationer m.m. från instrumenttillverkaren kan ge ytterligare information om prestanda och begränsningar, t.ex.

- den specificerade mätosäkerheten (observera täckningsgrad)
- vilka alternativa punktbestämningsmetoder som är möjliga (offset/skärningar, excentriska punkter m.m.)
- om GNSS-mätning kan kombineras med totalstationsmätning, t.ex. för *fri stationsetablering*.

GNSS-mottagare och annan utrustning (ev. trefötter och stativ) som kan förväntas ha signifikant inverkan på mätresultatet ska dokumenteras med serienummer eller liknande.

Vid användning av egen referensstation gäller riktlinjerna i detta avsnitt även referensstationens utrustning, liksom kraven och rekommendationerna i [avsnitt 3.5.2](#).

3.6.1 Användning av antenmodeller

Krav

- a) Korrekta antenntyper för både rover- och referensmottagare ska tillämpas och redovisas.
- b) Vid användning av RTK-tjänst ska tjänsteleverantörens riktlinjer för antenmodeller följas.

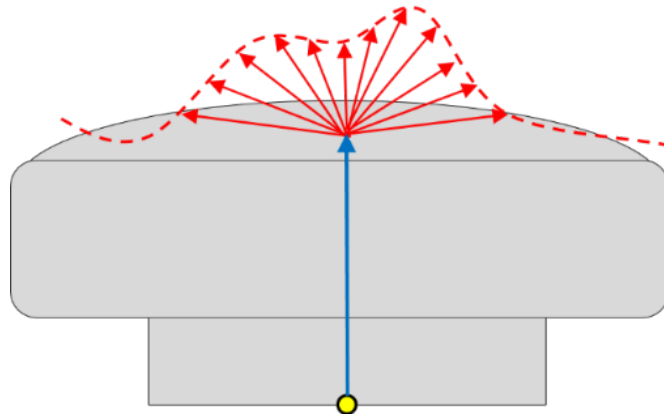
Rekommendation

- c) Absoluta antenmodeller bör användas vid mätning med enkelstations-RTK.

GNSS-antennens elektriska centrum (APC) är den skenbara punkt dit fasmätningar sker. Denna punkt varierar beroende på inkommande satellitsignaler. Eftersom variationsmönstret är unikt för varje GNSS-antenn måste APC modelleras om man vill minimera den antenberoende mätosäkerheten.

Detta sker med en *antennmodell*, som matematiskt beskriver förhållandet mellan en väldefinierad fysisk referenspunkt (ARP) och antennens elektriska centrum, se [Figur 3.6.1](#). Variablerna i modellen är signalfrekvens, satellitelevation och eventuell *azimut*.

Figur 3.6.1. Vektorn mellan ARP (gul punkt) och APC (röd streckad linje) delas typiskt upp i en större konstant del – fascentrumoffset (blå pil) – och en mindre variabel del – fascentrumvariationer (röda pilar).



Antennmodellerna gäller antingen för en viss typ av antenn (typkalibrering) eller en individuell antenn (individkalibrering). Typkalibreringar ger i regel tillräckligt bra antennmodeller för vanliga geodetiska tillämpningar.

För att rätt antennmodeller ska tillämpas vid mätningen behöver korrekta antenntyper anges för både rover och referensstation. Observera att vissa antenntyper i rovers interna databas kan ha beteckningar som beror på antennens placering på lodstång, stativ, eller annan montering.

För att en RTK-tjänst ska kunna utnyttjas på bästa sätt förutsätts att tjänsteleverantörens riktlinjer för antenner följs, t.ex. huruvida absoluta /relativa antennmodeller används eller om s.k. nollantenn ska anges för referensstationen. Tjänsteleverantören kontaktas om det råder osäkerhet kring vilka antennmodeller som ska användas.

Vid mätning med enkelstations-RTK är det framför allt viktigt att referensstationens antenntyp anges i rovern, samt att absoluta och relativa antennmodeller inte blandas för rover och referensstation. Absoluta antennmodeller är dock att föredra eftersom sådana tillämpas i de RTK-tjänster som baseras på SWEPOS.

3.6.2 Inställningar för datafångst och datafiltrering

Krav

- a) Vid lägesbestämning i plan ska lämplig kartprojektion definieras, tillämpas och redovisas.
- b) Vid lägesbestämning i höjd ska lämplig geoidmodell definieras, tillämpas och redovisas.
- c) De gränsvärden som används för datafiltrering och övrig egenkontroll ska redovisas.

Rekommendation

- d) Rovern bör konfigureras för vanliga toleransbaserade egenkontroller, t.ex. mätning på kontrollpunkt eller upprepad mätning.
- e) Ändringar av roverinställningar bör utföras med försiktighet och enligt tillverkarens rekommendationer.

Referenssystem och transformationer

Vid realtidsmätning definieras *kartprojektion* och geoidmodell i rovern för att korrekta koordinater och höjder ska kunna visas och registreras direkt vid detaljmätningen.

Om detaljmätningen sker i SWEREF 99 används vanligen den *projektionszon* som överensstämmer bäst med arbetsområdet, se [HMK - Geodetisk infrastruktur 2020](#), avsnitt 3.1. Geoidmodeller för RH 2000 finns tillgängliga för olika instrumentfabrikat via [Lantmäteriets webbplats](#).

Om koordinater eller höjder ska registreras i ett lokalt referenssystem används lämplig *koordinattransformation*. Transformationssamband tillhandahålls av stornätsförvaltare eller bestäms empiriskt i samband med

detaljmätningen, dvs. som inpassning. Restfelsmodell kan vara aktuell om detaljmätningen sker i ett inhomogent lokalt referenssystem. Vid användning av lokal inpassning eller restfelsmodell i fält sker interpolationen per automatik beroende på var i transformationens/modellens giltighetsområde som rovern befinner sig. Riktlinjer för lokal inpassning i plan och andra transformationer ges i [avsnitt 4.4.4](#).

Registrering av attribut och metadata

Rovern konfigureras för att lagra mätningar med attribut och metadata enligt uppdragskrav, men också för att möjliggöra datafiltrering eller

annan typ av analys. Här följer exempel på sådant som kan registreras vid mätning:

- tidsstämpel
- punkt-ID
- punktkod (objekttyp)
- referenssystem + kartprojektion
- 3D-koordinater (XYZ/LLE)
- kartografiska koordinater (N, E, Höjd)
- geoidhöjd + geoidmodell
- antennhöjd
- antenntyp
- antal epoker
- antal satelliter
- satellitsystem
- DOP-tal
- typ av lösning (fixlösning/flyt/autonom)
- referensstation (ID, baslinjelängd)
- kvalitetsindikator 1D/2D/3D ("CQ", RMS-värde etc.)
- källa för referensdata (mountpoint)
- automatisk lutningskompensation (ja/nej).

De bakgrundskartor, stompunktsdata, kodlistor, formatmallar m.m. som behövs för arbetet importeras till rovern. Väldefinierade kodlistor och formatmallar minskar risken för inkorrekta attributdata vid mätning och underlättar överföring av mätdata till databaser och geografiska informationssystem. Genom att använda färdiga konfigurationer ("mätprofiler") minskar också behovet att kontrollera och justera inställningar i rovern under arbetets gång. Ändringar av sådana inställningar som kan påverka mätresultatet bör utföras med försiktighet och enligt tillverkarens rekommendationer.

Gränsvärden för datafiltrering och egenkontroll

Gränsvärden konfigureras i rovern för att möjliggöra datafiltrering och andra egenkontroller. Datafiltrering innebär att en GNSS-mätning inte registreras av rovern såvida inte vissa kriterier är uppfyllda. Att definiera lämpliga gränsvärden/kriterier är särskilt viktigt vid mätning under förhållanden där det finns en signifikant risk för grova fel. Ofta är en kombination av varning och manuellt godkännande en lämplig lösning vid realtidsmätning.

Även om datafiltrering vanligtvis tillämpas i realtid går det ofta att analysera och filtrera mätdata i efterhand. Detta kan exempelvis vara önskvärt vid detaljmätning med längre mättider. Enskilda registrerade 3D-positioner som bedöms vara av sämre kvalitet kan då tas bort innan

definitiva koordinater för detaljpunkten bestäms genom medeltalsbildning. Här följer några exempel på gränsvärden/kriterier som kan vara aktuella att konfigurera i rovern, med typvärden enligt [Tabell 3.6.2](#):

- **Gräns för kvalitetsindikator:** roverns (interna) skattning av mätosäkerheten i 1D, 2D eller 3D. Eftersom alla bidrag till den faktiska mätosäkerheten inte inkluderas i detta mått kan det ibland vara orealistiskt lågt. Detta gäller särskilt vid mätning i utmanande miljöer, med flervägsfel etc. Kvalitetsmåttets *täckningsgrad* kontrolleras i roverns specifikation/manual.
- **Gräns för DOP-tal:** Mätningar som genomförs vid dålig satellitgeometri är generellt av sämre kvalitet. En övre gräns för DOP-tal anges.
- **Gräns för satellitelevation:** Inkommande satellitsignaler på låga elevationer har längre gångväg genom atmosfären och är därför generellt av sämre kvalitet. En undre gräns för satellit-elevation anges för att kunna exkludera dessa från positionsberäkningen. Vid val av gränsvärde är det viktigt att DOP-talet fortfarande är acceptabelt.
- **Toleranser för kontrollmätning:** Används vid egenkontroll enligt [avsnitt 4.3.1](#). För att upprepade mätningar ska kunna jämföras krävs vanligen att samma punktbezeichnung anges i roverns programvara.
- **Typ av positionslösning:** Under detaljmätning kan GNSS-mottagaren konfigureras för att endast acceptera en viss lösningstyp, eller på annat sätt visa information om positionslösningen. Exempel på olika typer av positionslösningar är autonom lösning (utan referensdata), kodlösning (DGNSS), flytlösning och fixlösning.

Tabell 3.6.2. Typiska parametervärden för datafiltrering i GNSS-mottagare.

Kvalitetsindikator	Högsta standardosäkerhet väljs ofta i intervallet 3–5 cm (i höjd ca 1.5–2 gånger högre än i plan), men bör bestämmas erfarenhetsmässigt för det aktuella roverfabrikatet.
DOP-tal	Högsta PDOP ≤ 4 . I lättare mätmiljö kan gränsen sättas lägre.
Satellitelevationer	Lägsta elevation för att använda enskilda satelliter ca 10–15 grader. Med fler satelliter/satellitssystem kan denna gräns höjas.

Tolerans vid kontrollmätning	En vanlig tolerans vid kontrollmätning är två gånger standardosäkerheten, vilket ger minst 95 % konfidens i plan respektive höjd.
Typ av positionsberäkning	I normalfallet accepteras endast fixlösning för RTK-mätning.

3.6.3 Instrumentservice och funktionskontroll

Krav

- a) Rovern och övrig mätutrustning ska underhållas enligt tillverkarens rekommendationer.
- b) Innan detaljmätning påbörjas ska utföraren verifiera att rovern är i funktionsdugligt skick och att alla inställningar är korrekta.

Rekommendation

- c) Funktionskontroll bör ske med GNSS-antennen fast monterad eller uppställd på stativ.

Underhåll och service

Eftersom GNSS-mottagare innehåller elektroniska komponenter och andra mer eller mindre känsliga delar så ska handhavande och underhåll ske med varsamhet. Produktspecifikationen anger under vilka miljömässiga förhållanden som mätning är lämplig. I underhållet ingår att se till att mätinstrumentet, inklusive kontakter, kablage, batterier m.m. är hela, rena och torra. Dessutom förutsätts att uppdateringar av antenmodell, firmware m.m. har gjorts enligt tillverkarens/återförsäljarens rekommendationer.

Auktoriserad service av GNSS-mottagare utförs regelbundet, enligt tillverkarens rekommendationer, och dokumenteras med serviceprotokoll, certifikat eller liknande.

Funktionskontroll

Syftet med funktionskontroll är att verifiera att rovern har korrekta inställningar (projektionsparametrar, geoidmodell m.m.) samt att dess funktion i övrigt är anpassad till uppdraget. Funktionskontrollen bör därför inkludera anslutning mot RTK-tjänst eller egen referensstation.

Funktionskontrollen utförs lämpligen på en välbestämd kontrollpunkt, se [avsnitt 3.6.3](#). Varaktigt etablerad kontrollpunkt med möjlighet till fast montering av GNSS-antennen kan vara lämplig vid behov av

återkommande funktionskontroller. I annat fall rekommenderas uppställning på stativ för att kunna minska osäkerheten i centrerings och antennhöjdsbestämning.

3.6.4 Tillbehör vid mätning

Krav

- a) Tillbehör som används för centrerings, lodnings och höjdbestämnings ska hållas i gott skick och kontrolleras regelbundet.

En ofta förbisedd aspekt vid detaljmätning är statusen på de tillbehör som används vid exempelvis centrerings och lodnings, t.ex. instrumentstativ, trefötter och lodstänger.

Tillbehören kräver regelbunden kontroll och underhåll för att inte ge signifikanta bidrag till mätosäkerheten enligt [avsnitt 2.2](#). Kontroll sker förslagsvis:

- före och efter varje mätningssuppdrag
- efter längre transporter
- eller en gång per vecka.

Lodstänger

Följande egenskaper kan kontrolleras på lodstänger:

- **Teleskopfunktion.** Kontrollen av lås och höjdgradering. Låset bör åtminstone tåla mindre "ryck och tryck" i lodstångens längdriktning. Graderingen ska överensstämma med den faktiska höjden och eventuella fasta låslägen på stängen.
- **Doslibell.** Kontroll av libellen kan utföras genom att räta upp lodstången och centrera bubblan i libellen, med hjälp av stödben, stativ, en fot till lodstången eller en fixtur för kontroll av stängen. Om lodstången vrids 180 grader ska större delen av bubblan stanna kvar inom cirkeln. Annars behöver doslibellen justeras. Alternativt kan en extern stångriktare, med en kalibrerad libell, fästas på stängen. Båda libellerna ska vara inom cirkeln när stängen är lodad, annars behöver stängens doslibell justeras.
- **Lodstångens raket,** dvs. om centrum på stängens topp är rakt ovanför fotens/spetsens centrum. Raketten kontrolleras med jämna mellanrum genom att montera stängen i en fixtur och flytta en stångriktare längs stängen. Snedslitning av stängen förekommer oftare i de fall stängerna inte är runda. Att lägga och rulla stängen på en planskiva kan också ge en visuell kontroll av om stängen är rät.

- **Spetsen på lodstången.** Spetsen slits med användningen och kan efter ett tag ge en signifikant avvikelser i höjd. Stångens längd bör därför kontrolleras med jämna mellanrum.

Om automatisk lutningskompensator används vid mätning där antennen/lodstången lutar bör kompensatorns funktion/specifikation verifieras genom funktionskontroll, samt i samband med service.

Instrumentstativ

För att möjliggöra stabil uppställning och enkel användning måste teleskopfunktionen och låsfunktionen vara smidiga och tillförlitliga. Inga glapp får förekomma i fästpunkter vid stativfoten eller vid stativplattan. Fästskruvarna för stativbenen ska vara funktionella.

Stativ kan vara tillverkade av olika material som t.ex. trä, kolfiber eller aluminium vilket påverkar stativets egenskaper och livslängd. Olika material påverkas också olika av temperaturförändringar, vilket kan behöva beaktas vid noggrannare tillämpningar. Slitna och instabila stativ ska aldrig användas vid geodetisk mätning.

Trefötter och lod

För att undvika centreringsfel vid uppställning över markerad punkt är det viktigt att även trefotens libell och lod är korrekt justerade. Loden kan vara optiska eller laserbaserade och ett fel i dessa innebär en excentrisk uppställning. Libell och lod kontrolleras enklast i en testbänk och justeras så att centreringsfelet underskrider 1 mm.

Det optiska lodet kan också kontrolleras enligt följande:

- Ställ upp stativet och horisontera trefoten över ett pappersark på marken.
- Markera hårkorsets/laserstrålens läge på arket.
- Vrid därefter successivt trefoten på stativet en tredjedels varv runt sin axel och fortsätt markera hårkorsets läge på arket.
- Trefotens konturer bör markeras för att axelvridningen ska bli korrekt. Om markeringarna på pappersarket avviker mer än 1-2 millimeter så krävs justering av lodet.

Horisonteringskruvarna på trefoten får inte heller glappa. Låset som fäster instrumentet i trefoten med sina tre pinnar ska låsa instrumentet stabilt. Vid behov byts slitna eller ej justerbara delar ut – eller också kasseras trefoten.

Övriga tillbehör

Övriga tillbehör vårdas och kontrolleras på lämpligt sätt, t.ex.

- batterier och batteriladdare
- minneskort
- lodstångsfötter
- trefotsadaptar
- måttband
- distometer/laserlängdmätare
- kamera
- digital doslibell
- IMU-modul

3.7 Förväntad mätosäkerhet

Krav

- En preliminär bedömning ska göras av vilken mätosäkerhet som kan förväntas vid detaljmätningen.

Innan detaljmätning påbörjas ska utföraren ha gjort en preliminär bedömning av vilken mätosäkerhet som kan förväntas med den tänkta mätmetoden och befintlig geodetisk infrastruktur. Detta behövs bl.a. för att motivera metodval, samt för att kunna fastställa lämpliga toleranser för kontroller vid GNSS-mätningen.

Den förväntade mätosäkerheten är beroende av en mångfald faktorer/parametrar, se [avsnitt 2.2](#). En realistisk bedömning sker enligt en av två huvudsakliga principer [\[1\]](#):

- *Typ A-bedömning* av mätosäkerhet, där variationen i mätdata från faktiska RTK-mätningar analyseras.
- *Typ B-bedömning* av mätosäkerhet, som bl.a. omfattar schablon-skattningar, tidigare fältundersökningar, eller uppgifter från specifikationer eller kalibreringar.

För mindre uppdrag är det i de flesta fall tillräckligt med en preliminär bedömning enligt Typ B. Vid större eller mer komplexa uppdrag kan en kombination av både typerna vara berättigad.

Vid mätning med enkelstations-RTK kan Typ B-bedömning ske enligt [avsnitt 3.5.2](#). Vid mätning med nätverks-RTK kan motsvarande bedömning ske med hjälp av information från tjänsteleverantör eller schablonuppgifter, t.ex. enligt [Bilaga D](#). Lägesosäkerhet i utgångspunkter inkluderas i den mån detta krävs för uppdraget, t.ex. vid krav på noggrann georeferering i SWEREF 99.

Ett exempel på Typ A-bedömning av mätosäkerhet är den metodik som beskrivs i ISO-standard 17123-8 [\[5\]](#). Denna metodik förutsätter inbördes bestämning av två kontrollpunkter med låg relativ osäkerhet.

Standarden föreslår vidare två olika testförfaranden som utföraren väljer utifrån uppdragets krav och omfattning (fullständigt eller förenklat test).

Andra metoder för preliminär bedömning av mätosäkerhet beskrivs i [HMK - Geodatakvalitet 2017](#), Bilaga A.3, samt i den tekniska specifikationen SIS-TS 21143:2016 [12]. Detta är mer omfattande undersökningar och lämpar sig därför främst för uppdrag med relativt stor mätinsats i ett väl avgränsat område, t.ex. i samband med bygg- och anläggningsprojekt. Mätosäkerheten skattas i detta fall genom mätningar på ett antal kontrollpunkter i arbetsområdet. Relativt få kontrollpunkter kan kompenseras med fler oberoende kontrollmätningar på varje punkt, gärna under växlande mätförhållanden, satellitgeometri etc.

Den preliminära bedömningen är inte ett kvitto på vilken faktisk mätosäkerhet som kommer att uppnås i enskilda detaljer. Detta behöver istället verifieras under eller efter detaljmätningen. Vanligtvis krävs oberoende kontrollmätningar för att uppnå tillräcklig kontrollerbarhet, se [avsnitt 4.3.1](#) och [Bilaga C.2](#).

4 Genomförande av GNSS-mätning

Genomförande av detaljmätning avser både inmätning och utsättning om inte annat framgår av avsnittsrubriken. Andra handböcker kan vara aktuella i den mån GNSS kombineras med andra mättekniker, t.ex. [HMK – Terrester detaljmätning 2020](#).

4.1 Innan detaljmätningen inleds

Innan detaljmätningen inleds kontrolleras att registrering av mätdata sker på önskad minnesenhet, till rätt datafil, i rätt dataformat m.m. Om detaljerna ska efterberäknas sparas rådata (kod- och bärvågs-observationer) i rovern. Efterberäkning utförs när realtidsmätning inte är nödvändig eller möjlig, t.ex. om mobiltäckning saknas eller är begränsad vid mättillfället. I övrigt förutsätts:

- att resurser i form av mätutrustning, personal och transportmedel har säkerställts och att mättningsinstruktioner finns tillgängliga
- att geodetisk infrastruktur finns tillgänglig för anslutning och kontroll, och att eventuell komplettering av utgångspunkter och kontrollpunkter har utförts
- att mätutrustningen har kontrollerats och konfigurerats ändamålsenligt i förhållande till uppdragsbehoven, samt i övrigt enligt rekommendationerna i [avsnitt 3.6](#)
- att alla medverkande känner till hur och när egenkontroller ska tillämpas.

4.1.1 Centrering och höjdbestämning

Krav

- a) Stativ eller lodstångsstöd ska användas när centreringsosäkerheten utgör en signifikant del av den totala mätosäkerheten.
- b) Om stativ med trefot används ska antennhöjden bestämmas före och efter detaljmätningen.
- c) Antenntyp och antennhöjd ska anges/kontrolleras i GNSS-mottagaren innan detaljmätningen påbörjas.
- d) Vid excentrisk punktbestämning ska alla mått som krävs för en entydig lägesbestämning dokumenteras.

Rekommendation

- e) Automatisk lutningskompensation bör endast användas när annat centreringsstöd inte finns tillgängligt.

- f) Mark- och väderförhållanden som kan påverka centrering och antennhöjdsbestämning bör beaktas.

Centrering och höjdbestämning syftar till att säkerställa rover-antennens läge i förhållande till detaljpunkten. Antennhöjd och antenn-typ ska anges/kontrolleras i rovern inför varje ny mätning. I samband med detta bör även lokala förhållanden vid detaljpunkten beaktas, t.ex. kraftig vind, mjukt underlag eller risk för markrörelser.

Vid användning av lodstång fixeras antennen på lämplig höjd på stången, vanligen ca två meter om detaljerna finns nära marknivå. Horisontering av lodstången sker sedan med hjälp av doslibell eller liknande.

Vid användning av stativ och trefot sker uppställning över detaljpunkten enligt praxis för den aktuella antenntypen, t.ex. med lämplig adapter mellan trefot och antenn, samt eventuell orientering av antenn. Antennhöjden bestäms före och efter detaljmätningen, och kontrolleras inbördes. Se även [HMK – Stommätning 2020](#).

Excentrisk punktbestämning är aktuell när antennen inte kan centreras över detaljpunkten. Detta kan t.ex. utföras som *inbindning* via längdmått till två hjälppunkter som mäts in med rovern. Längdmätningen görs då med totalstation, distometer eller måttband beroende på krav, och hjälppunkterna markeras temporärt. Vid mindre excentriciteter kan punktbestämningen ske med hjälp av automatisk lutningskompensation. Alla höjd-, längd- och vinkelmått som används för att definiera den excentriska punktbestämningen ska dokumenteras.

Standardosäkerheten vid lodning av en två-meters lodstång är ca 15 mm om centreringen utförs utan hjälp av stödben. Om centreringsosäkerheten utgör en signifikant del av den totala mätosäkerheten (mer än cirka en tredjedel) används stödben för lodstången eller stativ med trefot. Standardosäkerheten kan reduceras med två tredjedelar – till ca 5 mm – om stödben används. Med stativ och trefot kan centreringsosäkerheten anses försumbar om kontrollerat/justerat optiskt lod används.

4.1.2 Anslutning och initialisering

Krav

- a) Detaljmätningen ska ske med fixlösning, antingen genom initialisering i realtid eller via efterberäkning.

Rekommendation

- b) Eventuella problem vid initialiseringen bör dokumenteras.

- c) Vid efterberäkning bör tidpunkt och ungefärlig roverposition noteras för att underlätta beställning av virtuell RINEX.

Anslutning till referensstation eller RTK-tjänst sker efter att rovern fått en första ungefärlig absolutposition, dvs. då rovern har låst mot satellitsignalerna.

Om RTK-tjänst används sker överföring av referensdata enligt tjänstleverantörens instruktioner. Vissa realtidstjänster kräver en ungefärlig position för att referensdata ska kunna beräknas och överföras till rovern. Likaså kan roverposition och tidpunkt krävas för att virtuell RINEX ska kunna genereras vid efterberäkning.

Initialisering, dvs. beräkning av fixlösning, inleds när rovern tar emot referensdata. Ungefärlig tid för initialisering anges i mätinstrumentets specifikation/manual, men detta påverkas bl.a. av mätförhållanden, avståndet till referensstation(er) och mobil-/radiotäckningen. Om orsaken till långa initialiseringstider inte är uppenbar – sett till plats och rådande mätförhållanden – bör detta dokumenteras som stöd vid eventuell felsökning.

Detaljmätningen påbörjas när rovern erhållit fixlösning. Även vid efterberäkning ska fixlösning tillämpas, såvida inte motsvarande mätosäkerhet kan påvisas för annan typ av lösning.

4.2 Mätmetodik

Detta avsnitt innehåller en generell beskrivning av mätmetodik samt några vanliga tillämpningar. Metodiken anpassas till uppdragskraven och de rådande förutsättningarna (t.ex. mätmiljön) för att få en lämplig balans mellan kvalitet och produktivitet.

4.2.1 Registrering och medeltalsbildning

Krav

Inmätning med RTK ska

- a) utföras statistiskt eller som "stop-and-go".
- b) baseras på minst 5 medeltalsbildade 3D-positioner.
- c) inkludera tidsstämpel.

Inmätning med RTK utförs stillastående – statistiskt eller som "stop-and-go" – genom att rovern registrerar en sekvens av 3D-positioner. Dessa positioner kan medeltalsbildas direkt i rovern, antingen baserat

på antalet positioner eller över ett fixt tidsintervall från mätstart. Om inmätningen efterberäknas så kan medeltalsbildningen utföras mer flexibelt, t.ex. efter kvalitetskontroll och datafiltrering. En inmätning ska dock alltid baseras på minst fem medeltalsbildade 3D-positioner. Det ska finnas en tidsstämpel för varje registrerad position eller start- och sluttid för hela inmätningen.

Exempel: Rovern konfigureras för att spara en mätning efter 10 registrerade 3D-positioner eller efter minst 30 sekunder. Om tidsintervallet 30 sekunder tillämpas så måste minst 5 positioner registreras under den tiden.

Atmosfärsstörningar, flervägsfel och dålig satellitgeometri bidrar till större mätosäkerhet och ökad risk för grova fel i lägesbestämningen. Därför är det viktigt att eftersträva en tillräckligt "robust" mätmetodik, t.ex. genom:

- **Längre observationstider**, vilket reducerar effekten av slumpmässig mätosäkerhet vid detaljmätningen, dvs. den kortvägiga variation som ibland kallas "mätbrus".
- **Upprepade mätningar**, där *tidsseparation* tillämpas mellan mätningarna för att minska deras inbördes korrelation. Se vidare i [avsnitt 4.2.2](#).
- **Datafiltrering**, vilket reducerar andelen epoker av sämre kvalitet, se [avsnitt 3.6.2](#). T.ex. medför **högre** gränsvärde för satellitelevation och **lägre** gränsvärde för DOP-tal att en större andel mätningar filtreras bort.

Dessa anpassningar ökar sannolikheten för att detaljmätningen kan genomföras med godtagbar kvalitet. Kvaliteten i inmätta detaljer verifieras antingen genom toleransbaserade egenkontroller enligt [avsnitt 4.3.1](#), eller genom leveranskontroll enligt [Bilaga C.2](#).

Under svåra mätförhållanden bör alternativa mättekniker övervägas, eftersom produktiviteten sjunker i takt med att fler detaljmätningar filtreras bort eller inte uppfyller toleranskraven.

4.2.2 Upprepad mätning med tidsseparation

Krav

Upprepade mätningar

- a) ska endast utföras på väldefinierade detaljer/punkter.
- b) ska ske med tillräcklig tidsseparation och med ny fixlösning.
- c) ska kontrolleras mot tolerans innan mätningarna medeltalsbildas.

Rekommendation

- d) Vid behov av god kontrollerbarhet i mätprocessen bör upprepad mätning övervägas.
- e) Tidsseparationen vid detaljmätning i plan bör vara minst 5 minuter.
- f) Tidsseparationen vid detaljmätning i höjd bör vara minst 10 minuter.
- g) Tidsseparationen bör ökas när DOP-talet eller avståndet till närmaste referensstation ökar.

Vid behov av god kontrollerbarhet i mätprocessen bör upprepad mätning övervägas. Detta innebär två eller fler inmätningar av samma detaljpunkt, med inbördes tidsseparation. De upprepade inmätningarna – som var och en alltså består av medeltalsbildade 3D-positioner – medeltalsbildas igen om den specificerade toleransen uppfylls, se [avsnitt 4.3.1](#).

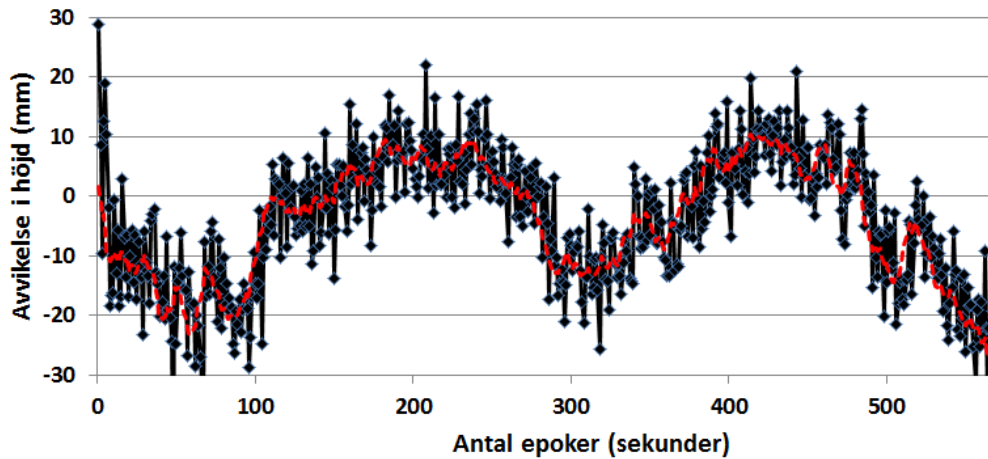
Upprepad mätning ska inte förväxlas med kontrollmätningar som utförs vid ett separat tillfälle, t.ex. i samband en stickprovskontroll. Sådana kontroller utförs om möjligt med en metod med lägre mätosäkerhet än ursprungsmätningen.

En förutsättning för upprepad mätning är att detaljpunkten eller kontrollpunkten är tillräckligt väldefinierad. Vid behov åstadkoms detta genom markering i samband med första inmätningen. Vidare förutsätts att de ingående mätningarna utförs på enhetligt sätt med avseende på observationstid, centrerings m.m.

Upprepad mätning innebär en naturlig kontroll av mätprocessen så att t.ex. grova fel lättare kan upptäckas. Syftet med tidsseparation mellan RTK-mätningarna är att erhålla statistiskt oberoende mätningar och därmed möjliggöra bättre hantering av den systematiska mätosäkerheten (långvågiga variationen). Om tidsseparationen är för kort finns risk att endast den slumpmässiga mätosäkerheten (kortvågiga variationen) beaktas. Skattningen av mätosäkerheten kan då bli alltför optimistisk. [\[6\]](#) [\[7\]](#)

Lämplig tidsseparation kan variera från några minuter till en timme, bl.a. beroende av avstånd till referensstation, atmosfärsstörningar och satellitgeometri. Som en tumregel bör tidsseparationen alltid vara längre än "våglängden" i den långvågiga variationen – om en sådan kan urskiljas, se [Figur 4.2.2](#). Dock rekommenderas minst 5 minuter vid detaljmätning i plan och minst 10 minuter vid detaljmätning i höjd. Tidsseparationen utökas om satellitgeometrin är dålig (höga DOP-tal) eller om avståndet till referensstationen är stort. Vid långa mättider kan syftet med tidsseparationen uppnås även utan upprepad mätning. [\[8\]](#)

Figur 4.2.2. En sammanhängande sekvens av RTK-bestämda höjdvärden i förhållande till ett referensvärde i höjd. Den röda linjen motsvarar ett rullande medelvärde över fem sekunder. Den långvågiga variationen har här en "våglängd" på ca 4-5 minuter.



4.3 Egenkontroller vid detaljmätning

Egenkontroller omfattar både toleransbaserade jämförelser av mätningar och rutinmässig "vaksamhet" i samband med detaljmätningen.

Vid eventuella kontrollmätningar eller ommätningar tillämpas om-initialisering, dvs. ny fixlösning beräknas. Ominitialisering ersätter dock inte behovet av tidsseparation, eftersom satellitsignaler och övriga förhållanden kan förväntas vara likartade som vid den första initialiseringen.

4.3.1 Toleransbaserade kontroller

Krav

- a) Toleranser för egenkontroll ska definieras, tillämpas och redovisas.
- b) Om angiven tolerans överskrids ska åtgärden redovisas.

Rekommendation

- c) Toleranser bör definieras utifrån den förväntade mätosäkerheten.

Toleransbaserade kontroller används för att kontrollera detaljpunkternas kvalitet och minska risken för grova fel. Toleransmått är lämpliga att basera på den mätosäkerhet som förväntas för mätmetoden. Vid jämförelse med kända punkter/ mått bör lägesosäkerheten för dessa inkluderas om den bedöms vara signifikant i förhållande till mätosäkerheten, se exempel i [avsnitt 3.5.3](#).

[Tabell 4.3.1](#) visar hur toleranser kan definieras i samband med vanliga egenkontroller. Variablerna i tabellen betecknas enligt följande:

- T_{95} är toleransen för egenkontrollen. Den antas gälla minst 95% av alla mätningar/avvikelser i plan respektive höjd och motsvarar alltså en varningsgräns enligt *HMK:s 3-nivåprincip*.
- u_d är detaljmätningens förväntade mätosäkerhet, inklusive osäkerheten i centreringen. Vid upprepad mätning kan krav på lägesosäkerheten anges som den förväntade mätosäkerheten.
- u_k är kontrollmätningens förväntade mätosäkerhet, inklusive osäkerhet i centrering (vid planmätning) eller geoidhöjd (vid höjdmätning på punkt som inte är GNSS-bestämd).
- u_p är kontrollpunktens lägesosäkerhet i aktuellt referenssystem.

Dessa toleranser ska ses som tumregler. En mer stringent behandling, lämplig för t.ex. leveranskontroll, redovisas i [Bilaga C.2](#). Ommätning eller motsvarande åtgärd utförs när angiven tolerans överskrids. Om detta sker flera gånger bör orsaken utredas med hjälp av en oberoende kontrollmetod. Genomförda åtgärder redovisas i produktionsdokumentationen.

Tabell 4.3.1. Tumregler för toleranser vid vanliga egenkontroller.

	Typ av egenkontroll	Krav/förutsättning	Rekommenderad tolerans, T_{95}
I	Mätning på kontrollpunkt för GNSS.	Kontrollpunkten felfri i förhållande till kontrollmätning. Osäkerheter i centrering och geoidhöjd eliminerad.	$T_{95} = 2 \times u_k$
II	Mätning på kontrollpunkt som inte är GNSS-bestämd	Kontrollpunktens osäkerhet ska inte överskrida förväntad mätosäkerhet	$T_{95} = 2 \times \sqrt{u_k^2 + u_p^2}$
III	Separat kontrollmätning (medeltalsbildas ej med den ursprungliga mätningen)	Om $u_k \approx u_d$ Om $u_k \ll u_d$	$T_{95} = 3 \times u_d$ $T_{95} = 2 \times \sqrt{u_d^2 + u_k^2}$
IV	Dubbelmätning (med medeltalsbildning om tolerans uppfylls)	Samma centreringsmetod används vid båda mätningarna	$T_{95} = 4 \times u_d$
V	Trippelmätning (med medeltalsbildning om tolerans uppfylls)	Samma centreringsmetod används vid de tre mätningarna	$T_{95} = 5 \times u_d$

4.3.2 Faktorer att beakta under RTK-mätning

Rekommendation

- a) Under pågående detaljmätning bör förändringar i de yttre förhållanden samt information från rovern beaktas.
- b) Problem/avvikelse som signifikant kan påverka mätresultatet bör dokumenteras.

För att själv kunna göra en kvalitetsbedömning av mätningen, underlätta felsökning och minimera risken för grova fel är det viktigt att uppmärksamma både yttre mätförhållanden och information via roverns fältdator, t.ex.

- **Bortfall eller fördröjning av referensdata:** Om referensdata fördröjs (> 2-3 sekunder) eller förloras (>30-35 % av data) vid överföringen till rovern kan det medföra större mätosäkerhet och/eller svårighet att initialisera och behålla fixlösning under mätning. Stora avstånd till mobilmaster, ogynnsam topografi eller förekomst av elektromagnetiska störningar kan påverka dataöverföringen, liksom driftsproblem i eventuell RTK-tjänst.
- **Signalkvalitet:** Kvaliteten på inkommande satellitsignaler påverkas bl.a. av atmosfär, flervägsfel och sikthinder (t.ex. lövverk). Signalkvalitet redovisas med s.k. SNR-tal (*Signal-to-noise Ratio*), som beskriver förhållandet mellan signal och brus. Låga SNR-tal kan indikera problem med vissa satellitobservationer.
- **Övriga kvalitetsparametrar:** Om DOP-tal, RMS-värden eller andra kvalitetsparametrar försämrats så kan detta bero på yttre mätförhållanden. Tappad fixlösning eller lång initialiseringstid indikerar ökad risk för felaktigt bestämd fixlösning.

Problem eller avvikelser som bedöms påverka mätningen på ett signifikant sätt bör dokumenteras, t.ex. med tidpunkt, följd effekter och vidtagna åtgärder.

4.4 Exempel på tillämpningar

4.4.1 Inmätning med varierande krav på lägesosäkerhet

Rekommendation

- a) Rovern bör vara konfigurerad för kontroller med olika toleransmått, baserat på de olika krav på lägesosäkerhet som är aktuella för uppdraget.

- b) Vid upprepad mätning bör detaljerna mätas in i samma inbördes ordning för att få god tidsseparation mellan mätningarna.

I samband med uppdrag där olika objekttyper har varierande krav på lägesosäkerhet och/eller kontrollerbarhet kan det vara lämpligt att genomföra mätningen sekventiellt, t.ex. enligt följande princip:

1. Inmätning av alla detaljer, där mättiden anpassas till kvalitetskraven. Datafiltrering tillämpas enligt [avsnitt 3.6.2](#). Stödben för lodstång används för detaljer med krav på låg lägesosäkerhet i plan. Detaljer som ska mätas in flera gånger registreras med namn/attribut som visar detta. Temporär markering av detaljer utförs om detaljerna inte kan identifieras tillräckligt entydigt.
2. Upprepad inmätning utförs på detaljer med högre krav på lägesosäkerhet eller kontrollerbarhet. Samma centreringsmetod används som vid den första inmätningen. Toleransbaserad egenkontroll utförs enligt [avsnitt 4.3.1](#). Detaljerna mäts in i samma ordning som tidigare för att erhålla god tidsseparation mellan alla mätningar.
3. Ytterligare upprepade mätningar utförs tills alla detaljer uppfyller ställda krav på lägesosäkerhet och kontrollerbarhet. Alternativt kontrolleras en delmängd enkelmätta detaljer genom separat kontrollmätning.

4.4.2 Utsättning

Krav

- a) Underlaget för utsättningen ska kontrolleras och verifieras innan detaljmätningen påbörjas.
- b) Kontrollinmätning ska utföras för att verifiera utsättningens kvalitet.

Rekommendation

- c) Stomnätets/primärnätets kvalitet bör utvärderas före utsättning
- d) Utsättningen bör planeras så att detaljpunkter med krav på låg lägesosäkerhet kan sättas ut från samma fysiska och/eller virtuella referensstation.
- e) Den mätmetod som används vid inmätning/kontroll bör ha en standardosäkerhet på högst en tredjedel av utsättningens standardosäkerhet.

Utsättning av detaljer för byggnader, långsträckta anläggningsobjekt, fastighetsgränser m.m. kan göras med RTK under förutsättning att lägesosäkerhet och kontrollerbarhet kan uppnås på lämpligt sätt.

Eftersom utsättningsfel kan medföra stora ekonomiska konsekvenser, finns det anledning att noggrant kontrollera utgångsdata inför en utsättning. Lika viktig är kontrollen av de faktiskt utsatta punkterna inför leverans, där kontrollförfarandet ska anpassas till de konsekvenser en felutsättning kan få.

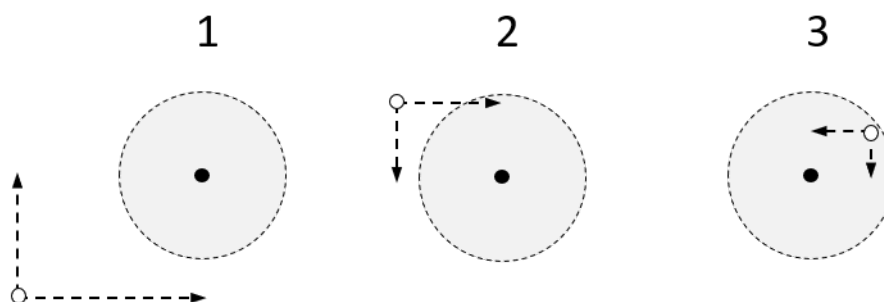
I förberedelserna vid utsättning ingår bl.a. att:

- Ta reda på vilka ritningar och övriga handlingar som är gällande.
- Kontrollera hur mått har angetts.
- Undersöka vad byggnadsbeskrivningen anger beträffande utsättning, t.ex. toleranser.
- Utvärdera stomnätets/primärnätets kvalitet och skick.
- Klargöra kraven på dokumentation och befästning/markering.
- Kontrollera och justera den mätutrusning som ska användas vid utsättningen enligt [avsnitt 3.6](#).

För själva utsättningsmomentet gäller:

- Sätt ut detaljer med höga krav på inbördes läge från samma fysiska eller virtuella referensstation.
- Säkerställ att *produkttoleransen* för utsättningen kan uppfyllas med god marginal, eftersom *mättoleransen* bara är en del av den totala produkttoleransen, se [HMK – Geodatakvalitet 2017](#), avsnitt 3.3.
- Utsättning utförs med stöd av rovers programvara, vanligtvis med växelvis justering av rovern utifrån angivna offset-värden i plan eller höjd tills aktuell tolerans är uppfylld, se [Figur 4.3](#).

Figur 4.3. Exempel på utsättning. Det teoretiska utsättningsläget har en radiell tolerans som motsvaras av den ljusgrå cirkeln. Rovern justeras växelvis mot det teoretiska läget tills toleransen är uppfylld (i steg 3).



Beträffande befästning/ markering ingår:

- att undersöka om utsättningen ska befästas, dvs. försäkringsmarkeras vid sidan om utsättningsobjekten.
- att välja lämpliga markeringar som ska användas för respektive detaljer.
- att bedöma riskerna för att markeringar kan rubbas eller skadas av tunga transporter, sättningsbenägen mark etc.

I övrigt anpassas utsättningsmetodik, egenkontroller och dokumentation till uppdragskrav och branschspecifika riktlinjer. Leveranskontroll av utsatta detaljer kan utföras genom stickprov enligt rekommendationer i [HMK - Geodatakvalitet 2017](#).

4.4.3 Etablering av totalstation med RTK

Krav

Vid RTK-mätning av bakåtobjekt för fri stationsetablering

- a) ska korrekt höjdoffset anges mellan GNSS-antennen och prismet.
- b) ska överbestämd RTK-metodik användas.
- c) ska stödben eller stativ användas.

Rekommendation

Vid RTK-mätning av bakåtobjekt för fri stationsetablering

- d) bör god mätmiljö för GNSS beaktas vid placeringen av bakåtobjekten.
- e) bör - om så är möjligt - stationsetableringen uppdateras fortlöpande med fler bakåtobjekt.

Ett alternativ till att ansluta totalstationsmätning via passivt stornät är att utföra *kombinerad mätning*, där utgångspunkterna för stationsetableringen (bakåtobjekten) mäts in samtidigt med RTK och totalstation. Detta förutsätter en fältdator som kan hantera mätningar från både totalstation och GNSS-mottagare i realtid, alternativt en programvara som kan beräkna den fria stationen i efterhand.

Eftersom prismet för totalstationsmätningen och GNSS-antennen sitter på olika höjder på lodstången behöver korrekt offset anges för att mätningarna ska kunna relateras till samma punkt i höjddled. Vid mätning på mjukt underlag kan också en lodstångsfot användas om det finns risk att lodstången annars skulle sjunka ner i underlaget.

Längd- och vinkelmätningarna mot utgångspunkterna har i regel relativt liten inverkan på stationsetableringens kvalitet. Istället är det viktigt att bakåtobjektens koordinater/höjder är av jämn och god kvalitet. RTK-mätningarna bör därför utföras med omsorg, t.ex. med överbestämd RTK-metodik och centreringsstöd, och i mätmiljöer som är lämpade för GNSS-mätning. Bakåtobjekten markeras temporärt om det behövs för att möjliggöra upprepad mätning.

Här är tre exempel på RTK-metodik som på olika sätt kan reducera slumpmässig mätosäkerhet, systematiska effekter och grova fel vid inmätning av utgångspunkter:

- "180-sekundersmetoden" [8], där metodkravet är inmätning av minst tre utgångspunkter under tre minuter vardera med hjälp av stödben eller stativ. All slumpmässig samt viss systematisk osäkerhet kan hanteras, särskilt vid korta avstånd till referensstation och/eller hög förtätningsgrad i det aktiva referensnätet. Denna metod är lämplig när inmätning av jämn och hög kvalitet eftersträvas (t.ex. vid fastighetsbildning) och risken för stor långvågig variation är begränsad.
- RUFRIIS enligt Trafikverkets metodbeskrivning [9], där kravet är enkel inmätning av minst 15 utgångspunkter för stationsetablering. Viss datafiltrering förutsätts, men kvalitet vid utjämning av stationens koordinater och orientering möjliggörs framför allt via det stora antalet utgångspunkter. Om RTK-mätningarna är tillräckligt separerade i tid så kan även vissa systematiska effekter p.g.a. atmosfär hanteras. Denna metod kan vara lämplig när ingen egenkontroll med tolerans utförs, t.ex. i situationer där den förväntade lägesosäkerheten i RTK-mätningen är okänd eller svårbedömd.
- Upprepad mätning av alla utgångspunkter enligt [avsnitt 4.2.2](#), där minst fyra utgångspunkter är önskvärt. Datafiltrering och stöd för lodstång förutsätts. I övrigt anpassas metodiken till kravet på lägesosäkerhet. Kontroll av lägesosäkerhet och hantering av långvågig variation erhålls genom den upprepade mätningen med tidsseparation. Av de tre beskrivna metoderna har denna den bästa kontrollerbarheten, men förutsätter å andra sidan att utföraren använder temporära markeringar eller väldefinierade/entydiga detaljer. Den förväntade lägesosäkerheten bedöms i förväg för att kunna utföra egenkontroll enligt [avsnitt 4.3.1](#).

4.4.4 Inpassningstransformationer

Krav

- a) Det tänkta giltighetsområdet för inpassningen ska omslutas av passpunkter.
- b) Passpunkterna ska mätas in med överbestämd RTK-metodik.

Rekommendation

- b) Passpunkterna bör vara jämnt fördelade inom giltighetsområdet.
- c) Inpassning i plan bör utföras med en unitär transformation eller en 2D-Helmerttransformation.
- d) Inpassning i höjd bör utföras genom att bestämma ett eller flera höjdsnitt.

Inpassningstransformation är ett möjligt verktyg vid detaljmätning. Inpassningen, dvs. själva bestämningen av transformationsparametrar, utförs ofta direkt i fält och kan då enkelt kombineras med inmätning av passpunkter i från- eller tillsystem. Tre exempel på tillämpningar är:

- georeferering med RTK-metodik, där tidigare inmätta/insamlade detaljpunkter transformeras till ett homogent referenssystem med hjälp av noggrann nymätning
- lokal inpassning i plan, där RTK-mätningarna transformeras fortlöpande för att passa ihop med lokala koordinater/höjder
- lokal höjdtranslation, där kvaliteten i RTK-inmätta höjder förbättras med hjälp av kontrollmätningar på befintliga höjdfixar

I de flesta fall är det önskvärt att inpassningen utförs med formbevarande transformationsmetoder så att den lokala geometrin bibehålls. Detta innebär unitär transformation (om skalan är nära 1) eller 2D-Helmerttransformation (om skalan är signifikant skild från 1).

Eftersom inpassning innebär en empiriskt bestämd transformation bör utföraren välja passpunkter med omsorg. Passpunkterna ska omsluta det tänkta giltighetsområdet för inpassningen. På det sättet tillämpas interpolation för att bestämma transformationsparametrarna. Genom en jämn fördelning av passpunkter över giltighetsområdet blir det dessutom möjligt att fånga upp lokala inhomogeniteter eller grova fel i enskilda punkter. Passpunkterna mäts in med överbestämd RTK-metodik, se [avsnitt 4.2.2](#).

I vissa fall kan beställaren ha tillgång till inpassningsparametrar som utföraren kan använda för att konfigurera rovern.

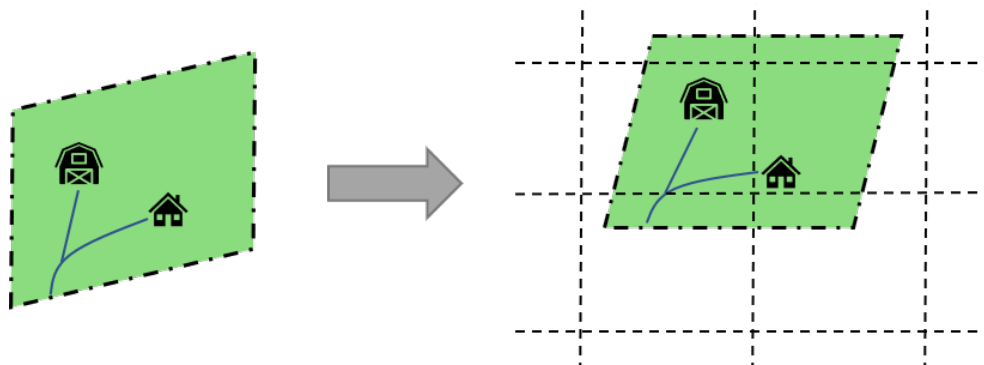
Generella riktlinjer för inpassning tas upp i [HMK – Geodetisk infrastruktur 2020](#).

Georeferering med RTK-metodik

RTK-mätning är ofta en lämplig mätmetod för att georeferera tidigare inmätta detaljpunkter eller andra geodata i SWEREF 99. Ett typiskt exempel är äldre 1000/1000-system för fastighetsbildning som behöver kvalitetsförbättras för samhällsbyggnadsändamål. Stom- och detaljpunkterna har i detta fall bra lokal lägesosäkerhet med sämre absolut lägesosäkerhet (i SWEREF 99).

Istället för att mäta in alla detaljer på nytt utnyttjas den redan goda interna geometrin i området genom att välja ut och mäta in strategiskt placerade passpunkter – t.ex. befintliga stompunkter som omger det område som ska transformeras. Inmätningen sker lämpligen med överbestämd RTK-metodik för att inpassningstransformationen ska bli så bra som möjligt. Denna tillämpning kan därmed ses som en sorts komplettering av utgångspunkter, se [HMK – Stommätning 2020](#), avsnitt 3.2.5.

Figur 4.3.3.b. Exempel på georeferering. Här utförs en inpassningstransformation från ett fristående referenssystem till ett väldefinierat referenssystem (t.ex. SWEREF 99) genom inmätning av utvalda stompunkter i det lokala nätet.



Lokal inpassning i plan

Lokal inpassning kan vara aktuell när de RTK-mätta detaljpunkterna förväntas avvika i förhållande till de stompunkter eller objekt som utnyttjas för kontroll. Detta kan exempelvis gälla vid detaljmätning i lokala (ej anslutna) referensnät eller i lokalt inhomogena referenssystem där restfelsmodell saknas.

Lämplig 2D-transformation, med eller utan skalfaktor, definieras genom att mäta in passpunkter med befintliga koordinater i det

referenssystem som detaljmätningen ska redovisas i. Till skillnad från i exemplet ovan (georeferering med RTK-metodik) kommer alla ny-mätningarna istället att tillhöra *från-systemet*.

Den lokala inpassningstransformationen kan medföra att spänningar uppstår mellan de nyinmätta detaljerna och de befintliga punkterna. Vid mätning med enkelstations-RTK kan ett bättre alternativ vara att definiera lokala koordinater för en befintlig stompunkt direkt i referensmottagaren, dvs. undvika en inpassningstransformation.

Lokal höjdtranslation

Vid höga kvalitetskrav i höjddled kan det vara önskvärt att korrigera för eventuella systematiska avvikelser mellan RTK-mätningar och befintliga höjdfixar i uppdragsområdet. Sådana avvikelser kan förekomma även när bästa tillgängliga geoidmodell används. I många fall är det dessutom svårt att avgöra om avvikelsen beror på osäkerhet i RTK-mätningen, osäkerhet i geoidmodellen eller osäkerhet i stomnätet.

Om tillräckligt många höjdfixar mäts in med noggrann RTK-metodik kan avvikelsen korrigeras med en translation i höjd, även kallat höjdskiift. Alternativt utförs (kompletterande) avvägning av noggrant utvalda och RTK-inmätta kontrollpunkter.

Höjdskiiftet skattas som medeltalet av höjdvavikelserna på kontrollpunkterna och kan sedan tillämpas på den fortsatta detaljmätningen. Detta förutsätter dock att eventuella avvikelser kan betraktas som homogena inom uppdragsområdet. Om så inte är fallet kan det vara nödvändigt att bestämma flera separata höjdskiift, t.ex. när höjdfixarna härstammar från olika avvägningar/nätutjämnningar.

Vid mer omfattande mätuppdrag bestäms skiftet med minst två oberoende serier av kontrollmätningar, utförda vid olika tillfällen. Se exempel i [HMK - Geodatakvalitet 2017](#), Bilaga A.4, med rubriken "Kontroll av geoidmodell" (egentligen bestämning/kontroll av höjdskiift).

5 Referenser/Läs mer

5.1 Referenser i löptext

- [1] JCGM (2008): [JCGM 100:2008](#), *Evaluation of measurement data – Guide to the expression of uncertainty in measurement*, Working Group 1 of the Joint Committee for Guides in Metrology (JCGM/WG 1).
- [2] Lantmäteriet (2018): [Specifikationer och mättningsanvisningar](#), *Mättningsanvisningar - Geometrisk representation vid utbyte*, version 3.2. Lantmäteriet, Sveriges Kommuner och Landsting.
- [3] Janssen V & Haasdyk J (2011): [Assessment of Network RTK Performance using CORSnet-NSW](#). IGNSS Symposium 15-17 November 2011, University of New South Wales, Sydney, NSW, Australien.
- [4] Jämtnäs L, Sunna J, Emardson R, Jonsson B (2010): [Quality Assessment of Network-RTK in the SWEPOS™ Network of Permanent GNSS Stations](#). XXIV FIG International Congress, 11-16 April 2010. Proceedings, TS 4C, FIG, Sydney, Australien
- [5] ISO (2015): [ISO 17123-8:2015 – Optics and optical instruments – Field procedures for testing geodetic and surveying instruments – Part 8: GNSS field measurement systems in real-time kinematic \(RTK\)](#). ISO, Geneve, Schweiz.
- [6] Kjörsvik N (2002): [Assessing the Multi-Base Station GPS Solutions](#). XXII FIG International Congress, 19-26 April 2002. Proceedings, TS 5.6, FIG, Washington D.C., USA.
- [7] Jansson P & Persson C-G (2013): [The effect of correlation on uncertainty estimates – with GPS examples](#). Journal of Geodetic Science 3(2) – Sep 1, 2013 – 111-120 - DOI: 10.2478/jogs-2013-0016
- [8] Jansson P & Lundgren Nilsson L (2018): [A Comparison of Different Methods Using GNSS RTK to Establish Control Points in Cadastral Surveying](#). Report, KTH (Division of Geodesy and Satellite Positioning), Stockholm.
- [9] Vium Andersson J (2012): [Metodbeskrivning RUFRIIS](#), Dokumentbeteckning: 2012:210, Trafikverket.
- [10] 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, SP, Borås.

- [11] Persson, C-G (2018): *Mät- och lägesosäkerhet – en lathund*, Teknisk rapport [HMK-TR 2018:1](#), Lantmäteriet, Gävle.
- [12] SIS (2016): *Byggmätning – Geodetisk mätning, beräkning och redovisning av byggnadsverk och infrastruktur*, Teknisk specifikation, SIS-TS 21143:2016, Swedish Standards Institute.
- [13] Engberg, L E & Persson, C-G (2010): God mätsed eller ”Hur man utnyttjar tidigare generationers samlade erfarenheter”, SKMF:s tidskrift SINUS, 2010:1.

5.2 Lästips

Följande två läroböcker behandlar geodetisk mätningsteknik:

- Lantmäteriet, LU, KTH och HiG (2013): [Geodetisk och fotogrammetrisk mättnings- och beräkningsteknik](#).
- Harrie, L (2013): *Geografisk informationsbehandling – teori, metoder och tillämpningar*, 6:e upplagan, Studentlitteratur AB.

Bilaga A: Krav och rekommendationer i handboken

Bilaga A kan användas som en checklista eller som ett stöd i en uppdragsdialog mellan beställaren och utföraren. Bilagan innehåller två avsnitt:

- [Bilaga A.1](#) är en sammanställning av samtliga numrerade krav och rekommendationer för utförande, dvs. alla röd- respektive blåastrerade rutor i handboken.
- [Bilaga A.2](#) innehåller *grundutförande* för "HMK - GNSS-baserad detaljmätning" - en lista med hänvisningar till samtliga numrerade krav i handboken. Grundutförandet motsvarar en miniminivå för vad som i HMK anses förenligt med fackmannamässigt utförande.

Grundutförandet i [Bilaga A.2](#) är ett lämpligt "gränssnitt" om beställaren och utföraren behöver enas om hur arbetsprocessen ska se ut för att uppdragskraven ska kunna uppfyllas. Beställaren kan föreslå justering av grundutförandet, t.ex. genom att upphöja vissa rekommendationer till krav eller vice versa. Utföraren har å sin sida möjlighet att föreslå avsteg från grundkraven, och har då ansvaret att redovisa/dokumentera för beställaren varför detta är önskvärt eller nödvändigt. I [HMK - Kravställning vid geodetisk mätning 2017](#) (med senaste aktualitetsbeskrivning) finns exempel på hur ett grundutförande kan justeras. Handboken ger också exempel på hur en teknisk specifikation kan utformas av en beställare.

Observera att all användning av HMK bygger på frivillig överenskommelse mellan avtalsparter eller implementering i en organisation. För hänvisningsregler, se [HMK - Introduktion 2017](#), avsnitt 1.7.

A.1 Krav och rekommendationer

3 Planering inför detaljmätning

KRAV

- a) Planeringen av ett detaljmätningssuppdrag ska utgå från specificerade krav.

REKOMMENDATION

- b) Ansvaret för detaljmätningssuppdraget bör ligga hos, eller stämmas av med, en person med grundläggande mätningsteknisk färdighet.
- c) Kontroller och dokumentation bör anpassas till uppdragets komplexitet, omfattning och kvalitetskrav.

3.1 Mätninginstruktioner

KRAV

- a) Objektgeometrier och punktkodning ska vara specificerade innan detaljmätning inleds.
- b) Detaljeringsnivå eller skala bör specificeras om flera objektgeometrier är möjliga.

3.2 Den lokala mätmiljön

REKOMMENDATION

- a) Den lokala mätmiljön bör rekognoseras inför eller i samband med detaljmätningen.
- b) Rekognoseringen bör omfatta sikthinder, reflekterande ytor och andra faktorer som kan störa mottagningen av GNSS-signaler.

3.3 Satellitförhållanden

KRAV

- a) En övre gräns för DOP-tal ska tillämpas och redovisas.
- b) En undre gräns för satellitelevation ska tillämpas och redovisas.
- c) Detaljmätningen ska om möjligt planeras till en tidpunkt med god satellitgeometri.

REKOMMENDATION

- d) Fler satellitsystem bör utnyttjas för att förbättra satellitgeometrin i svåra mätmiljöer.

3.4 Atmosfärs- och väderförhållanden

REKOMMENDATION

- a) Atmosfärsförhållandena bör bedömas inför eller i samband med detaljmätningen.
- b) Redovisningen av atmosfärsförhållandena bör inkludera uppgift om informationskälla och aktuell tidpunkt

3.5 Användning av geodetisk infrastruktur

REKOMMENDATION

- a) Tillgången till aktiva och passiva referensnät bör klargöras inför detaljmätningen.

3.5.1 Vid mätning med nätverks-RTK

KRAV

- a) Den RTK-tjänst som används ska redovisas i produktionsdokumentationen.

REKOMMENDATION

- b) Innan RTK-tjänst används bör ungefärlig förtätningsgrad och avstånd till närmaste referensstation dokumenteras.
- c) Innan RTK-tjänst används bör aktuell driftsinformation hämtas via tjänsteleverantören.
- d) Innan RTK-tjänst används bör mobiltäckningen kontrolleras i arbetsområdet.
- e) Innan RTK-tjänst används bör möjligheten att efterberäkna RTK-data undersökas.

3.5.2 Vid mätning med enkelstations-RTK

KRAV

- a) Om egen referensstation inte etableras på stompunkt ska tillfällig markering utföras.
- b) Centrering och horisontering av egen referensstation ska ske med stativ, trefot och optiskt lod.
- c) Referensstationens antennhöjd ska mätas före och efter genomförd detaljmätning.

REKOMMENDATION

- d) Egen referensstation bör etableras på, eller anslutas mot, närliggande stompunkt med för ändamålet tillräcklig kvalitet.

- e) Referensstationens GNSS-antenn bör placeras med fri sikt mot satelliter över 10-15 graders elevation.
- f) Referensstationens GNSS-antenn bör placeras eller monteras på stabilt underlag.
- g) Vid fast etablering bör monitorering eller kontrollmätning ske fortlöpande under uppdragstiden.

3.5.3 Kontrollpunkter för GNSS-mätning

KRAV

- a) Kontrollpunkter som används i samband med detaljmätningen ska vara väldefinierade och lämpade för GNSS-mätning.
- b) Kontrollpunkternas lägesosäkerhet ska beaktas.

REKOMMENDATION

- c) Lämpliga kontrollpunkter bör identifieras/etableras i eller nära uppdragsområdet.

3.6 Mätutrustning

KRAV

- a) De GNSS-mottagare som används vid detaljmätning ska vara specificerade för RTK-mätning.
- b) De GNSS-mottagare som används vid detaljmätning ska redovisas med serienummer eller motsvarande.

REKOMMENDATION

- c) Roverns uppdateringsfrekvens bör vara ca 1 Hz.
- d) Roverns minneskapacitet och strömförsörjning bör anpassas till den planerade mätningen.

3.6.1 Användning av antennmodeller

KRAV

- a) Korrekta antenn typer ska anges och redovisas för både referens- och rovermottagare.
- b) Vid användning av RTK-tjänst ska tjänsteleverantörens riktlinjer för antennmodeller följas.

REKOMMENDATION

- c) Absoluta antennmodeller bör användas vid mätning med enkelstations-RTK.

3.6.2 Inställningar för datafångst och datafiltrering

KRAV

- a) Vid lägesbestämning i plan ska lämplig kartprojektion definieras, tillämpas och redovisas.
- b) Vid lägesbestämning i höjd ska lämplig geoidmodell definieras, tillämpas och redovisas.
- c) De gränsvärden som används för datafiltrering och egenkontroller ska redovisas.

REKOMMENDATION

- d) Rovern bör konfigureras för vanliga toleransbaserade egenkontroller, t.ex. mätning på kontrollpunkt eller upprepad mätning.
- e) Ändringar av roverinställningar bör utföras med försiktighet och enligt tillverkarens rekommendationer.

3.6.3 Instrumentservice och funktionskontroll

KRAV

- a) Rovern och övrig mätutrustning ska underhållas enligt tillverkarens rekommendationer.
- b) Innan detaljmätning påbörjas ska utföraren verifiera att rovern är i funktionsdugligt skick och att alla inställningar är korrekta.

REKOMMENDATION

- c) Funktionskontroll bör ske med GNSS-antennen fast monterad eller uppställd på stativ.

3.6.4 Övrig mätutrustning

KRAV

- a) Tillbehör som används för centrerings, lodning och höjdbestämning ska hållas i gott skick och kontrolleras regelbundet.

3.7 Förväntad mätosäkerhet

KRAV

- a) En preliminär bedömning ska göras av vilken mätosäkerhet som kan förväntas vid detaljmätningen.

4 Genomförande av detaljmätning

4.1 Innan detaljmätningen inleds

4.1.1 Centrering och höjdbestämmning

KRAV

- a) Stativ eller lodstångsstöd ska användas när centreringsosäkerheten utgör en signifikant del av den totala mätosäkerheten.
- b) Om stativ och trefot används ska antennhöjden bestämmas före och efter mätning.
- c) Antenntyp och antennhöjd ska anges/kontrolleras i GNSS-mottagaren innan detaljmätningen påbörjas.
- d) Vid excentrisk punktbestämning ska alla mått som krävs för entydig lägesbestämning dokumenteras.

REKOMMENDATION

- e) Automatisk lutningskompensation bör endast användas när annat centreringsstöd inte finns tillgängligt.
- f) Mark- och väderförhållanden som kan påverka centrering och antennhöjdsbestämning bör beaktas.

4.1.2 Anslutning och initialisering

KRAV

- a) Detaljmätningen ska ske med fixlösning, antingen genom initialisering i realtid eller via efterberäkning.

REKOMMENDATION

- b) Eventuella problem vid initialiseringen bör dokumenteras.
- c) Vid efterberäkning bör tidpunkt och ungefärlig roverposition noteras för att underlätta beställning av virtuell RINEX.

4.2 Mätmetodik

4.2.1 Registrering och medeltalsbildning

KRAV

- a) Inmätning med RTK ska utföras statistiskt eller som "stop-and-go".
- b) Inmätning med RTK ska baseras på minst 5 medeltalsbildade 3D-positioner.
- c) Inmätning med RTK ska inkludera tidsstämpel.

4.2.2 Upprepad mätning med tidsseparation

KRAV

- a) Upprepade mätningar ska endast utföras på väldefinierade detaljer/punkter.
- b) Upprepade mätningar ska ske med tillräcklig tidsseparation och med ny fixlösning.
- c) Upprepade mätningar ska kontrolleras mot tolerans innan mätningarna medeltalsbildas.

REKOMMENDATION

- d) Vid behov av god kontrollerbarhet i mätprocessen bör upprepade mätningar övervägas.
- e) Tidsseparationen vid detaljmätning i plan bör vara minst 5 minuter.
- f) Tidsseparationen vid detaljmätning i höjd bör vara minst 10 minuter.
- g) Tidsseparationen bör ökas när DOP-talet eller avståndet till närmaste referensstation ökar.

4.3 Egenkontroller vid detaljmätning

4.3.1 Toleransbaserade kontroller

KRAV

- a) Toleranser för egenkontroll ska definieras, tillämpas och redovisas.
- b) Om angiven tolerans överskrids ska åtgärden redovisas.

REKOMMENDATION

- c) Toleranser bör definieras utifrån den förväntade mätosäkerheten.

4.3.2 Faktorer att beakta under RTK-mätning

REKOMMENDATION

- a) Under pågående detaljmätning bör förändringar i de yttre förhållanden samt information från rovern beaktas.
- b) Problem/avvikelse som signifikant kan påverka mätresultatet bör dokumenteras.

4.4 Exempel på tillämpningar

4.4.1 Inmätning med varierande krav på lägesosäkerhet

REKOMMENDATION

- a) Rovern bör vara konfigurerad för kontroller med olika toleransmått, baserat på de olika krav på lägesosäkerhet som är aktuella för uppdraget.
- b) Detaljerna bör mätas in i samma inbördes ordning för att få god tidsseparation mellan mätningarna.

4.4.2 Utsättningsmetodik

KRAV

- a) Underlaget för utsättningen ska kontrolleras och verifieras innan mätningen påbörjas.
- b) Kontrollinmätning ska utföras för att verifiera utsättningens kvalitet.

REKOMMENDATION

- c) Stomnätets/primärnätets kvalitet bör utvärderas före utsättning.
- d) Utsättningen bör planeras så att detaljpunkter med krav på låg lägesosäkerhet kan sättas ut från samma fysiska och/eller virtuella referensstation.
- e) Den mätmetod som används vid inmätning/kontroll bör ha en standardosäkerhet på högst en tredjedel av utsättningens standardosäkerhet.

4.4.3 Etablering av totalstation med RTK

KRAV

- a) Vid RTK-mätning av bakåtojekt för fri stationsetablering ska korrekt höjdoffset anges mellan GNSS-antennen och prisma.
- b) Vid RTK-mätning av bakåtojekt för fri stationsetablering ska överbestämd RTK-metodik användas.
- c) Vid RTK-mätning av bakåtojekt för fri stationsetablering ska stödben eller stativ användas.

REKOMMENDATION

- d) Vid RTK-mätning av bakåtojekt för fri stationsetablering bör god mätmiljö för GNSS beaktas vid placeringen av bakåtojekten.
- e) Vid RTK-mätning av bakåtojekt för fri stationsetablering bör bakåtojekten markeras temporärt för att möjliggöra upprepad mätning.

4.4.4 Inpassningstransformationer

KRAV

- a) Det tänkta giltighetsområdet för inpassningen ska omslutas av passpunkter.
- b) Passpunkterna ska mätas in med överbestämd RTK-metodik.

REKOMMENDATION

- c) Passpunkterna bör vara jämnt fördelade inom giltighetsområdet.
- d) Inpassning i plan bör utföras med en unitär transformation eller en 2D-Helmerttransformation.
- e) Inpassning i höjd bör utföras genom att bestämma ett eller flera höjdsnitt.

A.2 Grundutförande

Krav 3 a i HMK - GNSS-baserad detaljmätning 2020 gäller

Krav 3.1 a-b i HMK - GNSS-baserad detaljmätning 2020 gäller

Krav 3.3 a-c i HMK - GNSS-baserad detaljmätning 2020 gäller

Krav 3.5.1 a i HMK - GNSS-baserad detaljmätning 2020 gäller

Krav 3.5.2 a-c i HMK - GNSS-baserad detaljmätning 2020 gäller

Krav 3.5.3 a-b i HMK - GNSS-baserad detaljmätning 2020 gäller

Krav 3.6 a-b i HMK - GNSS-baserad detaljmätning 2020 gäller

Krav 3.6.1 a-b i HMK - GNSS-baserad detaljmätning 2020 gäller

Krav 3.6.2 a-c i HMK - GNSS-baserad detaljmätning 2020 gäller

Krav 3.6.3 a-b i HMK - GNSS-baserad detaljmätning 2020 gäller

Krav 3.6.4 a i HMK - GNSS-baserad detaljmätning 2020 gäller

Krav 3.7 a i HMK - GNSS-baserad detaljmätning 2020 gäller

Krav 4.1.1 a-d i HMK - GNSS-baserad detaljmätning 2020 gäller

Krav 4.1.2 a i HMK - GNSS-baserad detaljmätning 2020 gäller

Krav 4.2.1 a-c i HMK - GNSS-baserad detaljmätning 2020 gäller

Krav 4.2.2 a-c i HMK - GNSS-baserad detaljmätning 2020 gäller

Krav 4.3.1 a-b i HMK - GNSS-baserad detaljmätning 2020 gäller

Krav 4.4.2 a-b i HMK - GNSS-baserad detaljmätning 2020 gäller

Krav 4.4.3 a-c i HMK - GNSS-baserad detaljmätning 2020 gäller

Krav 4.4.4 a-b i HMK - GNSS-baserad detaljmätning 2020 gäller

Bilaga B: Uppdragsdokumentation

Dokumentation av arbetsprocessen är en förutsättning för spårbarhet och en samlad kvalitetsbedömning av produktionsresultatet. Denna bilaga ger exempel på dokumentation som **kan** ingå i ett detaljmätningssupdrag. Den bör ses som en "bruttolista" snarare än en strikt rekommendation.

Bilagan är uppdelad i avsnitten B.1 och B.2 för att enklare kunna relatera till beskrivningarna i kapitel 3 respektive 4. Dessa två delar kan dock redovisas "integrerat" såvida inte en särskild planeringsrapport krävs, t.ex. för fastställelse innan detaljmätningen påbörjas.

Typisk uppdragsdokumentation består av en sammanfattande rapport (i PDF/A-format om inte annat anges) som levereras tillsammans med digitala filer i specificerat format och mappstruktur. Innehållet i den faktiska leveransen anpassas till beställarens önskemål och övriga förutsättningar för uppdraget (omfattning, komplexitet m.m.). Krav på uppdragsdokumentation, leveransformat m.m. kan formuleras i en teknisk specifikation, se exempel i [HMK- Kravställning vid geodetisk mätning 2017](#) (med aktualitetsbeskrivning från 2020).

Övrig arbetsdokumentation, utöver leverans, utförs fackmannamässigt och enligt "god mätsed" - se [Bilaga E](#).

B.1 Planering

Av planering och förberedelser inför ett detaljmätningssupdrag kan följande redovisas (se även [Kapitel 3](#)):

- a) Syftet med detaljmätningssupdraget och allmän information om tidsramar och förutsättningar som påverkar planering, genomförande och leverans.
- b) Uppdragsorganisation, dvs. beställare och utförare (kvalitetsansvarig, underleverantörer etc. inkl. kontaktuppgifter). Redovisning av behörighets- eller kompetenskrav för olika delmoment.
- c) Information om eventuella avvikelser i planeringen, t.ex.
 - från den tekniska specifikationen
 - från grundutförandet (se Bilaga A.2) eller från andra uppdragskrav
 - motiv för dessa avvikelser.
- d) Utgångsmaterial/underlag för uppdraget - via beställaren eller kompletterad - t.ex.
 - områdesavgränsningar
 - koordinatlistor

- mättningsinstruktioner
 - formatmallar
 - objektbibliotek
 - andra uppgifter från stornätsförvaltare, tjänsteleverantörer m.fl.
 - egna tekniska undersökningar.
- e) Skiss/karta (i PDF/A-format om inte annat anges) över detaljmättningsområdet, med t.ex.
- områdesavgränsning
 - utgångs- och kontrollpunkter med en bedömning av tillgänglighet/kvalitet
 - vid kombinerad mätning: föreslagna lägen för instrumentuppställningar, stationsöverlapp m.m., se [HMK - Terrester detaljmätning 2020](#).
- f) Beskrivningar/instruktioner för detaljmätningen, t.ex. objektgeometrier och punktkodning.
- g) Underlag för bedömning av den lokala mätmiljön, t.ex.
- rekognoserade riskfaktorer och lämplighet för GNSS-mätning i olika delar av detaljmättningsområdet
 - så kallade "miljökategorier", som kan redovisas yttäckande eller för enskilda objekt.
- h) Satellitförhållanden under relevant tidsintervall, t.ex.
- antal satelliter per system, DOP-tal, satellitbanor, m.m.
 - sikthinder som kan analyseras med stöd av planeringsvektyg.
- i) Tillgänglig geodetisk infrastruktur, t.ex.
- referenssystem i plan och höjd och eventuella transformationssamband
 - aktiva/passiva referensnät, t.ex. RTK-tjänster, närliggande fasta referensstationer, stompunkter eller kontrollpunkter
 - relevanta uppgifter om tillgänglighet, koordinater och kvalitet.
- j) Förtätning/renovering av stornät dokumenteras enligt riktlinjerna i [HMK - Stommätning 2020](#), Bilaga B. Komplettering av utgångspunkter som inte utförs som stommätning redovisas på ett sätt som möjliggör kvalitetsbedömning, t.ex.
- skriftlig redogörelse för kompletteringen
 - mätmetod

- referenssystem i plan och höjd
 - markering och punktdokumentation.
- k) Etableringsdokumentation för referensstationen - främst om den ska vara "fast" placerad över längre tid - t.ex.
- ritningar/foto av montering eller uppställning
 - förväntad mätosäkerhet och kommunikationstäckning för olika placeringsalternativ
 - stationsprotokoll med redovisade mått och kontroller av centrerings och antennhöjder
 - mottagarkonfigurering
 - eventuell monitorering under mättiden.
- l) Mätutrustning som används i uppdraget, t.ex.
- fabrikat, modell, serienummer
 - serviceprotokoll, kalibreringscertifikat
 - beskrivning av rutiner för kontroll/justeringar av mätinstrument och tillbehör under uppdragstiden
 - genomförda funktionskontroller.
- m) Underlag för bedömning av atmosfärsförhållanden, t.ex.
- prognoser eller faktiska observationsdata, med uppgift om informationskälla och vilken tidpunkt som prognosen/observationsdata avser
 - fältanteckningar från mättillfället.
- n) Underlag för bedömning av den förväntade mätosäkerheten, t.ex.
- specifikationer för GNSS-mottagare
 - schablonvärden, med uppgift om informationskälla
 - testmätningar, inklusive metodbeskrivning.
- o) Övrig information om planering/förberedelser som anges i den tekniska specifikationen.

B.2 Genomförande och resultat

Från genomförandet av detaljmätningen och produktionsresultat kan t.ex. följande redovisas (se även [Kapitel 4](#)):

- p) Fältanteckningar, t.ex.
- datum, tidpunkt
 - väderförhållanden
 - instrumentuppställningar
 - foton.

- q) Använda referenssystem och modeller, t.ex.
 - kartprojektion (zon/projektionsparametrar)
 - geoidmodell, inklusive beteckning/källa
 - fördefinierade transformationssamband
 - restfelsmodell.
- r) Använda mätprofiler/konfigurationer.
- s) Använda utgångspunkter/RTK-tjänster, t.ex.
 - tjänsteleverantör
 - källa för referensdata (mountpoint)
 - namn/ID för utgångspunkt/VRS (ev. i mätdata).
- t) Tillämpad mätmetodik, t.ex.
 - om/hur överbestämning, tidsseparation m.m. har utförts
 - kombinerad mätning (se även HMK – Terrester detaljmätning 2020, Bilaga B).
- u) Inpassningar genomförda i fält
 - namn, punkt-ID för passpunkter
 - transformationsparametrar
 - viktsenhetens standardosäkerhet, förbättringar.
- v) Inmätta detaljpunkter (i ASCII-format om inte annat anges) med koordinater, höjder och annan attributdata, t.ex.
 - namn/punkt-ID
 - punktkod (objekttyp)
 - tid/datum för inmätning
 - 3D-koordinater (XYZ/LLE)
 - kartografiska koordinater (N, E, Höjd)
 - geoidhöjd + geoidmodell
 - antennhöjd
 - antenntyp
 - antal registrerade positioner
 - använda satellitsystem
 - antal satelliter (ev. per satellitsystem)
 - DOP-tal
 - typ av lösning (fixlösning/flyt/autonom)
 - referensstation (ID, baslinjelängd)
 - kvalitetsindikator 1D/2D/3D ("CQ", RMS-värde etc.)
 - mountpoint
 - automatisk lutningskompensation (ja/nej).

- w) Övriga detaljpunkter:
- utsatta punkter
 - punkter bestämda via referenslinjer, båg- och linjeskärningar etc.
 - excentriska punkter.
- x) Utförda toleransbaserade kontroller:
- namn/punkt-ID
 - punktkod (objekttyp)
 - tillämpade toleranser, baserade på förväntad mätosäkerhet och skattad lägesosäkerhet (för kontrollpunkter).
- y) Redovisning av efterberäkningar/efterbearbetning, t.ex.
- detaljpunkter bestämda med virtuell RINEX
 - efterberäknade/uppdaterade fria stationer vid kombinerad mätning
 - inpassningstransformationer
 - gränsvärden/kriterier vid ev. datafiltrering i efterhand
 - övriga analyser, t.ex. kvalitetskattning av detaljmätningen (se [Bilaga C.2](#))
 - använda programvaror, inkl. hänvisning till manual om detta behövs som förklaring till de kvalitetsmått som ingår i resultatredovisningen.
- z) Särskilda överväganden, t.ex.
- avvikelser från teknisk specifikation och planering
 - åtgärder p.g.a. problem eller avvikelser under mätningen eller efterbearbetningen.
- å) Beskrivning av levererade digitala data:
- lagringsmedium
 - mappstruktur
 - filnamn, dataformat.
- ä) Information om arkiverade data, t.ex.
- rådata från detaljmätning
 - rådata från stommätning
 - virtuell RINEX.
- ö) Övriga instruktioner för genomförande och resultatredovisning enligt den tekniska specifikationen.

Bilaga C: Leveranskontroll

C.1 Komplet leverans

a) Produktionsdokumentation

Produktionsdokumentationen granskas för att verifiera:

- att dokumentationens *omfattning* och utformning – samt uppnådda resultat – överensstämmer med angivna krav och den tekniska specifikationen
- eventuella avvikelser.

b) Filer

Filer/material granskas för att verifiera att:

- alla filer i filförteckningen är levererade
- alla filer har korrekt filformat och filstorlek
- alla filer har korrekt namnsättning
- alla filtyper är öppningsbara.

c) Metadata

Eventuella filer med *metadata* kontrolleras så att de är kompletta och korrekt ifyllda.

C.2 Produkt

Läs mer i [HMK - Geodatakvalitet 2017](#), avsnitt 2.7.

Beställaren avgör vem som utför kontrollen: i beställaren egen regi, som ett tilläggsuppdrag till leverantören eller som ett fristående tredjepartsuppdrag.

d) Lägesosäkerhet

Följande metoder avser sådan kontroll av lägesosäkerheten vid GNSS-baserad detaljmätning som kan utföras oberoende av instrumentfabrikat och mjukvaruleverantör.

d.1) Kontroll av lägesosäkerheten mot kända kontrollpunkter

Lägesosäkerheten kan kontrolleras med hjälp av kända *kontrollpunkter* i aktuellt referenssystem. De mäts in i samband med detaljmätningen och avvikelser från motsvarande kända koordinater/höjder analyseras. Det som studeras är

- avvikelser i enskilda punkter
- den genomsnittliga avvikelserna (*medelavvikelse*)
- den kvadratiska medelavvikelsen (*RMS*)

Kontrollpunkterna betraktas som felfria och ska vara jämnt fördelade över området. Stora avvikelser indikerar brister i detaljmätningen, men kan naturligtvis också bero på kvalitetsbrister i utgångspunkterna.

Detta kontrollförfarandet baseras på [HMK - Geodatakvalitet 2017](#), Bilaga A.2. Andra kontrollmetoder beskrivs i Bilagorna A.3-A.5 samt C.4 i samma dokument. Kontrollresultatet redovisas i produktionsdokumentationen, se [Bilaga B](#).

Följande storheter i plan (N , E) respektive höjd (H) tas fram:

- Avvikelsen i enskilda punkter beräknas som

$$\Delta N_i = N_{ctrl} - N_{detalj}; \quad \Delta E_i = E_{ctrl} - E_{detalj}; \quad \Delta H_i = H_{ctrl} - H_{detalj};$$

$$\Delta R_i = \sqrt{\Delta N_i^2 + \Delta E_i^2}$$

där Δ avser avvikelsen mellan känd och inmätt position; suffixet "ctrl" avser kontrollmätningen och "detalj" avser detaljmätningen. Stora Δ -värden indikerar *grova fel*.

- Medelavvikelsen i plan och höjd beräknas som:

$$\Delta \bar{N} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \Delta N_i; \quad \Delta \bar{E} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \Delta E_i; \quad \Delta \bar{H} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \Delta H_i \text{ (skift);}$$

$$\Delta \bar{R} = \sqrt{\Delta \bar{N}^2 + \Delta \bar{E}^2} \text{ (radiellt off-set)}$$

där n är antalet punkter.

Skift och off-set ska naturligtvis vara nära noll, annars kan *systematik* misstänkas.

- RMS-värdena är ett direkt mått på *mätosäkerheten* och beräknas enligt:

$$RMS_{plan} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \Delta N_i^2 + \sum_{i=1}^n \Delta E_i^2}{n}}; \quad RMS_{höjd} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \Delta H_i^2}{n}}$$

Lägesosäkerheten i 3D kan kontrolleras på motsvarande sätt, men vanligen genomförs analysen - som här - separat i plan och höjd.

Ovanstående storheter granskas för att verifiera att erhållen *lägesosäkerhet* överensstämmer med ställda krav:

- Enskilda avvikelser kontrolleras med formlerna

$$\Delta \bar{R}_i < 3 \cdot u_{plan} \quad \text{respektive} \quad |\Delta \bar{H}_i| < 3 \cdot u_{höjd}$$

där u -värdena är de *standardosäkerheter* beställaren har specificerat. Inga överskridanden accepteras.

- Medelavvikelserna kontrolleras på motsvarande sätt med formelerna:

$$\Delta\bar{R} \leq \frac{2 \cdot u_{plan}}{\sqrt{n}}; \quad |\Delta\bar{H}| \leq \frac{2 \cdot u_{höjd}}{\sqrt{n}}$$

där n är antalet kontrollpunkter för anslutningen.

- RMS-värdena kontrolleras med formlerna:

$$RMS_{plan} \leq u_{plan} \cdot (0,96 + n^{-0,4})$$

$$RMS_{höjd} \leq u_{höjd} \cdot (0,96 + n^{-0,4})$$

I [Tabell C.2](#) ges ett exempel på tillämpningen av ovanstående metod och ett förslag på hur redovisningen i [Bilaga B](#) kan utformas. För få kontrollpunkter ger inte särskilt effektiva kontroller av anslutningen. Fler jämförelser innebär hårdare krav men samtidigt säkrare bedömningar.

Tabell C.2. Kontroll av lägesosäkerheten vid GNSS-baserad detaljmätning med hjälp av kontrollpunkter med kända koordinater/höjder. Vita fält med blå text fylls i.

Kontroll av lägesosäkerhet		Avser:	Kontrollpunkter med kända koordinater/höjder	Antal (n) =	16
Standard-nivå:	3	Specificerade standardosäkerheter			
		Plan (u_{plan}) =	10 mm	Höjd ($u_{höjd}$) =	10 mm
Test:			Beräknade värden:		OK?
Typ av kontroll	Teststorhet	Erhållet	Tic	Tolerans	
Systematik, plan	$\Delta\bar{R} \leq \frac{2 \cdot u_{plan}}{\sqrt{n}}$	7,2 mm	>	5,0 mm	Nej
Systematik, höjd	$ \Delta\bar{H} \leq \frac{2 \cdot u_{höjd}}{\sqrt{n}}$	8,2 mm	>	5,0 mm	Nej
Grova fel, plan	antal $\Delta R_i > 3 \cdot u_{plan}$	0	>	30 mm	Ja
Grova fel, höjd	antal $ \Delta H_i > 3 \cdot u_{höjd}$	0	>	30 mm	Ja
Lägesosäkerhet, plan	$RMS_{plan} \leq u_{plan} \cdot (0,96 + n^{-0,4})$	10 mm	<	12,9 mm	Ja
Lägesosäkerhet, höjd	$RMS_{höjd} \leq u_{höjd} \cdot (0,96 + n^{-0,4})$	13 mm	>	12,9 mm	Gränsfall

Kommentar: Resultatet indikerar viss systematik, klarar testen av grova fel och ligger på gränsen vad gäller lägesosäkerhet. Det blir upp till beställaren att bedöma om resultatet kan godkännas. Inom GNSS-baserad detaljmätning är enbart HMK Standardnivå 3 aktuell, se [HMK - Introduktion 2017](#), avsnitt 2.

d.2) Kontroll av lägesosäkerheten genom upprepad mätning

På motsvarande sätt kan jämförelse göras mellan två *inmätningar* av en väldefinierad punkt – som inte behöver ha kända koordinater/höjder. I detta fall ska *toleranserna* i [Tabell C.2](#) multipliceras med $\sqrt{2}$ för att ta hänsyn till att det rör sig om differensen mellan två mätningar, med samma mätosäkerhet (ingen är ju felfri). Detta är en mer stringent tillämpning av egenkontroll än den som beskrivs i [Tabell 4.3.1](#).

Exempel: Under antagandet att den specificerade lägesosäkerheten – i plan och höjd, liksom i [Tabell C.2](#) – är 10 mm så erhålls följande toleranser för 16 kontrollpunkter:

- $5\sqrt{2} \approx 7$ mm (systematik)
- $30\sqrt{2} \approx 42$ mm (grova fel)
- $12,9\sqrt{2} \approx 18$ mm (lägesosäkerhet)

Detta betraktelsesätt kan också tillämpas om kontrollpunkterna i avsnitt d.1) inte är felfria, utan har en lägesosäkerhet jämförbar med detaljmätningens. Detta torde vara mer sannolikt än felfria utgångspunkter!

e) Fullständighet

Fullständighet avser antalet faktiska förekomster i en datamängd i förhållande till de som borde ha varit med, dvs. brist (för få) eller övertalighet (för många)

- Genomför visuell kontroll av detaljmätningens område för att se om samtliga detaljer (enligt den tekniska specifikationen) har mätts in, och att inga oacceptabla glapp mellan olika stationer förekommer.

f) Tematisk osäkerhet

Tematisk osäkerhet avser riktigheten i objektklassificeringen, t.ex. att staket är staket, att häck är häck osv.

- Kontrollera att klassificeringen och kodningen av inmätta objekt är korrekt.

f) Logisk konsistens

Logisk konsistens avser hur väl en datamängds logiska regler är uppfyllda – exempelvis att ytor är slutna, att eventuell referenspunkt ligger inom ytan, att olika ytor inte överlappar varandra och liknande topologiska principer.

- Kontrollera att kraven på datamängden topologi är uppfyllda.

Vid större detaljmätningssupdrag sker kontrollen genom stickprovsundersökning. Detta beskrivs i [HMK - Geodatakvalitet 2017](#), Bilaga A.6, som bl.a. innehåller anvisningar för hur stickprovsstorleken beräknas i förhållande till antalet faktiska förekomster av varje objekttyp i den aktuella datamängden.

I Bilaga C i [HMK - Geodatakvalitet 2017](#) finns ett tillämpningsexempel på en sådan undersökning och i Bilaga D i samma dokument beskrivs olika tänkbara kvalitetsmått, hämtade från ett norskt register.

C.3 Fördjupad kontroll vid behov

Fördjupad kontroll bör göras om tidigare kontrollsteg har påvisat oklarheter eller eventuella brister. Sådana kontroller kan dock ställa särskilda krav på beställarens specialkompetens och tillgång till lämpliga programvaror. Om beställaren finner det lämpligt kan dessa kontroller överlåtas till utföraren.

Bilaga D: Mätosäkerhet i SWEPOS

I den här bilagan redovisas schablonmått på förväntad *mätosäkerhet* vid RTK-mätning i det *aktiva referensnätet SWEPOS*, dvs. med någon form av RTK-tjänst. De rikstäckande RTK-tjänsterna i Sverige baseras i dagsläget på data från ett gemensamt "skelett" av referensstationer i SWEPOS. Lokala skillnader kan dock förekomma där tjänsteleverantörerna har kompletterat med egna referensstationer. Mätning som utförs med olika tjänster kan därför medföra olika förväntad mätosäkerhet för samma geografiska läge.

D.1 Antaganden och förutsättningar

Den förväntade mätosäkerheten redovisas här som en funktion av *förtätningsgrad* och avstånd till närmaste faktiska referensstation (dvs. inte avståndet till en *virtuell referensstation*) och bygger på simuleringar enligt CLOSE-modellen [10]. I övrigt förutsätts följande:

- Schablonmåttens motsvarar förväntad *absolut lägesosäkerhet* i SWEREF 99, men lokal lägesosäkerhet kan antas vara av samma storleksordning.
- Den förväntade lägesosäkerheten i plan inkluderar inte centrerings.
- Den förväntade lägesosäkerheten i höjd avser höjd över *ellipsoiden*. För att beräkna förväntad lägesosäkerhet i RH 2000 tillkommer standardosäkerheten i geoidhöjderna.
- *Bärvoågsmätning* med korrekt heltalsfixerade *periodobekanta* förutsätts, liksom att varje koordinatkomponent i 3D är approximativt normalfördelad.
- Schablonmåttens bygger på beprövad erfarenhet och kunskap om osäkerhetskällorna (se [avsnitt 2.2](#)), samt nuvarande infrastruktur i form av satelliter och aktivt referensnät för GNSS-mätning. Vidare förutsätts ett fackmannasässigt handhavande av mätutrustningen.
- Osäkerhetskällorna och parametrarna förutsätts ge ett "normalt" bidrag till de redovisade mätosäkerheterna. I de situationer då bidraget kan antas vara större, t.ex. vid dålig satellitgeometri eller hög jonosfärsaktivitet, kan en mer robust mätmetodik krävas för att önskade kvalitetskrav ska uppnås.

D.2 Förtättningsgrader i aktivt referensnät

Förväntad mätosäkerhet vid mätning med nätverks-RTK är beroende av avstånden mellan referensstationerna i det aktiva referensnätet. Denna förtättningsgrad varierar vanligtvis från plats till plats och bör därför bedömas innan detaljmätning påbörjas.

SWEPOS-nätet kan översiktligt delas in i tre schablonmässiga förtättningsgrader [10]:

- **70 km-nät:** Den nationella infrastruktur för nätverks-RTK som byggdes upp genom att förtäta det ursprungliga SWEPOS-nätet av klass A-stationer med enklare klass B-stationer. Byggdes upp via regionala etableringsprojekt under åren 2002-2010. Typavståndet mellan referensstationerna är 70 km.
- **35 km-nät:** Stora delar av 70 km-nätet förtätades sedan i ytterligare ett steg. Förtätningen inleddes 2010, med syfte att öka och bredda användningen genom att möjliggöra tillämpningar med krav på lägre mätosäkerhet. Typavståndet mellan referensstationerna är 35 km.
- **10 km-nät:** Geografiskt begränsade områden, där mycket täta referensstationsnät har etablerats, främst för större bygg- och anläggningsprojekt med s.k. projektanpassade tjänster. Typavståndet mellan referensstationerna är 10 km.

Den aktuell förtättningsgraden i uppdragsområdet kan avgöras via information från de aktuella tjänsteleverantörerna. Om sådan information inte finns tillgänglig kan utföraren istället utgå från medelavståndet mellan de tre referensstationer som är närmast rovern, t.ex. med hjälp av kartstöd som det på www.swepos.se. För en given förtättningsgrad bör inte det beräknade medelavståndet överskrida typavståndet med mer än 20 %. Om detta kriterium inte uppfylls förutsätts ett glesare förtättningsgrad.

Exempel: Vid RTK-mätning i ett aktivt referensnät är avståndet mellan närliggande referensstationer 29 km, 42 km och 50 km. Medelavståndet mellan dessa är $121/3 \approx 40$ km. Eftersom 40 km "bara" överskrider typavståndet 35 km med ca 15 % så kan den aktuella förtättningsgraden betraktas som 35 km.

D.3 Schablonvärden på mätosäkerhet

D.3.1 Mätosäkerhet i 70 km-nät

Tabell A.2.3. Förväntad standardosäkerhet (i meter) vid mätning med nätverks-RTK i 70 km-nät utifrån avståndet till närmaste referensstation. Täckningsgraden i 2D och 1D är ca 63 % respektive 68 %.

	Avstånd <10 km	Avstånd 10-20 km	Avstånd 20-40 km
Planbestämning (2D)	0,012	0,015	0,018
Höjdbestämning (1D)	0,022	0,026	0,030

D.3.2 Mätosäkerhet i 35 km-nät

Tabell A.2.4. Förväntad standardosäkerhet (i meter) vid mätning med nätverks-RTK i 35 km-nät utifrån avståndet till närmaste referensstation. Täckningsgraden i 2D och 1D är ca 63 % respektive 68 %.

	Avstånd <5 km	Avstånd 5-10 km	Avstånd 10-20 km
Planbestämning (2D)	0,008	0,009	0,010
Höjdbestämning (1D)	0,014	0,016	0,018

D.3.3 Mätosäkerhet i 10 km-nät

Tabell A.2.5. Förväntad standardosäkerhet (i meter) vid mätning med nätverks-RTK i 10 km-nät utifrån avståndet till närmaste referensstation. Täckningsgraden i 2D och 1D är ca 63 % respektive 68 %.

	Avstånd <2 km	Avstånd 2-3 km	Avstånd 3-6 km
Planbestämning (2D)	0,005	0,006	0,007
Höjdbestämning (1D)	0,008	0,009	0,010

Bilaga E: God mätsed

God mätsed (Engberg & Persson, 2010, [13]) är inte knuten till någon viss mätmetod eller mätutrustning utan avser "sanningar" som är mer eller mindre allmängiltiga. (Smärre förändringar ha gjorts i förhållande till den angivna referensen.)

Information

- Mätningen ska ge såväl ett produktionsresultat som en deklARATION av mätosäkerheten. Båda delarna är lika viktiga och måste få ta tid.
- Ett mål är att eliminera de grova felen samt att reducera de systematiska effekterna och de slumpmässiga avvikelserna.
- Kontrollera: en mätning är ingen mätning! Överbestämningar görs i första hand för att hitta grova fel.
- A och O är ordning och reda, från början till slut. Det är svårt att i efterhand skapa ordning ur kaos.
- Dokumentera även för dig själv, du glömmet fortare än du tror. Märk upp de handlingar som ingår i uppdraget men städa successivt bort sådant som inte ska sparas. Skriv dagbok i mer omfattande projekt.
- En del i detta är spårbarhet. Det ska vara möjligt att gå bakåt i en hanteringskedja – vid flera transformationer i sekvens, om olika geoidmodeller har använts etc.
- Tillämpa beprövade och etablerade metoder. Därigenom utnyttjar du andras erfarenheter och andra förstår hur du har gjort. De kan då kontrollera ditt resultat – alternativt utnyttja det i sin tur – eftersom de kan bedöma dess användbarhet.
- Skaffa dig kunskap om den teknik, den utrustning och de metoder Du använder – dels för att kunna utföra mätningarna på rätt sätt, dels för att förstå varför när något går fel.
- I det ingår insikt om förekommande felkällor och de metoder som finns för att reducera deras inverkan på mätresultatet. Ingen kedja är starkare än sin svagaste länk.
- Sätt dig även in i den tillämpning varifrån beställningen av ditt mätuppdrag kommer så att du kan anpassa kvaliteten på utförandet. För låg mätosäkerhet är naturligtvis inte acceptabelt, men även "överkvalitet" bör normalt undvikas.

- Tänk efter före, dvs. planera processen i förväg. Mätuppdrag är till stor del ett logistikproblem och god planering ger vinster i såväl tid och pengar som kvalitet.
- Vårda din utrustning varsamt. Utför kontroller, justeringar och kalibreringar enligt tillverkarens anvisningar.