

HMK
- handbok i mät- och kartfrågor

Geodesi: GNSS-baserad detalj- mätning

2015



Förord

HMK-Geodesi 2015 består av fyra dokument som tillsammans utgör HMK-Geodesi, samt ett femte dokument som tillkommer vid 2016 års revidering.

HMK-Ge: GNSS har varit tillgängligt för öppen granskning under två remissperioder, i mars 2015 samt i december 2015. Beställd granskning har utförts av Anders Boberg (Tyréns) och Johan Vium Andersson (WSP). Dessutom har medarbetare på enheten för geodetisk infrastruktur (Lantmäteriet) på olika sätt bidragit med mätinsatser, analyser och granskning av dokumentet.

Aktuell version av *HMK-Ge: GNSS* är ett mer renodlat dokument för detaljmätning med RTK jämfört med den arbetsversion som publicerades på Lantmäteriets webbplats i juli 2015. De delar som rör statisk GNSS-mätning har flyttats till det nya geodesi-dokumentet HMK-Ge: Stom.

Under 2016 kommer dokumenten genomgå en revision i samband med att *HMK-Geodesi Teknisk specifikation och metodval* tas fram.

Gävle 2016-01-22

/Lars Jämtnäs

[Samlade förord](#)

Innehåll

1	Inledning	7
1.1	Om dokumentet	7
1.1.1	Ämnesavgränsningar	7
1.1.2	Avgränsning mot andra dokument och standarder	7
1.1.3	Begrepp och termer	8
1.2	Disposition	8
1.3	GNSS-baserad detaljmätning	9
1.3.1	Allmänt om detaljmätning	9
1.3.2	Positionsbestämning med RTK-teknik	9
1.3.3	Kvalitetsaspekter vid RTK-baserad detaljmätning	10
2	Uppdragsplanering och förberedelser	12
2.1	Översikt	12
2.2	Användning av geodetisk infrastruktur	13
2.2.1	Realisering av referenssystem vid RTK-mätning.....	13
2.2.2	Kontrollpunkter	13
2.3	Inför mätning med nätverks-RTK	14
2.3.1	Positioneringstjänster och korrektionsdata.....	14
2.3.2	Förtätningsgrad.....	15
2.3.3	Aktuell driftsinformation	15
2.3.4	Mätning i utkanten av referensnätet.....	15
2.3.5	Förväntad mätosäkerhet vid RTK-mätning.....	16
2.4	Inför mätning med enkelstations-RTK.....	16
2.4.1	Placeringsalternativ för lokal referensstation.....	17
2.4.2	Etablering av lokal referensstation.....	17
2.4.3	Anslutning till referenssystem.....	18
2.4.4	Förväntad mätosäkerhet vid mätning	18
2.5	Mätutrustning.....	19
2.5.1	Tillverkarens manual	19
2.5.2	RTK-roverns hårdvara och mjukvara	20
2.5.3	GNSS-antennerna och antennmodeller	20
2.5.4	Inställningar i RTK-roverns fältprogramvara.....	22
2.5.5	Inställningar av referenssystem och transformationer	24
2.5.6	Mätkonfigurationer och objekt-koder	25
2.5.7	Utrustning för centrering och horisontering	25
2.6	Kartläggning av lokal mätmiljö	26
2.6.1	Riskfaktorer vid RTK-mätning	26
2.6.2	Kategorisering av mätmiljö	27

2.6.3	Snö och vegetation.....	28
2.6.4	Planeringsunderlag för detaljmätning.....	29
2.7	Satellitplanering	29
2.7.1	Satellitgeometri	30
2.7.2	Användning av flera satellitsystem	30
2.7.3	Prediktionsverktyg	30
2.8	Atmosfärsförhållanden	31
2.8.1	Jonosfärens påverkan.....	32
2.8.2	Troposfärens påverkan	33
2.9	Verifiering av mätmetod.....	34
2.9.1	Funktionskontroll av mätinstrument.....	34
2.9.2	Förväntad mätosäkerhet	34
2.9.3	Fältundersökning av mätosäkerhet.....	35
3	Genomförande av detaljmätning	36
3.1	Allmänt om RTK-observationer.....	36
3.2	Innan detaljmätning inleds	37
3.2.1	Mätkonfiguration och mätunderlag.....	37
3.2.2	Mätobjekt	38
3.2.3	Antennhöjd och antenntyp.....	38
3.2.4	Centrering	39
3.2.5	Excentrisk mätning.....	39
3.2.6	Första position och överföring av korrektionsdata ...	39
3.2.7	Initialisering vid RTK-mätning.....	40
3.3	Inmätningsteknik.....	40
3.3.1	Sessionslängd	42
3.3.2	Mätning i flera sessioner	43
3.3.3	Tidsseparation	43
3.3.4	Ommätning av sessioner	44
3.3.5	Utförandeklasser	44
3.3.6	Loggning av rådata.....	45
3.4	Utsättningsmetodik	45
3.4.1	Grovutsättning	46
3.4.2	Finutsättning.....	46
3.4.3	Kontrollmätning.....	47
3.4.4	Särskilda rekommendationer vid krav på låg lokal lägesosäkerhet	47
3.5	Att beakta under RTK-mätning	48
3.5.1	Yttre faktorer och förhållanden	48
3.5.2	Information från GNSS-utrustningens programvara	49

3.5.3	Hantering av problem under mätning	51
3.6	Förstärkta mätrutiner	52
3.7	Behov av lokala transformationer.....	53
3.7.1	Lokal inpassning.....	53
3.7.2	Höjdsift.....	54
3.8	Efterberäkning av plan- och höjdlägen.....	54
4	Kontroller vid detaljmätning	57
4.1	Allmänt om egenkontroller och toleranser	57
4.2	RTK-mätning på kontrollpunkter.....	59
4.2.1	Toleranser vid mätning på GNSS-bestämd kontrollpunkt.....	60
4.2.2	Toleranser vid mätning på alternativbestämd kontrollpunkt.....	60
4.3	Upprepad mätning med tidsseparation	64
4.3.1	Kontroll genom återbesök	65
4.3.2	Flersessionsmätning	66
4.4	Kontroll med terrester mätning	68
5	Dokumentation av detaljmätning	70
5.1	Förutsättningar och genomförande.....	70
5.1.1	Mätutrustning.....	70
5.1.2	Geodetisk infrastruktur.....	70
5.1.3	Etablering av lokal referensstation.....	71
5.1.4	Planering och övriga förutsättningar.....	71
5.1.5	Genomförande av detaljmätning.....	72
5.2	Mätdata.....	72
5.2.1	Lägesangivelser av detaljer	73
5.2.2	Efterberäkning av plan- och höjdlägen	73
5.2.3	Metadata.....	74
5.3	Kontroller för kvalitetssäkring.....	74
5.3.1	Egenkontroller vid detaljmätning	74
5.3.2	Leveranskontroller.....	75
5.4	Krav vid leverans och redovisning.....	76
A	Utförandeklasser för nätverks-RTK.....	77
A.1	Mätsessioner	77
A.2	Gränsvärden för satellitgeometri.....	78
A.3	Gränsvärden för instrumentberäknade kvalitetstal.....	78
B	Förtätningsgrad för nätverks-RTK	80
C	Förväntade mätosäkerheter	82
C.1	Schablonskattningar av regional lägesosäkerhet	82

C.2	Schablonskattningar av mätosäkerhet för nätverks-RTK	83
C.2.1	Antaganden och förutsättningar	83
C.2.2	Plan- och höjdbestämning, 70 km	84
C.2.3	Plan- och höjdbestämning, 35 km	85
C.2.4	Plan- och höjdbestämning, 10 km	85

1 Inledning

1.1 Om dokumentet

1.1.1 Ämnesavgränsningar

HMK-Geodesi: GNSS-baserad detaljmätning, förkortat **HMK-Ge: GNSS**, innehåller råd och riktlinjer för lägesbestämning av detaljer med RTK-teknik, med följande avgränsningar:

- Dokumentet omfattar geodetiska tillämpningar motsvarande HMK-standardnivåer 2 och 3 (se [HMK-Introduktion](#), avsnitt 2, samt [HMK-Geodatakvalitet](#), avsnitt 2.6), dvs. inte tillämpningar där kodprecision är tillräcklig (> dm-nivå) eller tillämpningar med krav på mycket låg lägesosäkerhet (< cm-nivå). Dokumentet tar inte heller upp maskinguidning och andra branschspecifika tillämpningar med integrerad RTK-teknik.
- Fokus i dokumentet ligger i första hand på mätprocessen – inte på mätinstrument eller övrig teknisk utrusning. För sådan information hänvisas till manualer och tekniska specifikationer från respektive tillverkare eller leverantör.

1.1.2 Avgränsning mot andra dokument och standarder

- **HMK-Geodesi:** Delprojektet HMK-Geodesi omfattar följande dokument som finns på sidan [Aktuella HMK-dokument](#):

- HMK-Geodesi: Geodetisk infrastruktur (*HMK-Ge: Infra*)
- HMK-Geodesi: Stommätning (*HMK-Ge: Stom*)
- HMK-Geodesi: Terrester detaljmätning (*HMK-Ge: Terrester*)
- HMK-Geodesi: GNSS-baserad detaljmätning (*HMK-Ge: GNSS*)

GNSS-baserad metodik beskrivs framför allt i HMK-Ge: GNSS och i HMK-Ge: Stom. Eftersom vissa råd är gemensamma för all GNSS-mätning t.ex. avseende mätmiljö och mätinstrument, så innehåller HMK-Ge: Stom vissa hänvisningar till HMK-Ge: GNSS.

- **Lantmäteri rapporter:** HMK-Ge: GNSS innehåller "förvärvad kunskap" om GNSS- och RTK-mätning, dvs. sådant som delvis har redovisats i Lantmäteriets rapportserie eller i andra tekniska utredningar, exempelvis:

- Kortmanual för mätning med SWEPOS Nätverks-RTK-tjänst (LMV-rapport 2006:2)
- Checklista för nätverks-RTK (LMV-rapport 2010:2).
- Höjdmätning med GNSS (LMV-rapport 2010:4)

Läsare bör dock beakta att vissa råd och slutsatser i dessa dokument kan vara inaktuella, eller beskrivna på annat sätt i HMK-Ge: GNSS.

- **SIS-TS 21143:** *Byggmätning – Geodetisk mätning, beräkning och redovisning av byggnadsverk och infrastruktur.* De avsnitt där RTK-teknik tas upp (främst i kapitel 7, samt bilaga G) överlappas i viss utsträckning av HMK-Ge: GNSS. Pågående översyn av SIS-TS 21143 kommer dock att förtydliga avgränsning och relation till HMK-Geodesi. Enligt rådande filosofi bör HMK-Geodesi innehålla det "allmängiltiga" och lämna det "specifika" till andra (branschpassade) dokument. Hänvisningar till externa dokument begränsas därmed i HMK-Ge: GNSS.

1.1.3 Begrepp och termer

Terminologin i detta dokument följer i huvudsak *HMK-Ordlista* och i *SS 63 70 01: Satellitbaserad positionsbestämning – GPS – Terminologi*. I övriga fall ges definitioner eller alternativa förklaringar i de textavsnitt där begreppen förekommer.

1.2 Disposition

HMK-Ge: GNSS innehåller råd och riktlinjer för geodetisk lägesbestämning av punkter (eller objekt som kan reduceras till punkter) med produktionsanpassad bärvågsmätning, dvs. RTK. Dokumentet är strukturerat enligt följande:

- **Kapitel 1:** Kapitlet innehåller en kortfattad översikt av geodetisk detaljmätning och positionsbestämning med RTK.

Därefter är dispositionen i stor utsträckning "processbaserad" och beskriver momenten vid vanlig geodetisk detaljmätning:

- **Kapitel 2: Planering och förberedelser;** geodetisk infrastruktur, positioneringstjänster, etablering av lokal referensstation, mätutrustning, mätmiljö, satellitplanering, atmosfärsstörningar, funktionskontroll och mätosäkerhet.
- **Kapitel 3: Genomförande av detaljmätning;** tillämpade mätmetoder, observationsprinciper, faktorer att beakta under pågående mätning, förstärkt mätrutiner, samt efterberäkning av RTK.

- **Kapitel 4: Kontroller vid detaljmätning;** mätning på kontrollpunkter, flersessionsmätning och återbesök, kontroll av höjdsnitt, kontroll av närsamband, stickprovskontroller.
- **Kapitel 5: Dokumentation av detaljmätning;** förutsättningar och genomförande, mätdata, kontroller för kvalitetssäkring, leveranskrav.

Bilagorna innehåller schablonuppgifter och annat stödmaterial:

- **Bilaga A:** Utförandeklasser för detaljmätning med RTK
- **Bilaga B:** Förtättningsgrader för nätverks-RTK
- **Bilaga C:** Förväntade mät- och lägesosäkerheter

1.3 GNSS-baserad detaljmätning

1.3.1 Allmänt om detaljmätning

Detaljmätning innebär lägesbestämning av enskilda fysiska punkter eller objekt i ett givet referenssystem med hjälp av geodetiska mätmetoder, vanligtvis för samhällsbyggnad och kartläggning.

Detaljmätning omfattar både inmätning och utsättning – där kända punktlägen överförs till verkligheten. I många avseenden kan inmätning och utsättning betraktas som ekvivalenta när principer för detaljmätning beskrivs. En viktig skillnad är dock att utsättning *kräver* lägesbestämning i realtid.

I dagsläget utförs detaljmätning huvudsakligen med terrestra mätmetoder samt med produktionsanpassad bärvågs-mätning med GNSS, dvs. RTK. I detta dokument betraktas därför "GNSS-mätning" som synonymt med RTK-mätning när detaljmätning avses. I vilken utsträckning GNSS/RTK bör användas begränsas dock av fysiska förutsättningar (t.ex. sikthinder och punktåtkomst) och av kvalitetskrav med avseende på lägesosäkerhet och närsamband.

RTK-baserad detaljmätning utförs i normalfallet med en geodetisk GNSS-antenn monterad på en handhållen lodstång. Användning av stödben eller tvångscentrering på stativ ger lägre mätosäkerhet.

1.3.2 Positionsbestämning med RTK-teknik

RTK - *Real Time Kinematic* - är en bärvågsbaserad GNSS-teknik för relativ positionering med hjälp av en eller flera referensstationer. Korrekt utförd möjliggör RTK en relativ mätosäkerhet på centimeternivå i förhållande till närliggande referensstation(er).

Principen för RTK bygger på att minst två GNSS-antennor samtidigt tar emot signaler från GNSS-satelliter. En av dessa antenner placeras fortlöpande över de punkter som ska positionsbestämmas (rover), medan övriga antenner befinner sig på kända positioner (referenser). Genom att distribuera korrektionsdata som baseras på referensobservationer till rovern via radio eller mobiltelefoni kan roverns position bestämmas i realtid i förhållande till kända referenspositioner. Alternativt kan roverns position efterberäknas när överföring av korrektionsdata inte är möjlig eller nödvändig i realtid.

RTK-tekniken kan delas in i två huvudkategorier – *enkelstations-RTK* respektive *nätverks-RTK* - beroende på om en eller flera referensstationer utnyttjas. Vid mätning med nätverks-RTK korrigeras korrektionsdata för osäkerhetskällor innan positionen beräknas av rovermottagaren. I vissa fall möjliggör detta längre avstånd mellan referensstation och rover jämfört med enkelstations-RTK.

1.3.3 Kvalitetsaspekter vid RTK-baserad detaljmätning

RTK-baserad mätning skiljer sig från terrester mätning genom att satelliterna ("bakåtomjekten") är i konstant rörelse. Detta komplicerar förutsättningarna för överbestämning via upprepade mätningar – och därmed också för kvalitetsskattning och kontroll. Det finns även andra aspekter av mättekniken som försvårar kontrollerbarheten, t.ex. tids- och rumskorrelerade osäkerhetskällor. Sammantaget ökar detta behovet av inslag i mätprocessen som kan förankras i rutiner och beprövad erfarenhet.

Som ett stöd för att godtagbar slutkvalitet ska kunna uppnås vid detaljmätning med RTK innehåller HMK-Ge: GNSS särskilda rekommendationer som kallas *utförandeklasser*.

Utförandeklasserna beskriver aspekter av mätprocessen som utföraren själv kan påverka: observationstid, antal mätningar, samt gränsvärden i RTK-rovern. Klasserna utför ett valfritt men praktiskt stöd för utförandet. Två fördelar är:

- Utvärdering och val av mätmetoder för detaljmätning utifrån kvalitetsbehov underlättas.
- Kopplingen mellan utförandeklasser och förväntad mätosäkerhet möjliggör korrekt tillämpning av toleranser vid kontrollmätning.

Eftersom utförandeklasser relateras till en viss mätteknik så anges dessa tillsammans – t.ex. *nätverks-RTK*, *utförandeklass "bas"*. Se vidare i bilagorna A-C.

2 Uppdragsplanering och förberedelser

Uppdragsplanering och förberedelser för detaljmätning avser både inmätning och utsättning om inte annat framgår. Kapitlet omfattar inte information om specifika RTK-instrument, eller specifika positioneringstjänster i aktiva referensnät. För sådan information hänvisas till respektive leverantör.

Observera att vissa förberedelser kan vara lämpliga att samordna med genomförandet av detaljmätning, t.ex. kartläggning av mätmiljö och aktuella atmosfärsförhållanden.

2.1 Översikt

Planering anpassas alltid till kraven i det aktuella projektet/uppdraget och förutsättningarna för användning av RTK-teknik. Uppdragskrav kan ofta sammanfattas i fyra punkter:

- Definition av de detaljer eller objekt som ska lägesbestämmas
- Krav på hur plan- och/eller höjdlägen ska redovisas i givna referenssystem
- Krav på lägesosäkerhet i plan och/eller höjd – vilket ibland formuleras som toleranser eller krav på närsamband
- Krav på leverans (innehåll, format, kodning m.m.)

Det är utförarens ansvar att uppfylla kraven med hjälp av tillgängliga geodetiska mätmetoder och geodetisk infrastruktur. Krav kan formuleras av beställare med hjälp av teknisk specifikation. Stöd för detta kommer att finnas tillgängligt i 2016 års revision av HMK-Geodesi (se www.lantmateriet.se/hmk för aktuell tidplan).

Vilka tillämpade mätmetoder som är lämpliga för detaljmätningen bör avgöras av personal i utförarorganisationen med adekvat mätningsteknisk kompetens (se [HMK-Introduktion](#), avsnitt 3.1). Lämpligt underlag för en sådan utvärdering är bl.a. dokumentation för geodetisk mätutrustning och geodetisk infrastruktur, kompletterat med tekniska undersökningar och egna testmätningar.

Om RTK-baserade mätmetoder anses uppfylla uppdragskraven kan utföraren gå vidare med övriga förberedelser för detaljmätning, inklusive fastställande av kvalitetsplan för uppdraget – dvs. en specifikation för hur kontroller och dokumentation ska genomföras, med syfte att kvalitetssäkra mätprocessen. Beställaren kan

kravställa hela eller delar av en sådan kvalitetsplan, se även [HMK-Introduktion](#), avsnitt 2.2.

2.2 Användning av geodetisk infrastruktur

Aktiva referensnät utgörs av fasta referensstationer för GNSS och möjliggör mätning med nätverks-RTK (se [avsnitt 2.3](#)).

Passiva referensnät utgörs av markerade punkter som kan användas för etablering av lokala referensstationer för enkelstations-RTK (se [avsnitt 2.4](#)) eller som kontrollpunkter för RTK-mätning (se [avsnitt 4.2](#)).

Referensnät och referenssystem beskrivs mer utförligt i [HMK-Ge: Infra](#), avsnitt 2.1-2-2.

2.2.1 Realisering av referenssystem vid RTK-mätning

Vid mätning med nätverks-RTK sker positionsbestämning direkt i det referenssystem som det aktiva referensnätet realiserar. Vid mätning relativt SWEPOS erhålls därför position i det tredimensionella systemet SWEREF 99, samt höjder i RH 2000 om geoidmodellen SWEN08_RH2000 används.

Vid mätning med enkelstations-RTK krävs anslutning mot de referensnät i plan respektive höjd som läget ska bestämmas relativt, antingen via etablering av referensstation på befintlig stompunkt eller genom nybestämning av stationspunkten med lämplig stommättningsmetod, se [HMK-Ge: Stom](#).

Alla transformations samband bör kontrolleras, eller bestämmas empiriskt via inpassning. Vid etablering av lokal referens på befintlig punkt bör utföraren fastställa osäkerheten i befintliga koordinater och i markeringen.

För information om konfigurering av referenssystem i RTK-rovern, se [avsnitt 2.5.5](#).

2.2.2 Kontrollpunkter

Inför detaljmätning med RTK rekommenderas rekognosering av möjliga punkter för kvalitets- och teknikkontroll, se [avsnitt 2.9](#) och [avsnitt 4.2](#). Kontrollpunkterna bör vara väldefinierade, lämpade för störningsfri GNSS-mätning, och finnas tillgängliga i anslutning till arbetsområdet.

Antalet kontrollpunkter bör stå i rimlig proportion till detaljmätningens insatsen – om uppdraget sträcker sig över stort geografiskt område så bör fler kontrollpunkter användas.

2.3 Inför mätning med nätverks-RTK

2.3.1 Positioneringstjänster och korrektionsdata

Genom att utnyttja positioneringstjänster kan utförare få tillgång till data från regiontäckande aktiva referensnät som stöd för nätverks-RTK, med lägesbestämning antingen i realtid eller i efterhand. Vid användning av positioneringstjänster i aktiva referensnät bör följande beaktas:

- **Abonnemang:** Positioneringstjänster kräver oftast abonnemang. Utföraren bör i god tid säkerställa att mätbehoven täcks av befintliga abonnemang.
- **Referenskoordinater:** Utföraren bör kontrollera vilket referenssystem som referenskoordinater anges i. Aktualitet och koordinatklassning bör vid behov verifieras av tjänsteleverantören.
- **Täckningsområde:** Täckningsområdet kan avse det aktiva referensnätet i sin helhet eller gränserna för olika förtättningsgrader. Vid tveksamhet om huruvida täckningsområdet sammanfaller med det aktuella arbetsområdet bör tjänsteleverantören kontaktas.
- **Dataöverföring:** De flesta leverantörer av positioneringstjänster utnyttjar mobila nätverk för överföring av korrektionsdata. Mobiltäckning krävs alltså för att realtidstjänster ska kunna användas i arbetsområdet, vilket bör verifieras i samband med rekognosering (se [avsnitt 2.6](#)).
- **Standarder:** Utföraren bör kontrollera vilka standardiserade beräkningsmetoder och dataformat som används i positioneringstjänsterna, och om/hur GNSS-utrustningen hanterar dessa. Exempel på standardiserade beräkningsmetoder är VRS och MAC vid relativ realtidmätning. Exempel på standardiserade dataformat är RTCM (realtid) och RINEX (efterberäkning).
- **Manualer och övriga instruktioner:** Utföraren bör ta del av manualer och övriga instruktioner för aktuella positioneringstjänster. Viktig information kan bl.a. gälla krav på hårdvara/mjukvara och inställningar i GNSS-utrustningen eller särskilda rekommendationer för mätprocessen.
- **Efterberäkning:** I de fall där mobiltäckning saknas eller där dataöverföringen av annan orsak inte fungerar bör utföraren undersöka möjligheten att efterberäkna mätdata.

- **Kontrollmätning:** Genom mätning på GNSS-bestämd kontrollpunkt (se [avsnitt 4.2.1](#)) kan utföraren kontrollera att positioneringstjänst och användning av korrektionsdata fungerar som förväntat.

2.3.2 Förtättningsgrad

Vid mätning med nätverks-RTK påverkas den förväntade mätosäkerheten av avstånden mellan referensstationerna.

Avstånden mellan referensstationerna i ett aktivt referensnät varierar från plats till plats, vilket i Sverige återspeglar den stegvisa utbyggnaden av referensnät som skett via regional förtätning. Kortare avstånd mellan referensstationerna ger bättre möjlighet att skatta osäkerhetskällorna för GNSS inom det aktiva referensnätet, och därmed lägre förväntad mätosäkerhet vid mätning med nätverks-RTK.

Förtättningsgraden är ett förenklat sätt att ange typavstånd mellan referensstationerna i ett geografiskt begränsat område. Ett syfte med detta är att kunna göra schablonmässiga skattningar av förväntad mätosäkerhet, se [bilaga C.2](#).

I [bilaga B](#) redovisas tre förtättningsgrader för de rikstäckande aktiva referensnäten i Sverige.

2.3.3 Aktuell driftsinformation

Inför mätning med nätverks-RTK bör möjligheten att erhålla aktuell driftsinformation för positioneringstjänst och referensstationer undersökas.

Närliggande referensstationer ur drift innebär längre baslinjer till rovern, vilket i sin tur kan medföra ökad mätosäkerhet och svårigheter att initialisera fixlösning. Detta kan vara särskilt begränsande om mätning sker i delar av det aktiva referensnätet där avstånden mellan referensstationerna redan är relativt långa.

2.3.4 Mätning i utkanten av referensnätet

Rekommendation

Genomförande av mätning med nätverks-RTK som bygger på extrapolerade korrektionsdata bör dokumenteras, inklusive uppskattat avstånd från referensstationerna i det aktiva nätet.

Mätosäkerheten ökar när extrapolering krävs, t.ex. vid bortfall av referensstationer eller i utkanten av aktiva referensnät. Detta gäller särskilt när mättiderna är relativt korta.

I gränsområden mellan de nordiska länderna kan tillgång finnas till utländska korrektionsdata. Detta bör kontrolleras av utföraren.

2.3.5 Förväntad mätosäkerhet vid RTK-mätning

Den förväntade mätosäkerheten vid detaljmätning med nätverks-RTK är en funktion av förtätningsgraden (se [avsnitt 2.3.2](#)), av baslinjelängderna mellan rover och närmaste fysiska referensstationer, och av de osäkerhetskällor som råder vid mättillfället.

Vald inmätningssätt kan påverka osäkerheten i lägesbestämningen, t.ex. om upprepad mätning och längre mättider tillämpas. Se vidare i [avsnitt 3.3](#) samt [bilaga A](#).

Leverantören av positioneringstjänsten bör kunna ge en ungefärlig uppskattning av mätosäkerhet, som dock bör kompletteras med en faktisk undersökning av mätosäkerheten i arbetsområdet enligt rekommendationerna i [avsnitt 2.9.3](#).

Inför mätning med nätverks-RTK i rikstäckande aktiva referensnät kan schablonskattningar av mätosäkerhet enligt [bilaga C.2](#) användas som Typ B-bestämning av mätosäkerhet.

2.4 Inför mätning med enkelstations-RTK

Krav

Etablering av referensstation ska dokumenteras i särskild rapport som beskriver utvärdering av placeringsalternativ, montering/uppställning av station, använd stationsutrustning, anslutning till referenssystem, samt förväntad mätosäkerhet vid mätning med enkelstations-RTK.

Vid etablering av lokal referensstation för mätning med enkelstations-RTK har utföraren ansvar för flera kvalitetsaspekter som styr huruvida korrektionsdata sänds ut och tillämpas på ett adekvat sätt. Till dessa aspekter hör:

- Placeringsalternativ för referensstation
- Etablering av referensstation
- Anslutning till referenssystem
- Förväntad mätosäkerhet

För att kvalitetssäkra etableringen bör kontrollmätningar ske fortlöpande under uppdragstiden enligt rekommendationer i [avsnitt 4.2](#). Monitorering av referenskoordinater samt rovermätning mot olika referensstationer ökar kontrollerbarheten och minskar risken för grova fel.

2.4.1 Placeringsalternativ för lokal referensstation

Vid placering av lokal referensstation bör utföraren utvärdera och dokumentera följande:

- **Stomnät:** Om positionsbestämning ska ske i ett befintligt referensnät så bör referensstationen etableras på, eller anslutas mot, närliggande stompunkter med tillräcklig kvalitet.
- **Sikt:** Vid placering av referensstationen bör samma kriterier användas som vid rekognosering av den lokala mätmiljön (se [avsnitt 2.6](#)), med krav på frånvaro av flervägsstörningar. Referensantennen bör ha fri sikt mot satelliter över 10-15 graders elevation.
- **Dataöverföring:** Vid realtidsmätning bör placeringen ske så att goda kommunikationsförhållanden erhålls.
- **Baslinjelängd:** Placering av referensstation bör alltid ske utifrån acceptabla baslinjelängder vid detaljmätning. Mätosäkerheten vid mätning med RTK ökar med avståndet till referensstationen.
- **Nytablering:** Om inte ovanstående kriterier kan uppfyllas av befintliga punkter bör istället nypunkter användas vid etablering av referensstation.

2.4.2 Etablering av lokal referensstation

Etablering av en lokal referensstation kan antingen vara fast eller tillfällig. Fast etablering sker normalt i samband med uppdrag som sträcker sig över längre tid (veckor till år). Eftersom fast etablering kräver en större arbetsinsats så bör placeringsalternativ och driftsrutiner utredas och dokumenteras i större omfattning än vid tillfällig etablering.

Vid **fast etablering** av referensstation bör etableringsrapporten innehålla information om montering (skiss med mått), möjliga risker och förebyggande åtgärder. Montering/monumentering bör om möjligt ske direkt på fast berggrund. GNSS-antennens position bestäms och ansluts enligt uppdragskrav, och bör därefter verifieras relativt omgivande försäkringspunkter med terrestra mätmetoder eller annan monitorering.

Vid **tillfällig etablering** bör alltid stativ och trefot med optiskt lod användas. Mätning av antennhöjd ska ske både före och efter mätning. Vid etablering av referensstation på nypunkt bör alltid markering ske så att punktens läge kan identifieras före och efter mätning.

Referensstationens **hårdvara och mjukvara** ska vara korrekt konfigurerade innan korrektionsdata sänds till rover. Utöver allmänna rekommendationer för mätutrustning enligt [avsnitt 2.5](#) bör följande kontrolleras och konfigureras:

- **Kommunikation:** Nödvändiga inställningar för utsändning av korrektionsdata till rover via mobiltelefoni, radio eller trådlöst Internet.
- **Referensantenn:** antennhöjd, antenntyp, samt antenmodell.
- **Referens-ID:** punktbezeichnung för referensstationen.
- **Gränsvärden:** PDOP- och elevationsgränser sätts "generösare" än för rover, dvs. så att färre observationer filtreras bort.
- **Referenssystem:** Inställning av systemparametrar, beroende på om korrekt roverposition behöver erhållas i realtid.
- **Rådata:** Loggning av kod- och bärvågsobservationer bör aktiveras vid behov av efterberäkning. Observera att rådataloggning även rekommenderas för verifiering av referensstationens läge/stabilitet under mätningen.

2.4.3 Anslutning till referenssystem

För att ansluta lokal referensstation till valt referenssystem bör stationsetableringen göras över punkt med kända koordinater i det aktuella referensnätet, eller över nypunkt vars läge i referenssystemet bestäms via lämplig stommätningssmetod (se [HMK-Ge: Stom](#)) eller som fri stationsetablering utifrån passiva punkter i anslutning till arbetsområdet.

Vid etablering över punkt med kända koordinater bör lägesosäkerheten i den kända punkten inte överstiga den önskade mätosäkerheten. Kontrollmätning bör om möjligt ske till annan punkt i det aktuella referensnätet. Alternativt kan kontrollmätning ske mot gemensamma punkter om flera lokala referensstationer etableras.

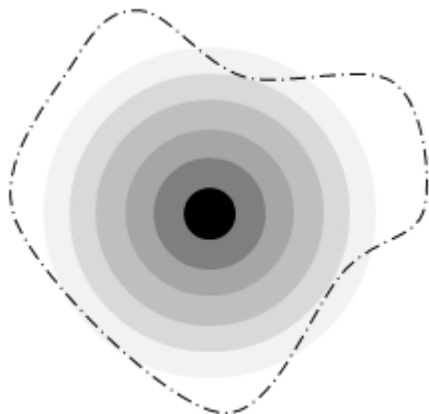
För lägesbestämning i realtid krävs transformationsparametrar och geoidmodell. För efterberäkning krävs en approximativ position i SWEREF 99 eller ITRF-system.

Information om anslutning, inklusive genomförda beräkningar och transformationer, bör redovisas i en etableringsrapport.

2.4.4 Förväntad mätosäkerhet vid mätning

Med stöd av baslinjelängderna från utvärderingen av placeringsalternativ, samt RTK-utrustningens specificerade prestanda (uttryckt som konstant plus avståndsberoende

mätosäkerhet), kan en grov uppskattning av förväntad mätosäkerhet i olika delar av arbetsområdet göras innan etablering, se figur 2.4.4.



Figur 2.4.4. Grovskattning av förväntad mätosäkerhet i ett arbetsområde (area med punktstreckad gräns) med en centralt placerad lokal referensstation. Avståndsberoendet visas med koncentrisk ytor baserat på tillverkarens specifikation av referensmottagarens prestanda.

Efter genomförd etablering vid större uppdrag bör dock en mer grundlig undersökning genomföras motsvarande riktlinjerna i [avsnitt 2.9.3](#).

2.5 Mätutrustning

All mätutrustning kontrolleras innan detaljmätning påbörjas. Utrustningen anpassas och konfigureras för aktuell tillämpning och de uppdragskrav som föreligger. Detta inkluderar förberedelser för att hantera korrektionsdata via lämplig datalänk.

2.5.1 Tillverkarens manual

Instrumenttillverkarens manual bör läsas avseende funktioner, gränssnitt och terminologi innan roverutrustningen används. I manualerna finns viktig information för flera moment i mätarbetet, t.ex. hantering av referenssystem, antenmodeller, bakgrundskartor, beräkningsoperationer, objektbibliotek m.m.

Användaren bör dessutom ha en grundläggande förståelse för de parametrar som underlättar kvalitetsbedömning och observationsfiltrering i samband med RTK-mätning.

2.5.2 RTK-roverns hårdvara och mjukvara

För geodetisk detaljmätning rekommenderas mätinstrument som kan hantera kod- och bärvågsobservationer på minst två frekvenser.

För att mätning ska kunna ske enligt tillverkarens specifikationer bör mätinstrumentet vara uppdaterat med den version av mjukvara som tillverkaren rekommenderar för instrumentmodellen. För realtidstillämpningar har detta även betydelse för vilka standardformat för korrektionsdata och datakommunikation som kan utnyttjas.

Funktionskontroll av RTK-instrument bör utföras innan användning, samt i samband med serviceunderhåll eller större uppdateringar.

Ett lämpligt förfarande för prestandakontroll är mätning på mycket kort baslinje enligt riktlinjer i ISO-standard 17123-8. Baslinjen definieras i detta fall av två GNSS-antennar på några få meters avstånd, varav den ena utgör referens och den andra tillhör den utrustning som ska kontrolleras.

2.5.3 GNSS-antennar och antenmodeller

Krav

Antennmodell för roverantenn ska alltid användas vid geodetiska tillämpningar.

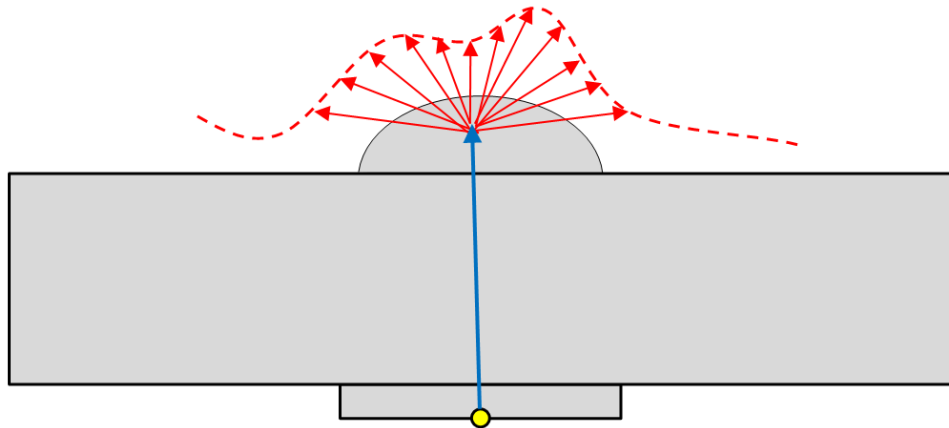
Rekommendation

Absoluta antenmodeller för rover bör användas vid RTK-mätning i de aktiva referensnät där referensstationer beräknas med absoluta antenmodeller.

Hur GNSS-signalerna fortplantas till observationsdata beror på hur GNSS-antennen är monterad eller placerad, vilken hårdvara som den kombineras med, och hur väl dess signalegenskaper kan modelleras.

GNSS-antennens elektriska centrum, APC (*Antenna Phase Centre*), är den skenbara punkt dit fasmätningar sker. APC-punktens läge varierar beroende på inkommande satellitsignaler. Eftersom variationsmönstret är unikt för varje GNSS-antenn måste det modelleras om man vill minimera den antenberoende mätosäkerheten. Detta sker med antenmodeller, som beskriver avståndet mellan en väldefinierad fysisk punkt på antennen, ARP

(Antenna Reference Point) och APC, beroende på signalfrekvens, elevation, och ibland azimut. Figur 2.5.3 illustrerar principen för en antenmodell.



Figur 2.5.3. Avståndet mellan ARP (markerad med gul punkt) och APC (markerad med röd streckad linje) delas typiskt i en större konstant del – fascentrumoffset (markerad med blå pil) – och en mindre variabel del – fascentrumvariationer (markerad med röda pilar).

Antennmodellerna gäller aningen för en viss antenntyp (fabrikat/modell/revision etc.) eller en viss antennindivid (dvs. just detta exemplar). Så kallade typkalibreringar ger ofta tillräckligt bra antenmodeller för vanliga geodetiska tillämpningar.

Både roverutrustning och beräkningsprogramvaror för GNSS-observationer har vanligtvis en intern databas av antenmodeller. Rätt antenntyp bör därför anges i GNSS-mottagaren (vid realtidsmätning) eller i beräkningsprogramvaran (vid efterberäkning) för att antenmodellering ska ske på ett korrekt sätt. När positioneringstjänst utnyttjas bör utförare kontakta tjänsteleverantören om det råder osäkerhet kring vilka antenmodeller som bör användas.

Var särskilt uppmärksam på om absoluta eller relativa modeller används i det aktiva referensnätet. För korrekt realisering av referenssystemet bör utförare alltid använda samma slags antenmodeller.

2.5.4 Inställningar i RTK-roverns fältprogramvara

Information

Vid ändringar av inställningar i RTK-roverns programvara bör utföraren alltid följa anvisningar i tillverkarens manual. Inställningar som avviker från tillverkarens rekommendationer kan leda till undermålig funktionalitet och otillförlitliga mätresultat.

Innan mätning påbörjas bör RTK-roverns programvara kontrolleras och konfigureras utifrån aktuell tillämpning och kvalitetskrav. Till inställningarna hör bl.a. antenntyp, medeltalsbildning, gränsvärden för satellitgeometri och internskattade kvalitetstal. Vid svåra mätförhållanden kan utföraren justera vissa inställningar och gränsvärden, se [avsnitt 3.6](#).

- **Antal satelliter:** Genom att utnyttja fler satellitobservationer erhålls en robustare positionslösning. Antalet satelliter (i respektive satellitsystem) som används vid beräkning av position bör vara väl synligt i roverns fältprogramvara i samband med mätning.
- **GNSS-satelliter:** Vid problem med specifika satelliter eller satellitsystem finns möjlighet att inaktivera användningen av satelliter eller satellitsystem via grafisk vy eller lista. GPS-systemet är i dagsläget en förutsättning för RTK-mätning, och kan därför inte inaktiveras.
- **Gräns för internskattad mätosäkerhet:** Vid realtidsmätning ger roverns fältprogramvara en uppskattning av mätosäkerheten i positionsbestämningen. Skattningen av kvalitetstalen tar inte hänsyn till alla osäkerhetskällor, och kan därför vara överoptimistiska. Detta gäller särskilt i svåra mätmiljöer och vid användning av GPS/GLONASS i kombination. Se även tabell 2.5.4.
- **Gräns för PDOP:** PDOP (Position Dilution Of Precision) är ett enhetslöst mått på satellitkonfigurationens styrka, dvs. antalet satelliter och deras spridning i förhållande till GNSS-mottagaren. En dålig konfiguration (högt PDOP) innebär ett större bidrag till osäkerhet vid positionsbestämning. Se även tabell 2.5.4.
- **Gräns för satellitelevation:** Inkommande satellitsignaler på låga elevationer har längre gångväg genom atmosfären och är därför generellt av sämre kvalitet (men ger förbättrad mätgeometri). För att kunna exkludera dessa från positions-

bestämningen bör utföraren därför ange en lägre gräns för satellitelevationen – en s.k. elevationsmask. Se även tabell 2.5.4.

- **Medeltalsbildning av positioner:** Fältprogramvaran kan konfigureras för medeltalsbildning av positioner över ett visst antal epoker eller tidsintervall. Detta är fördelaktigt vid RTK-mätning, där tillförlitlig bestämning måste göras under kort tid, se [avsnitt 3.3.1](#). Se även tabell 2.5.4.
- **Realtidsinställningar:** Vid realtidsmätning ska GNSS-instrumentet vara konfigurerad som en rover, dvs. förberedd för att ta emot korrektionsdata och beräkna relativ position. Vid utnyttjande av positioneringstjänst ska standardmetod för nätverksberäkning anges, t.ex. VRS eller MAC. Kontrollera att modem och portar är korrekt konfigurerade, och ange eventuella standardformat med tillhörande inställningar för dataöverföring till och från GNSS-mottagaren, t.ex. RTCM (indata), NMEA (utdata) och NTRIP (server/klient-kommunikation). I vissa fältprogramvaror görs dessa inställningar i separata uppkopplingsprofiler.
- **Referenssystem:** Vid realtidsmätning behöver utföraren definiera referenssystem och tillhörande parametrar i GNSS-mottagaren om position ska visas och registreras i önskat referenssystem och kartprojektion. Lagring av koordinater i SWEREF 99 rekommenderas vid mätning i det aktiva referenssystemet SWEPOS, även om transformation utnyttjas.
- **Toleranser vid återbesök:** En användbar funktion vid upprepad mätning. Detta kräver i normalfallet att samma punktbezeichnung anges som vid den ursprungliga mätningen. Se även [avsnitt 3.3.2](#) och [avsnitt 4.3](#).
- **Typ av positionslösning:** Alla GNSS-mottagare registrerar kod- och bärvågsobservationer, men vid RTK-mätning sker också beräkning av position direkt i mätsinstrumentet. Exempel på olika typer av positionslösningar är kodlösning (DGPS), flytlösning och fixlösning. Under detaljmätning med RTK bör rovers fältprogramvara vara konfigurerad för att endast acceptera fixlösningar, eller på annat sätt visa information om positionslösningen.

Tabell 2.5.4. Rekommenderade parametervärden i fältprogramvaran vid detaljmätning med RTK.

Gräns för internskattad mätosäkerhet	Bör ej sättas högre än 10 cm i plan eller höjd för att undvika felaktigt bestämda fixlösningar. Beräkning och täckningsfaktor kan dock variera mellan olika roverfabrikat.
Gräns för PDOP	Förkasta GNSS-mätningar när satellitkonfigurationen är ofördelaktig. Typiskt gränsvärde för PDOP är ca 5-6 under normala mätförhållanden.
Gräns för satellitelevation	Typiska värden på elevationsmasken är 10-15 grader. Vid val av högre elevationsmask är det viktigt att satellitgeometrin fortfarande är acceptabel. Se även avsnitt 2.7.1 .
Medeltalsbildning	Typiskt tidsintervall för medeltalsbildning av positioner är mellan 3 och 30 sekunder.

2.5.5 Inställningar av referenssystem och transformationer

Krav

För transformation till önskat referenssystem i plan (eller planprojektion) ska utföraren ange korrekt transformationssamband.

För önskat referenssystem i höjd ska utföraren ange korrekt geoidmodell.

Vid realtidsmätning ska utföraren alltid definiera referenssystem och transformationssamband i rovers programvara. Vid efterberäkning görs detta i beräkningsprogramvaran.

För redovisning av plankoordinater används lämplig kartprojektion, t.ex. SWEREF 99 i någon av de lokala projektionszonerna. Information om projektionsparametrar och kontrollpunkter för test av samband finns tillgängliga via Lantmäteriets webbplats: [Projektioner i SWEREF 99](#)

För bestämning av normalhöjder krävs en geoidmodell. SWEN08_RH2000 är den senaste framtagna modellen för geoidhöjder i Sverige, och har en standardosäkerhet på 10-15 mm i större delen av landet. Geoidmodeller för olika höjdsystem och mottagarfabrikat finns tillgängliga via Lantmäteriets webbplats:

[SWEN08_RH2000 och andra geoidmodeller för nedladdning](#)

Om koordinater ska redovisas i ett lokalt referenssystem krävs tillgång till empiriskt bestämda transformationssamband, vilket bl.a. Lantmäteriet tillhandahåller. Alternativt kan en lokal inpassning utföras. Lokala referenssystem som realiseras av passiva referensnät har ibland dålig överensstämmelse med GNSS-baserade mätningar.

Om positionsbestämning med GNSS sker i ett inhomogent referensnät, t.ex. i ett äldre lokalt stornät, så kan användning av en restfelsmodell vara aktuell. Eftersom modellen beskriver restfelen mellan två referenssystem kan den användas på två sätt:

- Deformera GNSS-mätningarna så att de passar in i ett inhomogent nät.
- Rätta upp data från ett inhomogent nät till ett överordnat nät med bättre geometri (t.ex. ett aktivt referensnät).

Om restfelsmodellen läggs in i GNSS-utrustning så sker interpolationen per automatik, beroende på var utföraren befinner sig i det område som modellen täcker in. Restfelsmodeller tillhandahålls av stornätsförvaltare.

2.5.6 Mätkonfigurationer och objekt-koder

Mätkonfigurationer (som ibland benämns "mätprofiler") är en uppsättning inställningar i GNSS-mottagaren som går att spara för upprepat bruk. Lämpligt valda mätprofiler ökar flexibiliteten och minskar behovet av att kontrollera och ändra inställningar under arbetets gång. T.ex. kan en mätprofil skapas för varje uppdrag, eller för varje grupp av objekt som ska positioneras i uppdraget. Detta är särskild fördelaktigt när mätningen behöver anpassas för olika kvalitets- och dokumentationskrav.

Väldefinierade bibliotek för lagring av objekt-koder och andra attributdata underlättar efterbearbetning och överföring av mätdata till databaser och geografiska informationssystem. Objekt-koder definieras i - eller importeras till - GNSS-utrustningens programvara.

2.5.7 Utrustning för centrerings och horisontering

För att GNSS-antennen ska kunna centreras och horisonteras över mätpunkten på ett bra sätt kan man använda hjälputrustning:

- Stativ och trefot med optiskt lod för tvångscentering. Dessa bör användas vid krav på låg planosäkerhet.

- Lodstång med dosvattenpass. Kan kompletteras med stödben eller motsvarande hjälpmedel (t.ex. stakkäpp eller stålrör) för bättre stabilitet.
- Inbyggda funktioner i GNSS-mottagarens programvara, t.ex. ett digitalt "vattenpass" eller automatisk lutningskompensator.

Oavsett vilken hjälputrustning som används bör den kontrolleras med jämna mellanrum, och vid behov justeras. För inbyggda funktioner sker detta lämpligen i samband med service av GNSS-mottagaren. Egenkontroll kan göras på följande sätt:

- **För stativ och trefot:** Ställ upp stativet över ett pappersark på marken och vrid därefter successivt trefoten på stativet en tredjedels varv runt sin axel och markera hårkorsets läge på arket. Trefotens konturer bör markeras för att axelvridningen ska bli korrekt. Om markeringarna på pappersarket sammanfaller inom 1-2 millimeter är kalibreringen god.
- **För lodstång med dosvattenpass:** Räta upp lodstången och centrera bubblan i doslibellen, med hjälp av stödben eller stativ. Om antennstången vrids 180 grader bör större delen av bubblan stanna kvar inom cirkeln. I annat fall bör dosvattenpasset justeras.

2.6 Kartläggning av lokal mätmiljö

Vid kartläggning av den lokala mätmiljön bör utföraren särskilt uppmärksamma sikthinder, reflekterande ytor, eller andra faktorer som kan störa mottagning av GNSS-signaler. Vid realtidsmätning bör dessutom mottagningsförhållanden för dataöverföring undersökas.

Vid behov ska lämpliga kontroll- och passpunkter identifieras.

2.6.1 Riskfaktorer vid RTK-mätning

Information

Vid RTK-mätning i svåra miljöer med sikthinder och risk för flervägsstörningar, ökar sannolikheten för försämrad mätosäkerhet och grova fel. I sådana situationer bör förstärkta mätrutiner eller alternativa metodval övervägas.

Mätmiljön styr huruvida RTK-mätning är möjlig att genomföra och kontrollera på ett acceptabelt sätt. Vid större uppdrag bör

rekognosering genomförs i det tänkta arbetsområdet för att kartlägga risken för störningar av satellitsignaler eller GNSS-utrustning. I övriga fall sker kartläggning lämpligen i samband med genomförandet. Här följer möjliga riskfaktorer som bör beaktas i samband med rekognosering eller genomförande av detaljmätning:

- **Flervägsstörningar**, dvs. reflektioner av satellitsignaler innan de når GNSS-mottagaren, vilket förekommer i miljöer med träd, fasader, hårdgjorda ytor m.m. Flervägsstörningar kan medföra ökad mätosäkerhet och i vissa fall grovt felaktig positionsbestämning.
- **Sikthinder**, som kan utgöras av skog, lövverk eller höga byggnader som helt eller delvis hindrar satellitsignalerna från att nå GNSS-mottagaren.
- **Störning av GNSS-utrustning**, exempelvis av elektronisk utrustning som utnyttjar närliggande frekvensband. Modern geodetisk GNSS-utrustning är vanligtvis robust mot vissa elektromagnetiska störningar. Förekomst av kraftledningar, mobilmaster, radarstationer m.m. bör dock noteras i samband med genomförandet.
- **Datakommunikation**, vilket krävs för fungerande realtidsmätning med GNSS/RTK. Bortfall eller fördröjningar av korrektionsdata kan leda till ökad mätosäkerhet eller att initialisering av fixlösning försvåras vid mätning. Mobiltäckning i arbetsområdet bör därför säkerställas, antingen via egenkontroll eller via information från mobila tjänsteleverantörer. Om radioutsändning utnyttjas bör mottagningsförhållanden undersökas på motsvarande sätt.

2.6.2 Kategorisering av mätmiljö

Med hjälp av kategorierna i tabell 2.6.2 kan utföraren göra en schematisk bedömning av den aktuella mätmiljön. Detta kan framför allt vara aktuellt i samband med uppdrag som utförs i samma område över en längre tidsperiod, t.ex. vid ajourhållning av kommunal kartinformation.

De fyra kategorierna är klassificerade från "lätt mätmiljö" till "mycket svår mätmiljö" för GNSS-mätning, och motsvarar en samlad bedömning av riskfaktorer i hela eller delar av arbetsområdet. En sådan bedömning kan underlätta tillämpning av förstärkta mätrutiner (se [avsnitt 3.6](#)) eller val av andra mättekniker. I miljöer som klassas som mycket svåra för GNSS-mätning bör konventionella terrestra mättekniker övervägas.

Kategorisering av den lokala mätmiljön dokumenteras utifrån användning, t.ex. på områdeskarta eller i geografiskt informationssystem. Kategorierna kan antingen anges yttäckande eller per mätobjekt.

Tabell 2.6.2. Kategorier för lokal mätmiljö i samband med RTK-mätning.

Lätt miljö	Mätpunkten har fri sikt i alla riktningar och elevationer över tio grader, vilket garanterar god satellitgeometri. Inga reflekterande objekt eller ytor i närheten riskerar att medföra flervägsstörningar.
Normal miljö	Mätpunkten har rimligt god sikt, eventuellt med träd eller andra sikthinder upp till maximalt 25 graders elevation i någon riktning. Inga särskilda åtgärder behöver vidtas för att garantera tillräckligt god satellitgeometri. Förekomst av hårdgjorda ytor i närheten medför måttlig risk för flervägsstörningar.
Svår miljö	Mätpunkten har begränsad sikt upp till mellan 25-50 graders elevation i en eller två riktningar p.g.a. låga eller medelhöga byggnader, eller är delvis skyddad under trädkronor. Hårdgjorda ytor eller reflekterande objekt kan förekomma i flera riktningar. Sammantaget finns förhöjd risk för flervägsstörningar och dålig satellitgeometri.
Mycket svår miljö	Mätpunkten har mycket begränsad sikt i tre eller fler riktningar p.g.a. höga byggnader inom 50 meters radie. Reflekterande ytor och objekt förekommer i alla riktningar. Mycket hög risk för flervägsstörningar och dålig satellitgeometri.

2.6.3 Snö och vegetation

Vid förekomst av snö eller vegetation som kan hindra störningsfri mätning bör behoven av röjningsinsatser kartläggas. Detta gäller särskilt vid etablering av lokal referensstation. I övrigt bör följande beaktas:

- Vid mätning med lodstång på snö- eller istäckt mark bör utföraren ta ställning till om höjdavvikelsen i förhållande till mätning på barmark (eller fri markering) är acceptabel.

- Säkerställ att snö inte ackumulerats på lokala referensstationers GNSS-antennor, eftersom detta kan medföra ökad mätosäkerhet eller svåreliminerad systematik vid positionsberäkning. Vid mätning i aktiva referensnät förväntas att tjänsteleverantören ska kunna verifiera detta.
- Vid instabila markförhållanden bör utföraren vara särskilt uppmärksam på eventuella markrörelser i samband med mätning. Detta kan även gälla markrörelser mellan mättillfällen om detaljmätningssuppdraget sträcker sig över längre tid.
- Trädskronor som helt eller delvis skymmer fri sikt mellan satelliter och mottagare kan vara problematiskt vid bärvågsmätning. Hur mycket RTK-mätningarna störs är också beroende av träslag och växtsäsong.

2.6.4 Planeringsunderlag för detaljmätning

En målsättning med rekognoseringen är att skapa planeringsunderlag inför det kommande fältarbetet. Underlaget kan t.ex. innehålla följande information:

- Objekt och punkter i arbetsområdet som ska mätas in eller sättas ut med RTK, kartlagda riskfaktorer, samt behov av förstärkta mätrutiner. Förslag på kontroll- och passpunkter.
- Förväntad tidsåtgång, inklusive transporter och etablering av tillfällig referensstation.
- Riktlinjer för användning av objekt-koder och fältanteckningar. Fältanteckningar är kompletterande information som registreras digitalt eller för hand i samband med RTK-mätningen, t.ex. mätprotokoll.

2.7 Satellitplanering

Rekommendation

Med satellitplanering maximeras förutsättningarna för RTK-mätning med god satellitgeometri, särskilt i mätmiljöer med sikthinder. Dokumentation av prediktion kan ske med utskrift av skyplot, samt lista eller graf som anger förväntad satellitgeometri (antal satelliter och DOP-tal) för den tänkta tidpunkten och platsen för detaljmätningen.

2.7.1 Satellitgeometri

Satellitgeometrin beskriver satelliternas läge och spridning i förhållanden till mottagaren. Ett vanligt mått på satellitgeometris inverkan på osäkerheten vid positionsbestämning brukar benämnas Position Dilution Of Precision (PDOP).

Fler tillgängliga satelliter med god geometrisk spridning i förhållande till RTK-rovern ökar sannolikheten för tillförlitlig positionsbestämning. Minsta antalet GPS-satelliter vid relativ bärvågsmätning är dock fem (eller minst sex när fler satellitsystem används i kombination).

Observation av signaler från satelliter som står lågt över horisonten är ofta av sämre kvalitet, eftersom signalvägen genom atmosfären blir lång. Gräns för satellitelevationen kan därför behöva anpassas i förhållande till gräns för satellitgeometrin.

För inställningar av satellitrelaterade parametrar i RTK-roverns programvara, se [avsnitt 2.5.4](#).

2.7.2 Användning av flera satellitsystem

Användning av fler satellitsystem medför ett potentiellt större antal satelliter vid RTK-mätning. Detta kan förbättra möjligheten att mäta vid begränsad sikt eller under tider med sämre satellittillgänglighet.

För att kunna kombinera flera satellitsystem vid RTK-mätning måste varje system bidra med minst två satelliter.

Utförare bör vara uppmärksamma på att kombinationen av satellitsystem kan försämra möjligheten till positionsbestämning om inte tids- och frekvensberoende parametrar hanteras på ett korrekt sätt i mätinstrumentet. För korrekt hantering av kodobservationer med GLONASS behöver exempelvis korrektionsdata innehålla information om den använda referensstationens mottagartyp.

2.7.3 Prediktionsverktyg

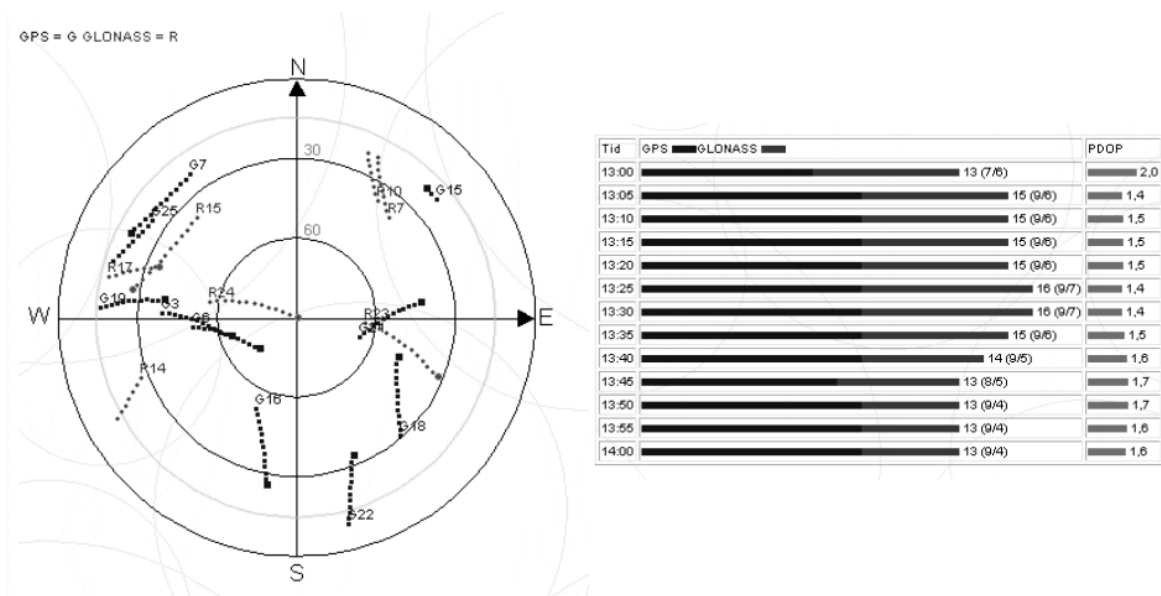
Mätning bör planeras till tidpunkter som ger tillgång till många satelliter med god geometri i förhållande till detaljmätningens område.

För att underlätta satellitplanering kan ett prediktionsverktyg användas. Satellitprediktion förekommer både i kontorsprogramvaror för GNSS och som webbtjänster. Indata till prediktionen är antingen GNSS-almanackor eller bandatafiler.

Prediktionsverktyg anger hur många satelliter som kommer att vara tillgängliga vid angiven tidpunkt och plats, samt DOP-tal. I de verktyg där så är möjligt bör utföraren ange en elevationsmask och rita ut sikthinder för att få en mer realistisk bedömning.

Antalet tillgängliga satelliter i respektive GNSS samt DOP-tal erhålls från satellitprediktionsverktyg, om ungefärlig position och tidsintervall anges.

Exemplet i figur 2.7.3 är hämtat från [SWEPOS stödtjänst för satellitprediktion](#) och visar alla synliga GPS- och GLONASS-satelliter över 12 graders elevation för en given position (ca 60° N, 15° E) under en timme.



Figur 2.7.3. Förväntad satellittillgänglighet under en timme, redovisat som en "skyplot" med satellitbanor (till vänster), samt en tabell med antalet tillgängliga GPS- och GLONASS-satelliter och PDOP-värden (till höger).

2.8 Atmosfärsförhållanden

Vid RTK-mätning under perioder med hög jonosfärs- och troposfärsaktivitet, ökar risken för hög mätosäkerhet och grova fel. Genom tillämpning av god mätmetodik och fortlöpande kontroller kan dock RTK-mätning ofta genomföras med goda resultat.

Atmosfärens bidrag till osäkerheten vid relativ GNSS-mätning ökar med baslinjelängden, eftersom den matematiska modellen förutsätter likartade förhållanden vid referens- och rovermottagare.

Rekommendation

Atmosfäriska förutsättningar bör dokumenteras i samband med RTK-mätning för att visa behovet av eventuella förstärkta mätrutiner eller som stöd vid kvalitetsskattning och felsökning.

Dokumentation bör alltid innehålla uppgift om informationskälla/ursprung och tidsmärkning.

2.8.1 Jonosfärens påverkan

Jonosfären är det skikt i övre atmosfären där det förekommer fria elektroner och andra laddade partiklar p.g.a. inkommande strålning från rymden. I jonosfären sprids GNSS-signaler och andra elektromagnetiska vågor, beroende på signalernas frekvens och partikeldensiteten. Jonosfärens egenskaper och sammansättning beror i sin tur i stor utsträckning på solens aktivitet.

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 bl.a. med latitud, solfläckscykeln, årstid, och tid på dygnet.

- Jonosfären har en ungefärlig 11-årig cyklisk variation som sammanfaller med solfläcksutbredningen. Storleken och variationen av jonosfärsfördröjningar är som störst under solfläcksmaxima.
- Årstidsvariationen beror av jordaxelns lutning under rörelsen runt solen.
- Den dagliga variationen beror nästan helt av jordens rotation i förhållande till inkommande solstrålning. Eftersom variabiliteten generellt är större på natten än på dagen påverkas RTK-mätningar mer av jonosfären nattetid.
- Scintillationer är snabba jonosfärsförändringar p.g.a. tillfälliga fluktuationer i partikeldensitet och brytningsindex. Dessa är vanligast nära ekvatorn, men förekommer även nära polerna.

Vid RTK-mätning kan effekten av jonosfärspåverkan delvis reduceras via flerfrekvensmätning och differensbildning av kod- och bärvågsobservationer. Kortare baslinjer medför bättre möjlighet

till reduktion. Jonosfärspåverkan kan även modelleras och reduceras över större områden med hjälp av data från fasta GNSS-mottagare, t.ex. ett aktivt referensnät.

Med stöd av webbtjänster finns det möjlighet att bedöma jonosfärens påverkan i samband med RTK-mätning, samt att i efterhand dokumentera för kvalitetsmärkning och felsökning.

[SWEPOS jonosfärsmonitor](#) visar förväntad påverkan vid RTK-mätning i olika regioner i Sverige. Monitorn är en realtidstjänst, men kan även visa tidigare tidpunkter. Mobilapplikationen rekommenderas för fältarbete.

2.8.2 Troposfärens påverkan

Troposfären är det skikt i nedersta delen av atmosfären där vanliga väderfenomen förekommer. GNSS-signalerna fördröjs av vattenånga och andra gaser och partiklar som finns i troposfären. Mängden och variationen av gaser är svår att uppskatta (särskilt vattenånga), vilket ökar mätosäkerheten vid RTK-mätning.

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.

Troposfärsfördröjningen minskar på högre höjd över havet, ca 10 mm för varje 50 meters höjdskillnad, vilket i normalfallet hanteras automatiskt i RTK-rovern. Annan osäkerhet i mätning p.g.a. av troposfärspåverkan kan delvis reduceras via standardmodell eller lösning av troposfärparametrar i en programvara.

Troposfärens sammansättning och variabilitet gör den dock mycket svårbedömd och svår att skilja från mätbrus. Utifrån kännedom om vädret kan utföraren ändå skapa sig en grov bild av troposfärens påverkan vid RTK-mätning. Väder och temperatur bör noteras i samband med mätning.

2.9 Verifiering av mätmetod

2.9.1 Funktionskontroll av mätinstrument

Kontroll av RTK-utrustningens inställningar och funktion bör ske innan mätning påbörjas, förslagsvis genom ett av följande alternativ:

- Mätning på GNSS-bestämd kontrollpunkt, se [avsnitt 4.2.1](#).
- Mätning på alternativbestämd kontrollpunkt, se [avsnitt 4.2.2](#).

Detta utgör även kontroll av den korrektionsdata från positioneringstjänst eller lokal referensstation som används i samband med RTK-mätningen.

Om den alternativbestämda kontrollpunkten har känd kvalitet, t.ex. i ett lokalt stornät, kan transformations samband till det lokala systemet kontrolleras.

2.9.2 Förväntad mätosäkerhet

Med RTK-metodens mätosäkerhet avses i detta fall lägesosäkerheten relativt det aktiva eller passiva referensnät som används för RTK-mätningen. Lägesosäkerheten anges normalt på ett av två följande sätt:

- *Regional lägesosäkerhet* – ett mått på RTK-mätningens osäkerhet i förhållande till en områdesbegränsad del av referenssystemet.
- *Lokal lägesosäkerhet* – ett mått på den relativa osäkerheten mellan närliggande detaljer, objekt eller geodetiska punkter.

I många fall kan den lokala lägesosäkerhet betraktas som likvärdig med den regionala, dvs. varken högre eller lägre. Beställare och utförare bör dock vara överens om vilket mått som åsyftas.

Den förväntade mätosäkerheten i arbetsområdet kan bestämmas enligt två huvudsakliga principer:

- *Typ A-bestämning* av mätosäkerhet, med utvärdering av variationen i mätdata från faktiska RTK-mätningar.
- *Typ B-bestämning* av mätosäkerhet, som bl.a. omfattar schablonskattningar baserat på tidigare undersökningar, eller uppgifter från specifikationer eller kalibreringar.

För mindre uppdrag är det i de flesta fall tillräckligt med en undersökning av Typ A eller Typ B. Vid större uppdrag kan en kombination av både typerna vara berättigad – och utgöra en del av

den fastslagna kvalitetsplanen. I [avsnitt 2.9.3](#) ges exempel på en fältundersökning som kan vara aktuell vid ett större uppdrag.

2.9.3 Fältundersökning av mätosäkerhet

En fältkontroll bör utföras genom mätning på ett antal utvalda punkter i eller i anslutning till arbetsområdet. I första hand bör detta vara kända punkter som realiserar aktuellt referensnät, eller är bestämda med mycket låg lägesosäkerhet, se [avsnitt 4.2](#).

Riktlinjer för utvärdering av en sådan fältkontroll ges i [HMK-Geodatakvalitet](#), bilaga A.3. Där rekommenderas även minst 20 kontrollmätningar av kända punkter för en robust skattning av mätmetodens osäkerhet. Kontrollmätningarna behöver dock inte vara 20 olika punkter – det kan tvärtom vara en fördel att genomföra flera oberoende RTK-mätningar på färre punkter, med växlande mätförhållanden (satellitgeometri etc.).

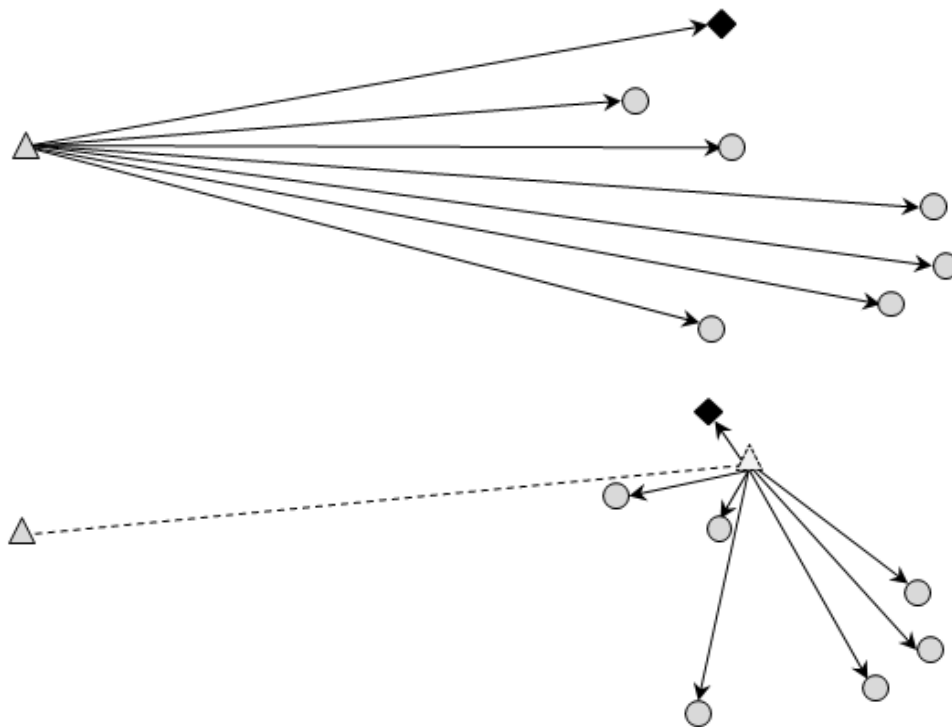
3 Genomförande av detaljmätning

Eftersom detaljmätning förekommer inom flera olika verksamhetsområden så beskrivs här RTK-metodik som kan anses vara gemensam inom all samhällsbyggnad, dvs. "mätning på stång" inom kommunal mätningsteknisk verksamhet, fastighetsbildning, och bygg- och anläggningsverksamhet.

Med detaljmätning avses både inmätning och utsättning där inte annat framgår av rubrik.

3.1 Allmänt om RTK-observationer

RTK-observationer görs alltid radiellt relativt referensstationen, dvs. med enkelbaslinjer mellan referens och rover. Figur 3.1 exemplifierar hur detta kan se ut i samband med detaljmätning.



Figur 3.1. Mätning av samma uppsättning detaljpunkter med enkelstations-RTK, respektive med nätverks-RTK och VRS. I båda fallen bestäms positionen i förhållande till den närmaste referensstationen (triangel), men i nätverks-RTK-fallet transponeras data utifrån vektorn mellan fysisk och virtuell referensstation (streckad linje). En kontrollpunkt (svart romb) mäts in i början av detaljmätningen, när fixlösning är initialiserad.

Den övre delen av figuren visar mätning med enkelstations-RTK.
Den nedre delen av figuren visar mätning med nätverks-RTK och

s.k. *virtuell referensstation* (VRS), som varit en de facto-standard under många år. I det senare fallet anpassas korrektionsdata för den ungefärliga position som rovern skickar till positioneringstjänsten. I den beräkningsstandard för nätverks-RTK som kallas *Master-Auxiliary Concept* (MAC) används dock de reella baslinjeobservationerna mot närmaste referensstation (i likhet med enkelstations-RTK), med korrektioner från övriga omgivande stationer. Oavsett om enkelstations-RTK eller nätverks-RTK används så bör RTK-mätningar ske på ett sätt som kompenserar för bristen på kontroll och överbestämningar i förhållande till markerade referensnätpunkter i terrängen. Därför förutsätts vissa egenkontroller ingå i detaljmätningens processen. Detta illustreras även av figur 3.1 där detaljmätningen inleds med att en närliggande kontrollpunkt uppsöks.

3.2 Innan detaljmätning inleds

Vid detaljmätning med RTK bör utföraren anpassa mätmetodiken efter vilka detaljobjekt som ska mätas in eller sättas ut, hur kodning och klassificering av objekten ska göras, samt de kvalitetskrav ifråga om lägesosäkerheter eller toleranser som föreligger.

Det förutsätts här att RTK-rovern konfigurerats ändamålsenligt för uppdragsbehoven, samt i övrigt enligt rekommendationerna i [avsnitt 2.5](#). Även tillhörande utrustning – lodstång, centreringshjälp, mätband, reservbatterier, dokumentationsmedia m.m. – bör ha kontrollerats.

Verifiering av mätmetoden bör ha skett enligt [avsnitt 2.9](#) eller motsvarande kontrollrutin. Om särskild plan för kvalitetsäkring upprättats i planeringsskedet ska denna följas.

Vidare förutsätts utföraren ha kännedom om vanliga kontrollmetoder för RTK samt hur de kan användas i mätprocessen. Detta gäller främst mätning på kontrollpunkter (se [avsnitt 4.2](#)) samt upprepad mätning med tidsseparation (se [avsnitt 4.3](#)).

Kontroller och dokumentation ska i övrigt företas efter behov och god mätsed. Till detta hör att beakta de yttre faktorer i mätmiljön eller kvalitetsparametrar i RTK-rovern som utgör tecken på försämrad funktionalitet och/eller kvalitet under detaljmätningen, se [avsnitt 3.5](#).

3.2.1 Mätkonfiguration och mätunderlag

Genom att välja en tidigare sparad mätkonfiguration kan valet av mätmetod, anslutning till lokal referensstation eller

positioneringstjänst, samt andra inställningar automatiseras eller underlättas. Utföraren bör också se till att registrering av mätdata sker på önskad minnesenhet, samt med rätt jobb och mätfil, dataformat m.m.

Eventuella utsättningsdata, kända kontrollpunkter och bakgrundskarta bör finnas tillgängliga i korrekt referenssystem.

3.2.2 Mätobjekt

Vid inmätning bör utförare beakta huruvida punkten/objektet är väldefinierat och entydigt i plan respektive höjd. Allmänna riktlinjer för inmätning av svårdefinierade objekt finns i [HMK-Ge: Infra](#), bilaga B. Spetsen på en lodstång bör t.ex. aldrig placeras i ett rör vid höjdbestämning om rörets överkant definierar höjden.

Vid mätning med stativ och trefot bör uppställning på mätpunkten ske enligt praxis för aktuell antenntyp, t.ex. med lämplig adapter mellan trefot och antenn, och eventuell orientering av antenn. Vid excentrisk mätning ska lämpliga rutiner följas, se [avsnitt 3.2.5](#).

Punktbezeichnung, objekt-koder och annan attributdata ska anges i RTK-instrumentets programvara i samband med mätning.

3.2.3 Antennhöjd och antenntyp

Krav

Antenntyp och antennhöjd ska anges i mätinstrumentets programvara vid detaljmätning. Antennhöjder ska anges från detaljpunkt till ARP eller till annan fysisk punkt på antennen med känd offset till ARP.

Antennhöjd bör kontrolleras när stativ och trefot används, eller när höjden på lodstången justeras. Notera särskilt om antennhöjden mäts vertikalt eller lutande, samt hur antenntypen definieras – t.ex. beroende på om antennen är monterad på lodstång eller stativ.

Vid mätning med lodstång bör antennhöjden väljas med hänsyn till risken för flervägsstörningar (vid för låg höjd) eller centreringsfel (vid för hög höjd). Standardhöjden 2 meter brukar vara en rimlig kompromiss. Utföraren bör kontrollera att stången fixerats till korrekt höjd och att antennen är ordentligt fastskruvad.

Vid mätning med stativ och trefot bör antennhöjden bestämmas före och efter mätning - gärna vertikalt med s.k. mätkroksadapter. Utföraren bör även kontrollera att antennen är ordentligt fastlåst i trefoten.

3.2.4 Centrerung

Standardosäkerheten vid centrerung av lodstång är typiskt tre gånger större när centrerungen utförs utan hjälp av stativ eller stödben.

Vid noggrann planbestämning med RTK rekommenderas stativ eller stödben eftersom centreringsosäkerheten reduceras – från ca 15 mm till mindre än 5 mm. Med stativ och trefot kan centreringsosäkerheten anses försumbar om optiskt lod används. Utföraren bör dock kontrollera att det optiska lodet är korrekt justerat.

Utföraren bör alltid beakta lokala förhållanden som kan påverka centrerung, t.ex. vind eller markvibrationer.

3.2.5 Excentrisk mätning

Rekommendation

Excentrisk mätning bör redovisas med särskild beteckning på temporär punkt, samt längd- och vinkelmätning och annan nödvändig information för otvetydig bestämning av mätpunkten.

Om centrerung inte kan ske direkt över mätpunkten bör excentricitet bestämmas med hjälp av temporärt markerad punkt och mätning med totalstation, distometer eller annan. Vid bestämning av två temporära punkter med två längdmått till excentrisk punkt kan inbindning göras.

3.2.6 Första position och överföring av korrektionsdata

När en första ungefärlig absolutposition erhålls bekräftar detta att RTK-utrustningen låser mot satellitsignalerna på ett bra sätt.

Vid mätning i aktivt referensnät bör utföraren därefter ansluta RTK- instrumentet mot önskad positioneringstjänst enligt tjänsteleverantörens instruktioner. Pågående överföring av korrektionsdata brukar indikeras i utrustningens programvara. Vissa positioneringstjänster kräver en första position från rovern för att korrektionsdata ska kunna skickas till rovern.

Om möjlighet finns bör både korrektionsålder och andelen mottagna korrekationer kontrolleras i instrumentet, se även [avsnitt 3.5.2](#).

3.2.7 Initialisering vid RTK-mätning

Rekommendation

Vid RTK-baserad detaljmätning bör plan- och höjdbestämning ske med initialiserad fixlösning eller med efterberäkning av fixlösning.

Om alternativ lösningstyp accepteras bör differentiell kodlösning (DGPS/DGNSS) väljas framför flytlösning.

Initialisering av fixlösning kan påbörjas när rovern tar emot korrektionsdata. Tiden för initialisering påverkas bl.a. av mätförhållanden och baslinjelängd, men bör inte överstiga 1-2 minuter. När rovern har fixlösning kan inmätning ([avsnitt 3.3](#)) eller utsättning ([avsnitt 3.4](#)) påbörjas.

All RTK-mätning bör ske med fixlösning, om inga särskilda undantag tillåts i mätuppdraget. I sådant fall bör dock utföraren tänka på att differentiell kodmätning (DGNSS) i många fall utgör ett bättre alternativ än mätning med flytlösning med RTK, särskilt i svårare mätmiljöer.

3.3 Inmätningmetodik

Rekommendation

Utförare bör utnyttja möjligheten att göra inmätning med överbestämningar – dvs. med längre och fler sessioner – utifrån tillämpningens krav på mätosäkerhet.

Vid flersessionsmätning bör alltid sessionerna tidssepareras enligt rekommendation.

Vid inmätning med RTK kan lägesbestämningen utföras med överbestämningar genom att

- öka *sessionslängden*, dvs. mättiden. Se [avsnitt 3.3.1](#).
- utföra *flersessionsmätning*, dvs. upprepade mätningar med medeltalsbildning. Se [avsnitt 3.3.2](#).

Exakta rekommendationer kan inte ges för detta, eftersom mätosäkerheten och risken för grova fel i positionsbestämningen är en funktion av många faktorer: avstånd till referensstation(er), lokal mätmiljö, satellitkonfiguration, solaktivitet, m.m. I tabell 3.3a visas ett antal exempel på *möjlig* mätmetodik för olika tillämpningar. Metodiken bör justeras av utföraren efter behov och erfarenhet, t.ex. genom undersökning av förväntad mätosäkerhet enligt [avsnitt 2.9.2](#) och [avsnitt 2.9.3](#).

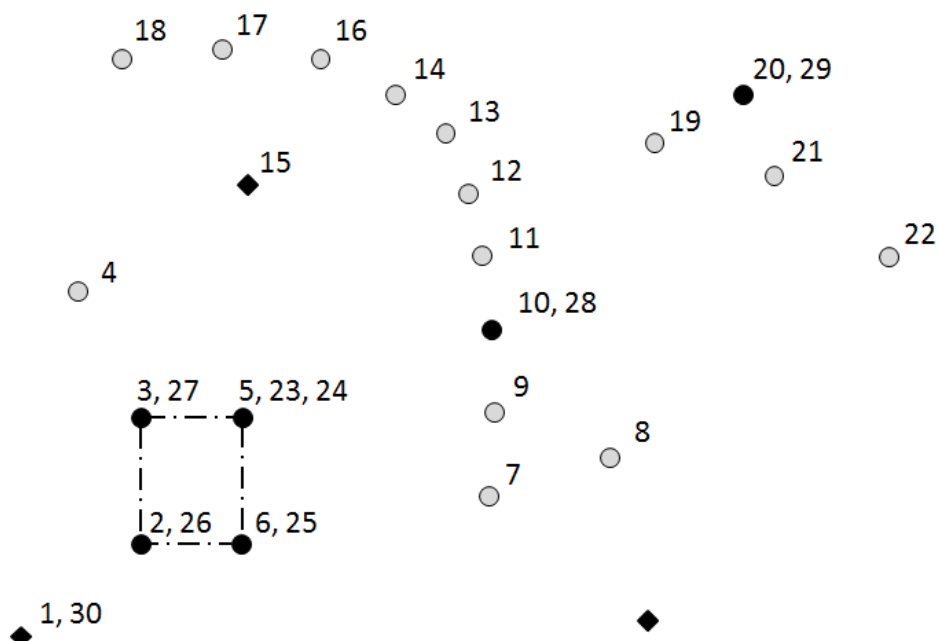
Tabell 3.3a. Exempel på mätmetodik vid inmätning av detaljer med RTK.

Detaljtyp	Möjlig inmätningmetodik
Enkel plandetalj för baskarta	En session à 5 sekunder.
Fastighetsgräns i tätort (med låg bebyggelse)	Två sessioner à 15-30 sekunder, med stödben
Bakåtoobjekt för RTK- understödd fri stationsetablering	Två sessioner à 10-20 sekunder om färre än fem bakåtoobjekt mäts in under kort tid, annars en session à 5-10 sekunder per bakåtoobjekt.
Passpunkt eller referenspunkt i bruksnät	Tre sessioner à 20-30 sekunder, med stativ eller stödben.
Viktig höjddetalj för baskarta	Tre sessioner à 10 sekunder, alternativt två sessioner à 60 sekunder om tid ej medges för tre tidsseparerade sessioner.

Exempel på genomförande av ett mindre detaljmätningssuppdrag visas i figur 3.3b, där 20 detaljpunkter bestäms med hjälp av totalt 30 RTK-mätningar enligt följande:

- Mätning 1: Detaljmätningen inleds med mätning på kontrollpunkt. Eftersom kontrollmätningen uppfyller toleranskraven för uppdraget kan inmätning av detaljer fortsätta.
- Mätning 2-6: En tomtgräns mäts in, plus en enklare detalj i närheten (punkt 4).
- Mätning 7-22: Detaljpunkterna 7-18 motsvarar mitten på en väg. I samband med mätning 14 tappades fixlösningen tillfälligt. Mätning på kontrollpunkt (15) görs för att verifiera förväntad kvalitet.
- Mätning 23-27: En andra session mäts för tomtgränsen, ca 15 minuter efter den första (dvs. mätningarna 2-6). Mätning 23 överskred dock toleranskravet, varför ytterligare en inmätning krävs.
- Mätning 28-29: Även för dessa punkter mäts en andra session, som dock utförs *efter* tomtgränsinmätningen för att garantera tillräcklig tidsseparation

- Mätning 30: Detaljmätningen avslutas på den först inmätta kontrollpunkten.



Figur 3.3b. Exempel på inmätning av 20 detaljpunkter (cirklar), varav 6 stycken har krav på lägre lägesosäkerhet (svarta cirklar). Tre kontrollpunkter finns tillgängliga i mätområdet (romber). Numreringen motsvarar den ordning i vilken RTK-mätningarna genomförs.

3.3.1 Sessionslängd

Rekommendation

Antalet registrerade positioner/epoker bör vara *minst* 3.

De positioner/epoker som registreras under en session bör alltid medeltalsbildas. Dokumentation bör inkludera start- och stopptid, samt antalet registrerade epoker.

En session är en sekvens av registrerade positioner. Lämplig sessionslängd är vanligen mellan 3-30 sekunder. Positionerna under mätsessionen bör medeltalsbildas.

Genom ökad sessionslängd och medeltalsbildning så reduceras effekten av kortvägig variation vid GNSS-mätning. Den kortvägiga variationen kan huvudsakligen beskrivas som slumpmässig och kallas därför ibland "mätbrus".

3.3.2 Mätning i flera sessioner

Rekommendation

Vid behov av ökad kontrollerbarhet i mätprocessen bör flersessionsmätning övervägas.

Varje session bör mätas med ny fixlösning. Sessionerna bör kontrolleras inbördes innan de medeltalsbildas. Om tolerans ej är uppfylld bör ommätning av session göras.

Vid flersessionsmätning upprepas inmätning en eller fler gånger, med samma sessionslängd. Sessionerna kan medeltalsbildas om toleransen för upprepad mätning är uppfylld, se [avsnitt 2.5.4](#) och [avsnitt 4.3.2](#).

Genom flersessionsmätning reduceras effekten av den långvågiga variation som huvudsakligen beror av satellitgeometri och otillräcklig modellering av osäkerhetskällor. Dessutom erhålls en naturlig kontroll av mätprocessen, där t.ex. grova fel eller systematiska avvikelser lättare kan upptäckas. Detta förutsätter dock att sessionerna mäts med tillräcklig tidsseparation.

3.3.3 Tidsseparation

Rekommendation

Tidsseparation bör alltid tillämpas vid flersessionsmätning eller återbesök. Tidsseparation medför robustare hantering av långvågig variation, samt en mer realistisk uppskattning av mätosäkerheten.

Typisk tidsseparation är:

- vid planbestämning: 10-15 minuter
- vid höjdbestämning: 20-30 minuter

Dessa värden bör ökas när atmosfärsstörningar och baslinjelängd ökar.

Behovet av att tidsseparera sessioner är en konsekvens av att långvågig variation i RTK-positioner behöver hanteras så att systematiska avvikelser fångas in. Om inte tidsseparation tillämpas är risken stor att endast kortvågig variation beaktas och att mätosäkerheten därmed skattas överoptimistiskt. Detta är även fallet vid korta enkelsessionsmätningar.

Som en tumregel bör tidsseparation vara längre än "våglängden" i den långvågiga variationen, vilket i sin tur är en funktion av flera variabler – t.ex. baslinjelängd, atmosfärsstörningar, lokala störningar, satellitgeometri, samt restfel från bristande modellering.

I efterhand skattade värden för lämplig tidsseparation kan därför variera från några minuter till en timme.

3.3.4 Ommätning av sessioner

Ommätning av sessioner bör utföras när aktuell tolerans överskrids, t.ex. vid upprepade mätning. Detta förutsätter att tidsseparation tillämpas mellan den ursprungliga mätningen och den upprepade mätningen.

Orsaken till överskriden tolerans bör utredas och dokumenteras vid särskilt stora avvikelser. Om toleransen överskrids upprepade gånger bör kontrollpunkt mätas in, se [avsnitt 4.2](#).

Se [avsnitt 4.3.1](#) och [avsnitt 4.3.2](#) för förslag till toleranser vid återbesök respektive flersessionsmätning.

3.3.5 Utförandeklasser

Rekommendation

Utförandeklasser kan tillämpas vid inmätning med RTK för att underlätta kvalitetssäkring av mätprocessen.

Utförandeklasser är specifika rekommendationer för inmätning med RTK för att förenkla att kvalitetskrav uppfylls. Definitionen av utförandeklasser baseras på ett fåtal påverkbara parametrar:

- Sessionslängd (mättid)
- Antalet sessioner
- Tidsseparation mellan sessioner
- Gränsvärden för satellitgeometri och internskattad kvalitet

Utförandeklasser för nätverks-RTK definieras i [bilaga A](#).

Utifrån kännedom om baslinjelängd mellan rover och närmaste referensstation, samt stationstätheten i det aktiva referennätet, kan utförandeklasserna relateras till schablonskattningar av förväntad mätosäkerhet, se [bilaga C.2](#).

I dagsläget saknas definierade utförandeklasser för enkelstations-RTK.

3.3.6 Loggning av rådata

Rekommendation

Om rådata från rovern sparas för efterberäkning av RTK-mätning bör mättiden utökas jämfört med realtidsmätning med fixlösning för att säkerställa att godtagbar plan-och höjdbestämning kan ske.

Om utföraren inte kan (eller behöver) överföra korrektionsdata i realtid så kan istället positionsbestämningen göras i efterhand. Detta kräver att rådata sparas i instrumentet - dvs. kod- och bärvågsobservationer - som sedan efterberäknas med referensdata i lämplig programvara. Utföraren bör säkerställa att RTK-instrumentets minneskapacitet är tillräcklig för att spara rådata.

För att godtagbar plan-och höjdbestämning ska kunna genomföras bör mättiden utökas för öka sannolikheten för fixlösning. Mätning som normalt utförs under några sekunder vid realtidspositionering bör därför genomföras under några minuter istället.

Se [avsnitt 3.8](#) för rekommendationer i samband med efterberäkning av RTK-data.

3.4 Utsättningsmetodik

Utsättning av detaljer för byggnader, långsträckta anläggningsobjekt, fastighetsgränser m.m. kan göras med RTK under förutsättning att överbestämning vid behov kan åstadkommas vid s.k. finutsättning, se [avsnitt 3.4.2](#).

Kontroll sker via inmätning och jämförelse mot referensmått eller koordinater i det digitala underlaget. Därför är det viktigt att verifiera att angivna mått till sekundärlinjer eller teoretiska koordinatangivelser i det lokala referenssystemet är korrekta i underlaget innan utsättning inleds. Därutöver bör krav på dokumentation och försäkringsmarkeringar undersökas.

I de fall särskilda utsättningskrav föreligger bör relevanta branschstandarder tillämpas.

3.4.1 Grovutsättning

Rekommendation

Utförare bör särskilt beakta förutsättningar för RTK-mätning i samband med utsättning, eftersom utsättning inte kan utföras i längre eller i fler mätsessioner.

Grovutsättning med RTK sker i normalfallet med samtidig plan- och höjdbestämning utifrån den aktuella (uppdaterade) positionen som visas av mätinstrumentet. Vid krav på låg osäkerhet i höjdläget bör avvägning eller annan lämplig mätmetod i HMK-Ge: Terrester övervägas.

Kontrollinmätning (se [avsnitt 3.4.3](#)) görs av utförare i enlighet med kvalitetsplan och god mätsed.

3.4.2 Finutsättning

Rekommendation

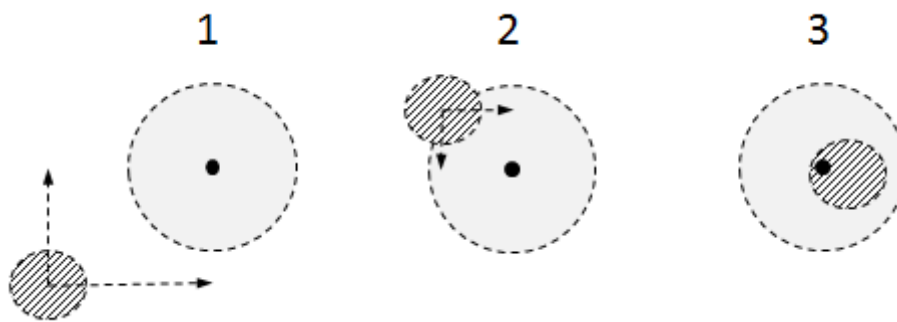
Om finutsättning med RTK inte kan utföras med växelvis inmätning och justering så bör alternativ mätmetod övervägas enligt HMK-Ge: Terrester.

Kontrollinmätning tillhör inte utsättningsprocessen utan bör alltid utföras som *separat* åtgärd.

Eftersom inmätning med RTK kan utföras med överbestämningar bör detta utnyttjas vid finutsättning, genom att efter grovutsättning växelvis utföra inmätning och justering tills krav på lägesosäkerhet/tolerans är uppfyllda. Figur 3.4.2 visar ett exempel på detta, utfört i tre steg.

Lämplig metodik för inmätning (se [avsnitt 3.3](#)) vid finutsättning väljs lämpligen utifrån minimering av utsättnings tid. Mätosäkerhet för utsättning som utförts enligt ovan kan betraktas som ekvivalent med mätosäkerhet för den sista inmätningen av läget.

Kontrollinmätning (se [avsnitt 3.4.3](#)) utförs i enlighet med kvalitetsplan och god mätsed.



Figur 3.4.2. Exempel på justering vid finutsättning. Det teoretiska utsättningsläget har en radiell tolerans som motsvaras av den ljusgrå cirkeln. Inmätningen med RTK har en mätosäkerhet som motsvaras av den snedstreckade arean. Utsättningen justeras stegvis mot det teoretiska läget (streckade pilar) tills toleransen är uppfyllt för önskad täckningsgrad, t.ex. 95% (i steg 3).

3.4.3 Kontrollmätning

Rekommendation

Kontrollinmätning utförs för att verifiera toleranskrav. Vald kontrollmetod bör ha en mätosäkerhet på högst en tredjedel av den förväntade mätosäkerheten vid utsättningen.

Metod för kontroll av utsättning av detaljobjekt bör väljas utifrån de specifika toleranskraven. Sådana krav anges i branschstandarder eller av beställare – beroende på verksamhet. Kontrollinmätning förväntas dock sällan ske med RTK vid höga toleranskrav, eftersom kontrollmetoden bör vara approximativt felfri i förhållande till utsättningsmetoden.

Leveranskontroll av utsatta detaljer kan utföras via stickprov enligt rekommendationer i [HMK-Geodatakvalitet](#).

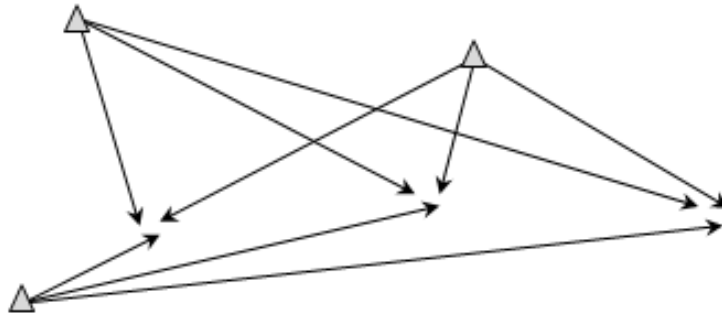
3.4.4 Särskilda rekommendationer vid krav på låg lokal lägesosäkerhet

Rekommendation

Utsättning av detaljer med krav på låg inbördes (lokal) lägesosäkerhet bör ske med samma fixlösning under kort tidsrymd. *Kontroll* av utsättning bör däremot ske med annan fixlösning eller mot annan referensstation.

Vid krav på låg lokal osäkerhet mellan närliggande detaljer kan man utnyttja det faktum att RTK-observationer är korrelerade, med systematiska avvikelser över korta tidsintervall. Detta exemplifieras i figur 3.4.4 där tre detaljer sätts ut med nätverks-RTK. Om

detaljobjekt sätts ut med samma fixlösning under kort tidsrymd så är sannolikheten stor att den lokala lägesosäkerheten mellan dessa objekt är lägre jämfört med om utsättning sker med tre olika fixlösningar över längre tid.



Figur 3.4.4. Exempel på utsättning av tre detaljer med tre olika fixlösningar. Trianglarna motsvarar tre olika virtuella referensstationer som skapas vid varje ny initialisering av fixlösning.

Enligt samma logik bör utsättning med enkelstations-RTK ske mot samma referensstation även om flera lokala referensstationer finns tillgängliga. Däremot bör kontrollmätning ske mot annan referensstation.

Konventionella mätmetoder, eventuellt i kombination med RTK, kan övervägas vid särskilda krav på närsamband. Se vidare i [HMK-Ge: Terrester](#).

3.5 Att beakta under RTK-mätning

Under pågående RTK-mätning bör utföraren uppmärksamma yttre förhållanden samt information från mätinstrumentet för att själv kunna göra en kvalitetsbedömning av mätningen, underlätta felsökning, och minimera risken för grova fel.

3.5.1 Yttre faktorer och förhållanden

Under realtidsmätningen bör utföraren uppmärksamma sådana faktorer som på olika sätt kan begränsa eller störa rovers möjlighet till satellitobservationer och utnyttjande av korrektionsdata, se tabell 2.5.5a.

- **Antennstabilitet:** Aktuella markförhållanden vid mätpunkten bör uppmärksammas, särskilt om dessa är av ett sådant slag att markens beskaffenhet förändras vid

variationer i fukt eller temperatur. Observera att detta även gäller tillfälligt etablerad lokal referensstation vid mätning med enkelstations-RTK.

- **Mobil-/radio-täckning:** RTK-mätning kräver kontinuerlig överföring av korrektionsdata. Stort avstånd till utsändande basstationer, ogynnsam topografi eller förekomst av elektromagnetiska störningar kan i vissa fall begränsa mobil- och radiokommunikation till rovern, se även [avsnitt 2.6.1](#).
- **Flervägsstörningar:** Mätning i närheten av höga fasader eller andra konstgjorda ytor och objekt innebär ökad risk för flervägsstörningar. Flervägsstörningar medför i vissa fall påtagligt försämrade signalkvalitet, men kan vara svåra att identifiera under korta mätsessioner. Annan mätteknik bör övervägas om mätområdet har kategoriserats som mycket svår mätmiljö, se [avsnitt 2.6.2](#).
- **Jonosfär:** Jonosfären har en rums- och tidsmässig variation (latitud, tid på dygnet, tid på året, tid i solcykeln, m.m.) som utföraren bör känna till. För nätverks-RTK finns tjänster för jonosfärsmonitorering tillgängliga i realtid eller nära realtid, se [avsnitt 2.8.1](#).
- **Status för positioneringstjänst/referensstation:** Ibland förekommer störningar eller avbrott i positioneringstjänsten eller utsändningen från den lokala referensstationen. Utföraren bör hålla sig uppdaterad om driftsstatus för aktuell tjänst, se [avsnitt 2.3.2](#). Åtgärdsplan bör finnas tillgänglig vid driftsstopp för lokal referensstation.
- **Väderförhållanden:** Förekomst av frontsystem eller hastiga väderomslag i och kring arbetsområdet bör noteras, liksom stora höjdskillnader på korta avstånd. För att minimera inverkan från troposfären bör, om möjligt, mätning ske när det råder likartade väderförhållanden vid rover- och referensmottagare. Detta gäller särskilt enkelstations-RTK. Se även [avsnitt 2.8.2](#).

3.5.2 Information från GNSS-utrustningens programvara

Vid RTK-mätning bör gränsvärden utnyttjas för att automatisera kontrollen av kvalitetsrelaterad information i mätinstrumentet, t.ex. PDOP och interna kvalitetstal.

Viss information i mätinstrumentets programvara utgör direkta eller indirekta kvalitetsindikatorer och ger i många fall en tydlig fingervisning om vad som kan förväntas vid mätning. Denna

information bör därför kontrolleras fortlöpande för att minimera risken för dåliga mätresultat, samt för att underlätta vid felsökning.

Här nedan beskrivs ett antal kvalitetsindikatorer som finns i fältprogramvaran på de flesta RTK-instrument. Programvaran bör konfigureras på lämpligt sätt för att dessa indikatorer ska finnas lätt tillgängliga i samband med mätning. Observera att benämningar och definitioner kan variera något beroende på vilket fabrikat som används.

- **Signalkvalitet:** Kvaliteten på inkommande satellitsignaler påverkas bl.a. av atmosfärsstörningar, flervägsstörningar och partiella sikthinder (t.ex. lövverk). Signalkvalitet redovisas med s.k. SNR-tal, som beskriver förhållandet mellan signalstyrka och brusnivå. Låga SNR-tal kan indikera problem med vissa satellitobservationer.
- **Realtidpositionen:** Roverns uppdaterade position som varierar från epok till epok. Utsättningsfunktionen kan utnyttjas för att enklare följa variationen om mätpunkten redan har mätts eller har kända koordinatvärden.
- **Korrektionsbortfall:** Om korrektionsdata fördröjs mer än 2-3 sekunder när aktuell epok ska beräknas i rovern kan detta medföra större mätosäkerhet och/eller svårighet att initialisera och behålla fixlösning vid RTK-mätning.
- **Bortfall av korrektionsdata:** Mottagen korrektionsdata redovisas i vissa fall via procenttal. Om bortfall av korrektionsdata överstiger 25-30% kan detta medföra större mätosäkerhet och/eller svårighet att initialisera och behålla fixlösning vid RTK-mätning.
- **Internskattade kvalitetstal i rovern:** Vid realtidsmätning ger GNSS-mottagaren en uppskattning av mätosäkerheten i positionsbestämningen – horisontellt (2D), vertikalt (1D), eller kombinerat (3D). Utförare bör uppmärksamma att de interna kvalitetstalen ibland är orimligt låga, eftersom vissa bidrag till den faktiska mätosäkerheten inte inkluderas. Detta gäller särskilt vid mätning i svåra mätmiljöer med flervägsstörningar.
- **DOP-tal:** PDOP (Positional Dilution Of Precision) är ett mått på satellitgeometrins bidrag till den horisontella och vertikala positionsosäkerheten i tre dimensioner. En god geometrisk spridning av satelliterna medför ett lägre PDOP. Vid realtidsmätning bör ett gränsvärde anges i rovermottagaren, se [avsnitt 2.5.4](#).

3.5.3 Hantering av problem under mätning

Rekommendation

Alla problem eller andra avvikelser från planerad mätning (t.ex. bristfällig överföring av korrektionsdata, oförutsedd försämring av mätförhållanden eller orimliga mätvärden) bör noteras, inklusive tidpunkt, följd effekter, och vidtagna åtgärder. Anteckningar kan ske digitalt i rovers programvara, i mätprotokoll, eller motsvarande.

- **Avvikande koordinatvärden:** Avvikande koordinatvärden konstateras antingen direkt i realtidsposition (t.ex. när rovern inte är i rörelse) eller indirekt när toleranser inte uppfylls. I det senare fallet bör i första hand ommätning ske innan vidare felsökning inleds. Tid bör noteras för att möjliggöra efterkontroll av mätdata. Om felaktig fixlösning misstänks så bör återbesök av tidigare inmätta punkter göras efter minst 10-15 minuter.
- **Bortfall eller fördröjning av korrektionsdata:** Den här typen av problem kan härstamma från teknikproblem (t.ex. överbelastning) i mobilnätet, problem hos leverantören av positioneringstjänsten, eller problem i roverutrustningen. I första hand bör mobil- och radiotäckningen kontrolleras. I andra hand kontaktas relevant teknisk support, beroende på problemets art. Om sämre kvalitet kan förväntas p.g.a. degraderad dataöverföring bör rådata lagras för efterberäkning, se [avsnitt 3.3.6](#).
- **Periodbortfall:** Tillfälliga avbrott i rovers låsning av satellitsignalerna kan medföra att fasmätningen avbryts. Vid realtidsmätning "lagas" bortfallen per automatik, i den mån det är möjligt. I annat fall bör orsaken fastställas, exempelvis störningar i den lokala mätmiljön eller scintillationer i jonosfären.
- **Tappad fixlösning eller lång initialiseringstid:** Vid långa initialiseringstider eller tappad fixlösning görs en ominitialisering för att minska sannolikheten för felaktigt bestämd fixlösning. Datalänkens kvalitet bör kontrolleras, och om det är praktiskt genomförbart görs inmätning av kontrollpunkt. Vad som utgör "långa" initialiseringstider bör avgöras genom att jämföra med mätutrustningens tekniska specifikation.

- **Bortfall av referensstation:** Bortfall av en referensstation kan förväntas påverka mätning i förhållande till avståndet mellan stationen och rovern. När någon av närliggande referensstationer faller bort så bör ny stationskonfiguration bedömas i förhållande till kvalitetskrav. Vid mätning i utkanten av referensnätet bör utföraren dessutom vara uppmärksam på eventuell extrapolering eller övergång till korrektionsdata för enkelbaslinje (dvs. inte nätverkslösning).
- **Avvikande antennhöjd:** Om avvikande antennhöjd konstateras under mätning med lodstång är ofta den bästa lösningen att fortsätta mäta och korrigera samtliga mätningar efter arbetets slut. Om mätning skett med stativ bör antennhöjden mätas på nytt. Om även denna mätning avviker bör trefot och stativ kontrolleras.
- **Försämring av kvalitetsparametrar:** När interna kvalitetstal, DOP-tal eller andra kvalitetsparametrar försämras så bör detta spåras till övriga parametrar eller förändrade yttre mätförhållanden. Tid bör noteras för efterkontroll av mätdata. Om felaktig fixlösning misstänks så bör återbesök av tidigare inmätta punkter göras efter minst 10-15 minuter. Inmätning av närliggande kontrollpunkt bör genomföras om försämringen kvarstår.
- **Tappad uppkoppling:** Kontroll bör göras att GNSS-utrustningen, inklusive modem, är funktionsduglig och att fältdatorn har Internet-anslutning. Alternativ uppkopplingsmetod provas om anslutning till tjänsten inte kan ske. Kontakta därefter teknisk support för positioneringstjänsten.

3.6 Förstärkta mätrutiner

Rekommendation

Förstärkta mätrutiner rekommenderas under ogynnsamma förhållanden, dvs. i sådana situationer där försämrade mätosäkerhet kan förväntas p.g.a. störda satellitsignaler.

Vid mycket svåra sikthinder och flervägsstörningar bör dock alltid alternativa mättekniker övervägas.

Atmosfärsstörningar, flervägsstörningar och dålig satellitgeometri medför större mätosäkerhet i positionsbestämningen. Detta kan i många fall hanteras genom förstärkta mätrutiner, t.ex. genom längre och fler mätsessioner, samt mottagarinställningar som

möjliggör filtrering av sämre observationer.

- Förstärkta mätrutiner för mätsessioner inkluderar:
 - o Mätning i längre sessioner
 - o Mätning av fler sessioner, med tidsseparation
- Förstärkta mätrutiner för satellitgeometri inkluderar att:
 - o Höja gränsen för minsta antal satelliter i positionslösning
 - o Sänka gränsen för PDOP, eller motsvarande mått.
 - o Höja gränsen för satellitelevationer, dvs. elevationsmasken.

Utförare bör dock uppmärksamma att förstärkta mätrutiner är inte en garanti för felfri mätning – utan snarare ett sätt att ”strama upp” RTK-mätningen för att öka sannolikheten för att detaljmätning kan genomföras med godtagbar kvalitet. Under mycket svåra mätförhållanden, t.ex. i extrem stadsmiljö, bör alternativa mättekniker övervägas, eftersom produktiviteten sjunker kraftigt när fler observationer filteras bort eller ej uppfyller toleranskrav.

3.7 Behov av lokala transformationer

3.7.1 Lokal inpassning

Information

Inpassning som sker med bristande kontroll av passpunkter och resultatparametrar kan leda till att spänningar och deformationer uppstår i RTK-mätningarnas inbördes geometri.

Lokal inpassning är en möjlig strategi vid RTK-mätning i inhomogena referenssystem där restfelsmodell saknas (se [avsnitt 2.5.5](#)), eller där observationerna har dålig geometri i förhållande till det markerade referensnät som används. Exempel på det sistnämnda kan vara skalfel i observationerna p.g.a. lång baslinje.

Eftersom inpassning är en empiriskt bestämd transformation bör utföraren välja passpunkter med omsorg. Passpunkterna ska helst vara fördelade över och omsluta det tänkta giltighetsområdet för inpassningen. På det sättet tillämpas både principerna *interpolation* och *överbestämning* för att bestämma transformationsparametrarna.

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

Övriga riktlinjer för lokal inpassning, se [HMK-Ge: Infra](#), avsnitt 2.8.

3.7.2 Höjdsift

Rekommendation

Vid höga kvalitetskrav på bestämning av höjder bör avvikelser mellan RTK-mätta höjder och det passiva höjdnätet undersökas, och eventuellt korrigeras med ett höjdsift.

Även om korrekt geoidmodell tillämpas för höjdbestämning i det aktuella referenssystemet så kan skillnader kvarstå i förhållande till de passiva punkter i (eller kring) arbetsområdet som realiserar höjdsystemet. Detta kan dels bero på lokala skillnader mellan geoidmodellen och höjdsystemet, men också skillnader i realisering av det aktiva referensnätet (som används vid nätverks-RTK) eller instrumentrelaterade faktorer på referensstation(er).

Vid krav på höjdosäkerhet bör därför de indirekt bestämda höjderna vid RTK-mätning kontrolleras mot närliggande höjdfixar. Detta är särskilt viktigt i de sammanhang där både direkt (avvägning) och indirekt bestämning av höjder (RTK) utförs.

Om tillräckligt många kontrollpunkter mäts kan den eventuella avvikelserna betraktas som homogena inom området och därmed korrigeras med ett höjdsift.

Ett signifikant höjdsift bedöms vara ≥ 20 mm om terrester kontrollmätning sker på minst 20 RTK-mätta punkter. Höjdsiftet skattas som medeltalet av höjdavvikelserna på kontrollpunkterna. Vid större eller längre mätuppdrag bör siftet bestämmas med minst två oberoende kontrollmätningar, utförda vid olika tillfällen.

Se exempel i [HMK-Geodatakvalitet](#), bilaga A.4, med rubriken "Kontroll av geoidmodell" (egentligen kontroll av höjdsift).

3.8 Efterberäkning av plan- och höjdlägen

Rekommendation

Vid efterberäkning med virtuell RINEX bör utföraren dokumentera tidpunkter och ungefärliga koordinater, samt annan information som krävs vid beställning av korrektionsdata.

Efterberäkning av mätdata vid planerad realtidstillämpning utförs när överföring av korrektionsdata inte är möjlig (eller nödvändig), exempelvis om mobiltäckning saknas eller är begränsad vid mättillfället.

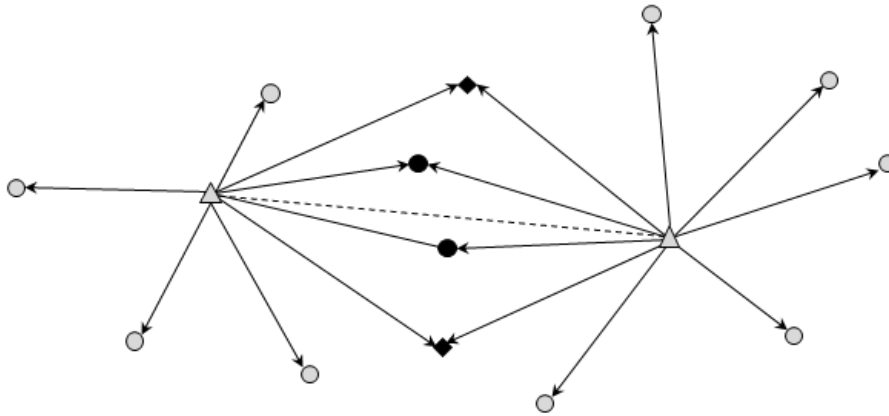
I dessa fall krävs rådataloggnings av kod- och bärvågsobservationer som antingen efterberäknas med motsvarande korrektionsdata som vid statisk mätning (bandata, referensobservationer, referenskoordinater etc.) *eller* rådata som efterberäknas med nätverksberäknade korrektionsdata, s.k. virtuell RINEX. Det sistnämnda alternativet är aktuellt om mätning genomförs i ett aktivt referensnät, men förutsätter också att leverantör av positioneringstjänst kan generera virtuell RINEX på beställning.

Utföraren bör tänka på följande, om virtuell RINEX ska utnyttjas:

1. Rådata bör loggas innan mätsessionen (punktinmätningen) inleds för att möjliggöra initialisering av fixlösning. För säkerhets skull bör rådataloggnings ske under längre tid än vad som normalt krävs vid initialisering i realtid, eftersom utföraren inte kan invänta "bättre tider" vid efterberäkning. Av samma skäl bör satellitgeometrin helst vara bättre än vid realtidsmätning.
2. Rovern påverkas fortfarande av samma felkällor. Möjligheterna till noggrann lägesbestämning bör i de flesta fallen varken bli bättre eller sämre med virtuell RINEX.
3. För att generera virtuell RINEX behöver utföraren i normalfallet skicka tidpunkt för mätningen samt ungefärliga koordinater (t.ex. via absolutposition) till tjänsteleverantören.
4. Instruktioner för generering och användning av virtuell RINEX från instrumenttillverkare och leverantör av positioneringstjänst bör alltid följas. Uppmärksamma särskilt hur referens- och roverantennerna ska hanteras i programvaran.

I övrigt kan efterberäkningen hanteras och dokumenteras som vid statisk GNSS-mätning enligt [HMK-Ge: Stom](#). Utföraren bör dock särskilt ta vara på möjligheterna till kontroll, datafiltrering, transformation m.m. som kan göras i efterhand.

Om flera lokala referensstationer med rådataloggnings utnyttjas så bör om möjligt mellanliggande baslinjer beräknas, se figur 3.8. Vektorkomponenter och varians-kovariansmatriser från RTK-observationerna kan då användas för utjämning. Dessutom skapar detaljer och kontrollpunkter som mätts in mot flera referensstationer god redundans och möjlighet till kontroll.



Figur 3.8. RTK-mätning med två lokala referensstationer. Gemensamma detaljer (svarta cirklar), kontrollpunkter (svarta romber) och baslinjen mellan referensstationerna skapar redundans och starka närsamband.

4 Kontroller vid detaljmätning

4.1 Allmänt om egenkontroller och toleranser

Rekommendation

- a) Utföraren bör nyttja egenkontroller under RTK-mätning för att minska risken för grova fel eller systematiska avvikelser, samt för att verifiera inställningar och mätkvalitet.
- b) Toleranser bygger på förväntad mätosäkerhet vid detaljmätning och bör finnas tillgängliga i mätinstrumentet för användning i samband med vanliga kontroller – t.ex. RTK-mätning på kontrollpunkt eller upprepad RTK-mätning.

Egenkontroller, dvs. utförarens kontroller, utgör en väsentlig del av att kvalitetsbedöma och kvalitetssäkra detaljmätningens processen. Vid uppdragsarbete formulerar beställaren i vissa fall ett kontrollprogram, där det framgår vilka egenkontroller som ska utföras och hur dessa ska redovisas.

Egenkontroller kan genomföras före, under och/eller efter detaljmätning med RTK:

- **Innan detaljmätning** bör mätutrustningens funktionalitet och prestanda kontrolleras, liksom förväntad mätosäkerhet för den tillämpade mätmetod som planeras. Detta kan i båda fallen ske via RTK-mätning på kontrollpunkter, se även [avsnitt 2.9.1](#) och [avsnitt 4.2](#).
- **Under detaljmätning** sker kontroll främst genom upprepad RTK-mätning med tidsseparation, antingen som flersessionsmätning med medeltalsbildning eller som oberoende kontroll vid återbesök. Även RTK-mätning på kontrollpunkter kan utföras om behov uppstår – t.ex. vid misstanke om degraderad mätkvalitet, se [avsnitt 3.5](#).
- **Efter detaljmätning** utförs kontroller för att bedöma om detaljmätningarna uppfyller kvalitetskraven med avseende på lägesosäkerhet, fullständighet, tematisk osäkerhet m.m. Denna kontroll utförs ofta som stickprov på större datamängder. Riktlinjer för beställarkontroll av det

levererade arbetet/produkten beskrivs mer utförligt i [HMK-Geodatakvalitet](#).

Toleranser, dvs. gräns för acceptabla avvikelser när kontrollmätningen jämförs med ursprunglig mätning eller kända koordinater, är ett verktyg för kontroll av kvalitet.

Utföraren förväntas inte beräkna toleranser i samband med mätsituation, utan bör förkonfigurera mätutrustningen med sådana gränsvärden utifrån förväntad mätosäkerhet för RTK-metoden vid detaljmätning respektive kontroll.

Toleranser beräknas genom fortplantning av mätosäkerheter, enligt följande modell:

$$u(d) = \sqrt{(U_{95}(RTK_d)/2)^2 + u(c_d)^2}$$

där $u(d)$ är standardosäkerheten i plan eller höjd för detaljmätningen, $U_{95}(RTK_d)$ är den enligt praxis utvidgade mätosäkerheten ($k=2$, dvs. 95%) för RTK-metoden som används. Standardosäkerhet för centreringen, $u(c_d)$, tillkommer om planbestämning utförs vid detaljmätningen.

Standardosäkerheten för kontrollmetoden formuleras på motsvarande sätt:

$$u(k) = \sqrt{(U_{95}(RTK_k)/2)^2 + u(c_k)^2}$$

Centreringsosäkerheten bygger på följande antaganden:

- Lodstång, 2 meter: $u(c) = 15$ mm
- Lodstång, 2 meter, med stödben: $u(c) = 5$ mm
- Stativ med tvångscentrering: $u(c) = 0$ mm

Vid höjdmätning på alternativbestämd punkt kan centreringstermen ersättas med $u(\text{geoid}) = 10$ mm, som är standardosäkerheten i omvandling från höjder över ellipsoiden till normalhöjder. I detta fall tillkommer dessutom standardosäkerheten för kontrollpunkten, $u(\text{punkt})$, som beror på osäkerheter i ursprunglig bestämning, markering m.m. Se [avsnitt 4.2.2](#).

Toleranserna är angivna med en täckningsfaktor $k=2$, om inget annat sägs, och betecknas därför T_{95} . Det innebär att kontrollen förväntas omfatta minst 95% av alla avvikelser i plan respektive höjd, baserat på ingående osäkerheter (dvs. detaljmätningen och kontrollmätningen).

Se [HMK-Geodatakvalitet](#), avsnitt 2.9, för en utförlig diskussion kring toleransbegreppet.

4.2 RTK-mätning på kontrollpunkter

Rekommendation

- a) RTK-mätning på kontrollpunkt(er) bör alltid ske innan mätarbete påbörjas – eller närhelst utföraren har behov av att kontrollera att RTK-tekniken fungerar och att mätosäkerheten är den förväntade.
- b) Nybestämning av koordinater för kontrollpunkter bör utföras med en metod som ger försumbar lägesosäkerhet ($\leq 1/3$) i SWEREF 99 i förhållande till undersökt RTK-metod.

Kontrollpunkter är väldefinierade markeringar i miljöer som är gynnsamma för GNSS-mätning, vilket motsvarar kategorierna "Lätt" eller "Normal" i [avsnitt 2.6.2](#). Kontrollpunkter kan exempelvis etableras med GNSS-stommätning, se [HMK-Ge:Stom](#).

Kontrollpunkter kan även vara befintliga punkter i ett lokalt/passivt referensnät, t.ex. polygonpunkter eller höjdfixar. Dessa bör då ha kända koordinater och känd kvalitet i det referenssystem som RTK-mätning ska utföras i.

För att utgöra kontroll av mätmetoden och dess mätosäkerhet bör dock kontrollpunktens lägesosäkerhet vara lägre än osäkerheten i RTK-bestämningen. För nybestämda kontrollpunkter bör en lägesosäkerhet på högst en tredjedel av RTK-metodens standardosäkerheten eftersträvas.

Inmätning (eller utsättning) av kontrollpunkten kan fylla två viktiga syften:

- **Verifiering av mätmetoden**, dvs. att GNSS-utrustningen fungerar, att den har korrekta inställningar (t.ex. med avseende på koordinatsystem och transformationer) och att den i övrigt används på ett korrekt sätt.
- **Verifiering av förväntad mätosäkerhet**, dvs. att förväntad mätosäkerhet uppnås med RTK-metoden under rådande förhållanden och förutsättningar (jonosfär, tillgång till referensstationer m.m.).

Kontrollmätning på GNSS-bestämd kontrollpunkt bör alltid ske innan detaljmätningen påbörjas. Det är lämpligt att permanent etablera en eller flera sådana kontrollpunkter i mätområdet, särskilt i samband med mätuppdrag som sträcker sig över längre tid.

Observera att enstaka RTK-mätning på kontrollpunkt i sig inte utgör underlag för god bedömning av RTK-metodens mätosäkerhet. Undersökning av RTK-metodens förväntade mätosäkerhet i arbetsområdet beskrivs i [avsnitt 2.9.3](#).

4.2.1 Toleranser vid mätning på GNSS-bestämd kontrollpunkt

Rekommendation

Mätning på GNSS-bestämda kontrollpunkter bör helst ske med stativ eller fast montering för att eliminera centreringsosäkerheten.

GNSS-bestämda kontrollpunkter förutsätts ha välbestämda plan- och höjdkoordinater i SWEREF 99. Om toleranser och ingående mätosäkerhet anges med samma täckningsfaktor, samt att stativ används vid kontrollmätning, innebär detta att aktuell tolerans i plan respektive höjd motsvarar mätosäkerheten i RTK-metoden:

$$T_{95} = 2 \cdot \sqrt{(U_{95}(RTK_k)/2)^2} = U_{95}(RTK_k)$$

Exempel 4.2.1: Den utvidgade mätosäkerheten (95 %) vid RTK-mätning förväntas vara 30 mm i plan och 50 mm i höjd. Acceptabla avvikelser vid inmätning av GNSS-bestämd kontrollpunkt är därför 30 mm i plan och 50 mm i höjd. Toleransen antas gälla 95 %, dvs. omfatta 19 av 20 mätningar/avvikelser.

4.2.2 Toleranser vid mätning på alternativbestämd kontrollpunkt

Rekommendation

Mätning på alternativbestämd kontrollpunkt bör tillämpas endast i de fall där uppgifter om punktens osäkerhet (läge, markering m.m.) finns tillgängliga och/eller har verifierats.

En alternativbestämd kontrollpunkt är en markering i ett befintligt referensnät i plan eller höjd, där bestämningen är utförd med en annan mätteknik än den som ska kontrolleras (t.ex. totalstationsmätning eller avvägning). Utöver de syften med kontrollen som redan beskrivits så kan även kontroll av lokalt referensnät eller transformationsparametrar vara aktuella.

Alternativbestämda kontrollpunkter förutsätts ha en lägesosäkerhet som är relativt låg (med ej felfri) i förhållande till den RTK-metod som ska kontrolleras. Detta bör verifieras med uppgifter om

punktmedelfel/standardosäkerhet eller motsvarande information från stornätsförvaltaren, dvs. $u(\text{punkt})$ i plan respektive höjd för kontrollpunkten.

Med valfri centreringsmetod blir då toleransen i plan:

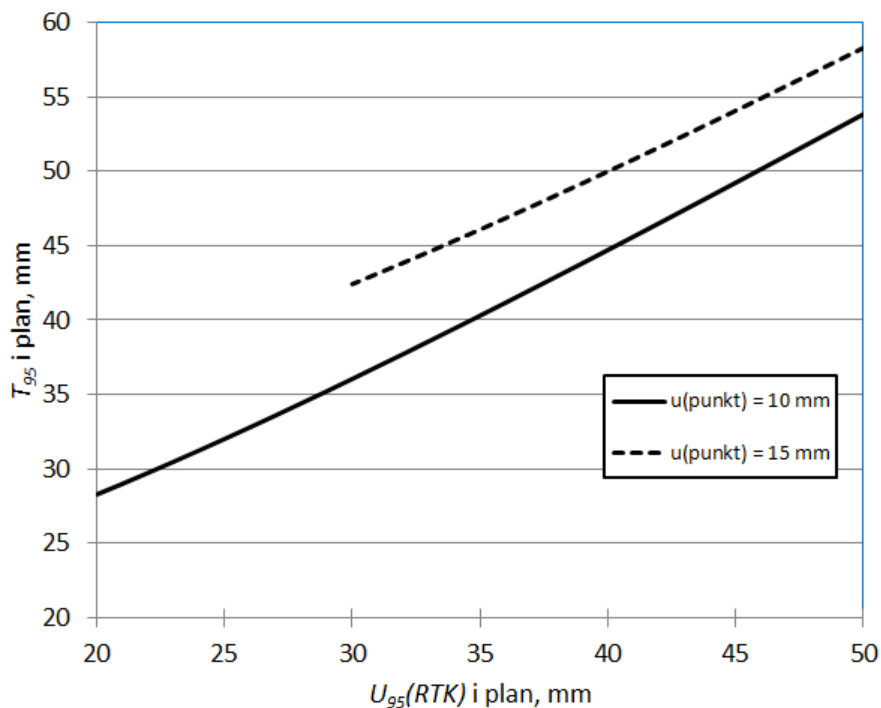
$$T_{95} = 2 \cdot \sqrt{(U_{95}(\text{RTK}_k)/2)^2 + u(\text{punkt})^2 + u(c_k)^2}$$

I höjd tillkommer istället osäkerheten för geoidmodellen (eller höjdsystemsskillnaden):

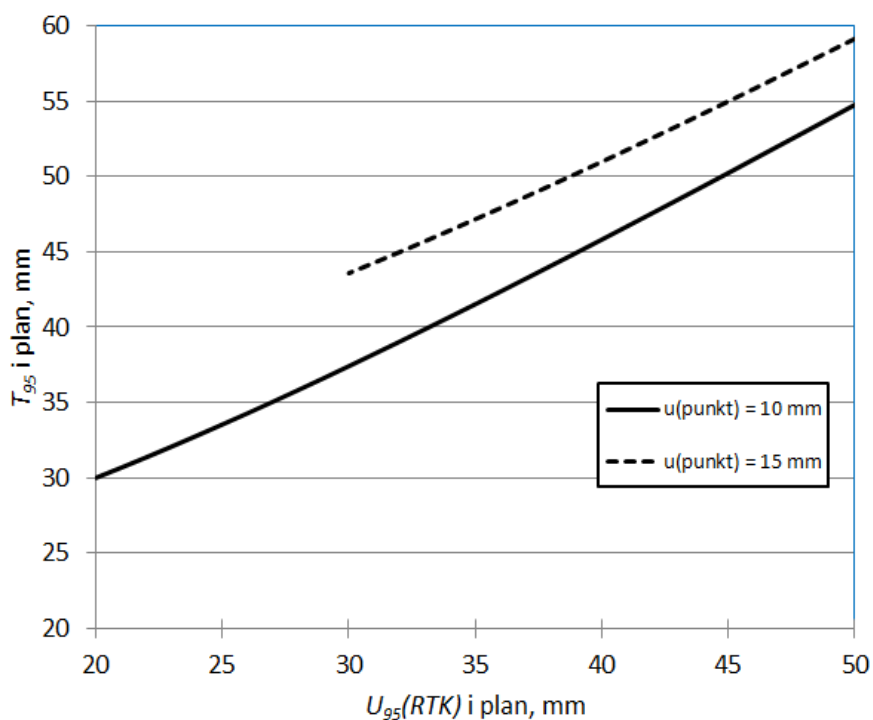
$$T_{95} = 2 \cdot \sqrt{(U_{95}(\text{RTK}_k)/2)^2 + u(\text{punkt})^2 + u(\text{geoid})^2}$$

Toleransberäkningen bör bara tillämpas om $u(\text{punkt}) < u(\text{RTK})$, eftersom kontrollen avser mätmetoden och inte punkten.

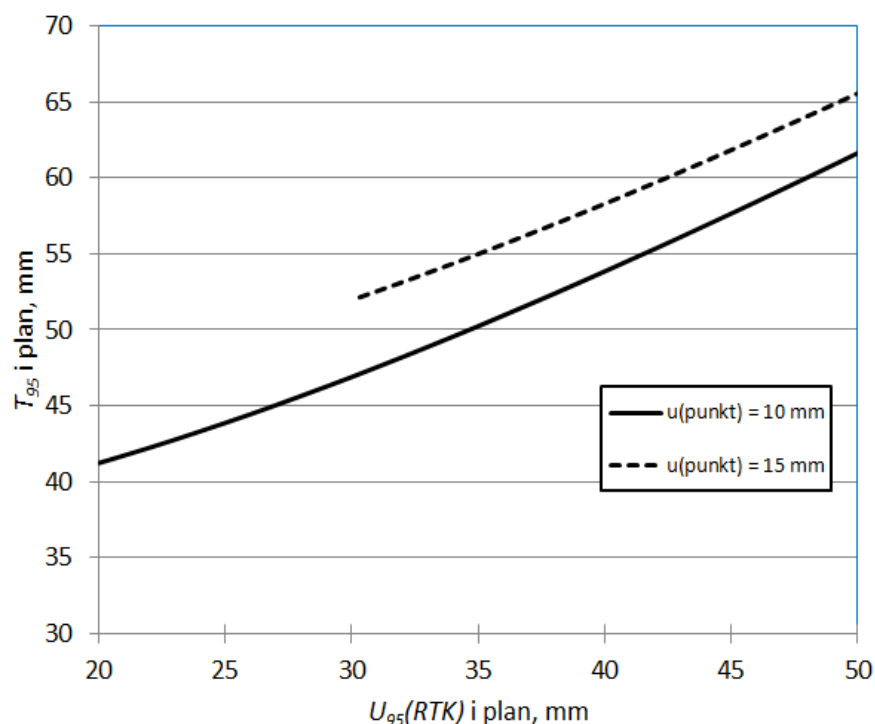
Beräknade toleranser i plan respektive höjd visas i figurerna 4.2.2a-d, med den förväntade mätosäkerheten (95%) för RTK-metoden på den horisontella axeln.



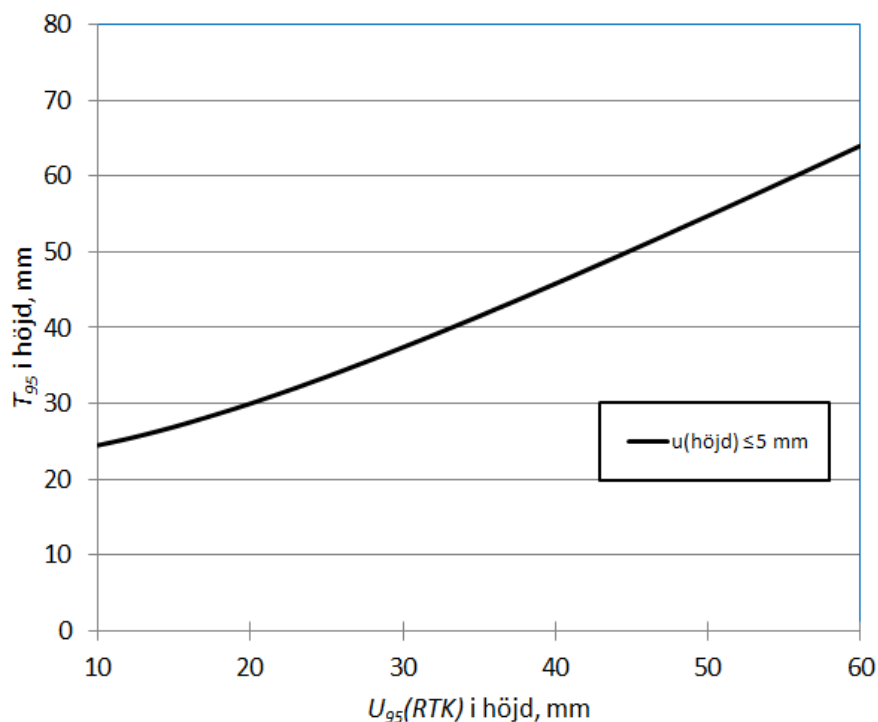
Figur 4.2.2a. Tolerans i plan vid RTK-mätning på alternativbestämd kontrollpunkt med stativ, dvs. $u(c_k)=0$ mm. Mätosäkerheten och toleransnivån är båda angivna med en täckningsfaktor $k=2$.



Figur 4.2.2b. Tolerans i plan vid RTK-mätning på alternativbestämd kontrollpunkt med stödben, dvs. $u(c_k)=5$ mm. Mätosäkerheten och toleransnivån är båda angivna med en täckningsfaktor $k=2$.



Figur 4.2.2c. Tolerans i plan vid RTK-mätning på alternativbestämd kontrollpunkt med lodstång, dvs. $u(c_k)=15$ mm. Mätosäkerheten och toleransnivån är båda angivna med en täckningsfaktor $k=2$.



Figur 4.2.2d. Tolerans i höjd vid RTK-mätning på alternativbestämd kontrollpunkt. Mätosäkerheten och toleransnivån är båda angivna med en täckningsfaktor $k=2$.

Figurerna för planfallet (4.2.2a-c) visar toleranser för två angivna värden på kontrollpunktens standardosäkerhet $u(plan)$. Dessa värden kan sägas motsvara den regionala lägesosäkerheten för punkter i anslutningsnät i plan (där RIX95-punkter är de minst osäkra, med $u(plan) = 10$ mm). Se även [bilaga C.1](#).

Figuren för höjdfallet (4.2.2d) visar toleranser med en standardosäkerhet för kontrollpunkten på 5 mm eller lägre (alla toleranser för värden under denna gräns kan betraktas som ekvivalenta), vilket motsvarar i princip alla avvägda anslutnings- och bruksnät i höjd.

Exempel 4.2.2: Den utvidgade mätosäkerheten (95%) för RTK-metoden förväntas vara 35 mm i plan och 50 mm i höjd. Acceptabla avvikelser vid inmätning av alternativbestämd kontrollpunkt är 50 mm i plan med lodstång utan stödben, samt 45 mm i höjd om standardosäkerheten i geoidmodellen är 55 mm.

4.3 Upprepad mätning med tidsseparation

Krav

- a) Alla kontroller som utförs som upprepade RTK-mätningar ska ske med tidsseparation (enligt rekommendation) och ominitialiserad fixlösning.
- b) Vid upprepade mätningar ska detaljpunkten vara väldefinierad. I annat fall krävs markering vid första mätningen.

Rekommendation

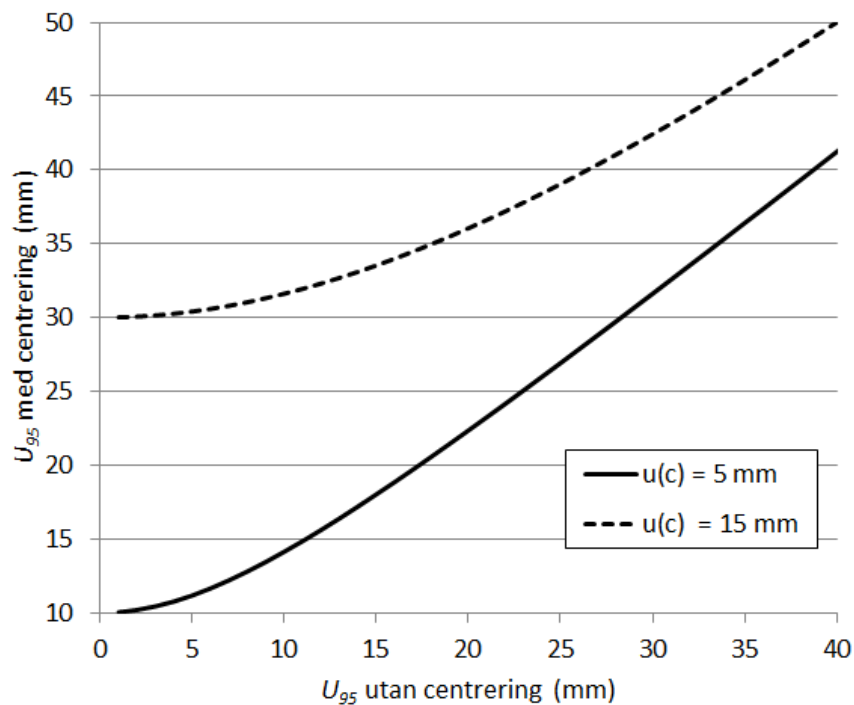
Ominitialisering bör inte användas som kontrollmetod.

Upprepade mätningar med tidsseparation utförs vid kontroll av tidigare detaljmättningspunkt (återbesök) eller vid detaljmätning i flera sessioner. Toleransberäkningar redovisas under separata rubriker för återbesök respektive flersessionsmätning, eftersom metodiken skiljer sig åt.

Upprepade mätningar är vanligtvis det enda sättet att erhålla kontrollerbarhet i RTK-metodik. Denna princip bör därför utnyttjas vid uttalade krav på lägesbestämning utan signifikanta systematiska avvikelser eller grova fel.

För detta krävs dock att rekommendationerna om tidsseparation mellan mätningarna följs, se [avsnitt 3.3.3](#). Alla upprepade mätningar bör göras med initialisering av ny fixlösning för att reducera korrelationstiden. Ominitialisering bör dock inte betraktas (eller användas) som tillräcklig kontroll, eftersom osäkerhetskällor och satellitkonfiguration i princip är oförändrade.

Figur 4.3 kan användas för att inkludera centreringsosäkerhet i den utvidgade mätosäkerheten för detaljmätning U_{95} , som används senare i avsnittet. För större värden på U_{95} kan centreringen ignoreras.



Figur 4.3. Fortplantning av centreringsosäkerhet vid detaljmätning i plan. De två kurvorna motsvarar centreringsosäkerhet av lodstång med respektive utan stödben.

4.3.1 Kontroll genom återbesök

Genom återbesök av inmätt punkt erhålls kontroll av detaljmätningen, och indirekt även av övriga punkter som mätts in med samma fixlösning och jämförbara kvalitetstal. För att kontrollmätningen ska kunna anses vara oberoende ska alltid tidsseparation och ominitialisering tillämpas mellan originalmätningen och återbesöket, se [avsnitt 3.3.3](#).

Toleranser i plan respektive höjd vid återbesök kan beräknas som:

$$T_{95} = 2 \cdot \sqrt{u(d)^2 + u(k)^2}$$

där $u(d)$ och $u(k)$ definieras enligt [avsnitt 4.1](#), dvs. inklusive centreringsosäkerhet vid respektive mätning.

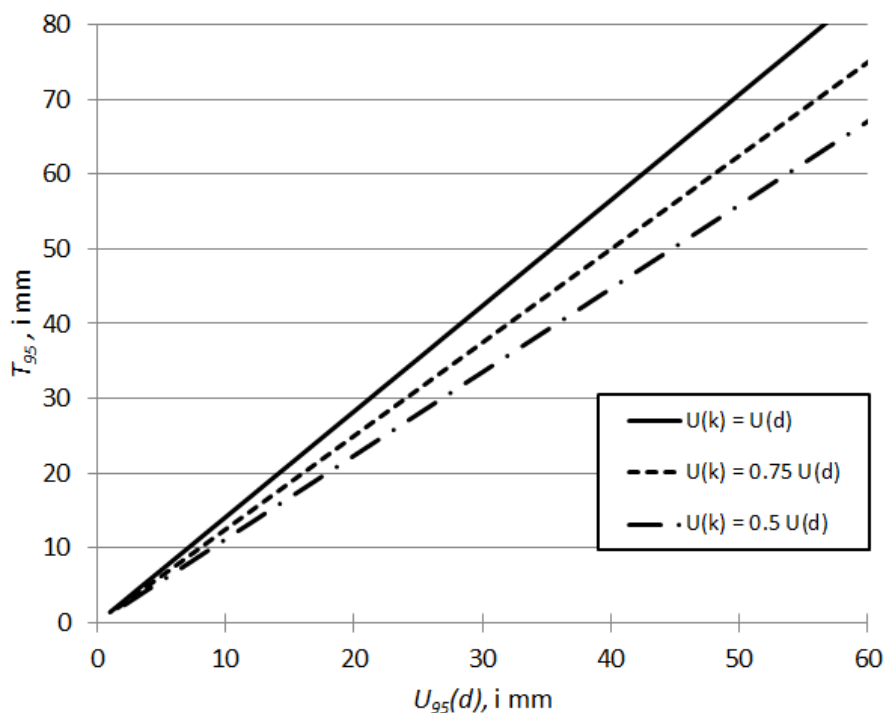
Toleransen varierar alltså beroende på mätosäkerheterna i den RTK-metod som ska kontrolleras och den RTK-metod som används för kontroll. Om samma mätmetod används vid kontrollmätningen som vid ursprungsmätningen – dvs. en "dubbelmätning", med samma sessionslängd och centreringsmetod – så kan toleransberäkningen förenklas som:

$$T_{95} = 2 \cdot \sqrt{2} \cdot u(d) \approx 3u(d)$$

Den förväntade mätosäkerheten i ursprungsmätningen kan anses känd om mätning sker med utförandeklasser, se [avsnitt 3.3.5](#) och [bilaga C.2](#), eller om mätosäkerheten har undersökts i arbetsområdet enligt [avsnitt 2.9.3](#).

I figur 4.3.1 visas toleranser i plan och höjd för tre olika situationer, där kontrollmetodens utvidgade mätosäkerhet $U(k)$ varierar i förhållande till detaljmätningens mätosäkerhet $U(d)$.

Exempel 4.3.1: En detaljpunkt har mätts in med nätverks-RTK. Den utvidgade mätosäkerheten (95%) förväntas vara 30 mm i plan (inklusive centrering), och 45 mm i höjd. Acceptabla avvikelser vid återbesöket är 34 mm i plan och 56 mm i höjd om RTK-kontrollens mätosäkerhet är 50% mindre i plan och 25% lägre i höjd jämfört med detaljmätningen.



Figur 4.3.1. Toleranser i plan och höjd för kontroll genom återbesök, där mätosäkerheten för kontrollmetoden motsvarar 50%, 75%, eller 100% av mätosäkerheten för originalmätningen.

4.3.2 Flersessionsmätning

RTK-mätning i flera sessioner innebär *alltid* upprepad mätning med tidsseparation om gängse rekommendationer följs, se [avsnitt 3.3.2](#). Flersessionsmätning utgör både ett sätt att minska slumpmässiga

och systematiska avvikelser, samt öka kontrollerbarheten i RTK-mätningen. För att sessionerna ska kunna anses som oberoende ska adekvat tidsseparation tillämpas mellan på varandra följande sessioner, se [avsnitt 3.3.3](#).

Toleranser i plan och höjd vid flersessionsmätning kan beräknas som:

$$T_{95} = 2 \cdot \sqrt{n} \cdot \sqrt{2 \cdot u(d)^2}$$

där n är antalet sessioner. Beräkningen förutsätter att samma metodik använts för varje mätsession (dvs. samma förväntade mätosäkerhet per session).

Exempelvis blir då toleransen för RTK-mätning i två sessioner:

$$T_{95} = 4u(d)$$

och toleransen för RTK-mätning i tre sessioner:

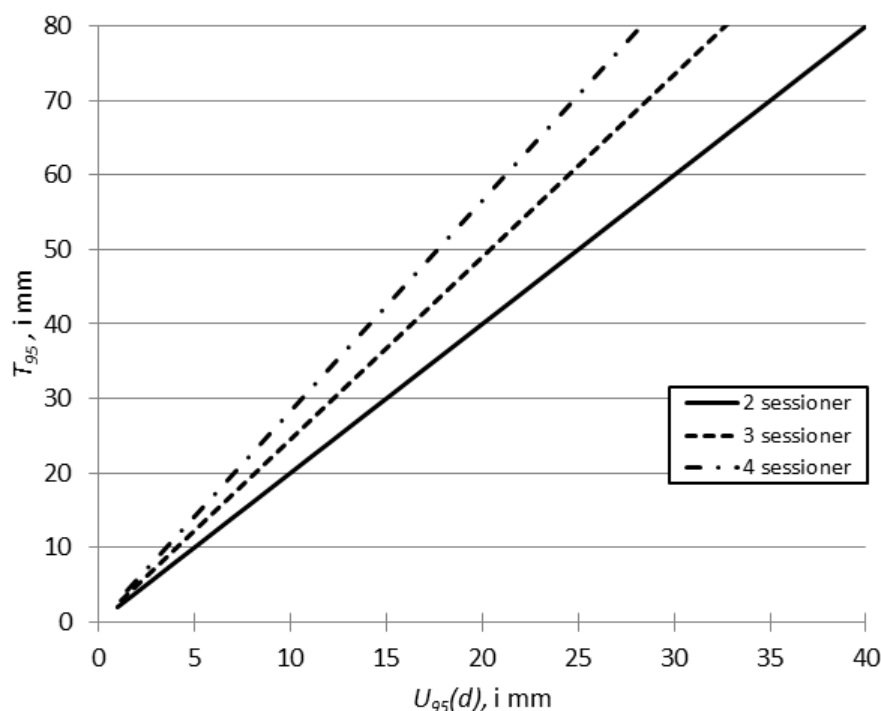
$$T_{95} = 2 \cdot \sqrt{6} \cdot u(d) \approx 5u(d)$$

Observera att toleranserna gäller *mellan* de enskilda sessionerna, dvs. den maximala tillåtna avvikelsen för att medeltalsbildning av sessioner ska göras. Om inte toleransen uppfylls bör ny session mätas in och jämföras med tidigare sessioner.

Den förväntade mätosäkerheten för varje session kan anses känd om mätning sker med utförandeklasser, se [avsnitt 3.3.5](#) och [bilaga C.2](#), eller om mätosäkerheten har undersökts i arbetsområdet enligt [avsnitt 2.9.3](#).

I figur 4.3.2 visas toleranser i plan och höjd för mätning i två, tre, respektive fyra sessioner. $U_{95}(d)$ motsvarar i detta fall den utvidgade mätosäkerheten för varje session (det är denna som kontrolleras!). Observera att centreringsosäkerheten förväntas ingå i $U(d)$, se även figur 4.3.

Exempel 4.3.2: Inmätning görs i tre sessioner. Varje session har en förväntad utvidgad mätosäkerhet (95%) på 25 mm. Session 1 och 2, samt 2 och 3 uppfyller toleranskraven. Session 1 och 3 avviker dock med 70 mm, vilket överskider toleransen på 61 mm. En ny session mäts in efter rekommenderad tidsseparation. Även denna session avviker från session 1, men uppfyller toleranserna mot övriga. Session 1 förkastas, medan sessionerna 2-4 medeltalsbildas.



Figur 4.3.2. Toleranser i plan och höjd vid flersessionsmätning. Mätosäkerhet och toleransnivå är båda angivna med en täckningsfaktor $k=2$.

4.4 Kontroll med terrester mätning

Rekommendation

Längder och vinklar mellan närliggande punkter i ett bruksnät, med inbördes avstånd i storleksordningen 100 meter eller kortare, bör varken bestämmas (indirekt) eller kontrolleras med hjälp av RTK-metoder.

I dessa fall bör lämpliga terrestra mätmetoder användas, se [HMK-Ge: Terrester](#).

Två eller flera punkter som bestämts med RTK kan kontrolleras inbördes med terrester mätmetod. Mätmetoden som väljs bör ha en mätosäkerhet som inte överstiger en tredjedel av den förväntade mätosäkerheten för RTK-bestämningen. I sådant fall kan kontrollmetoden betraktas som felfri.

Kontroll mellan parvisa detaljpunkter i plan respektive höjd kan exempelvis utföras med totalstation (plan och höjd) eller med avvägning (höjd). Dessa mätningar behöver inte anslutas om endast relativ kontroll eftersträvas. Om det horisontella avståndet och

höjdskillnaden mellan två RTK-bestämda detaljpunkter är Δd_p respektive Δd_h (p för "plan", h för "höjd") så skrivs standardosäkerheten för det horisontella avståndet enligt följande:

$$u(\Delta d_p) \approx \sqrt{u(d_{längs})^2 + u(d_{längs})^2} = \sqrt{u(d_p)^2/2 + u(d_p)^2/2} = u(d_p)$$

eftersom måttet tvärs mot avståndet (mellan punkterna) inverkar mycket litet på osäkerheten i avstånd över några meter, och kan därför ignoreras. Standardosäkerheten för höjdskillnaden blir:

$$\mathbf{u(\Delta d_h) = \sqrt{u(d_h)^2 + u(d_h)^2} = \sqrt{2} \cdot u(d_h)}$$

Toleransen för kontrollen av horisontellt avstånd blir alltså:

$$\mathbf{T_{95} = 2 \cdot u(d_p) \quad [\text{vilket motsvarar } T_{95} = U_{95}(d_p)]}$$

och toleransen för kontrollen av höjdskillnad:

$$\mathbf{T_{95} = 2 \cdot \sqrt{2} \cdot u(d_h) \quad [\text{vilket motsvarar } T_{95} = \sqrt{2} \cdot U_{95}(d_p)]}$$

Vid beräkning av den sistnämnda toleransen behöver ingen hänsyn tas till osäkerheten i geoidmodell/höjdomvandling eftersom osäkerheten förväntas vara lika stor i båda punkterna.

Exempel 4.4: Två detaljpunkter har mätts in med RTK. Följande koordinat- och höjdskillnader härleds från mätdata:

$$\Delta d_p = 25.638 \text{ m}$$

$$\Delta d_h = 0.752 \text{ m}$$

Med totalstation uppmäts:

$$\Delta d_p = 25.685 \text{ m}$$

$$\Delta d_h = 0.695 \text{ m}$$

Den utvidgade mätosäkerheten (95%) för RTK-mätningen förväntas vara 35 mm i plan (inklusive centring) och 50 mm i höjd. Därmed överskrids toleransen för det horisontella avståndet ($|25.685 - 25.638| = 0.047 > 0.035$), vilket bör undersökas vidare. Däremot är toleransen för höjdskillnaden uppfylld ($|0.695 - 0.752| = 0.057 \leq 0.071$).

5 Dokumentation av detaljmätning

Rekommendation

Utföraren bör dokumentera hela mätprocessen, inklusive kontroller.

Dokumentation av mätprocessen är en förutsättning för spårbarhet, egenkontroll och kvalitetsbedömning. Genom god dokumentation ökar möjligheterna att uppfylla beställarkraven och rapportera eventuella avvikelser.

5.1 Förutsättningar och genomförande

5.1.1 Mätutrustning

Krav

Om mätning sker med enkelstations-RTK ska dokumentation av mätutrustning omfatta både rover- och referensinstrument.

All mätutrustning som används vid detaljmätningen bör dokumenteras med avseende på följande:

- **RTK-instrument:** modell/typ, serienummer, samt hjälputrustning för centrering och horisontering.
- **Instrumentvalideringar och funktionskontroller:** daterade serviceprotokoll, certifikat eller egenkontroller av RTK-rovern och övriga hjälpmedel.
- **Inställningar och konfigurationer:** antenmodeller, gränsvärden, använda mätkonfigurationer, objektbibliotek, och övriga uppgifter som behövs för definition och kvalitetsmärkning av mätdata. Vissa av dessa uppgifter kan även förekomma vid dokumentation av genomförandet, se avsnitt 5.2.6.

5.1.2 Geodetisk infrastruktur

Dokumentation av geodetisk infrastruktur beskriver hur referensstationer, positioneringstjänster eller markerade punkter utnyttjats för detaljmätningen.

Geodetisk infrastruktur omfattar referensnät och definitioner av referenssystem och transformationer, vilket beskrivs mer utförligt i HMK-Ge: Infra. Dokumentation bör innehålla följande:

- **Referensstationer och positioneringstjänster** som används under uppdraget. Planerade/oplanerade avbrott och åtgärder. Baslinjer/RTK-vektorer på översiktsplott eller skiss som underlag för skattning av kvalitet och kontrollerbarhet. Förtätningsgrad anges vid mätning med nätverks-RTK, antingen som nätclass (t.ex. SWEPOS, 35 km) eller med medelavstånd mellan referensstationer i mätområdet.
- **Markerade punkter**, inklusive koordinatlistor och kvalitetsuppgifter för stations- och kontrollpunkter, samt punktbeskrivningar och översikt-karta som visar nymarkerade punkter och befintliga kontrollpunkter. Inventering bör utföras i samband med planering och förberedelser för mätuppdraget, se [avsnitt 2.1](#).
- **Geodetiska referenssystem**, dvs. information om de systemdefinitioner, kartprojektioner, geoidmodeller och övriga transformationer som utnyttjats för att erhålla och redovisa beräkningsresultat och slutliga lägesangivelser.

5.1.3 Etablering av lokal referensstation

Etableringsdokumentationen bör omfatta de aspekter som förväntas påverka slutkvalitet vid detaljmätning med enkelstations-RTK, inklusive hur stationen ansluts till referenssystem.

I de fall då en lokal referensstation etableras bör en särskild rapport upprättas där följande uppgifter dokumenteras:

- **Stationsetableringen**, dvs. beskrivande uppgifter om instrumentering, uppställning/montering och konfigurering
- **Anslutning till referenssystem**, där stationen läges- och kvalitetsbestäms via nyberäkning, inpassning eller motsvarande förfarande, vilket redovisas i separata beräkningshandlingar.

5.1.4 Planering och övriga förutsättningar

De faktorer som förväntas påverka genomförande och kvalitetsbedömning vid detaljmätning bör kartläggas och dokumenteras, särskilt sådant som innebär risk för undermålig kvalitet eller svårigheter att genomföra uppdraget. Till detta hör:

- **Lokala mätmiljöer**, beskriven med kartor, fotografier eller fri text i samband med inventering eller vid genomförandet. Vid större (eller återkommande) uppdrag sker eventuell kategorisering av mätmiljön lämpligen enligt [avsnitt 2.6.2](#).
- **Tillgången till GNSS-satelliter** under mättillfället, både avseende antal och geometri. Skyplot och/eller tabell.

- **Väder- och atmosfärsförhållanden** under mättillfället, bland endast som avvikelsernotering (t.ex. vid snabba väderomslag). Värden eller "färgkod" från SWEPOS jonosfärsmonitor utgör en viktig kvalitetsparameter vid mätning med nätverks-RTK.

5.1.5 Genomförande av detaljmätning

Rekommendation

Den RTK-metodik som används vid detaljmätningen bör beskrivas, inklusive uppskattning av förväntad mätosäkerhet och inställda gränsvärden i mätinstrumentet.

Dokumentation av genomförandet kan avse en delmängd av mätningar eller hela mätuppdraget, och bör innehålla följande:

- **Tillämpade mätmetoder**, dvs. beskrivning av den metodik som används vid inmätning och utsättning. Detta inkluderar typ av RTK-teknik, mättid, flersessionsmätning, samt eventuell medeltalsbildning.
- **Förväntad mätosäkerhet**, exempelvis skattad i samband med testkampanjer eller genomförandekontroller i mätområdet (mätosäkerhet, typ A), eller givna via schablonskattningar (mätosäkerhet, typ B). Mätosäkerhet för utförandeklasser vid inmätning kan anses vara av typ B.
- **Utförandeklasser vid inmätning**, eller om andra formaliserade rekommendationer har följts vid RTK-mätningen.
- **Förstärkta mätrutiner**, i den mån särskilda åtgärder vidtagits vid mätning under svårare mätförhållanden
- **Avvikelser eller problem** som uppstått i samband med detaljmätning. Se exempelvis [avsnitt 3.5.3](#).

5.2 Mätdata

Hantering av mätdata bör ske enligt överenskommelse med beställaren, och i övrigt på ett sådant sätt att relevanta steg i mätprocessen kan rekonstrueras för att möjliggöra felsökning, kvalitetsbedömning, omräkning m.m. under den tid uppdraget pågår. Mätdata från RTK-baserad detaljmätning är antingen realtidsbestämda koordinatvärden eller efterberäknade koordinatvärden utifrån känd baslinje- och punktinformation. Vid efterberäkning bör detta dokumenteras i tillräcklig omfattning för att kunna rekonstruera koordinatbestämningen.

5.2.1 Lägesangivelser av detaljer

Alla inmätta eller utsatta detaljer bör ha lägesangivelser som är entydiga i förhållande till de referenspunkter eller referenspunkter som är specificerade för uppdraget.

Dokumentation av inmätta detaljer bör omfatta följande uppgifter:

- **Punkt­beteckningar** enligt beställarens specifikation
- **Koordinatvärden** i relevanta referenssystem i plan och/eller höjd
- **Objekttyper** kodade enligt beställarens specifikation

Vid dokumentation av utsatta detaljer tillkommer:

- **Utsättningsdata**, som kan beskrivas med koordinater eller som linjeelement med kurvparametrar.
- **Kontrolldata**, som beskriver relevanta avvikelser mellan detaljernas teoretiska lägen och kontrollinmätta lägen för toleransuppfyllnad. Kontrolldata kan även sammanställas i separat kontrolldokumentation, se [avsnitt 5.4](#).

5.2.2 Efterberäkning av plan- och höjdlägen

Rekommendation

All efterberäkning av RTK-mätningar bör dokumenteras på ett sådant sätt att beräkningsgången kan följas och resultaten reproduceras.

För full spårbarhet och kvalitetssäkring bör dokumentationen innehålla följande:

- **Förteckning över ingångsdata**, med punkt-och koordinatlistor, rådatafiler, referensobservationer, antenmodeller, banddata, virtuell RINEX m.m.
- **Programvaror och datafiler** som använts vid baslinjeberäkningar, utjämnings, transformationer, inpassningar m.m.
- **Validering av beräkningsgången**, dvs. en beskrivning eller "kvitto" på att varje steg i beräkningen leder fram till redovisat slutresultat.
- **Beräkningresultat**, med lägesangivelser, residualer, grundmedelfel eller andra kvalitetsparametrar från baslinjebestämning och utjämnings.

5.2.3 Metadata

Metadata beskriver på olika sätt datamängdens innehåll, egenskaper och kvalitet. Dokumentationen bör inkludera de metadata som behövs för att beskriva definitioner, osäkerheter och andra egenskaper för mätdata, t.ex.

- **Ursprung:** observatör, mätmetod, tidpunkt, mätinstrument, använda referensstationer, antenmodeller, antennhöjder m.m. (såvida inte detta framgår av övrig dokumentation, t.ex. [avsnitt 5.2.2](#))
- **Kvalitetsparametrar:** Typ av bärvåglösning, antal epoker, DOP-tal, internkvalitet (CQ-tal), antal satelliter, RTK-korrektionsålder m.m.
- **Objektgeometri:** linje- eller areakodning av detaljpunkter för beskrivning av objektens geometri och topologi

Omfattningen av metadata som faktiskt levereras till beställaren bör dock anpassas till kravbilden.

5.3 Kontroller för kvalitetssäkring

Dokumentation av genomförda kontroller bör stå i rimlig proportion till detaljmätningens omfattning, samt kontrollernas syfte.

5.3.1 Egenkontroller vid detaljmätning

Dokumentation av genomförandekontroller vid inmätning och utsättning bör omfatta tillämplig mät- och kontrollmetodik, angivna eller beräknade toleranskrav, samt kontrollernas avvikelser i förhållande till dessa.

Vid upprepad mätning med RTK, dvs. vid flersessionsmätning eller återbesök, ska aktuell tidsseparation mellan mätningarna (skillnaden mellan medelepoker) framgå.

Vid användning av kontrollpunkter ska dessa redovisas med koordinater och tillförlitlig kvalitetsskattning.

Övriga riktlinjer för egenkontroller:

- **Funktionskontroll av instrument,** för verifiering av inställningar och uppnådd mätosäkerhet. Kontrollutförande, tidpunkt, eventuella toleranser och skattade kvalitetsvärden från analys.
- **Undersökning av mätosäkerhet,** utförd i arbetsområdet innan detaljmätningen inleds eller skattad på annat sätt. Kan också genomföras på utvalda punkter eller som stickprov för

att i efterhand verifiera mätosäkerhet. Punktskiss, mätinstrument, utförande, tidpunkter m.m.

- **Flersessionskontroll**, utförd som upprepad mätning med toleranskontroll av mätsessioner vid inmätningar med krav på låg mätosäkerhet. I första hand bör avvikelser och ommätningar dokumenteras.
- **Återbesök**, lämpligen utförd på ett urval av punkter för allmän (mätområdet) eller specifik (detaljobjektet) kvalitetskontroll. Återbesök kan dokumenteras på mätskiss eller anges i genomförandebeskrivningen.
- **RTK-mätningar på kontrollpunkter**, antingen på *GNSS-bestämda punkter* (vanligen nymarkerade) eller på *alternativbestämda punkter*, t.ex. befintliga stompunkter. Utförda kontrollmätningar kan dokumenteras med tidpunkt och utfall (t.ex. "grön" eller "röd"), gärna på en skiss/plott av mätområdet.
- **Kontrollmätningar med terrestra metoder**, t.ex. jämförelse av horisontella avstånd och höjdskillnader mellan punktpar, kontroll av höjdsnitt, eller undersökning av genomsnittlig lokal lägesosäkerhet i arbetsområdet. Förväntade mätosäkerheter, avvikelser, toleranskrav m.m.
- **Kontroll av utsättning**, utförd i samband med finutsättning eller som stickprovskontroll i ett senare skede. Toleranskrav och avvikelser för enskilda punkter eller punktmängd.

5.3.2 Leveranskontroller

Krav

Utföraren ska verifiera att data och dokumentation uppfyller beställarkraven innan leverans. Leveranskontrollen ska i första hand relateras till teknisk specifikation från beställare, och/eller kvalitetsplan som upprättats i samråd med beställare.

Dokumentationens innehåll bör kontrolleras för att verifiera att beställarspecifikationerna är uppfyllda. Vidare bör alla datafiler och digitala dokument för leverans kontrolleras så att de är korrekt namngivna, i rätt format, och har rätt innehåll.

Mätdata och metadata bör kontrolleras med avseende på lägesosäkerhet, fullständighet, tematisk osäkerhet eller andra kvalitetsteman som är relevanta för beställaren. Vid större uppdrag kan stickprovskontroller vara ett bra verktyg för detta, eventuellt kompletterad med statistisk utvärdering.

I [HMK-Geodatakvalitet](#) finns både en allmän beskrivning och flera exempel på hur leveranskontroll kan utföras.

Omfattningen av leveranskontrollen bör vara relevant för uppdragets syfte och datamängd, och bör även sättas i relation till den kontroll som beställaren utför (eller beställer) när leverans skett. Sådana överväganden bör finna stöd i beställarens krav och i uppdragsdokumentationen.

5.4 Krav vid leverans och redovisning

Krav på leverans kan variera mellan olika uppdrag, men enligt god praxis bör leverans ske med följande innehåll:

- **Datafiler:** Mätdata ska innehålla punktbeteckningar, objekt-koder och attributdata enligt överenskommelse. Koordinatvärden ska anges i för uppdraget relevanta plan- och höjdsystem, med de systemparametrar som krävs för entydighet.
- **Uppdragsrapport:** Rapporten ska utgöra en skriftlig redogörelse för mätuppdraget i sin helhet, inklusive en sammanfattning av de egenkontroller som genomförts för kvalitetssäkring. Rapporten bör dateras och undertecknas av uppdragsansvarig person från utförarorganisationen.
- **Beräkningshandlingar:** Resultat från beräkningar, utjämnings- och inpassningar. Input och output från genomförda transformationer. Statistiska kontrollberäkningar/utvärderingar.
- **Etableringsrapport:** Om lokal referensstation etablerats för längre drift bör denna beskrivas i särskild dokumentation, inklusive placeringsalternativ, utrustning, driftsrutiner och lägesbestämning/anslutning.
- **Kontrolldokumentation:** Rapport med de kontroller som genomförts för kvalitetssäkring av inmätning eller utsättning. Om kvalitetplan upprättats i samråd med beställare bör innehållet framgå av detta.
- **Avvikelsesrapportering:** Alla undantag från leveranskrav bör särskilt anges av beställaren, eller rapporteras som avvikelser av utföraren. Undantag eller avvikelser kan t.ex. gälla krav på lägesosäkerhet, fullständighet eller tematisk riktighet. Rapporten bör även beskriva eventuella problem som uppstått under genomförandet av uppdraget – i den mån detta kan kopplas till kvalitetskrav – samt vilka åtgärder som vidtagits i samband med detta.

A Utförandeklasser för nätverks-RTK

Rekommendation

Utförandeklasserna för nätverks-RTK *bör inte* anges som absoluta krav i förfrågningsunderlag eller i juridiskt bindande dokumentation i de situationer då utförare har möjlighet att uppfylla kvalitetskraven via alternativa metod- och teknikval.

Krav

Utförandeklasserna för nätverks-RTK *ska* följas om utföraren hänvisar till dessa vid utförandebeskrivning.

För inmätning med nätverks-RTK-teknik definieras två utförandeklasser – ”Bas” respektive ”Hög” – utifrån följande påverkbara parametrar:

- Mätsessioner, se A.1.
- Gränsvärden för satellitgeometri, se A.2.
- Gränsvärden för instrumentberäknade kvalitetstal, se A.3.

Utförandeklasserna ska främst ses som ett stöd till utförare som behöver anpassa mätprocessen till specifika kvalitetskrav. De utgör därmed ett komplement till de allmänna råd och riktlinjer för detaljmätning med RTK som beskrivs i dokumentet.

Schablonmässiga skattningar av förväntad mätosäkerhet utifrån utförandeklasserna redovisas i [bilaga C](#).

A.1 Mätsessioner

Mätsessioner utförs genom att registrera en obruten sekvens av positioner med fixlösning, med viktad eller oviktad medeltalsbildning, se [avsnitt 3.3.1](#). Flersessionsmätning utförs med inbördes kontroll och medeltalsbildning av tidsseparerade sessioner, se [avsnitt 3.3.2](#). Rekommenderad tidsseparation anges som ett intervall, där den lägre värdet avser planbestämning och det högre värdet avser höjdbestämning.

Tabell A.1. Rekommenderade mätsessioner och tidsseparation.

	Antal sessioner	Sessionslängd	Tidsseparation
Bas	1	≥ 5 sekunder	-
Hög	2	≥ 10 sekunder	≥ 15-30 minuter

A.2 Gränsvärden för satellitgeometri

Gränsvärden för satellitgeometri (tabell A.2) konfigureras i RTK-instrumentets programvara. I de fall då denna möjlighet saknas bör observationerna kontrolleras fortlöpande under mätning, och vid behov filtreras bort i efterhand utifrån samma kriterier.

Det förutsätts här att mätning med nätverks-RTK sker med hjälp av satellitsystemen GPS eller GPS/GLONASS i kombination.

Tabell A.2. Rekommenderade gränsvärden för satellitgeometri

	Antal GPS	Antal GPS+GLO	PDOP-värde	Elevationsvinkel
Bas	≥ 6	≥ 8	≤ 3	≥ 13
Hög	≥ 6	≥ 8	≤ 2	≥ 15

A.3 Gränsvärden för instrumentberäknade kvalitetstal

Gränsvärden för instrumentberäknade kvalitetstal (tabell A.3) konfigureras i RTK-instrumentets programvara. I de fall då denna möjlighet saknas bör kontroll ske fortlöpande under mätning, och vid behov bör mätningar som ej uppfyller kraven filtreras bort i efterhand.

Eftersom det saknas en standard för beräkning av instrumentberäknade kvalitetstal så kan inga rekommendationer anges i absoluta tal. Däremot kan ett "typvärde" för en given GNSS-utrustning bestämmas genom följande procedur:

1. Genomför mätning med nätverks-RTK på GNSS-bestämd kontrollpunkt (eller motsvarande metod) vid minst tre olika tillfällen med varierande satellitgeometri. Avståndet till närmaste fysiska referensstation bör vara 2-10 km. Jonosfärsfördröjningen bör inte överstiga 10 mm på GPS L1-

fas (se exempelvis SWEPOS jonosfärsmonitor).

Troposfärsfördröjningen bör inte överstiga det "normala" (dvs. normala förhållanden med avseende på luftfuktighet, temperatur och vind).

2. Mätvärden registreras varje sekund (1 Hz) under minst två timmar, inklusive interna kvalitetstal. Dessa tal brukar anges som "precision", "kvalitet", "CQ" eller liknande.
3. Importera mätdata till lämplig kontorsprogramvara för visualisering och sammanställning av RTK-data.
4. Medeltalsbilda kvalitetstalen i plan respektive höjd för samtliga fixlösningar i var och en av de tre mätserierna.
5. Om de erhållna medeltalen för varje mätserie inte avviker med mer än 2 cm kan dessa medeltalsbildas i sin tur. Annars bör proceduren upprepas med ytterligare mättillfällen.
6. De nya medeltalen kan betraktas som typvärden för kvalitetstal i plan respektive höjd för denna rover i aktuell förtätningsgrad, se [bilaga B](#).

Gränsvärden i tabell A.3 gäller plan-och höjdkvalitet som anges med en täckningsfaktor $k=1$. Vilken täckningsfaktor som mätinstrumentet redovisar bör kontrolleras i manual eller med teknisk support.

Tabell A.3. Rekommenderade gränsvärden för instrumentberäknade kvalitetstal, baserade på det av utföraren bestämda typvärdet i plan respektive höjd.

	Kvalitet i plan (2D)	Kvalitet i höjd (1D)
Bas & Hög	$\leq \text{Typvärde}_{k=1} \times 5$ (eller maximalt 10 cm)	$\leq \text{Typvärde}_{k=1} \times 5$ (eller maximalt 10 cm)

B Förtättningsgrad för nätverks-RTK

Den förväntade lägesosäkerheten vid mätning med nätverks-RTK är beroende av avstånden mellan referensstationerna i det aktiva referensnätet. Detta avstånd kan variera från plats till plats och bör bedömas inför mätning.

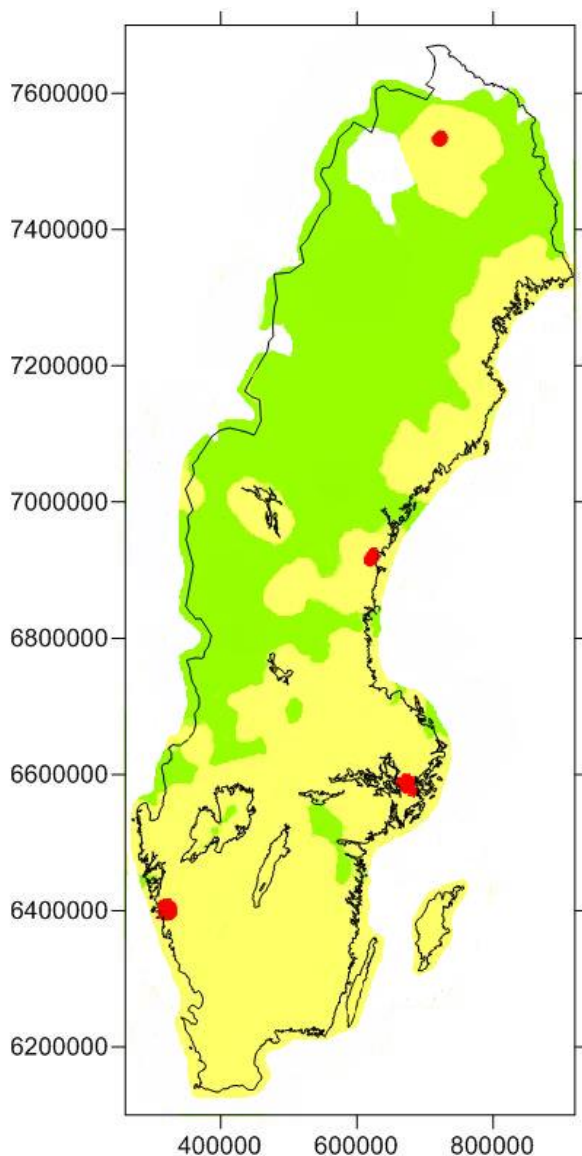
Rikstäckande tjänster för nätverks-RTK i Sverige baseras i dagsläget på data från det aktiva referensnätet SWEPOS, som översiktligt kan delas in tre s.k. **förtättningsgrader**:

- **70 km**: Den ursprungliga infrastrukturen för nätverks-RTK-teknik som byggdes ut via regionala etableringsprojekt under åren 2002-2010. Typavståndet mellan stationerna i nätklassen är 70 km.
- **35 km**: Områden med pågående förtätning av SWEPOS. Förtätningen inleddes 2010, med syfte att öka och bredda användningen genom att möjliggöra tillämpningar med högre precisionskrav. Typavståndet mellan stationerna i nätklassen är 35 km.
- **10 km**: Geografiskt begränsade områden, där mycket täta stationsnätverk har etablerats, främst för större väg- och anläggningsprojekt med s.k. projektanpassade positioneringstjänster. Typavståndet mellan stationerna i nätklassen är 10 km.

Förtättningsgraden används som input till tabellerna i [bilaga C.2](#). Utföraren kan alltså göra en schablonmässig skattning av förväntad lägesosäkerhet vid mätning med nätverks-RTK genom att utgå ifrån förtättningsgraden i det aktuella mätområdet. Detta bestäms förslagsvis via information från tjänsteleverantörerna, samt med följande kriterier:

1. Identifiera de tre närmast belägna referensstationerna och beräkna medelavståndet mellan dem.
2. Om medelavståndet *till* de tre närmast belägna referensstationerna (från rovern) överskrider medelavståndet *mellan* referensstationerna så ska det förstnämnda medelavståndet användas istället.
3. Jämför medelavståndet med typavstånden 10 km, 35 km eller 70 km – dvs. i tur och ordning med ökande avstånd.
4. För att mätområdet ska kunna anses tillhöra en viss förtättningsgrad bör inte det beräknade medelavståndet överskrida typavståndet med mer än 20 % (dvs. max 12 km för förtättningsgraden 10 km, respektive max 42 km för

förtättningsgraden 35 km). Om medelavståndet är större så tillhör mätområdet en lägre/glesare förtättningsgrad.



Figur B.1. Exempel på nätklasser i en av de rikstäckande nätverks-RTK-tjänsterna (mars 2015) utifrån de givna kriterierna. Färgskalan visar nätklass enligt följande: grön – SWEPOS 70 km, gul – SWEPOS 35 km, röd – SWEPOS 10 km. Koordinataxlarna är angivna i SWEREF 99 TM.

Information

I en situation där en eller flera referensstationer inte är i drift så kommer medelavstånden – och därmed den skattade förtättningsgraden – att förändras. I sådant fall bör utföraren räkna om medelavstånden med lämpligt kartstöd, alternativt kontakta tjänsteleverantören för mer information.

C Förväntade mätosäkerheter

C.1 Schablonskattningar av regional lägesosäkerhet

I tabell C.1a ges skattningar av regional lägesosäkerhet för aktiva referensnät och RTK-mätning. För bättre skattning av förväntad mätosäkerhet vid RTK-baserad detaljmätning bör dock dessa värden kompletteras med mer grundlig undersökning av mätosäkerhet av Typ A eller Typ B – t.ex. värden ur [bilaga C.2](#).

I tabellerna C.1b och C.1c ges skattningar av regional och lokal lägesosäkerhet i passiva referensnät. Vid användning av passiva punkter för etablering av lokal referensstation eller kontrollpunkt för RTK-mätning bör dock osäkerheten utredas för det enskilda fallet.

Tabell C.1a. Exempel på regional standardosäkerhet för aktiva referensnät samt olika typer av RTK-mätning. Enhet: mm.

Metod/nättyp	Standardosäkerhet (1σ)			Anm.
	Plan	Höjd	3D	
SWEPOS fundamentstationer, "de 21"	1	1-2	2-3	-
Övriga SWEPOS-stationer	2-3	3-4	4-5	-
Geoidmodellen SWEN_08	-	10-15	-	-
Nätverks-RTK mot SWEPOS (enbart GNSS, höjd över ellipsoiden)	10-15	20-25	25-30	Lägre värden i de områden där SWEPOS har förtätats
Nätverks-RTK mot SWEPOS (höjd över geoiden)	10-15	25-30	30-35	Lägre värden i de områden där SWEPOS har förtätats
Projektanpassad Nätverks-RTK	8	12	15	Anpassning även av geoidmodell
Enkelstations-RTK	10 +1 ppm	20 +1 ppm	22 +1,5 ppm	Relativt referensstation

Tabell C.1b. Schablonmässig standardosäkerhet (1σ) i plana stomnät.

Nättyp	Regional mätosäkerhet	Lokal mätosäkerhet	Avstånd mellan stompunkter
RIX 95 punkter	Inte tillämplig	10 mm	10 km
Anslutningsnät	10 mm	10-15 mm	2-5 km
Bruksnät	5 mm	15-20 mm	0,1-0,5 km

Tabell C.1c. Schablonmässig standardosäkerhet (1σ) i avvägningnät.

Nättyp	Regional mätosäkerhet	Lokal mätosäkerhet	Avstånd mellan fixar
Riksnät (RH2000)	3 mm	1 mm	1 km
Anslutningsnät	5 mm	2 mm	0,5 km
Bruksnät	5-10 mm	2-5 mm	0,1-0,5 km

C.2 Schablonskattningar av mätosäkerhet för nätverks-RTK

I den här bilagan beskrivs den förväntade mätosäkerheten vid plan- respektive höjdbestämning med nätverks-RTK för aktuell förtätningsgrad – 70 km, 35 km eller 10 km. Ingående värden är utförandeklassen för mätningen och den aktuella baslinjelängden.

I [bilaga A](#) definieras utförandeklasser för nätverk-RTK.

I [bilaga B](#) finns stöd för att avgöra förtätningsgraden vid mätning i det aktiva referensnätet SWEPOS (dvs. alla rikstäckande nätverks-RTK-tjänster)

C.2.1 Antaganden och förutsättningar

Följande antaganden och förutsättningar bör noteras om angivna osäkerhetsmått:

1. Mätosäkerheterna förutsätts gälla bärvågsmätning med korrekt heltalsfixerade periodobekanta. Vidare förutsätts osäkerheterna för varje koordinatkomponent vara normalfördelade.
2. Mätosäkerheterna är schablonmässigt angivna utifrån beprövad erfarenhet och kunskap om osäkerhetskällorna, samt nuvarande infrastruktur i form av satelliter och stödsystem för GNSS-mätning. Osäkerhetskällorna förutsätts ge ett "normalt" bidrag till redovisade mätosäkerheter i detta avsnitt. I de situationer då osäkerhetsbidraget kan antas vara större, t.ex. vid förhöjd jonosfärsaktivitet, rekommenderas

förstärkt RTK-mätning för att önskade kvalitetskrav ska uppnås, se [avsnitt 3.6](#).

3. Den förväntade mätosäkerheten vid planbestämning inkluderar inte osäkerheten vid antenncentrering. Om tvångscentrering utförs med hjälp av stativ och trefot så kan centreringsosäkerheten anses som försumbar. Höjdbestämningen avser höjd över ellipsoiden.
4. Måtten motsvarar i första hand *regional lägesosäkerhet* i SWEREF 99, dvs. i förhållande till en rums- och tidsbegränsad del av det aktiva referensnätet. För ett absolut mått på lägesosäkerheten i SWEREF 99 över långa avstånd (> mil) eller långa tidsrymder (>år) behöver utföraren även ta hänsyn till osäkerheten i referensstationernas lägesangivelser. Den lokala lägesosäkerheten (dvs. mellan närliggande detaljer) förväntas vara på samma nivå som den regionala lägesosäkerheten.

C.2.2 Plan- och höjdbestämning, 70 km

Tabell C.2.2a. Förväntad mätosäkerhet vid **planbestämning** (2D), förtätningsgrad 70 km. Mätosäkerhetens täckningsfaktor är $k=2$, dvs. måttet väntas omfatta minst 95 % av alla mätvärden.

Utförandeklass	Baslinje <10 km	Baslinje 10-20 km	Baslinje 20-30 km	Baslinje 30-40 km
Bas	24 mm	30 mm	33 mm	35 mm
Hög	17 mm	21 mm	23 mm	25 mm

Tabell C.2.2b. Förväntad mätosäkerhet vid **höjdbestämning**, förtätningsgrad 70 km. Mätosäkerhetens täckningsfaktor är $k=2$, dvs. måttet väntas omfatta minst 95 % av alla mätvärden.

Utförandeklass	Baslinje <10 km	Baslinje 10-20 km	Baslinje 20-30 km	Baslinje 30-40 km
Bas	44 mm	52 mm	55 mm	60 mm
Hög	31 mm	36 mm	39 mm	42 mm

C.2.3 Plan- och höjdbestämning, 35 km

Tabell C.2.3.a. Förväntad mätosäkerhet vid planbestämning (2D), förtätningsgrad 35 km. Mätosäkerhetens täckningsfaktor är $k=2$, dvs. väntas omfatta minst 95 % av alla mätvärden.

Utförandeklass	Baslinje <5 km	Baslinje 5-10 km	Baslinje 10-15 km	Baslinje 15-20 km
Bas	15 mm	17 mm	19 mm	20 mm
Hög	11 mm	12 mm	13 mm	14 mm

Tabell C.2.3b. Förväntad mätosäkerhet vid **höjdbestämning**, förtätningsgrad 35 km. Mätosäkerhetens täckningsfaktor är $k=2$, dvs. väntas omfatta minst 95 % av alla mätvärden.

Utförandeklass	Baslinje <5 km	Baslinje 5-10 km	Baslinje 10-15 km	Baslinje 15-20 km
Bas	28 mm	33 mm	35 mm	36 mm
Hög	20 mm	23 mm	25 mm	26 mm

C.2.4 Plan- och höjdbestämning, 10 km

Tabell C.2.4a. Förväntad mätosäkerhet vid **planbestämning** (2D), förtätningsgrad 10 km. Mätosäkerhetens täckningsfaktor är $k=2$, dvs. väntas omfatta minst 95 % av alla mätvärden.

Utförandeklass	Baslinje <2 km	Baslinje 2-4 km	Baslinje 4-6 km
Bas	10 mm	11 mm	12 mm
Hög	7 mm	8 mm	9 mm

Tabell C.2.4b. Förväntad mätosäkerhet vid höjdbestämning, förtätningsgrad 10 km. Mätosäkerhetens täckningsfaktor är $k=2$, dvs. väntas omfatta minst 95 % av alla mätvärden.

Utförandeklass	Baslinje <2 km	Baslinje 2-4 km	Baslinje 4-6 km
Bas	16 mm	17 mm	18 mm
Hög	11 mm	12 mm	13 mm